

DASAR-DASAR ILMU TANAH

Edisi 2

Penulis / Editor :

Prof. Dr. Ir. Nurhajati Hakim

Prof. Dr. Ir. Hermansah, MS. MSc



DASAR-DASAR ILMU TANAH

Edisi Kedua

Penulis/Editor

Prof. Dr. Ir. Nurhajati Hakim

Prof. Dr. Ir. Hermansah, MS. MSc



DASAR-DASAR ILMU TANAH

Edisi Kedua

Penulis/Editor : Prof. Dr. Ir. Nurhajati Hakim
Prof. Dr. Ir. Hermansah, MS. MSc

Cover : Ikhsanul Anwar

Gambar : Freepik.com

Tata Letak : Ikhsanul Anwar
Syamsul Hidayat

ISBN : 978-623-172-411-3

Ukuran Buku : 15,5 x 23 cm

Jumlah Hal : 484

Tahun Terbit : 2025

Cetakan : Kedua

Penerbit :

Andalas University Press
Jl. Situjuh No. 1, Padang 25129 Telp/Faks.: 0751-27066
email: cebitunand@gmail.com

Hak Cipta Pada Penulis © 2025

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang.

*Dilarang mengutip atau memperbanyak sebahagian atau seluruh isi buku
tanpa izin tertulis dari penerbit.*

Edisi Pertama

Penulis :

Dr. Ir. Nurhajati Hakim

Ir. M. Yusuf Nyakpa M.Sc

Ir. A. M. Lubis M.Sc

Ir. Sutopo Ghani Nugroho M.Sc

Ir. M. Amin Diha

Prof. Dr. Go Ban Hong

Prof. Dr. H. H. Bailey

Penerbit Universitas Lampung,

Cetakan Pertama

Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia (APPTI)

Kata Sambutan Edisi Kedua

Era kejayaan pertanian kembali terulang dalam pemerintahan saat ini. Pertanian menjadi prioritas pembangunan melalui swasembada pangan sehingga Indonesia bertekad menjadi Lumbung Pangan Dunia. Faktor utama yang menjadi potensi sekaligus tantangan adalah “Tanah” dimana banyak sekali faktor yang mempengaruhi kondisi lahan terutama agroekologi, biofisik, sosial budaya dan berbagai faktor yang tidak bisa dikendalikan seperti perubahan iklim. Untuk itu peran Ilmu Tanah menjadi sangat vital dalam menopang pembangunan sektor pertanian. Saya menyambut baik dan menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya atas komitmen, kontribusi penulis dalam memajukan Ilmu Tanah melalui penerbitan edisi kedua buku Dasar-Dasar Ilmu Tanah.

Penulis dengan sangat baik telah melakukan revisi dan editing dari buku edisi pertama berdasarkan perkembangan pengetahuan dan tentunya merupakan hasil dari proses panjang pengalaman penulis selama berkecimpung dalam bidang Ilmu Tanah, sehingga dengan adanya buku edisi kedua ini memberikan informasi tentang perubahan kondisi tanah terkini yang perlu diketahui baik oleh akademisi, para mahasiswa, maupun para praktisi Ilmu Tanah dan Pertanian pada umumnya. Untuk itu Saya sampaikan bahwa buku ini tepat sekali sebagai bahan ajar yang dapat menjadi referensi tidak hanya bagi mahasiswa dan pengajar ilmu tanah tetapi juga bagi seluruh praktisi pertanian.

Saya mengucapkan terima kasih atas karya luar biasa kepada Prof. Dr. Ir. Nurhajati Hakim dan Prof. Dr. Ir. Hermansah, MS. MSc serta seluruh tim yang berpartisipasi mulai penyusunan sampai dengan terbitnya edisi kedua buku Dasar-Dasar Ilmu Tanah ini.

Maju dan jaya terus Ilmu Tanah Indonesia

Bogor, 11 Januari 2025

Ketua Umum Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI)
Plt. Dirjen Lahan dan Irigasi Pertanian

Husnain, S.P., M.P., M.Sc., PhD

Kata Sambutan Edisi Pertama

Saya merasa gembira dan menyambut baik terbitnya buku Dasar-dasar Ilmu Tanah. Perasaan gembira ini karena: pertama, kelangkaan buku text yang berbahasa Indonesia sedikit dapat diatasi, kedua, karya para penulis yang berkecimpung di lingkungan perguruan tinggi dihimpun dalam buku ini secara terpadu dan terarah dapat dinikmati oleh masyarakat luas, ketiga, buku ini pada dasarnya merupakan himpunan pengetahuan yang dapat dijadikan pegangan, baik untuk para mahasiswa maupun untuk staf pengajar.

Buku pengetahuan yang diperlukan untuk proses belajar pada berbagai jenjang pendidikan tinggi dan keperluan masyarakat luas perlu dikembangkan, oleh karena memasyarakatkan penggunaan buku adalah sejalan dengan amanat yang dikemukakan didalam garis-garis Besar Haluan Negara. Melihat alasan tersebut, maka kehadiran buku Dasar-dasar Tanah ini menjadi penting artinya.

Akhirnya perlu disampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Prof. Dr. R. Margono Slamet dan Staf dari Penerbit Universitas Lampung yang telah menekuni penerbitan buku ini.

Dengan tulus saya mengemukakan bahwa buku ini bermanfaat.

Jakarta, 2 Februari 1986

Acting Director
BKS-PTN/USAID
(Universitas of Kentucky)
W.U.A.E Project

Prof. Dr. Yuhara Sukra

Kata Pengantar Edisi Kedua

Segala puji syukur dipersembahkan kehadirat Tuhan Yang Maha Pengasih yang telah memberikan hidayah kepada penulis untuk merevisi dan mengedit ulang buku Dasar-dasar Ilmu Tanah ini sesuai dengan perkembangan Ilmu Tanah terakhir. Beberapa isi buku ini telah disesuaikan dengan kondisi Tanah dan pengalaman penulis di Indonesia. Buku ini merupakan salah satu Buku Ajar dalam disiplin Ilmu Tanah yang digunakan sebagai bahan ajar bagi hampir seluruh dosen dan mahasiswa Fakultas Pertanian.

Semula buku ini ditulis oleh satu Tim Ilmu Tanah BKS-PTN-Barat yaitu Dr. Ir. Nurhajati Hakim (Unand), Ir. M. Yusuf Nyakpa M.Sc (Unsyiah), Ir. A.M. Lubis M.Sc (USU), Ir. Sutopo Gani Nugroho M.Sc (Unila), Ir. M. Amin Diha (UNSRI), Prof. Dr. Go Ban Hong, (IPB), dan Prof. Dr. H.H. Bailey dari Proyek University of Kentucky WUAE selama tahun 1984-1985, dan diterbitkan oleh University Lampung Press pada tahun 1986. Berhubung karena yang masih ada dan sehat dari penulis edisi I hanya Prof. Dr. Ir. Nurhajati Hakim sedangkan Ir. M. Amin Diha kurang sehat, maka revisi dan editing buku edisi II ini dilakukan oleh Prof. Dr. Ir. Nurhajati Hakim dan ditemani oleh Prof. Dr. Ir. Hermansah MS., M.Sc.

Kepada para penulis Edisi I yang telah meninggal dunia, dan M. Amin Diha yang masih ada disampaikan penghargaan dan terima kasih, seraya dido'akan semoga arwahnya mendapat imbalan pahala yang mengalir dan berlipat ganda dari Allah SWT. Kepada Dr. Mimin Hariati, S.P., M.P yang telah membantu pengetikan ulang serta Adila Mahdiyah Sy. SP., MP Hesty Apresa SP., M. Arivito Kaisar S dan Rozatul Ilmi, S.P. yang membantu perbaikan Gambar dan Tabel juga diucapkan terima kasih.

Buku ini tidak saja dapat dimanfaatkan oleh dosen dan mahasiswa Fakultas Pertanian, tetapi juga dapat diacu oleh praktisi pertanian dan pencinta Ilmu tanah lainnya. Semoga isi buku ini bermanfaat untuk Pembangunan Pertanian terutama bagi Indonesia

Padang, 9 Januari 2025

Revisi dan Editor Edisi Kedua
Nurhajati Hakim dan Hermansah

Kata Pengantar Edisi Pertama

Dalam lingkungan BKS-PTN Barat sangat dirasakan perlunya sistem kerjasama dalam mendayagunakan sumber-sumber yang ada, mengurangi ketimpangan-ketimpangan institusional memberikan kesempatan seluas-luasnya untuk pengembangan profesionalisme.

Satu metode pemanfaatan sumber yang efektif dan efisien adalah melalui pengembangan kerjasama antara dosen ahli yang ditunjuk merumuskan kerjasama masalah-masalah pokok dalam bidang ilmu mereka dan bersedia bekerjasama mencari penyelesaiannya.

Komisi pelaksana proyek BKS-PTN Barat/WUAEP memberi rekomendasi bahwa Ilmu Tanah merupakan satu bagian masalah yang perlu diatasi dengan bantuan dana proyek.

Melalui bimbingan dari Kantor Pusat WUAEP, beberapa dosen ahli Ilmu Tanah diorganisir dalam suatu Badan kerjasama Ilmu Tanah. Mereka mengadakan rapat dan menyimpulkan bahwa kuliah dasar Ilmu Tanah yang seragam merupakan langkah pokok yang perlu diambil.

Juga diputuskan bahwa kuliah dasar Ilmu Tanah berbobot 4 SKS, termasuk praktikum, akan dikembangkan. Dalam kuliah tersebut disetujui juga bahwa jumlah pokok bahasannya akan terdiri dari 44 topik.

Untuk itu, masing-masing anggota Badan Kerjasama Ilmu Tanah ditugaskan menyiapkan dan menulis beberapa topic. Semua anggota Badan Kerjasama Ilmu Tanah mempelajari, mengkoordinir, mengoreksi dan menyetujui draft setiap topik.

Draft yang telah direvisi dan disetujui kemudian dikirim ke kantor Pusat ke kantor Pusat WUAEP Team Kentucky guna diolah kembali dan diperbanyak.

Buku ini merupakan hasil kerja semua anggota Badan Kerjasama Ilmu Tanah. Dengan terbitnya dan diedarkannya buku ini, masing-masing perguruan tinggi akan memiliki kumpulan bahan kuliah baku. Hal ini akan memudahkan semua mahasiswa yang mengikuti kuliah dasar Ilmu Tanah BKS-PTN Barat menerima ilmu tanah yang sama.

Masing-masing dosen mungkin ingin menjelaskan pokok-pokok bahasan tertentu lebih mendalam, tetapi bahan-bahan yang dirangkum dalam buku ini hendaknya dijadikan patokan dan merupakan persyaratan penguasaan dasar Ilmu Tanah.

Catatan tentang rujukan diberikan, supaya dosen dan mahasiswa dapat merujuk kepada buku asli jika mereka menginginkan informasi lebih lanjut.

Pada saat penerbitan buku ini, Badan Kerjasama Ilmu Tanah telah dikabari bahwa tiga buku mengenai Ilmu Tanah yang ditulis dalam bahasa Inggris sedang diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia.

Apabila telah selesai, buku-buku ini akan banyak sekali menolong dosen dan mahasiswa. Buku-buku yang sedang diterjemahkan itu adalah

- 1). The Nature and Properties of Soils oleh Dr. N. C. Brady
- 2). Fundamentals of Soil Soil Science oleh Dr. H. D. Foth
- 3). Properties and Management of Soils in the Tropics oleh Dr. P.A. Sanchez

Harry H.Bailey
Koordinator Ilmu Tanah
Kentucky Team, UNSRI
Palembang,
Sumatera Selatan

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	xii
Daftar Tabel.....	xix
Daftar Gambar	xxx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Peranan Tanah Bagi Kehidupan Manusia	1
1.2 Pengertian Tanah.....	4
1.3 Susunan Utama Tanah.....	6
1.4 Tanah Sebagai Sumberdaya Alam.....	8
1.5 Sejarah Perkembangan Ilmu Tanah.....	10
1.6 Ringkasan.....	14
Daftar Bacaan.....	16
Contoh Soal untuk pendalaman materi:	16
BAB II PEMBENTUKAN TANAH.....	17
2.1 Faktor Bahan Induk.....	18
2.2 Faktor Iklim	26
2.3 Faktor Jasad Hidup	29
2.4 Faktor Topografi / Relief.....	32
2.5 Faktor Waktu.....	33
2.6 Proses Pembentukan Tanah.....	34
2.7 Perkembangan Profil Tanah	38
2.8 Ringkasan.....	49
Daftar Bacaan.....	51
Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi:	51

BAB III SIFAT- SIFAT FISIKA TANAH.....	53
3.1 Tekstur Tanah	53
3.2 Struktur tanah.....	60
3.3 Konsistensi tanah	67
3.4 Porositas tanah	69
3.5 Tata udara tanah	73
3.6 Suhu tanah.....	74
3.7 Warna tanah.....	76
3.8 Ringkasan.....	78
Daftar Bacaan.....	80
Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi.	80
BAB IV AIR TANAH.....	83
4.1 Kepentingan air tanah	83
4.2 Konsep energi air tanah.....	83
4.3 Korelasi antara energi dan kadar air tanah.....	86
4.4 Pergerakan air tanah.....	89
4.5 Hubungan air tanah dan tanaman.....	93
4.6 Konservasi air tanah.....	98
4.7 Drainase	102
4.8. Irigasi	106
4.9 Ringkasan.....	113
Daftar Bacaan.....	115
Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi	115
BAB V SIFAT DAN CIRI BIOLOGI TANAH.....	117
5.1 Jasad hidup tanah dan peranannya.....	117
5.2 Bahan organik tanah.....	128
5.3 Peranan bahan organik	136
5.4 Nisbah- karbon nitrogen	137
5.5 Faktor yang mempengaruhi bahan organik tanah.....	138

5.6 Pengelolaan bahan organik tanah.....	136
5.7. Ringkasan.....	140
Daftar Bacaan.....	142
Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi	142
BAB VI MINERAL TANAH.....	143
6.1 Klasifikasi mineral	143
6.2 Pembentukan mineral sekunder	144
6.3 Peranan Mineral Tanah	154
6.4 Ringkasan.....	155
Daftar Bacaan.....	155
Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi:	156
BAB VII KIMIA TANAH.....	157
7.1 Dasar-dasar Jerapan dan Pertukaran ion	157
7.2 Koloid Tanah.....	157
7.3 Kapasitas Tukar Kation dan yang Berpengaruh.....	162
7.4 Prosentase Kejenuhan Basa	167
7.5 Peranan KTK bagi Perharaan Tanaman	168
7.6 Reaksi Tanah dan Pengelolaannya.....	168
7.7 Faktor yang Mempengaruhi pH Tanah	176
7.8 Kemasaman Tanah dan Masalahnya	177
7.9 Tanah Masam dan Pengapuran	185
7.10 Ringkasan.....	199
Daftar Bacaan.....	202
Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi	203
BAB VIII HUBUNGAN HARA TANAH DAN TANAMAN.....	205
8.1 Dasar –Dasar Pengharaan	205
8.2 Prinsip Faktor Pembatas	206
8.3 Peranan Unsur Hara	208

8.4 Bentuk Hara Makro Dalam Tanah	211
8.5 Ketersediaan Unsur Hara Makro Bagi Tanaman	213
8.6 Bentuk Unsur Hara Yang Diabsorpsi Tanaman	215
8.7 Fungsi Unsur Hara	217
8.8 Gejala-Gejala Kekurangan Hara	218
8.9 Prinsip Serapan Hara.....	221
8.10 Nitrogen Tanah.....	224
8.11 Fosfor Tanah.....	237
8.12 Kalium Tanah.....	250
8.13 Kalsium, Magnesium, Dan Belerang	259
8.14 Unsur Mikro.....	271
8.15 Ringkasan.....	278
Daftar Bacaan.....	283
Contoh Soal Untuk Mendalami Materi.....	283
BAB IX PUPUK DAN PEMUPUKAN	289
9.1 Peranan Pupuk dalam Usaha Pertanian.....	289
9.2 Klasifikasi Pupuk	290
9.3 Pupuk Alam.....	305
9.4 Penggunaan Pupuk.....	311
9.5 Evaluasi Kebutuhan Pupuk	317
9.6 Ringkasan.....	325
Daftar Bacaan.....	328
Contoh Soal Untuk Mendalam Materi.....	328
BAB X PENGAWETAN TANAH DAN AIR	331
10.1 Tanah Sebagai Sumberdaya	331
10.2 Kepentingan Sumberdaya Tanah dalam Produksi Pangan.....	331
10.3 Sumberdaya Tanah Di Dunia	332
10.4 Erosi dan Pengendaliannya	339

10.5 Metode Pengolahan Tanah	348
10.6 Ringkasan.....	352
Daftar Bacaan.....	354
Contoh Soal Untuk Mendalami Materi.....	355
BAB XI PENGELOLAAN TANAH.....	357
11.1 Pengelolaan Tanah untuk Pertanian	357
11.2 Kelas Kesesuainan Lahan	357
11.3 Pengelolaan Lahan untuk Produksi Tanaman Semusim	359
11.4 Pengelolaan Lahan untuk Produksi Tanaman Keras (tahunan)	361
11.5 Pengelolaan Lahan untuk Perladangan	362
11.6 Pengelolaan Tanah Sawah Di Indonesia	363
11.7 Pengelolaan Tanah untuk Sawah di Indonesia	369
11.8 Beberapa Problema Tanah Sawah (Tanah- tanah masam dan basa)	374
11.9 Ringkasan.....	396
Daftar Bacaan.....	398
Contoh Soal Untuk Mendalami Materi.....	398
BAB XII PEMETAAN TANAH DAN PENGGUNAANNYA.....	401
12.1 Survei Tanah dan Manfaatnya.....	401
12.2 Tujuan Survei Tanah	401
12.3 Metoda Survei Tanah	403
12.4 Interpretasi Penggunaan Tanah untuk Pertanian.....	406
12.5 Definisi Tanah dan Lahan	407
12.6 Beberapa Sistem Evaluasi Lahan.....	409
12.7 US Bureau of reclamation Land Classification for Irrigation...	412
12.8 Sistem Parametrik : Indeks Produktivitas	413
12.9 Framework for Land Suitability Evolution of the FAO.....	414
12.10 Penggunaan Tanah untuk Non Pertanian	416

12.11 Penggunaan Tanah di Luar Bidang Pertanian	418
12.12 Ringkasan.....	422
Daftar Bacaan.....	423
Contoh Soal Untuk Mendalami Materi.....	424
BAB XIII TANAH DAN PENCEMARAN LINGKUNGAN	425
13.1 Tanah dan Pencemaran Lingkungan	425
13.2 Pencemaran Terhadap Tanah.....	425
13.3 Pencemaran oleh Logam Berat	426
13.4 Pencemaran Akibat Kegiatan Petanian	426
13.5 Pencemaran Bahan Radio aktif.....	427
13.6 Pencemaran Terhadap Udara	427
13.7 Pencemaran Terhadap Air	429
13.8 Tanah Sebagai Sarana Penampung Limbah	430
13.9 Penggunaan Sampah Organik untuk Produksi Pertanian.....	431
13.10 Bahan Pencemar Tanah.....	432
13.11 Pencemaran oleh bahan kimia anorganik(Racun-racun).....	433
13.12 Kelakuan (Sifat-Sifat) Pencemaran Tanah Anorganik	434
13.13 Geography Tanah	437
13.14 Ringkasan.....	443
Daftar Bacaan.....	446
Contoh Soal Untuk Mendalami Materi.....	446

DAFTAR TABEL

2.1	Kadar beberapa unsur di dalam litosfir (lapisan batuan).....	19
2.2	Susunan kimia beberapa mineral primer yang utama dalam tanah (%).....	20
2.3	Pengaruh spesies tanaman terhadap pH dan kejenuhan basa tanah.....	30
3.1	Klasifikasi Partikel-Partikel Tanah Menurut Sistem USDA dan ISSS.....	54
3.2	Hubungan Antara Tekstur dan Rerata Hasil Tanaman (Produktivitas)Tanah.....	60
3.3	Permeabilitas Tanah dan Klas Perkolasi.....	72
4.1	Kesetaraan antara Tinggi Kolom Air, pF dan Atmosfir atau Bar.....	81
4.2	Jarak yang disarankan antara gorong-gorong cabang pada beberapa taah dan keadaan permeabilitas.....	105
4.3	Sifat-sifat tanah yang menentukan kesesuaian lahan untuk irigasi.....	107
4.4	Kandungan boron (B) yang masih diizinkan bagi setiap kelas air irigasi.....	111
4.5	Toleransi relatif tanaman terhadap boron.....	111
4.6	Klasifikasi salinitas berdasarkan daya hantar listrik dan ekstrak tanah jenuh.....	113
5.1	Jasad utama yang umum dijumpai dalam tanah.....	119
5.2	Biomassa dari kelompok binatang tanah yang dijumpai dibawah vegetasi padang rumput dan hutan.....	120
5.3	Jumlah dan biomassa relative dari flora dan fauna tanah yang umum di dalam tanah.....	121
5.4	Contoh pemakan mikrofillik dan karnivor yang berperanmgai sebagai konsumen sekunder dan tertier di dalam atau diatas tanah.....	123
5.5	Sifat kimia dan fisika eksperimen cacing dan tanah sekitarnya.....	124

5.6	Perubahan yang terjadi pada bahan organik segar yang diberikan dalam tanah.....	130
6.1	Mineral primer dan sekunder, silikat dan bukan silikat yang umum dijumpai di tanah.....	146
6.2	Rumus kimia beberapa mineral klei penting dimana terjadi substitusi dalam lempeng oktaeder dan tetraeder dan molekul yang terdapat antar unit kristal (Soepardi, 1979).....	149
6.3	Jari-jari ionic unsur-unsur yang umum dijumpai dalam klei silikat dan petunjuk dimana mereka ditemukan dalam lempeng tetraeder dan oktaeder (Soepardi, 1979).....	151
7.1	Kapasitas Tukar Kation dan pH tanah beberapa tempat di North Carolina (Coleman dan Thomas, 1967).....	165
7.2	Kapasitas Tukar Kation beberapa tanah Indonesia yang beragam teksturnya (Soepardi, 1979).....	165
7.3	Kapasitas Tukar Kation dari beberapa jenis mineral liat (Coleman dan Thomas, 1967).....	166
7.4	Nilai pH tanah pada batas mana pemberian kapur masih respons (Adam dan Pearson, 1967).....	173
7.5	Aluminium dalam tanah bereaksi masam sebagai penghambat Jelai, Hordemvulgarte, L (Vlamiš, 1953).....	182
7.6	Perkiraan lahan masam yang potensial berdasarkan jenis tanah dan benua (Slamet Sitijono, 1982).....	185
7.7	Agihan tanah masam di berbagai pulau di Indonesia (Pusat Penelitian Tanah, 1981 dalam Nurhajati Hakim, 1982).....	186
7.8	Mutu kimia dari bahan kapur dagangan yang dinyatakan dalam berbagai cara (Soepardi, 1979 yang dilengkapi).....	189
7.9	Kisaran kadar Cao, MgO dan senyawa penghambat batu kapur (Madiapura, et. al 1977).....	191
7.10	Perbandingan berbagai kehalusan bahan kapur bila diberikan dalam jumlah yang sama (White, 1917 dalam Soepardi, 1979).....	193
7.11	Perubahan berbagai ciri kimia tanah oxisol pada dua kedalaman yang diberi berbagai takaran kapur setelah lima kali panen di Cerrado Brazil (Lathwell, 1979).....	195

7.12	Pengaruh berbagai takaran kapur terhadap produksi berbagai tanaman pangan pada tanah Podzolik di Indonesia (Nurhajati Hakim, 1983).....	196
8.1	Unsur Hara Esensial dan Sumbernya.....	208
8.2	Kisaran Unsur Hara Mikro dalam Lapisan olah pada Umumnya.....	210
8.3	Kadar Total Bahan Organik dan Hara Makro yang Terdapat dalam Lapisan Olah pada Daerah Temprate.....	210
8.4	Bentuk Unsur Hara Makro Dalam Tanah.....	212
8.5	Bentuk Unsur Hara Yang Digunakan Tanaman	216
8.6	Jumlah Tambatan Nitrogen Rata-Rata Oleh Tanaman Kacang - Kacangan.....	232
8.7	Jumlah Nitrogen yang Jatuh Bersama Air Hujan.....	234
8.8	Kadar Fosfor Total Tanah dari 3 Negara Bagian Amerika Serikat dan Beberapa Tempat di Jawa.....	240
8.9	Senyawa Anorganik Kalsium Fosfat yang Sering Dijumpai Dalam Tanah.....	241
8.10	Beberapa Mineral yang Mengandung Kalium.....	253
8.11	Kehilangan Kalium karena Penanaman Intensif dan Kalium yang Berasal dari Bentuk tidak dapat Di-Pertukarkan.....	255
8.12	Pengaruh dari Kejenuhan Basa Terhadap Kehilangan Kalium dapat Dipertukarkan Oleh Pencucian Dari Tanah Creedmore Lempung Berpasir Kuarsa.....	257
8.13	kehilangan Kalsium dan Magnesium dari Tanah.....	261
8.14	Kehilangan Kalsium, Magnesium dan belerang Melalui air perkolasi di Cornell.....	262
8.15	Kehilangan Belerang Akibat Erosi (Percobaan Di Missouri) dan yang Diangkut Tanaman.....	271
8.16	Sumber Utama Dari Unsur Mikro Dalam Tanah.....	273
9.1	Rata-rata Persentase Nitrogen serta Komposisi dari Pupuk – pupuk Nitrogen.....	300
9.2	Beberapa Pupuk Fosfat yang Larut Dalam Air dan Asam Sulfat.....	302
9.3	Kadar K ₂ O dari Masing-masing Pupuk Kalium.....	303

9.4	Garam-garam Unsur Mikro yang Biasanya Dipakai Sebagai Pupuk.....	304
9.5	Presentase Kadar Hara Dalam bagian Padat dan cair dari Pupuk Kandang.....	306
9.6	Kadar rata-rata unsur hara yang terdapat dalam pupuk kandang.....	307
9.7	Beberapa Jenis Tanaman Pupuk Hijau.....	309
9.8	Konsentrasi Umum Larutan Hara Mikro untuk Penyemprotan Daun.....	314
9.9	Jumlah Nitrogen yang Dihasilkan pada Berbagai Umur Tanaman.....	317
9.10	Rekomendasi Pemupukan Kalium untuk Tanaman yang Ditanam pada Tanah-tanah Lempung, Lempung Berliat dan Liat di Michigan, USA.....	324
10.1	Luas Lahan di Berbagai Zone Iklim di Dunia.....	332
10.2	Populasi Penduduk dan Lahan Garapan pada setiap Benua dibandingkan dengan Potensi Lahan yang dapat digarap.....	333
10.3	Luas jenis-jenis tanah utama dan persentasenya yang dapat digarap, sesuai untu pada rumput dan yang tidak dapat digarap.....	334
10.4	Dugaan luas potensi lahan yang dapat digarap dari berbagai jenis tanah di tropik.....	336
10.5	Luas Daratan Di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya (x 1000 ha)1/.....	336
10.6	Angka koreksi luas penggunaan lahan dengan berbagai kemiringan untuk budidaya pertanian (x1000), Muljadi, 1977 2/ tidak dapat dikukur karena areanya kecil dan tersebar.....	337
10.7	Perkiraan lahan dengan kemiringan 0 hingga 15 yang dapat dijadikan areal pemukiman baru di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya (x1000), Muljadi, 1977.....	338
10.8	Perkiraan luas dan penyebaran jenis tanah di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya (x1000)1/.....	338
11.1	Perbandingan Produksi Rata-Rata Nasional Ddngan Potensi Produksi Berbagai Tanaman Semusim.....	361

11.2	Luas Penanaman Padi di Beberapa Negara Penghasil Beras	365
11.3	Perkiraan luas areala sawah berdasarkan musim di Indonesia.....	366
11.4	Sebaran Luas Tanah Sawah Berdasarkan Jenis Tanah di Indonesia.....	369
11.5	Rata-Rata Produksi Padi Varietas Pelita dan IR 5 yang Diusahakan Di Test Farm P4S Delta Upang Pada Musim Taman 1972/1973 sampai Dengan 1976/1977.....	379
11.6	Penyebaran Tanah Sulfat Masam di Asia Selatan dan Tenggara.....	391
12.1	Intensitas Pengamatan pada berbagai Tipe Survey Tanah.....	404
12.2	A simplified example of conversion table for use with the USDA Land-Capability Classification.....	411
13.1	Struktur klasifikasi Tanaman dan Tanah di Miami USA (Brady, 1974).....	440
13.2	Gambaran umum tentang horizon diagnostic.....	442

DAFTAR GAMBAR

1.1	Penampang tegak (vertikal) atau profil suatu tanah.....	5
1.2	Susunan utama tanah atas dasar volume pada tanah bagian permukaan dengan tekstur lempung berdebu dengan catatan tanaman tumbuh dengan baik pada tanah ini.....	7
2.1	Hubungan % N tanah dengan temperatur di bawah vegetasi rumput beriklim basah (kurva a) dan tanah di bawah hutan basah (kurva b) untuk tanah lempung berpasir.....	27
2.2	Hubungan antara curah hujan tahunan dengan Nilai Tukar Kation (NTK), basa-basa tukar dan H- tukar.....	28
2.3	Kandungan bahan organik pada profil tanah dengan vegetasi rumput (kiri) dan vegetasi hutan (kanan).....	30
2.4	Profil yang umum terdapat pada tanah hutan, beriklim basah dan bersuhu sedang.....	42
2.5	Profil Horizon Tanah dan deskripsi dari tiap profil.....	43
2.6	Diagram memperlihatkan penambahan, kehilangan, translokasi dan transformasi yang terlibat di dalam differensiasi horizon.....	46
3.1	Diagram segitiga tekstur menurut USDA.....	56
3.2	Diagram segitiga tekstur menurut USDA dengan nama kelas diluar.....	56
3.3	Tipe struktur, penyifatan, diagram agregat dan lokasinya pada profit tanah.....	62
3.4	Soil Flow Diagram.....	63
3.5	Skema mekanisme proses pembentukan struktur (jika air menguap, maka lempeng- lempeng luat akan berdekatan, dan dengan bantuan bahan perekat, struktur turut berkembang).....	65
4.1	Kurva tegangan kadar air tanah untuk tiga macam tanah yang berbeda teksturnya.....	88
4.2	Diagram klasifikasi kualitas air irigasi.....	110
5.1	Bagan dari lintasan umum penghancuran jaringan tanaman tingkattinggi.....	121

5.2	Susunan dari jaringan tumbuhan hijau.....	129
5.3	Susunan dari bahan tumbuhan hijau yang ditambahkan pada tanah.....	129
5.4	Bagan peredaran karbon dalam dan di luar tanah. Perhatikan tekanan pada CO ₂ dengan dan tanpa tanah.....	133
5.5	Rata-rata bahan organik sebelum dan sesudah digunakan selama 43 tahun.....	139
5.6	Bagan yang melukiskan pengaruh perlakuan tanah terhadap bahan organik tanah illinois selama 29 tahun.....	140
6.1	Bagan pembentukan mineal liat yang umum dalam tanah (Milner,1940).....	145
6.2	Bagan silikat tetraeder (kiri) dan aluminium oktaeder (kanan).....	150
6.3	Skemamineral tipe 1:1 kaolonit(A) dan tipe 2:1 muskovit(B) dalam hal ini satu Si diganti oleh satu Al.....	150
6.4	Bagan suatu pinggiran lempeng yang patah pada mineral kaolinit, yang memperlihatkan oksigen sebagai sumber muatan negatif.....	153
7.1	Bagan suatu kristal liat silikat (misel) struktur lempeng yang bermuatan negatif banyak dan kation-kation terjep.....	159
7.2	Bagan unit koloid humus dengan jerapan kation.....	162
7.3	Pengaruh pH terhadap kapasitas tukar kation dari koloid organik dan liat montmorillonite (Coleman dan Mechlich, 1957).....	164
7.4	Kurva sangaan untuk kaolinit jenuh Al dan illit jenuh Al (Turner and Nichol, 1962).....	170
7.5	Bagan kisaran pH tanah mineral dan istilah yang lazim dipakai untuk mengatakan reaksi tanah.....	172
7.6	Hubungan antara pH tanah mineral dengan unsur hara dan kegiatan jasad mikro (Soepardi, 1979).....	175
7.7	Hubungan umum antara pH tanah kation dijerap koloid (Soepardi, 1979).....	180

7.8	Diagram yang menunjukkan hubungan keseimbangan antara kemasaman aktif dengan kemasaman cadangan dari koloid tipe 2: 1 (Soepardi, 1979).....	181
7.9	Hubungan antara kapur dolomit dan kalsit dengan kecepatan reaksi setelah 3 bulan dicampur dengan tanah (Schollenberger dan Salter 1943, dalam Soepardi, 1979).....	192
8.1	Diagram yang Disederhanakan untuk MengGambarkan Prinsip Faktor Pembatas.....	207
8.2	Diagram yang menggambarkan carrier teori dari serapan hara. Anorganik carrier C, berkombinasi dengan ion dari larutan tanah pada permukaan luar dari sel akar. Ion diangkut menembus dinding sel dan dilepaskan ke bagian dalam sel dalam akar tanaman.....	223
8.3	Siklus Nitrogen.....	225
8.4	Perubahan bentuk N-anorganik ke N-organik dan sebaliknya.....	226
8.5	Denitrifikasi Nitrogen.....	235
8.6	Peredaran fosfor tanah.....	240
8.7	Distribusi fosfat anorganik dan organik pada tanah di Iowa	242
8.8	Diagram fiksasi fosfat anorganik tanah pada berbagai pH tanah.....	245
8.9	Pengaruh penambahan bahan organik terhadap pembebasan fosfat terikat.....	247
8.10	Diagram yang memperlihatkan fosfat yang relatif larut menjadi tidak larut .(A) keadaan baru dipupuk ,akar (B) sebagai P larut bereaksi dengan permungkaan kristal ,fosfat masih agak tersedia.(C) dengan waktu fosfat menyusup kedalam kristal, sehingga fosfat tersedia berkurang.....	248
8.11	Diagram yang menunjukan klasifikasi kelarutan fosfat ketersediaan fosfat organik tanah.....	249
8.12	Diagram perbandingan relatif dari kalium tidak segera dan lambat tersedia.....	252
8.13	Mineral klei tipe 2:1 yang memfiksasi kalium dan amonium	254

8.14	Diagram yang memperlihatkan hubungan umum antara kadar K tanaman dan K-tersedia	258
8.15	pengaruh jarak antara tempat industri yang membakar minyak, dengan tanah pertanian terhadap jumlah belerang yang bertambah di Swedia.....	265
8.16	Peredaran belerang yang memperlihatkan transformasi-transformasi yang terjadi ke dalam tanah, dalam hubungannya dengan ketersediaan belerang di dalam tanah.....	268
8.17	Hubungan antara berbagai bentuk Mn dalam tanah.....	275
9.1	Bagan yang menggambarkan berbagai pupuk nitrogen dapat dibuat dari amoniak.....	294
9.2	Bagian dari reaksi berbagai pembuatan pupuk Fosfat.....	297
9.3	Pengaruh dari dosis penggunaan pupuk kalium terhadap produksi jagung pada tanah yang mempunyai kadar K tanah sedang dan rendah.....	322
12.1	Skaladantipe-tipesurvei.....	403

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Peranan Tanah Bagi Kehidupan Manusia

Manusia yang hidup di permukaan bumi amat tergantung kepada tanah. Sebaliknya suatu keberhasilan pada tanah pertanian yang baik ditentukan pula oleh sampai sejauh mana manusia itu cukup cerdas dan terampil mengelolanya. Apabila terjadi kesalahan dalam pengelolaannya, maka akan terjadi berbagai kerusakan pada tanah. Akibatnya, tanah tidak mampu memberikan pertumbuhan tanaman yang baik, sehingga berproduksi rendah atau tidak menghasilkan sama sekali. Ketika itu kehidupan manusia di muka bumi akan terancam.

Di dalam kitab suci Al-Quran ditemukan beberapa ayat yang menjelaskan bahwa sesungguhnya manusia diciptakan dari tanah. Setelah dikaji secara mendalam, ternyata hingga sekarangpun manusia masih diciptakan dari saripati tanah yang diproses melalui tumbuhan. Diantaranya adalah sebagai berikut.

QS. Al-Hijir 15: 26,28,29

Dan sesungguhnya Kami telah menciptakan manusia dari tanah klei (clay)kering yang berasal dari lumpur hitam yang diberi bentuk (26).

Dan ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para malaikat”Sesungguhnya Aku akan menciptakan seorang manusia dari tanah klei kering yang berasal dari lumpur hitam yang diberi bentuk (28).

Maka apabila Aku telah menyempurnakan kejadiannya, dan telah meniupkan kedalamnya roh(ciptaan)Ku, maka tunduklah kamu kepada Nya dengan bersujud (29).

QS. As-Sajadah 32: 7-9

Yang membuat segala ciptaan sebaik-baiknya, dan memulai penciptaan manusia dari tanah (7).

Kemudian, Dia menjadikan keturunannya dari saripati air yang hina (8).

Kemudian, Dia menyempurnakan dan meniupkan ke dalam tubuhnya roh (ciptaan)Nya, dan Dia menjadikan bagi kamu pendengaran, penglihatan dan hati, tetapi sedikit kamu yang bersyukur (9).

QS. Ar-Rahman 55: 3 dan 14

Dia menciptakan manusia (3).

Dia menciptakan manusia dari tanah kering seperti tembikar (14).

Sekarang, mari kita coba analisis kandungan ayat-ayat tersebut dengan menggunakan ilmu kimia tanah dan fisiologi tanaman. Dari sudut ilmu kimia tanah, tanah tersusun dari bahan padatan anorganik (mineral) dan padatan organik, air (fase cair), dan udara (fase gas). Ketiga bahan tersebut tersusun dari berbagai ragam unsur kimia, minimal ada 16 macam unsur kimia yang diperlukan tanaman secara fisiologis yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), belerang atau sulfur (S), besi atau ferum (Fe), tembaga atau Cupri (Cu), mangan (Mn), zink (Zn), chlor (Cl), boron (B), dan molibdenum (Mo). Di samping itu juga ditemukan beberapa unsur kimia yang dibutuhkan secara biologis, seperti silikon (Si), natrium (Na), vanadium (V), cobalt (Co), dll.

Bahan anorganik (mineral) tanah tempat tumbuhnya tanaman berdasarkan ukuran butirnya terdiri atas 3 fraksi, yaitu pasir ($>50-2000 \mu m$), debu ($2-50 \mu m$), dan klei ($<2 \mu m$). Dari 3 macam ukuran butiran tanah tersebut, butiran “**klei**” (clay) atau *liat* memegang peranan penting dalam menentukan pertumbuhan tanaman. Apabila tanah klei tersebut banyak mengandung bahan organik halus yang disebut humus, maka ia akan berwarna hitam dan bertambah subur. Butiran klei dan humus yang halus dan berwarna hitam itu disebut koloid yang ***berperan sebagai bank (menyimpan dan menyalurkan) unsur hara (zat makanan) tanaman, menyimpan air, dan menyuplai unsur hara bagi tanaman.*** Oleh karena itu, tanah berukuran klei ($<1 \mu m$) yang bercampur humus, sehingga berwarna hitam, sangat menentukan pertumbuhan dan hasil tanaman. Kajian ini sangat relevan dengan ayat suci QS 15: 26,28,29 tadi. Artinya, ayat-ayat Quran dapat dijelaskan secara ilmiah. Dengan kata lain, ayat Al-Quran dapat dipahami secara ilmiah.

Jika tanah miskin dengan unsur hara tadi, maka pertumbuhan tanaman tidak bagus dan hasilnya rendah serta kurang bergizi. Hasil tanaman berupa karbohidrat (beras, jagung, ubi, kentang, talas, sagu dan sereal lainnya), protein, lemak, dan vitamin dibutuhkan sebagai bahan makanan manusia. Oleh karena itu, kuantitas dan kualitas hasil tanaman akan menentukan kualitas pertumbuhan dan perkembangan manusia. Sebagian dari hasil tanaman dimakan oleh hewan/ternak. Selanjutnya hasil

ternak berupa daging, susu, telur, dibutuhkan pula oleh manusia. Berarti manusia mendapatkan unsur hara atau sari pati tanah melalui tanaman dan hewan.

Manusia yang mendapatkan makanan dari tumbuhan dan hewan yang berasal dari tanah tadi tumbuh dan berkembang menjadi dewasa, menghasilkan sel telur (perempuan) dan sperma (laki-laki). Melalui perkawinan, sperma akan bertemu dengan sel telur dalam rahim perempuan. Apabila pembuahan berhasil, maka terbentuklah cikal bakal manusia berupa segumpal darah, berkembang menjadi segumpal daging dan selanjutnya dilengkapi dengan tulang belulang, diberi Nya bentuk, ditiupkan Nya roh, sehingga menjadi calon manusia, kemudian dilahirkan sebagai manusia yang baru. ***Dengan demikian, secara ilmiah manusia itu memang benar berasal dari tanah hingga sekarang dan nanti.***

Jika dilakukan analisis kimia, maka ternyata unsur kimia yang terdapat di dalam tubuh manusia terdapat pula di dalam tanaman, dan yang terdapat dalam tanaman, terdapat pula di dalam tanah. Hanya saja persentasenya sedikit berbeda-beda. Dengan demikian, kejadian manusia dari tanah, atau dari tanah klei yang berasal dari lumpur hitam, dari segumpal nutfah, dapat dibuktikan secara ilmiah melalui kajian ayat-ayat kauniah, dalam hal ini Ilmu Tanah dan Fisiologi Tanaman.

Ketika kita sudah tahu persentase unsur kimia yang menyusun tubuh manusia, maka apabila kita ramu unsur-unsur kimia tersebut sesuai takarannya, lalu kita aduk dan diberi bentuk, mampukah kita menjadikannya sebuah tubuh manusia yang hidup dan bergerak ??? Jika jawabannya kita tidak mampu, maka marilah kita memuji Sang Pencipta***Maha Suci dan Maha Kuasa Allah dengan segala ciptaannya yang sempurna.*** Dengan demikian, kita semakin meyakini dan mengagumi bahwa kekuasaan Allah itu Maha Besar.

Tanah merupakan tempat berpegangnya atau menghunjamnya akar tumbuhan sehingga bisa berdiri, dan sekaligus mengambil air dan sari pati tanah (unsur hara) sebagai bahan makanannya. Dengan bantuan sinar matahari dan zat hijau daun (klorofil) unsur hara anorganik dari tanah diubah menjadi senyawa organik organ tumbuhan. Akhirnya menghasilkan karbohidrat, protein, lemak, dan vitamin sebagai bahan makanan manusia, serat sebagai bahan pakaian, dan kayu sebagai bahan perumahan manusia. Oleh karenanya dapat disimpulkan bahwa ***“tanah adalah sumber kehidupan manusia”***

Tanah yang baik akan memberikan hasil yang tinggi, dan pada gilirannya akan mendatangkan kesejahteraan bagi umat manusia itu sendiri. Dengan demikian, jelaslah bahwa kehidupan manusia akan sangat tergantung pada kualitas tanah. Oleh karenanya kualitas tanah wajib dipelihara, agar tetap tinggi secara berkelanjutan atau sepanjang masa.

Sama halnya seperti manusia, hewanpun tergantung hidupnya kepada tumbuh-tumbuhan yang hidup di atas dan dari tanah. Produksi susu, protein-daging, dan wool dari hewan ini dapat pula dimanfaatkan manusia. Standar hidup manusia acapkali ditentukan oleh sejauh mana kemampuan manusia itu dapat secara terus menerus mempertahankan kualitas tanahnya, agar tumbuh-tumbuhan dan hewan dapat memproduksi tinggi sepanjang masa (tanpa batas waktu). Itulah yang dikenal dengan pertanian berkelanjutan yang dibutuhkan oleh makhluk hidup, secara berkelanjutan pula.

1.2 Pengertian Tanah

Banyak batasan (definisi) yang dibuat orang tentang tanah. Adakalanya definisi itu singkat saja, namun ada pula yang cukup panjang. Namun definisi yang dikemukakan disini merupakan kombinasi yang dibuat oleh Jooffe dan Marbut termasuk dua ahli ilmu tanah yang kenamaan dari Amerika Serikat.

“Tanah adalah tubuh alam (natural body) yang terbentuk dan berkembang sebagai akibat bekerjanya gaya-gaya alam (natural forces) terhadap bahan-bahan alam (natural material) di permukaan bumi”.

Tubuh alam ini dapat berdifferensiasi membentuk horizon-horizon mineral (anorganik) maupun organik yang kedalamannya beragam dan berbeda-beda sifat-sifatnya dengan bahan induk yang terletak di bawahnya dalam hal morfologi, komposisi kimia, sifat-sifat fisis, maupun kehidupan biologisnya. Definisi di atas lebih bersifat deskriptif (penyifatan) namun ada tiga hal yang perlu dicatat ialah bahwa :

- (1) tanah itu terbentuk dan berkembang dari proses-proses alami,
- (2) adanya differensiasi profil tanah membentuk horizon-horizon
- (3) terdapat perbedaan yang menyolok antara sifat-sifat bahan induk dengan horizon-horizon tanah yang terbentuk, terutama dalam hal morfologi, kimiawi, fisis dan biologis.

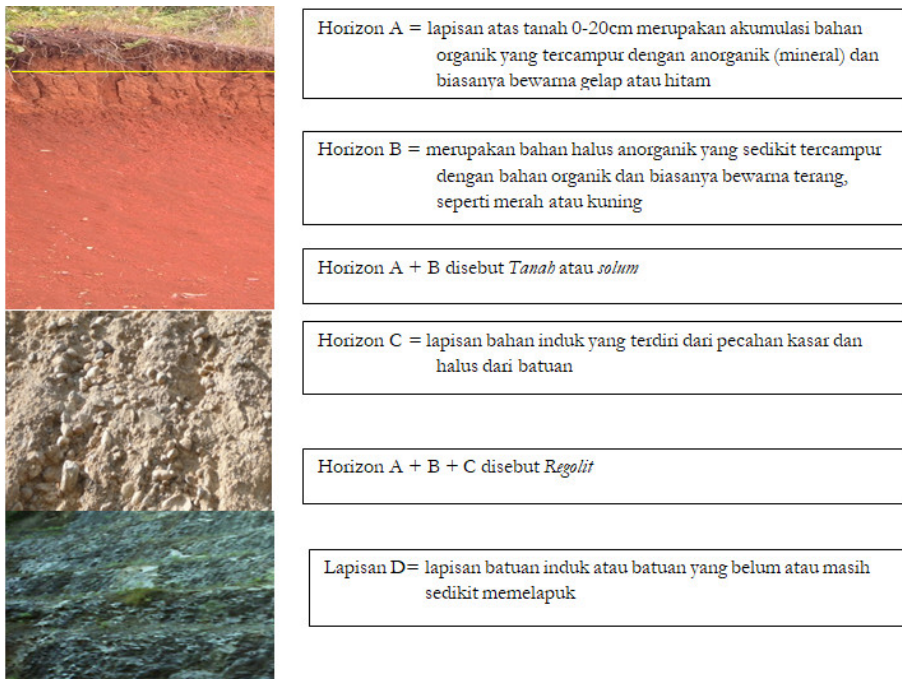
Dikaji dari sudut ilmu pertanian, tanah merupakan medium alam

untuk pertumbuhan tanaman. Tanah menyediakan unsur-unsur hara sebagai makanan tanaman untuk pertumbuhannya. Selanjutnya unsur hara diserap oleh akar tanaman dan melalui daun diubah menjadi persenyawaan organik seperti karbohidrat, protein, lemak, vitamin dan lain-lain yang amat berguna bagi kehidupan manusia dan hewan.

Tidak jauh berbeda dari definisi di atas adalah definisi yang diajukan oleh Schoeder (1972).

Tanah adalah suatu sistem tiga fase yang mengandung air, udara, bahan-bahan mineral dan organik serta jasad-jasad hidup, yang karena pengaruh berbagai faktor lingkungan terhadap permukaan bumi dan kurun waktu, membentuk berbagai hasil perubahan yang memiliki ciri-ciri morfologi yang khas, sehingga berperan sebagai tempat tumbuh bermacam-macam tanaman.

Untuk dapat memahami pengertian tanah secara lebih mudah dapat dijelaskan dengan memperhatikan penampang vertikal (irisn tegak) dari suatu tubuh tanah (Gambar 1.1)



Gambar 1.1 Penampang tegak (vertikal) atau profil suatu tanah

Tanah terbentuk dari bahan-bahan berupa bahan mineral dan organik, air serta udara yang tersusun di dalam ruangan yang membentuk tubuh tanah. Akibat berlangsungnya proses pembentukan tanah itu, maka terjadilah perbedaan morfologi, kimia, fisis dan biologis dari tanah yang berbeda-beda pula.

Berdasarkan Gambar 1.1 dapat dinyatakan bahwa yang dimaksud dengan tanah adalah horizon A dan B yang disebut juga *solum*. Solum tersebut lah yang menjadi media tumbuh tanaman yang utama. Di atas tanah tersebut akar tanaman mencengkeram dan mengambil zat makanan atau unsur hara bagi tanaman. Oleh karenanya bagi orang pertanian, definisi tanah dapat disempurnakan sebagai berikut:

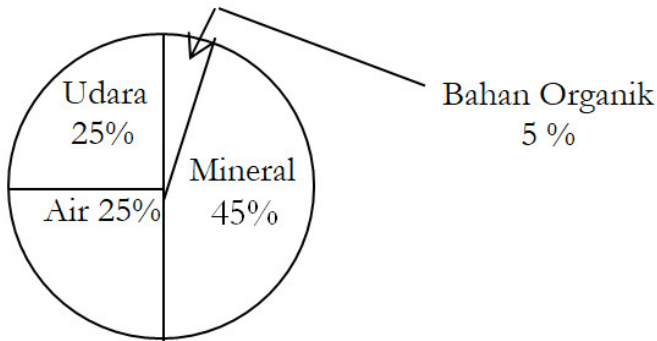
“Tanah adalah tubuh alam yang terbentuk dan berkembang sebagai akibat bekerjanya gaya-gaya alam terhadap bahan-bahan alam dipermukaan bumi, dan mejadi media tumbuh, serta menyediakan hara bagi tanaman”. Oleh karenanya tanah harus digemburkan dan disuburkan secara terus menerus.

Bagi orang teknik sipil tanah atau solum tersebut adalah tempat berdirinya berbagai ragam bangunan, seperti rumah, gedung, industri, jalan, jembatan, serta bangunan fisik lainnya. Oleh karena itu, tanah harus dipadatkan, sehingga bangunan menjadi kokoh. Bagi orang pertambangan, solum itu adalah bagian yang menutupi bahan tambang pada umumnya, karenanya tanah harus dibuang atau disingkirkan.

Meskipun dalam pemanfaatan tanah atau solum terdapat perbedaan yang sangat nyata, tetapi yang dimaksud dengan tanah adalah sama, yaitu horizon A dan B. Tanah dapat menjadi media tumbuh tanaman, dapat pula untuk mendirikan bangunan bagi berbagai fasilitas yang diperlukan manusia, dan dapat pula dibuang guna mengambil bahan tambang yang hasilnya lebih tinggi, dan semuanya itu untuk keperluan manusia.

1.3 Susunan Utama Tanah

Tanah terdiri atas empat komponen utama ialah bahan anorganik (mineral), bahan organik, udara dan air tanah. Pada Gambar 1.2. diperlihatkan susunan utama tanah berdasarkan volume dari suatu jenis tanah dengan tekstur lempung berdebu dengan perbandingan bahan padat dan ruang (rongga) udara tanah 1 : 1.



Gambar 1.2 Susunan utama tanah atas dasar volume pada tanah bagian permukaan dengan tekstur lempung berdebu dengan catatan tanaman tumbuh dengan baik pada tanah ini.

Dari Gambar 1.2 terlihat tanah mengandung 50% ruang pori-pori (pore space) tersusun dari udara dan air. Volume fase padat menempati lebih kurang 45% bahan mineral tanah dan 5% bahan organik. Ini adalah komposisi ideal suatu tanah yang akan memberikan pertumbuhan optimal bagi tanaman. Pada kandungan air yang optimal untuk pertumbuhan tanaman, maka persentase ruang pori-pori yang disebutkan di atas (50%), biasanya 25% dari ruang itu diisi oleh air dan 25% lainnya diisi oleh udara.

Di bawah kondisi alami perbandingan udara dan air ini selalu berubah-ubah, tergantung kepada cuaca dan faktor lainnya. Bahan penyusun tanah yang disebutkan terdahulu yakni bahan-bahan mineral dan organik serta air saling bercampur di dalam tanah sehingga sukar dipisahkan satu dengan yang lainnya.

Mineral (anorganik) di dalam tanah yang berasal dari pecahan-pecahan batu-batuan yang berukuran kecil serta jenis mineral lainnya, merupakan sumber hara potensial dan dapat menyediakan hampir semua unsur hara kecuali nitrogen. Ukuran mineral-mineral anorganik ini amat bervariasi dari yang berukuran kecil seperti klei, hingga berukuran besar seperti pasir dan kerikil. Ukuran koloid klei itu demikian kecil, sehingga hanya dapat dilihat dengan mempergunakan mikroskop elektron, sedangkan jenis dan sifat-sifat koloid klei itu dapat diselidiki dengan sinar-X (X-Ray Diffraction) dan metoda lainnya.

Mineral-mineral tanah ada yang mudah lapuk, ada pula yang sukar lapuk seperti pasir kwarsa. Bahan organik, yang belum, atau yang sudah

melapuk merupakan sumber unsur N yang utama di dalam tanah. Hasil pelapukan bahan organik antara lain adalah berbagai unsur hara, air dan humus yang bersama-sama dengan koloid klei adalah bahan aktif dalam tanah sebagai gudang atau bank penyimpanan atau pelepasan unsur hara bagi tanaman.

1.4 Tanah Sebagai Sumberdaya Alam

Perubahan-perubahan cara penggunaan atau pemakaian tanah serta intensitasnya, pada hakekatnya adalah bagian dari riwayat perkembangan kemajuan pertanian. Suatu uraian singkat dari perubahan ini akan menolong kita dalam menilai sistem-sistem dimasa yang akan datang.

Di zaman dulu, di waktu manusia masih belum lagi mengenal bercocok tanam, untuk memenuhi kebutuhannya sehari-hari, manusia mengumpulkan makanan yang berasal dari tumbuhan-tumbuhan dan berburu binatang di hutan-hutan, dan menangkap ikan di perairan.

Di benua Asia bagian Barat, lebih kurang 8.000 tahun sebelum Masehi, manusia telah mengenal bercocok tanam dan memelihara binatang di tanah-tanah subur yang dikelilingi perbukitan berhutan. Perubahan pola kehidupan dari masyarakat pengumpul makanan menjadi masyarakat penghasil makanan pada mulanya hanya bertujuan untuk memproduksi makanan untuk kebutuhan sendiri. Kira-kira 4.000 tahun sebelum Masehi dimulailah penggunaan jaringan-jaringan irigasi pada dataran banjir (flood-plain) di selatan Mesopotamia. Oleh karena demikian suburnya tanah di sini, menyebabkan kota-kota muncul di sekitarnya.

Di daerah tropik dewasa ini masih banyak dijumpai petani-petani yang masih bertani dengan cara tradisional dengan "*system ladang berpindah-pindah*" (shifting cultivation). Teknik bercocok tanam yang baik masih belum diketahui. Pada sistem ini seorang petani memerlukan areal yang luas untuk dapat memenuhi kebutuhannya.

Pada sistem ini setelah hutan ditebang lantas dilakukan pembakaran dan seterusnya ditanami untuk jangka waktu yang pendek. Ketika hasil tanaman mulai turun, tanah ini ditinggalkan dan dicari lahan baru yang masih subur. Cara seperti ini berlangsung terus. Tanah yang ditinggalkan ini akan diusahakan lagi setelah periode waktu 10 hingga 20 tahun berikut, ketika kesuburan tanahnya telah pulih kembali. Sebenarnya, system ladang berpindah merupakan cara yang relative mudah dan murah dalam mengembalikan kesuburan tanah sekiranya lahan masih sangat luas dengan

penduduk masih sedikit. Persoalannya muncul ketika jumlah penduduk terus bertambah, sedangkan lahan tidak pernah bertambah.

Ketika itu penerapan teknologi maju belum lagi dikenal, seperti pemupukan, pemberantasan hama penyakit, penggunaan irigasi dan pengolahan tanah yang baik. Ketika jumlah penduduk semakin berkembang, dengan luas lahan yang tetap, maka pertanian berpindah tidak lagi mencukupi kebutuhan manusia. Saat itu penerapan teknologi pertanian yang maju dibutuhkan.

Sehubungan dengan hal itu, sejak abad ke dua puluh, penerapan teknologi maju di bidang pertanian telah diterapkan dalam rangka peningkatan hasil. Penerapan inovasi-inovasi baru terus dilakukan untuk menggantikan cara-cara lama yang kurang menguntungkan. Para petani dewasa ini sudah banyak yang mengetahui untuk memilih tanaman apa yang cocok untuk suatu tanah serta iklim yang serasi dalam kehidupan tanaman itu.

Dalam penerapan teknologi maju, petani telah diperkenalkan dengan pupuk sintetis (pupuk yang diproses secara khusus di pabrik). Dasarnya adalah bahwa tanah yang secara terus-menerus ditanami tanpa diimbangi dengan pemupukan atau penambahan hara ke dalam tanah akan mengakibatkan kemerosotan kesuburan tanahnya, sekaligus menurunkan produksi. Di Florida, Amerika Serikat misalnya tanaman citrus ditanam pada tanah-tanah berpasir yang tidak subur secara alami, tetapi dengan introduksi teknologi maju, seperti penggunaan pupuk sintetis dalam pengelolaannya, tanaman citrus dapat tumbuh dengan subur dan berproduksi tinggi. Dengan teknologi maju juga, tanah-tanah organik untuk daerah ini digunakan untuk menanam sayuran. Penggunaan rumah kaca dalam memproduksi kebutuhan manusia akan makanan telah pula berhasil di beberapa negara yang beriklim dingin.

Dengan demikian, manusia telah berhasil mengubah sifat-sifat tanah sesuai dengan kehendaknya dalam rangka menghasilkan kebutuhan hidupnya seperti makanan, obat-obatan, sandang, dan papan. Tanah sebagai sumber daya alam telah dimanfaatkan sebaik-baiknya untuk kesejahteraan manusia. Penekanan yang diberikan Ilmu Tanah Modern pada hakekatnya adalah bagaimana usaha-usaha pertanian dijalankan agar sifat-sifat tanah dapat diubah atau diatur, sehingga serasi untuk pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimal sepanjang masa.

Pertanyaan yang selalu timbul adalah “berapa banyakkah masukan (input) termasuk pupuk mesti digunakan pada tanah tertentu untuk mampu memproduksi hasil pertanian dengan keuntungan besar sepanjang masa?”.

Banyak bukti dilaporkan, bahwa dengan penerapan teknologi masa kini, jatah makanan seseorang itu dapat dihasilkan oleh suatu areal tanah yang justru lebih kecil dari luas rumah dan pekarangannya. Namun, suatu hal yang penting dicatat, ialah tidak sedikit orang mulai cemas akan pengaruh teknologi maju itu terhadap merosotnya kualitas lingkungan. Hal ini harus menjadi perhatian yang serius dalam menerapkan teknologi maju. Kata kuncinya adalah “*Hasil pertanian harus tetap tinggi sepanjang masa, tanpa merusak lingkungan hidup*”

1.5 Sejarah Perkembangan Ilmu Tanah

Sejarah dimulainya perkembangan ilmu tanah masih belum diketahui dengan jelas. Ahli sejarah bangsa Yunani, Xenophon (234 – 149 B.C.) dianggap merupakan orang yang pertama kali melaporkan hasil catatannya tentang pengaruh pembenaman sisa-sisa tanaman kacang-kacangan kedalam tanah. Ia melaporkan bahwa “*jika sisa tanaman (yang terdiri dari jenis kekacangan) ditanamkan ke dalam tanah, maka mereka akan menyuburkan tanah, sama seperti pemakaian kotoran binatang, yang kemudian dikenal sebagi pupuk kandang*”.

Cato (234 – 149 B.C.) menulis dalam buku penuntun praktek pentingnya sistem penggiliran tanaman dengan penanaman legum untuk perbaikan kesuburan tanah, dan penggunaan pupuk kandang dalam pertanian. Cato pulalah orang yang dianggap pertama kali mengklafikasikan lahan menurut tanaman yang cocok untuk suatu tanaman.

Klasifikasi lahan yang dilaporkannya, antara lain :

1) Lahanhan untuk tanaman anggur	6) Lahan untuk tanaman jagung
2) Lahan untuk kebun (land for garden)	7) Lahan untuk tanaman pinus
3) Lahan untuk tanaman willow	8) Lahan untuk “small trees”
4) Lahan untuk tanaman olive	9) Lahan untuk tanaman oak
5) Lahan untuk “Meadow”	

Daya guna turnip untuk peningkatan produksifitas tanah telah dilaporkan oleh Columella lebih kurang tahun 45 Masehi. Columella memberikan pupuk kandang kepada lahan tanaman turnip. Seterusnya sisa-sisa panen tanaman turnip dibenam ke dalam tanah ketika dilakukan pengolahan tanah, setelah itu baru ditanam jagung. Columella pulalah yang pertama kali melaporkan pentingnya drainase tanah, penggunaan abu tanaman, peranan pupuk hijau *clover* dan *lucerne* dalam peningkatan produktifitas tanaman.

Sejarah seterusnya mencatat, bahwa setelah bangsa Romawi, hampir semua peneliti pertanian ditangkap dan dipenjarakan. Aktivitas penelitian dimulai kembali menjelang penutupan abad ke 16.

Sebuah percobaan klasik telah dilakukan oleh Jan Baptiste van Helmont (1577 – 1644) di negeri Belanda. Ia menanam willow seberat 5 pound ke dalam suatu tanah seberat 200 pound (atas dasar berat kering tetap). Tanaman ini hanya diberi air saja selama 5 tahun. Menjelang akhir percobaan Ia menimbang tanah tempat penanaman willow, dan ternyata kehilangan tanah hanya sebesar 2 ons saja, tetapi berat pohon willow sendiri adalah 169 pound kurang 3 ons. Helmont berpikir, jika selama ini Ia hanya memberikan air kepada tanaman willow, maka pertambahan berat pohon willow itu jelas disebabkan oleh air. Oleh karena itu, Helmont berkesimpulan bahwa prinsip vegetasi adalah “air” *Helmont dikenal sebagai peneliti pertanian pertama di dunia.*

Meskipun percobaan Helmont saat itu dipandang maju, tetapi pendapatnya itu akhirnya dibuktikan salah. Hal itu dapat dijelaskan dalam dua hal, yaitu :

- (1). Kehilangan berat tanah sebanyak 2 ons yang diabaikan oleh van Helmont, sebenarnya terdiri dari kalsium, kalium, fosfor, dan lain-lain yang diserap oleh akar willow dari tanah. Jika Helmont membakar seluruh willow pada akhir percobaan, maka Ia akan memperoleh di dalam abu unsur-unsur hara yang disebutkan tadi.
- (2). Pohon willow terdiri atas karbon yang berasal dari karbon dioksida (CO_2) dan demikian pula oksigen yang berasal dari atmosfer. Helmont pada saat itu belum mengetahui bahwa tanaman mensintesisakan persenyawaan-persenyawaan organik didalam daun berasal dari karbon dioksida.

Jethro Tull (1674-1741) dari Oxford – Inggris, menyimpulkan bahwa pertumbuhan dan hasil tanaman tidak hanya ditentukan oleh air, tetapi ditentukan oleh tanah. Oleh karena itu, tanah harus dihaluskan, sehingga mudah masuk ke dalam akar tanaman. Tull menulis sebuah buku dengan judul “*Horse Hoeing Husbandry*” yang berisi tentang alat-alat pengolahan tanah.

Baron Justus Van Liebig (1803-1873), seorang ahli kimia bangsa Jerman percaya bahwa dengan menganalisis unsur kimia dalam bagian-bagian tanaman ia dapat memformulasikan unsur-unsur hara didalam pupuk yang dapat ditambahkan ke dalam tanah pada periode tanam berikutnya. Ia juga mengembangkan “Hukum Minimum” (Law of the Minimum), yang menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman itu dibatasi oleh unsur hara esensial yang berada pada tingkat konsentrasi terendah dari kebutuhan tanaman. Kemudian dikenal sebagai *Hukum Minimum Liebig*.

Pada tahun 1840 Liebig menerbitkan buku yang berjudul “Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology”. Thesisnya menyimpulkan bahwa unsur karbon untuk tanaman berasal dari karbon-dioksida atmosfer, hydrogen dan oksigen berasal dari udara dan air, sedangkan nitrogen dari ammonia. Liebig juga menyatakan bahwa unsur fosfat sangat penting dan berperan dalam pembentukan biji-bijian dan unsur kalium berpengaruh terhadap perkembangan tanaman rumput-rumputan dan cereals. *Liebig pula yang mengawali pembuatan pupuk sintetik P dari tulang belulang.*

Tahun 1843, J.B. Lawes dan J.H. Gilbert telah membangun sebuah “Kebun Percobaan Pertanian” tertua di Rothamsted – Inggris. Letak lembaga ini hanya beberapa mil dari London. Stasiun percobaan ini telah meletakkan dasar-dasar teknik penelitian modern untuk tanah dan pertumbuhan tanaman. Pada tahun 2000 Nurhajati Hakim (penulis) pernah berkunjung ke Rothamsted untuk mengetahui sejarah kebun percobaan pertanian tertua di dunia tersebut. Penulis mendapatkan pelajaran yang amat berharga setelah memperhatikan betapa buruknya pertumbuhan tanaman pada petak kontrol yang ditanami terus menerus tanpa pernah diberi masukan pupuk sejak kebun percobaan itu dibangun pada 1843.

Sekitar tahun 1870, Dokuchaev seorang Rusia mengembangkan metode studi tanah di lapangan dalam hubungannya dengan iklim, fisiografi dan lingkungan biotis. Hasil kerja Dokuchaev dinilai sebagai

dasar morfologi tanah modern, demikian pula klasifikasi tanah dan survai tanah.

Ewald Wollny dari Jerman antara tahun 1879 sampai tahun 1898 melaksanakan riset-riset yang berkaitan dengan hubungan-hubungan tanah-tanaman-udara-air serta sifat-sifat tanah dan erosi. Dari hasil penelitiannya ini Wollny dapat dianggap sebagai “Bapak Pengawetan Tanah”.

F.H. King dari Wisconsin – Amerika Serikat pada tahun 1899 telah menerbitkan buku yang berjudul “Physics of Agriculture” yang didasarkan sebagian besar dari hasil penelitiannya.

Tanah di Indonesia mulai diteliti sejak zaman penjajahan Belanda, sesuai dengan kebutuhan mereka, terutama untuk tanaman perkebunan. Go Ban Hong salah seorang Guru Besar dari IPB dikenal sebagai peneliti pertama tentang “neraca hara tanaman padi” (1956). Tahun 1964, IPB mulai memperkenalkan Panca Usaha (pengolahan tanah yang tepat, irigasi yang teratur, bibit unggul, penggunaan pupuk sintetis, serta pengendalian hama dan penyakit) dalam meningkatkan hasil padi, dalam bentuk petak percontohan (demonstrasi plot) di daerah penghasil beras Kerawang. Kemudian, pada 1965 dilanjutkan dengan proyek bimbingan masal (BIMAS). Pada Tahun 1966, Nurhajati Hakim ikut menjadi Pembimbing BIMAS dalam penerapan Panca Usaha di Muara Pingai Solok (Sumatera Barat) dan pada tahun 1969 di Balimbing Batusangkar (Sumatera Barat). Hasil penerapan panca usaha melalui BIMAS berkembang pesat dengan peningkatan hasil padi yang sangat nyata. *Setelah 20 tahun melaksanakan BIMAS pancausaha tani, dengan sangat mencengangkan Indonesia berhasil berswasembada beras, tepatnya pada tahun 1984 dan mendapat penghargaan dari FAO.*

Tahun 1984 Departemen Pertanian berhasil memperbaiki produktivitas tanah masam di berbagai daerah transmigrasi di Indonesia dengan Teknologi Pengapuran Terpadu. Teknologi Pengapuran Terpadu (kapur+pupuk sintetis+bahan organik) tersebut merupakan hasil kajian yang mendalam oleh Nurhajati Hakim (Universitas Andalas) dan Slamet Setyono (Universitas Brawijaya) dalam menyelesaikan studi Doktor mereka (1979-1982) di bawah bimbingan Prof.Dr. Goeswono Soepardi pada Pascasarjana IPB. Penerapan Teknologi Pengapuran Terpadu pada tanah masam tersebut telah mengantarkan Indonesia berswasembada kedelai pada tahun 1992.

Mengingat 60 % dari tanah Indonesia adalah tanah masam yang miskin, maka Nurhajati Hakim melanjutkan penelitiannya pada tanah masam selama 20 tahun. Akhirnya, pada tahun 2006 Ia berhasil menghimpun hasil penelitiannya dalam sebuah buku teks yang berjudul “*Pengelolaan Kesuburan Tanah Masam dengan Teknologi Pengapuran Terpadu*”. Teknologi Pengapuran Terpadu (TPT) adalah kombinasi input penyubur tanah berupa kapur, pupuk sintetis, dan bahan organik. Kapur untuk meningkatkan pH tanah atau mengurangi kemasaman tanah, pupuk sintetis untuk menyediakan unsur hara secara cepat dan akurat, sedangkan bahan organik untuk memperbaiki fisik tanah, mengawetkan tanah, mengawetkan unsur hara dan kapur, serta mengurangi pemakaian pupuk sintetis.

Namun demikian, ternyata pengadaan dan transportasi bahan organik dalam jumlah besar tidak mudah dan tidak murah. Oleh karena itu, Nurhajati Hakim dan Agustian, bersama mahasiswanya melakukan serangkaian penelitian selama 12 tahun (2000-2012) guna mencari sumber bahan organik yang banyak dan dapat dihasilkan insitu (meniadakan biaya transportasi) dengan mudah. Hasil penelitiannya ditulis dalam sebuah buku yang diberi judul “*Titonia untuk Pertanian Berkelanjutan*” (Nurhajati Hakim dan Agustian, 2012). Hasil penelitian mereka dapat diringkas berikut ini. Titonia bisa dibudidayakan dipinggir lahan usaha tani, atau di pinggir jalan usaha tani, atau pada 1/5 lahan usahatani, mampu mengurangi erosi dan dapat dipangkas setiap 2 bulan. Dengan teknik budidaya pada 1/5 lahan usaha tani tersebut (0,2Ha Titonia dalam 1,0 Ha lahan), Titonia mampu menghasilkan 6 - 7 ton bahan kering (30-35 ton bahan organik segar/tahun). Bahan kering tersebut mampu menghasilkan sebanyak 185kg N, 20 kg P, dan 186 kgK /tahun, sehingga mampu mengurangi penggunaan pupuk NPK sintetis 25 – 50 % dari kebutuhan tanaman usaha tani. Hasil Titonia dari 1/5 (20%) lahan tersebut cukup untuk menyuburkan 4/5 (80%) lahan usaha tani secara berkelanjutan.

1.6 Ringkasan

Tanah merupakan sumber kehidupan manusia karena dari tanah dihasilkan bahan makanan, bahan pakaian, dan papan, serta berbagai keperluan lainnya.

Tanah didefinisikan sebagai tubuh alam yang memiliki sistem tiga fase yang mengandung air, udara, bahan-bahan mineral dan bahan organik serta jasad-jasad hidup, yang karena pengaruh berbagai faktor lingkungan

terhadap permukaan bumi dan kurun waktu membentuk berbagai hasil perubahan yang memiliki ciri-ciri yang khas, sehingga berperan sebagai tempat tumbuh bermacam-macam tanaman.

Tanah tersusun dari bagian padat yang terdiri dari bahan-bahan mineral (45%) dan bahan organik (5%), air (25%), dan udara (25%) yang berperan dalam pertumbuhan tanaman. Dalam kondisi alam, perbandingan udara dan air selalu berubah-ubah, tergantung pada iklim dan faktor lainnya.

Tanah merupakan sumberdaya alam yang selamanya dapat dimanfaatkan untuk kesejahteraan umat manusia. Tanah dapat digunakan untuk media tumbuh tanam-tanaman yang mampu menghasilkan bahan makanan, sandang, papan, obat-obatan serta keperluan lainnya. Hewan juga tergantung hidupnya pada tanaman yang tumbuh pada tanah dan dapat memproduksi susu, daging, dan pakaian untuk memenuhi kebutuhan manusia.

Dalam mempelajari sejarah perkembangan Ilmu Tanah, perlu dicatat nama-nama seperti Xenophon yang membenamkan sisa tanaman, Cato yang menganjurkan pergiliran tanaman dengan legume. Van Helmont sebagai peneliti pertanian pertama, yang menyatakan prinsip hidup tanaman adalah air. Tull yang menyatakan bahwa makanan utama tanaman adalah tanah, tetapi memerlukan air, udara, dan nitrat dari tanah. Liebig dikenal sebagai penulis buku kimia pertanian dan Hukum Minimum Liebig. Dokuchaev mengembangkan metode studi tanah di lapangan. Wollny sebagai bapak pengawetan tanah. Go Ban Hong sebagai peneliti Neraca Hara Padi Sawah di Indonesia. Goeswono Soepardi, bersama Nurhajati Hakim dan Slamet Setijono sebagai penyempurna dan penganjur Teknologi Pengapuran Terpadu untuk memperbaiki kesuburan tanah masam di Indonesia. Selanjutnya Nurhajati Hakim dan Agustian 2012 sebagai penemu Titonia untuk Pertanian Berkelanjutan di Indonesia.

Daftar Bacaan

- Buckman, H.O dan N.C. Brady, 1969, *The nature and Properties of Soils*, The Mac Millan Company.
- Foth, H.D dan L.M. Turk, 1972, *Fundamentals of Soil Science*, Fifth Ed, John Wiley & Sonns, Inc.
- Nurhajati Hakim 2006. *Pengelolaan Kesuburan Tanah Masam dengan Teknologi Pengapuran Terpadu*
- Nurhajati Hakim dan Agustian 2012. *Titonia untuk Pertanian Berkelanjutan*.

Contoh Soal untuk pendalaman materi:

1. Tuliskan definisi tanah menurut Joffe dan Marbut. Coba Anda tulis apa yang dimaksud dengan tanah bila dihubungkan dengan pertanian.
2. Apakah ada hubungan antara tanah dengan standard kehidupan manusia ? jika ada jelaskan hubungan itu.
3. Uraikan susunan utama tanah. Apakah sifat-sifat tanah itu tidak berubah, jika perbandingan persentase air dan udara berubah ?
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan “tanah sebagai sumber daya alam” dan jelaskan pula “tanah sebagai sumber kehidupan manusia”.
5. Kenapa Justus Von Liebig termasuk orang yang sering disebut-sebut dalam membicarakan sejarah Ilmu Tanah?.

BAB II

PEMBENTUKAN TANAH

Studi perihal tanah di setiap lokasi di permukaan bumi memperlihatkan lima faktor utama yang mengendalikan pembentukan tanah. Kelima faktor itu adalah (1) bahan induk, (2) iklim, (3) jasad hidup, (4) topografi atau relief, dan (5) waktu. Iklim dan jasad hidup disebut faktor aktif, sedangkan 3 lagi faktor pasif.

Kelima faktor ini tidak sama pengaruhnya terhadap tanah yang terbentuk. Meskipun beberapa faktor diantaranya amat berpengaruh dalam menentukan perkembangan tanah di bawah kondisi tertentu, tetapi semua faktor tersebut berhubungan erat satu sama lain. Jenny mengekspresikan hubungan antara sifat-sifat tanah dengan faktor-faktor itu menurut persamaan berikut : $S = f(p, cl, b, r, t)$.

Keterangan: S = sifat-sifat tanah, misalnya kandungan klei, dll

f = fungsi atau ketergantungan kepada faktor

p = parent material (bahan induk)

cl = climate (iklim)

b = biosfor (jasad hidup : vegetasi, organisme, manusia)

r = relief (topografi)

t = time (waktu)

Bila di Indonesiakan persamaan tersebut dapat ditulis menjadi

$$T = f(bi, ik, jh, t, w).$$

Dalam hal ini tanah (T) adalah fungsi dari bahan induk (bi), iklim (ik), jasad hidup (jh), topografi (t), dan waktu (w). Setiap sifat tanah itu merupakan fungsi dari pengaruh kolektif semua faktor pembentuk tanah. Joffe membagi faktor-faktor pembentuk tanah ke dalam dua kelompok, yaitu :

- a. **Faktor pasif**, meliputi sumber massa pembentuk tanah dan kondisi-kondisi yang mempengaruhinya. Kelompok ini terdiri atas bahan induk, topografi dan waktu.
- b. **Faktor aktif**, meliputi agent-agent yang menyediakan energi yang bekerja diatas massa padat untuk menyelenggarakan proses-proses pembentukan tanah. Kelompok ini meliputi iklim dan jasad hidup.

Guna memudahkan pemahaman tentang pembentukan tanah, berikut ini uraian akan dibagi menjadi lima sub-bab tentang faktor pembentuk tanah sebagai berikut :

- 2.1. Faktor Bahan Induk
- 2.2. Faktor Iklim
- 2.3. Faktor Jasad Hidup
- 2.4. Faktor Topografi
- 2.5. Faktor Waktu

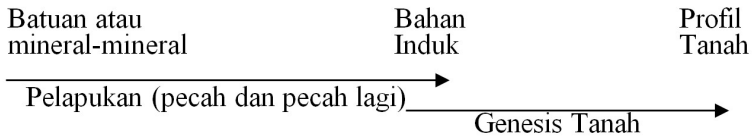
Kemudian dilanjutkan 2 butir lagi yaitu :

- 2.6. Proses Pembentukan Tanah
- 2.7. Perkembangan Profil Tanah

2.1 Faktor Bahan Induk

Bahan induk tanah dapat dikelompokkan berdasarkan senyawa kimia penyusunnya, dan dapat pula berdasarkan asalnya. Berdasarkan senyawa kimianya, bahan induk tanah dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu “anorganik” berupa batuan atau kumpulan mineral, dan bahan “organik” atau sisa makhluk hidup. Tanah yang berasal dari batuan disebut “**tanah mineral**”, sedangkan yang dari bahan organik disebut “**tanah organik**” atau tanah gambut.

Namun demikian, pada umumnya, tanah yang terbentuk di permukaan bumi secara langsung ataupun tidak, berkembang dari bahan **mineral** atau **batuan** yang dikenal pula sebagai lapisan batuan atau *litosfir*. Batuan adalah istilah untuk batu dalam volume besar. Istilah “batuan” selanjutnya akan digunakan untuk menggantikan istilah bebatuan. Melalui proses pelapukan, baik secara fisika maupun kimia dibantu oleh pengaruh atmosfer, maka batuan berdesintegrasi dan terdesintegrasi menghasilkan bahan induk lepas. Selanjutnya, dibawah pengaruh proses-proses pedogenik berkembang menjadi tanah. Dalam pembentukan tanah, terdapat dua proses yaitu proses “pelapukan” berupa perubahan batuan induk menjadi bahan induk, dan proses “genesis” berupa sintesis dari bahan induk menjadi tanah. Proses tersebut dapat dilukiskan sebagai berikut :



Proses pembentukan tanah berlangsung lebih cepat dibawah kondisi tropis basah, dalam hal ini suhu tinggi dan curah hujan besar, dibandingkan dengan pembentukan tanah di daerah temperate (suhu rendah, dan curah hujan rendah) yang relatif lebih lambat. Fase padat tanah merupakan sumber hara potensial untuk pertumbuhan tanaman. Kandungan unsur kimia dalam litosfir yang penting bagi pertanian disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kadar beberapa unsur di dalam litosfir (lapisan batuan)

Nomor Atom	Simbul Unsur	Nama Unsur	Jumlah (mg/kg)	Nomor atom	Simbul Unsur	Nama Unsur	Jumlah (mg/kg)
1.	H	hidrogen	-	23	V	vanadium	150
5.	B	boron	10	25	Mn	mangan	1.00
6.	C	karbon	320	26	Fe	ferum	50.00
7.	N	nitrogen	-	27	Co	kobal	40
8.	O	oksigen	446.000	29	Cu	kupri	70
11.	Na	natrium	28.000	30	Zn	zink	80
12.	Mg	magnesium	20.900	33	As	arsen	5
13.	Al	aluminium	81.300	34	Se	selenium	0,09
14.	Si	silikon	277.200	35	Br	brom	2,5
15.	P	fosfor	1.200	37	Rb	rubidium	280
16.	S	sulfur	520	38	Sn	stannum=timah	150
17.	Cl	khlor	480	42	Mo	molibdenum	2,3
20.	Ca	kalsium	25.900	53	J	yodium	0,3
21.	Sc	scandium	5	56	Ba	barium	430

Konsentrasi unsur-unsur itu menunjukkan cadangan maksimum dari unsur hara untuk tanaman, diluar yang bersumber dari atmosfer dan hidrosfir, seperti unsur-unsur C, H, O, dan N dan dalam jumlah terbatas unsur S. Unsur kimia tersebut terdapat dalam bentuk senyawa mineral primer, mineral sekunder, oksida-oksida bebas, garam-garam, serta bahan organik. Oksida-oksida dapat berupa mineral primer ataupun sekunder, sedangkan karbonat selalu dijumpai dalam bentuk mineral sekunder.

Mineral primer adalah mineral yang terbentuk dari pembekuan magma yang mempunyai susunan kimia asli (belum berubah). Mineral primer biasanya dijumpai dalam fraksi tanah kasar lebih besar dari 2 mikron. Mineral sekunder ialah mineral yang terbentuk dari pembekuan kembali hasil pelarutan mineral primer, atau hasil pelarutan bangkai hewan, sehingga susunan kimianya berubah.

Susunan kimia dari beberapa mineral primer utama tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2. Dari Tabel ini jelas bahwa unsur hara Ca, Mg, K, dan Fe banyak terdapat di dalam mineral primer, tetapi P ditemukan dalam jumlah yang sedikit. Sementara itu yang menarik adalah tidak ditemukannya unsur N dan S.

Tabel 2.2 Susunan kimia beberapa mineral primer yang utama dalam tanah (%)

Mineral	SiO ₄	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Kwarsa	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ortoklas	62-66	18-20	-	-	-	0-3	-	9-15	9-4	-
Albit	61-70	19-26	-	-	-	0-9	-	0-4	6-11	-
Anortit	40-45	28-37	-	-	-	10-20	-	0-2	0-5	-
Muskovit	44-46	34-37	0-2	0-4	-	-	0-3	8-11	0-5	-
Biotit	33-36	13-30	3-17	5-17	-	0-2	2-20	6-9	-	-
Horn-blende	38-58	0-19	0-6	0-22	-	0-15	2-26	0-2	1-3	-
Augit	45-55	3-10	0-6	1-14	-	16-26	6-20	-	-	-
Olivin	33-43	-	0-3	5-34	-	-	27-51	-	-	-
Epidot	33-40	30-37	0-30	-	-	20-25	-	-	-	-
Apatit	-	-	-	-	-	54-55	-	-	-	46-45
Magnetit	-	-	69	31	-	-	-	-	-	40-42
Turmalin	35-40	30-37	0-10	0-10	-	0-6	0-12	-	0-6	-
Rutil	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
Limonit	-	-	0-10	50	-	-	-	-	-	-

2.1.1 Penggolongan Batuan

Magma merupakan bubur panas berbagai unsur kimia yang terdapat dalam perut bumi. Berbagai unsur kimia dari magma menyusun diri menurut aturan tertentu dan membeku membentuk “mineral” Mineral dapat tersusun dari sejumlah unsur kimia yang sama, misalnya unsur karbon (C) membentuk mineral *intan (sangat keras)* dan *grafit (sangat lembut)*. Mineral dapat pula berupa gabungan dari beberapa jenis unsur kimia yang

berbeda, sehingga terbentuklah berbagai jenis mineral seperti kuarsa (SiO_2), Ortoklas (KAlSi_3O_8), dan Kalsit (CaCO_3). Satu jenis mineral, atau berbagai jenis mineral bergabung dalam aturan tertentu menyusun batu kecil. Batu kecil bergabung menjadi batu besar yang disebut “batuan”. Dengan kata lain, mineral adalah batuan dalam volume kecil, sedangkan batuan adalah mineral dalam volume besar.

Batuan adalah gabungan atau campuran mineral-mineral, sehingga sifat-sifat kimia dan fisika mineral di dalam batuan bervariasi. Dengan dasar genesis dan struktur, batuan itu umumnya dikelompokkan ke dalam tiga kelas, yaitu *batuan beku*, *batuan endapan* dan *batuan metamorf*.

2.1.1.1 Batuan Beku (igneous rock)

Batuan beku (igneous rock) dibentuk oleh proses solidifikasi magma cair yang berasal dari dalam perut bumi. Mereka adalah; (1) **Plutonik** (batuan beku dalam) jika magma itu membeku jauh dibawah tanah atau dekat sarang magma; (2) **Intrusive** (batuan beku gang) jika solidifikasi berlangsung pada gang atau jalan keluar dari magma dan; (3) **Ekstrusif** (batuan beku luar), jika solidifikasi pada permukaan bumi. Contoh : granit, syenit, basalt, andesit, diabase dan gabro.

2.1.1.2 Batuan Endapan (sedimentary rock)

Batuan endapan terbentuk dari konsolidasi atau pengendapan dari larutan atau bahan-bahan halus yang terakumulasi melalui angin atau air pada permukaan bumi. Jika batuan itu terbentuk dari sedimen mekanis disebut Klastik (*Clastic*), misalnya batu pasir dan batu shale. Batuan endapan yang terbentuk melalui reaksi kimia, atau endapan dari pelarutan berbagai bahan disebut batuan endapan kimia. Contoh yang penting adalah batuan kapur, dan batuan garam.

2.1.1.3 Batuan metamorf

Batuan metamorf, dihasilkan dari transformasi batuan beku atau batuan endapan dibawah pengaruh suhu, tekanan, cairan ataupun gas yang aktif, sehingga mengubah kondisi fisiknya. Contoh yang penting adalah **gneiss** dari granit, **marmer** dari batuan kapur, **schist** dari shale, dan **quartzite** dari batuan pasir.

2.1.2 Batuan dapat juga diklasifikasikan atas dasar kandungan silika, seperti :

- 1). Batuan masam, bila mengandung > 65 silika (SiO_2), misalnya granit, rhyolit, dan batuan pasir
- 2). Batuan intermediet, dengan $55 - 65\%$ silika, misalnya syenit, diorit dan andesit.
- 3). Batuan basa, memiliki $< 45\%$ silika, misalnya gabro, basalt, batuan kapur dan diabase. Batuan ini kaya Ca, Mg, Na dan Fe.

Batuan yang mempunyai komposisi mineral yang kompleks, melapuk lebih mudah, sedangkan batuan masam melapuk lebih lambat dibandingkan dengan batuan basa. Kemudahan melapuk dapat diurut sebagai berikut: basalt, gneiss, granit, hornblende dan andesit. Umumnya batuan beku masam menghasilkan tanah dengan kondisi fisik yang bagus, sedangkan batuan basa menghasilkan tanah dengan kondisi kimiawi yang baik. Contohnya tanah basalt adalah kaya akan P dan Ca dibandingkan dengan tanah-tanah dari granit. Batuan endapan umumnya tidak melapuk secepat batuan beku maupun metamorf. Batuan pasir lebih resisten dibandingkan dengan batuan kapur. Tanah-tanah yang berkembang dari batuan induk basa melapuk lebih cepat. Kebanyakan dari batuan yang disebutkan diatas terdapat di daerah Asia tropis. Terutama batuan basalt banyak dijumpai di Asia tropis. Debu vulkan muda dijumpai di Indonesia.

Waktu yang bersamaan, bahan-bahan induk yang bersifat mobil dilapiskan tanah atas akan tercuci kebawah dan sebagian bahan itu akan tertumpuk dan melahirkan horizon B. Setelah mengalami periode waktu yang panjang, maka terbentuklah dengan lengkap horizon-horizon A dan B, yang keduanya memiliki sifat-sifat yang kontras.

Erosi permukaan dapat memindahkan bagian atas top-soil dan sementara itu horizon A dan B terus berkembang dan memperdalam solum. Akhirnya tanah akan berseimbang dengan lingkungannya sehingga terbentuk "*mature soil*". Dibawah horizon B terletak bahan induk yang dikenal sebagai horizon C. Dalam kondisi iklim tropis dimana dekomposisi batuan itu cukup kuat, maka pelapukan itu sampai jauh ke dalam tanah sehingga sukar menemukan batas-batas horizon C.

Perkembangan suatu tanah akan tergantung pula pada jenis bahan induk yang menentukan sifat-sifat dan kimia dari tanah yang dihasilkan.

Pengaruh bahan induk itu amat kentara pada stadia awal dari pembentukan tanah. Dengan terjadinya pencucian yang kuat serta perkembangan lebih mantap dari profil tanah, maka lambat laun pengaruh bahan induk itu terhadap sifat-sifat tanah semakin mengecil.

Batuan beku yang bersifat masam, quartzit dan sand stone biasanya melapuk sangat lambat. Pelapukannya menghasilkan tanah-tanah berpasir kasar dengan status basa yang rendah, klei didominasi oleh kaolinit dan tanahnya tidak subur. Sebaliknya, batuan beku yang bereaksi basa dan batuan sediment, umumnya mudah melapuk dan menghasilkan tekstur tanah lebih halus dengan status basa tinggi, klei didominasi oleh monmorillonit dan tanah umumnya subur.

Bahan induk batuan kapur murni (pure limestone) yang keras biasanya menghasilkan tanah yang berpasir dangkal (Terra Rossa). Sebaliknya, batuan kapur lembut yang tidak murni (impure soft limestones) menghasilkan solum yang agak dalam dan bertekstur yang lebih halus. Di beberapa negara Asia bagian tropis, Andosol (tanah pegunungan tinggi) kadang-kadang dijumpai diatas abu vulkan (vulcanic ash) dibawah kondisi kelembaban yang tinggi.

Asia bagian tropis, pelapukan intensif sering terjadi, akibatnya tanah-tanah yang sama dapat terjadi, meskipun bahan induknya berbeda seperti batuan basal, batuan kapur dan granit. Di daerah tersebut, umumnya tanah berkembang dari batuan granit, gneis, basal, batuan pasir, batuan kapur, abu vulkan, endapan alluvial dan lain-lain.

Tambane dari India telah memperhatikan bahwa tanah hitam (black soil) di India dapat berkembang dari batuan induk yang berlainan seperti basal, batuan kapur, granit, gneis dan claystone dibawah kondisi iklim yang sama. Tanah yang dihasilkan batuan induk ini tidak jauh berbeda dalam hal sifat-sifat fisika dan kimia.

Dahulu bahan induk dipakai sebagai dasar utama dalam klasifikasi tanah dan masih merupakan faktor yang dominan dalam menentukan sifat-sifat tanah yang masih muda. Pada tanah-tanah yang sudah tua, peran bahan induk tidak lagi dominan. Meskipun demikian, bahan induk masih juga dipakai dalam batas-batas tertentu dalam klasifikasi tanah seperti tanah alluvial, basaltic soils, dan limestone soils.

2.1.3 Bahan Induk Berdasarkan Asalnya

Bahan induk dari mana tanah itu berasal dan berkembang dapat digolongkan kedalam bahan induk *residual* dan *angkutan*. Bahan induk residual adalah bahan induk yang asalnya bukan dari tempat lain, tetapi tetap berada ditempat dan tidak berpindah, seterusnya mengalami perkembangan membentuk tanah. Bahan induk angkutan adalah fragmen batuan atau mineral yang terangkut keluar dari tempat asalnya oleh air, angin, es ataupun gaya grafitasi.

Selain daripada itu ada pula bahan induk yang disebut **cumulose** yakni bahan gambut atau muck yang telah terbentuk disuatu tempat yang berasal dari sisa-sisa tanaman yang tidak melapuk sempurna karena sering berada dalam genangan air.

Dibawah ini dikemukakan outline bahan induk yang penting, sebagai berikut :

2.1.3.1 Bahan Induk Residual

- a. Igneous (beku) – granit, basalt dan andesit
- b. Sedemen (endapan) – batu kapur, batu pasir dan shale
- c. Metamorfik (metamorf) – marmar, gneis dan quartzite

Bahan Induk Residual adalah Jika tanah terbentuk dan berkembang ditempat (in place) dari batuan beku, endapan atau metamorf yang terletak dibawahnya, maka tanah-tanah itu dikatakan dari bahan residual. Kebanyakan tanah-tanah lithosol, tanah-tanah kuning yang berasal dari kompleks granit, gneiss dan schist di Orissa (India), tanah Andisol, Oxisol, dan Ultisol di Indonesia dan Pilipina dan tanah Grumosol di Jawa berasal dari bahan induk residual ini.

2.1.3.2 Bahan induk angkutan (transportasi material)

- a. Air sebagai agen
 - (1). Alluvial – endapan dari air mengalir atau sungai
 - (2). Lacustrine – endapan yang berasal dari danau
 - (3). Marine – endapan yang berasal lautan

b. Angin sebagai agen

- (1). Loess
- (2). Aeolian

c. Es sebagai agen

- (1). Moraine
- (2). Till plain
- (3). Outwash plain

d. Gaya grafitasi - colluvial

Bahan Induk Angkutan, seperti telah dikemukakan terdahulu bahwa bahan induk angkutan termasuk di dalamnya bahan induk angkutan oleh air, angin, es dan grafitasi. Yang terpenting dari keempat bahan angkutan ini adalah bahan angkutan oleh air, meskipun pada tempat-tempat tertentu faktor lain yang menjadi dominan.

Bahan induk angkutan oleh air digolongkan ke dalam alluvial, lacustrine atau marine. Bahan-bahan alluvial adalah bahan sedimen yang diendapkan oleh air mengalir, misalnya air sungai yang besar ataupun kecil. Jika bahan itu diendapkan disepanjang pinggir sungai dan secara periodik selalu dilanda banjir, maka hasil endapan itu dinamakan dataran banjir atau *Flood plain*. Endapan-endapan tua yang telah dibentuk lama oleh sungai, tetapi tidak lagi kena pengaruh banjir itu dinamakan *terrace*. Jika kebanyakan sedimen halus yang dibawa aliran sungai itu diendapkan dimuara sungai, maka endapan itu dinamakan *delta*.

Tanah alluvial dan delta banyak dijumpai disekitar maupun dimuara sungai-sungai besar di Sumatera dan Kalimantan. Bahan-bahan lacustrine diendapkan didalam atau di pinggir danau-danau. Bila terjadi depresi dan selanjutnya akibat depresi ini akan terjadi pengisian oleh air, yang lambat laun akan diisi pula oleh endapan mineral, maka terbentuklah lacustrine. Beberapa bahan lacustrine terdapat di daerah tropis Asia termasuk danau-danau di Sumatera dan kamboja.

Bahan-bahan marin terbentuk akibat bahan-bahan yang diangkut sungai-sungai besar dan diendapkan dimuaranya. Semakin lama endapan ini semakin tebal dan muncul kepermukaan air dan terjadi pembentukan tanah setelah endapan itu mengalami pelapukan.

Bahan induk angkutan oleh angin, dapat berupa bukit-bukit pasir dan timbunan debu akibat deposit *Aeolian*. Peristiwa ini banyak terjadi di padang-padang pasir atau daerah tandus lainnya, seperti di padang pasir Thar di perbatasan India dan Pakistan. Bahan-bahan tanah yang diendapkan menyusul periode akhir glacial disebut *Loes*. Endapan yang tebal dijumpai di Pathar Plateu Pakistan.

Bahan induk angkutan oleh es ditemukan di daerah-daerah kutub, secara kontinu salju itu berakumulasi, tekanan beratnya mengubah salju-salju menjadi es. Setelah berabad-abad berlangsungnya akumulasi ini, maka oleh tekanan yang cukup besar, bukit-bukit es ini dapat bergerak keluar dari posisinya, mengikis dan mengangkut sejumlah batuan, pasir, debu dan klei dalam jumlah yang cukup besar sehingga bercampur dengan es. Pada saat suhu cukup tinggi es mencair, partikel-partikel tanah berukuran kecil ikut terangkut bersama air, sedangkan batuan tinggal ditempat menjadi bahan induk tanah.

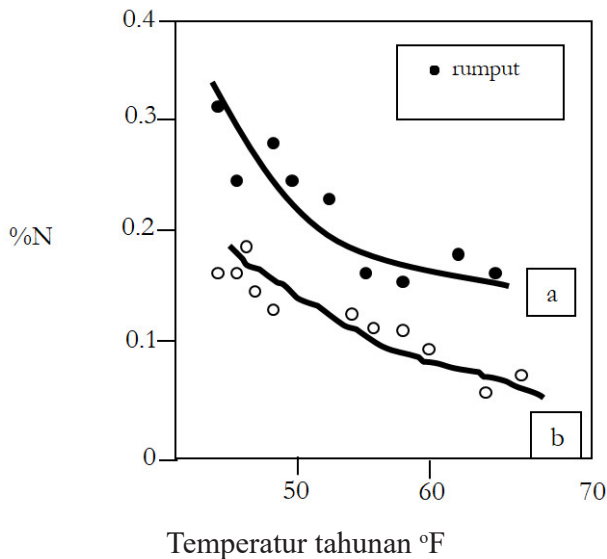
Bahan induk angkutan oleh grafitasi, dapat berupa hasil runtuhannya tanah dikaki-kaki bukit yang miring runtuh akibat bekerjanya gaya grafitasi – dinamakan bahan *colluvial*. Bahan *colluvial* ini umumnya terdapat pada dasar lereng-lereng, bukit dan gunung yang curam.

Bahan-bahan *cumulose* adalah induk **dari bahan organik** yang menumpuk pada suatu daerah rendah yang tergenang air selama berabad-abad membentuk tanah organosol. Bahan organik berasal dari tanaman mati. Istilah **peat** digunakan untuk gambut yang sisa-sisa tanamannya masih dapat dikenal, sedangkan jika gambut sebagian besar telah lapuk dinamakan **muck**. Tanah organosol merupakan tanah yang luas di Indonesia.

2.2 Faktor Iklim

Perkembangan profil tanah sangat dipengaruhi iklim, terutama curah hujan dan temperatur. Kedua faktor ini menentukan reaksi-reaksi kimia dan sifat fisika di dalam tanah. Sebagai akibatnya iklim acapkali merupakan faktor yang mendominasi pembentukan tanah. Iklim memiliki hubungan dengan kandungan bahan organik. Seperti diketahui jumlah bahan organik dalam tanah mewakili keseimbangan yang terjadi antara penambahan bahan itu dengan jumlah yang didekomposisikan. Sehubungan dengan itu, faktor iklim yang mempengaruhi jumlah bahan organik di dalam tanah dan aktifitas jasad hidup akan menentukan jumlah bahan organik yang terakumulasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika temperatur rata-rata tahunan meningkat, sedangkan kelembaban tanah dan lain-lain tetap konstan, maka jumlah bahan-bahan organik di dalam tanah-tanah yang memiliki sifat-sifat yang sama akan menurun, dan ditutup oleh tipe vegetasi yang sama (Gambar 2 . 1). Artinya, semakin tinggi temperatur, kadar bahan organik dan kadar N akan semakin rendah karena pelapukan yang semakin intensif. Kadar N juga akan cepat berkurang.



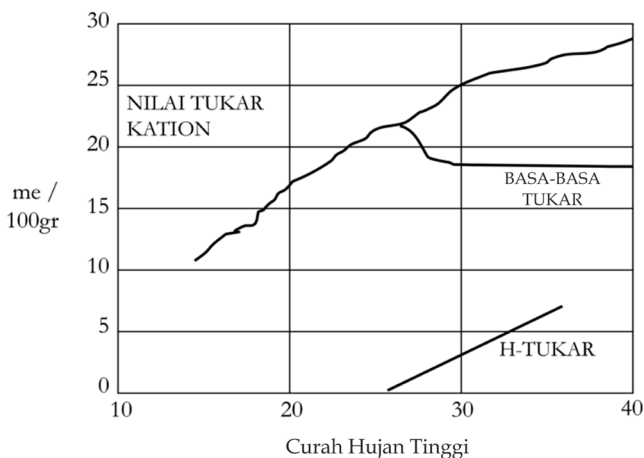
Gambar 2.1 Hubungan % N tanah dengan temperatur di bawah vegetasi rumput beriklim basah (kurva a) dan tanah di bawah hutan basah (kurva b) untuk tanah lempung berpasir.

Penurunan bahan organik itu lebih besar pada tanah-tanah dengan vegetasi rumput dibandingkan dengan vegetasi hutan. Sebaliknya, peningkatan suplai air pada daerah dengan temperatur tetap konstan, menunjukkan peningkatan kandungan bahan organik dalam tanah yang sama sifat-sifatnya dan vegetasi penutupnya. Perubahan lebih jelas kelihatan pada daerah padang rumput dibandingkan dengan tanah-tanah di bawah vegetasi hutan. Artinya, semakin tinggi curah hujan, kadar bahan organik semakin meningkat, bila kondisi lainnya sama. Hal itu disebabkan oleh penurunan aktivitas pelapukan bahan organik pada kondisi air berlebih.

Secara tidak langsung curah hujan mempengaruhi reaksi tanah. Curah hujan yang tinggi terutama di daerah tropis dapat melarutkan dan mencuci kation-kation basa dari lapisan permukaan tanah (top soil) ke lapisan tanah yang lebih dalam, akibatnya top-soil lebih banyak didominasi oleh ion-ion Al dan H. Sebagai akibatnya pH tanah akan turun pada top-soil sampai mencapai nilai 4.5 atau lebih kecil. Dalam suasana pH demikian masam, dekomposisi oleh mikro-biologis bahan organik tanah akan terbatas. Akibatnya, sisa-sisa tanaman yang ditambahkan ke dalam tanah akan sangat lambat melapuk, sehingga bahan organik akan lebih tinggi.

Iklim mempengaruhi pula pelapukan dan proses pembentukan klei. Pelapukan mineral-mineral tanah biasanya melalui reaksi-reaksi kimia maupun fisika. Jika faktor-faktor lain sama, maka peningkatan temperatur akan menyebabkan peningkatan pelapukan dan formasi klei. Temperatur rata-rata yang tinggi dan curah hujan yang banyak, cenderung menambah kecepatan pelapukan dan pembentukan klei. Kondisi lingkungan yang mengakibatkan lambatnya pelapukan adalah iklim dingin dan lembab, dingin dan kering, serta agak panas (warm) tetapi kering.

Di daerah-daerah tropis basah, gerakan air ke bawah tanah turut membasuh sejumlah kation yang dapat dipertukarkan. Kation-kation basa ini digantikan oleh H^+ dan peristiwa ini akan menyebabkan merosotnya persen kejenuhan basa tanah. Hubungan antara curah hujan tahunan dan nilai tukar kation (NTK), basa-basa diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hubungan antara curah hujan tahunan dengan Nilai Tukar Kation (NTK), basa-basa tukar dan H- tukar.

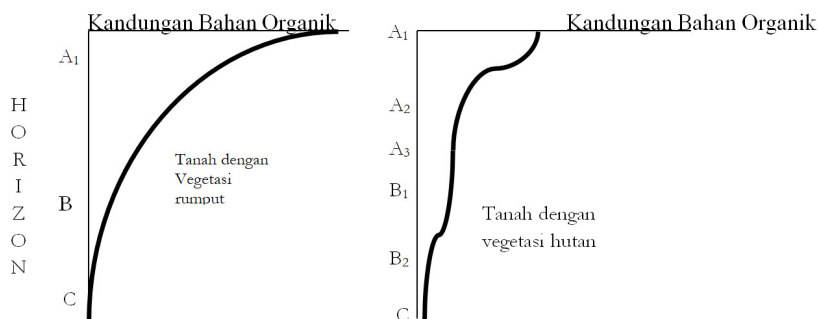
Iklim berpengaruh pula terhadap sifat-sifat kimia. Telah dikemukakan bahwa peningkatan curah hujan umumnya meningkatkan bahan organik maupun kandungan klei. Oleh karena itu, nilai tukar kation (NTK) secara langsung berhubungan dengan jumlah kedua fraksi ini, maka nilai tukar kation juga akan meningkat. Iklim mempengaruhi juga tipe-tipe mineral klei. Mineral klei koalinit dan oksida-oksida besi dan aluminium merupakan mineral-mineral yang umum terdapat di daerah tropis basah. Pada daerah tropis yang basah, pelapukan yang intensif dapat menghilangkan ikatan-ikatan silika yang besar dari top-soil. Akhirnya fraksi klei yang mendominasi adalah oksida-oksida besi dan aluminium.

2.3 Faktor Jasad Hidup

Salah satu jasad hidup yang memegang peranan besar dalam pembentukan tanah adalah vegetasi. Berikut ini akan dikemukakan perbedaan tanah yang terbentuk akibat berlainannya jenis vegetasi yang tumbuh. Dalam hal ini akan dibahas pengaruh vegetasi hutan dan vegetasi rumput terhadap pembentukan tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dibawah kondisi lingkungan yang berbeda, ternyata profil tanah padang rumput mengandung lebih banyak bahan organik, terdistribusi lebih uniform didalam tanah (menurut kedalaman), dibandingkan dengan profil tanah hutan seperti yang terlihat pada gambar 2-3.

Jenis vegetasi mempengaruhi pula siklus hara. Seperti diketahui akar tanaman menyerap unsur-unsur hara dari larutan tanah dan mengangkutnya ke daun, batang maupun pucuk tanaman. Jika bagian atas (top) tanaman mati dan jatuh ke permukaan tanah, maka dekomposisi bahan organik akan membebaskan unsur-unsur itu kedalam larutan tanah. Kation-kation basa yang dibebaskan akan menghambat turunnya pH tanah, selanjutnya kation-kation ini menggantikan kation-kation basa yang hilang.



Gambar 2.3 Kandungan bahan organik pada profil tanah dengan vegetasi rumput (kiri) dan vegetasi hutan (kanan).

Perbedaan yang menyolok terjadi dalam ion-ion dan komposisi kimia dari sisa-sisa tanaman yang berasal dari tanaman yang berbeda-beda. Bahkan diantara species pohon-pohonan sendiri terdapat perbedaan menyolok. Akibat perbedaan-perbedaan ini menimbulkan perkembangan tanah yang berbeda pula.

Tanaman yang gemar menyerap sejumlah besar kation-kation basa akan dapat mengendalikan turunnya pH tanah. Tabel 2.3 menunjukkan bahwa pohonan berkayu keras (*hardwood*) selalu menjaga penurunan pH dan kejenuhan basa, dibandingkan dengan tanaman *spruce* jika ditanam pada tanah berbahan induk dan komposisi mineral yang sama.

Tabel 2.3 Pengaruh spesies tanaman terhadap pH dan kejenuhan basa tanah

Jenis tanaman	Horizon	pH	kejenuhan Basa (%)
Spruce	O ₂	3.45	13
	A ₁	4.60	20
	B ₁	4.75	27
	B ₂	4.95	27
	C ₁	5.05	23
Hardwood	O ₂	5.56	72
	A ₁	5.05	47
	B ₁	5.24	34
	B ₂	5.24	34
	C ₁	5.32	34

Vegetasi juga mempengaruhi tingkat eluviasi dan pencucian. Dibawah kondisi yang sama, dimana vegetasi hutan dan rumput terletak berdampingan dan memiliki bahan induk serta kemiringan (slope) yang sama, maka tanah-tanah dibawah hutan akan menunjukkan bukti-bukti besarnya eluviasi dan pencucian.

Tiga penyebab yang mungkin memberikan perbedaan ini, adalah :

- 1). Vegetasi hutan akan mengembalikan kation-kation alkali ke permukaan tanah.
- 2). Air kuat sekali ditranspirasikan tanaman hutan, sehingga tanah banyak kehilangan air, akibatnya jika turun hujan proses pencucian selalu efektif.
- 3). Air yang memasuki tanah akan lebih masam. Ion-ion hidrogen yang terlarut dari asam-asam organik didalam horizon O, yang sering terjadi dibawah pepohonan, menyebabkan pelarutan basa-basa dan tercuci kebagian bawah tanah.

Hubungan yang dekat dengan pencucian basa-basa itu ialah translokasi klei dari tanah bagian atas ke lapisan tanah bagian bawah. Partikel-partikel klei tereluviasi ke bagian tanah dapat dibuktikan dengan tertumpuknya klei-klei pada horizon B dan terjadinya peristiwa pembentukan mantel klei (clay coating) pada ped di horizon B.

Gerakan-gerakan aktif klei pada tanah hutan didasarkan pada tingginya kandungan klei pada horizon B dan rendahnya kandungan klei pada horizon A dari tanah hutan, dibandingkan dengan tanah dengan vegetasi rumput. Jadi permeabilitas dan sifat-sifat fisika sub-soil juga menunjukkan tingkat perbedaan.

Dua hal yang penting dapat ditarik untuk membedakan tanah-tanah vegetasi hutan dan rumput. Tanah dengan vegetasi hutan, mempunyai kira-kira separuh dari kandungan bahan organik tanah dengan vegetasi rumput, dan terdistribusi tidak merata. Tanah hutan memiliki tingkat perkembangan profil tanah lebih sempurna. Horizon-horizon pada solum lebih masam dan kejenuhan basa yang rendah. Jumlah klei lebih banyak yang dipindahkan dari horizon A ke horizon B.

2.4 Faktor Topografi / Relief

Topografi mempengaruhi perkembangan pembentukan profil tanah atas tiga hal :

- a. Topografi mempengaruhi jumlah curah hujan terserap ke dalam tanah
- b. Topografi mempengaruhi tingkat perpindahan tanah atas oleh erosi.
- c. Topografi mempengaruhi arah gerakan-gerakan bahan-bahan dalam suspensi atau larutan dari satu tempat ke tempat lain.

Air esensial untuk menyelenggarakan proses-proses kimia dan biologis dalam tanah. Jika air ini berkurang di dalam tanah, maka proses-proses itupun terhambat, sekaligus proses-proses pelapukan berjalan lambat. Hal yang sama dapat terjadi jika tanah kelebihan air, misalnya tanah yang tergenang. Pada skope yang lebih luas terjadi penghanyutan (erosi) tanah secara kontinue, sehingga akan muncul sub-soil ke permukaan tanah dan peristiwa ini akan memodifikasikan profil. Konsekuensinya tanah-tanah pada kemiringan besar memiliki solum yang tipis, kandungan bahan organik yang rendah, dibandingkan dengan tanah-tanah bergelombang dan datar.

Topografi amat mempengaruhi kondisi drainase dan permukaan air tanah (*ground water level*). Akumulasi bahan organik biasanya terjadi jika kandungan air tinggi atau drainase tanah jelek, sehingga tanah kekurangan O_2 , pada kondisi ini akan mengawetkan bahan organik terutama jika air tergenang.

Warna bahan tanah pada daerah-daerah rendah akan berubah dari kuning merah dan coklat (menunjukkan aerasi tanah yang baik dengan kondisi oksidasi), menjadi berwarna kelabu jika kondisi tanah berubah menjadi berdrainase jelek. Di samping itu ditemukan pula sejumlah karatan-karatan (*mottles*) berwarna kuning. Warna kelabu ini umumnya sebagai akibat reduksi besi ferri menjadi besi ferro. Horizon eluviasi biasanya berubah, demikian pula gerakan air kebawah tanah jauh berkurang. Horizon B akan berubah warnanya menjadi kelabu kebiruan yang dikenal sebagai horizon Bg atau gley.

Sebagai hasil dari perbedaan topografi atau drainase atau keduanya, maka profil-profil tanah yang berkembang dengan bahan induk yang sama, demikian pula umur, kemudian pada daerah zonal yang sama, akan terbentuk pula tanah yang berbeda-beda. Group-group tanah yang berkembang dibawah kondisi tersebut dan memperlihatkan adanya

variasi sifat-sifat profil tanah, disebut catena atau toposequence. Secara lokal topografi mungkin merupakan faktor yang penting pula dalam hal timbulnya perbedaan-perbedaan sifat-sifat tanah. Bahan induk dan vegetasi juga mempengaruhi perbedaan-perbedaan tanah pada suatu lokasi.

2.5 Faktor Waktu

Lama waktu yang dibutuhkan tanah untuk pembentukan horizon-horizon tergantung kepada faktor-faktor lain yang berhubungan erat, seperti iklim, sifat bahan induk, binatang-binatang dalam tanah dan topografi. Horizon-horizon akan lebih cepat berkembang dibawah kondisi udara sejuk (cool) humid tanahnya ditumbuhi vegetasi hutan. Bahan induk diubah kedalam fase tanah belum matang (immature) dalam jangka waktu yang relatif singkat, jika kondisi-kondisi lainnya cukup baik. Fase ini dicirikan oleh akumulasi bahan induk pada permukaan tanah dengan sedikit pelapukan, pencucian, atau translokasi kolloid-kolloid dan sifat-sifat tanah kebanyakan masih mirip dengan sifat-sifat bahan induk.

Fase pematangan (mature) akan tercapai jika horizon telah berkembang. Lambat laun, jika waktu telah cukup, maka tanah yang matang dapat memiliki differensiasi profil yang mantap, sehingga perbedaan-perbedaan yang menyolok terjadi antara horizon-horizon yang terdapat di sepanjang profil. Keadaan ini disebut “old age stage”. Kebanyakan tanah-tanah yang memiliki clay-pan mencirikan tanah itu sudah termasuk tanah yang telah tua dan umumnya kesuburan serta produktifitasnya rendah.

Mohr dan Van Baren telah mengenal ada lima fase yang terlibat dalam perkembangan tanah-tanah tropis. Kelima fase itu adalah :

- a. Fase pemula - bahan induk belum dilapuk
- b. Fase juvenil - pelapukan mulai terjadi, namun sebagian besar bahan aslinya belum dilapuk
- c. Fase viril - kebanyakan mineral-mineral mulai pecah, kandungan klei meningkat, pelapukan masih berjalan lambat
- d. Fase senil - dekomposisi tiba pada fase akhir, hanya mineral-mineral yang tahan lapuk yang masih bertahan
- e. Fase akhir - perkembangan tanah telah sempurna dan telah melapuk menurut kondisi itu.

Pertanyaan yang cukup menarik adalah “berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu inchi tanah atau waktu untuk tanah agar dapat berkembang”?

Untuk perkembangan tanah dari batuan keras, waktu yang dibutuhkan tentulah amat besar. Disamping itu, perkembangan tanah tentu saja lebih cepat pada kondisi iklim yang basah dan hangat (warm), serta berbahan induk lepas. Pertumbuhan tanaman dapat pula terjadi diatas bahan induk segar yang terekspos ke sinar matahari.

Jawaban dari pertanyaan tadi terletak sebagian pada pengetahuan kita tentang sifat bahan induk darimana tanah itu berkembang. Dari bahan-bahan glacial, vulkan, dan endapan lepas lainnya, tanah regosol (entisol) dapat berkembang dalam jangka waktu kecil dari seribu tahun. Tanah spodosol matang (podzol) yang umurnya kira-kira 1000 tahun telah diketemukan di Alaska.

Iklim kering, erosi tanah pada permukaan tanah yang miring dapat memperlambat atau menghambat perkembangan tanah. Dengan demikian jelaslah bahwa tingkat perkembangan tanah itu bervariasi dari satu tanah dengan tanah lainnya. Dalam periode waktu tertentu misalnya akan dapat mengubah suatu tanah, akan tetapi tidak demikian halnya dengan tanah yang lain. Dengan alasan ini kematangan suatu tanah ditetapkan dengan tingkat horizon ketimbang umur. Kondisi-kondisi yang dapat mempercepat perkembangan tanah adalah : suhu yang hangat, iklim yang lembab, vegetasi hutan, tanah permiabel, berbahan lepas yang rendah kandungan kapurnya, topografi datar dengan drainase yang baik.

Sedangkan faktor-faktor yang menghambat perkembangan tanah adalah udara dingin, iklim kering, vegetasi rumput, tanah impermiabel, berbahan tidak lepas dengan kandungan kapur yang tinggi dan bertopografi yang miring, bahan induk tahan lapuk seperti granit, permukaan air tanah tinggi, dan curah hujan yang rendah.

2.6 Proses Pembentukan Tanah

Pelapukan adalah proses alam berupa pemecahan dan transformasi batuan atau mineral-mineral menjadi bahan-bahan lepas, seperti kerikil, pasir, debu, dan klei yang terletak di permukaan bumi dengan kedalaman yang berbeda-beda. Proses pelapukan dapat berupa proses fisika, kimia, dan biologi.

2.6.1 Pelapukan secara Fisika

Pelapukan secara fisika adalah proses mekanik, yang mengubah volume batuan dari ukuran besar menjadi kecil (fragmen-fragmen), dan kecil lagi, tanpa perubahan sifat kimia fragmen. Dibawah kondisi suhu yang rendah atau tinggi, seperti di kutup atau di padang pasir, pelapukan secara fisika ini sangat dominan.

Suhu dan air adalah dua agent yang penting dalam pelapukan fisik. Batuan berisi mineral yang beraneka ragam dan memiliki sifat-sifat yang berbeda ditinjau dari sifat fisika dan kimianya. Jika suhu berubah dengan tiba-tiba, maka mineral-mineral dalam batuan berkontraksi dan berekspansi, sehingga memungkinkan pecahnya batuan. Di daerah tropis basah, pergantian suhu tinggi di siang hari menjadi rendah di malam hari dapat menyebabkan perubahan tegangan dalam batuan atau mineral, sehingga menyebabkan batuan pecah. Kondisi ini akan dipercepat, bila suhu batuan yang tinggi di siang hari, tiba-tiba ditimpa hujan, yang mengakibatkan batuan pecah. Secara sederhana dapat dicontohkan pada lampu semprong yang sedang panas disiram dengan air, maka semprong lampu akan pecah. Proses pelapukan fisika tersebut terjadi pada lapisan-lapisan batuan. Bahagian yang sudah pecah mengalami lagi peristiwa yang sama, sehingga pecah dan pecah lagi, dan akhirnya dihasilkan butiran yang halus. Dapat dinyatakan bahwa di daerah tropis perubahan temperatur dan air memegang peranan dalam pelapukan batuan secara fisika.

Wilayah subtropika atau bertemperatur rendah menyebabkan perubahan air membeku dan mencair. Ketika air membeku pada suhu rendah, maka volume air menjadi lebih besar, sebaliknya bila air mencair pada suhu yang meningkat, maka volume air akan turun. Pergantian volumr air yang masuk ke dalam rongga atau celah batuan ketika membeku dan mencair akan menimbulkan tegangan dan tekanan dalam batuan, dan mengakibatkan batuan tersebut pecah. Hal ini merupakan hydrothermal-proses yang disebabkan oleh pembekuan dan pencairan air silih berganti dan sering terjadi di daerah beriklim dingin. Proses yang sama dialami oleh batuan bervolume besar, sampai batuan bervolume kecil, pecah lagi dan pecah lagi di setiap lapisan batuan, sehingga terbentuklah butiran tanah yang lebih kecil sampai sangat halus.

Butir-butir hujan ataupun hujan es juga dapat merusak permukaan batuan. Air yang bergerak dipermukaan tanah juga mengangkut partikel-partikel tanah, demikian juga bagian-bagian batuan yang sudah lapuk dikikis dan diangkut.

2.6.2 Pelapukan secara Kimia

Disintegrasi secara fisika dibarengi dengan dekomposisi kimia dan akan menyebabkan timbulnya perubahan dalam ciri dan komposisi kimia dari batuan atau mineral. Pelapukan kimia biasanya terjadi pada permukaan batuan, yang mengakibatkan hilangnya sebagian mineral pada permukaan dan terbentuk produk sekunder atau mineral sekunder. Hal ini disebut transformasi secara kimia. Dengan pernyataan lain, pelapukan kimia adalah proses perubahan komposisi kimia dari batuan atau mineral. Pelapukan kimia dapat terjadi melalui 5 proses (pelarutan, hidrasi, hidrolisis, oksidasi dan reduksi).

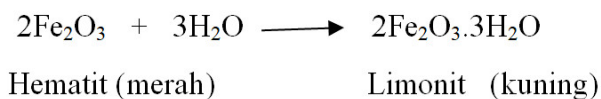
2.6.3 Pelarutan

Air merupakan pelarut alam yang ampuh. Contoh yang paling sederhana adalah pelarutan garam atau mineral Halite (NaCl) dalam air, yang akan terurai menjadi ion Na^+ dan Cl^- . Daya pelarutan oleh air akan bertambah besar jika kedalamnya ditambahkan CO_2 , atau asam-asam baik an-organik maupun organik. Kebanyakan mineral dipengaruhi oleh pelarut air.

2.6.4 Hidrasi

Hidrasi adalah kombinasi kimia atau penyatuan dari molekul-molekul air dengan mineral tertentu. Mineral-mineral pembentuk tanah yang terdapat dalam batuan tidak mengandung air. Akan tetapi, setelah mineral terlepas dari batuan, ia dapat bereaksi dengan senyawa di sekitarnya. Salah satu contoh adalah penyatuan mineral yang ada dengan molekul air, sehingga mengubah sifat dari mineral yang terdahulu.

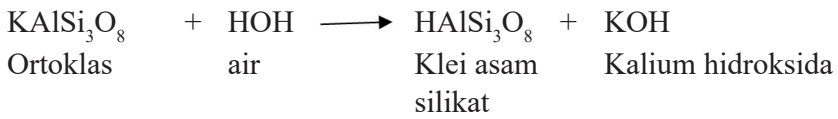
Hidrasi biasanya selalu diikuti dengan peningkatan volume. Mineral yang berhidrasi biasanya lunak dan mudah lapuk. Kebanyakan mineral, terutama felspar, amfibol, mica dan pirokin akan dapat mengikat molekul air. Contoh yang paling sederhana adalah perubahan mineral Hemati menjadi Limonit seperti berikut:



2.6.5 Hidrolisis

Hidrolisis merupakan proses yang terpenting dalam pelapukan kimia. Hidrolisis tergantung dari dissosiasi parsial dari air menjadi ion H dan ion OH. Selanjutnya, ion H akan menggantikan kedudukan salah satu unsur pada mineral. Misalnya penggantian K dengan H. Air murni memiliki disosiasi yang sangat rendah, tetapi dengan hadirnya CO₂ dan asam-asam organik, maka daya hidrolisis air bertambah.

Hidrolisis merupakan proses dekomposisi dalam rangka membentuk ikatan hidroksida atau lainnya. Berikut adalah contoh air bertindak sebagai asam lemah pada mineral silikat Ortoklas :



Hasil hidrolisis sebagiannya atau seluruhnya biasanya tercuci oleh air perkolasi, tergantung pada kondisi iklim. Hidrolisis dianggap awal pembentukan klei.

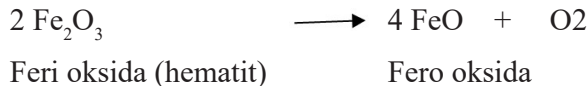
2.6.6 Oksidasi

Oksidasi adalah reaksi penambahan atau pemakaian oksigen kedalam suatu mineral. Contoh :



2.6.7 Reduksi

Reduksi berarti pengambilan oksigen dari suatu mineral. Terjadi pada Redoks Potensial rendah pada kondisi air tergenang. Contoh : Perubahan Feri menjadi Fero.



2.6.8 Pelapukan secara Biologis

Proses-proses fisika dan kimia sudah ada sebelum jasad hidup muncul di permukaan bumi. Akan tetapi, setelah jasad hidup muncul, maka jasad hiduppun berperan dalam proses pelapukan batuan dan bahan organik. Proses yang disebabkan oleh jasad hidup disebut juga proses biologis. Peran dari jasad hidup bisa berupa perubahan fisika, dan dapat pula berupa perubahan kimia.

Akar tanaman tingkat rendah sampai tingkat tinggi mampu menusuk dan membelah batuan atau mineral. Proses tersebut dapat terjadi pada volume batuan yang besar, dapat pula pada volume batuan yang kecil. Akibatnya, batuan atau mineral pecah dan pecah lagi, sehingga menjadi lebih kecil. Proses biologis tersebut menghasilkan perubahan fisika.

Jasad hidup mempercepat proses pelapukan secara kimia dengan memproduksi CO_2 sebagai hasil pernafasan, dan oleh sekresi asam-asam berasal dari akar. Tanaman tinggi membantu mengambil hara-hara jauh dari dalam tanah, kemudian mengembalikannya ke permukaan tanah melalui bagian-bagian yang gugur (daun, ranting, bunga, buah dan biji). Berbagai macam tipe mikro-organisme misalnya jasad autotrofik mampu menguraikan batuan atau mineral, yang menghasilkan perubahan kimia.

Binatang dan manusia juga bisa bereran dalam proses pelapukan batuan atau mineral. Melalui praktek pertanian, seperti menyangkul, dan membajak manusia akan membelah batuan yang sudah agak lunak (proses ini menghasilkan perubahan fisika).

Proses pelapukan sangat dipengaruhi iklim dan tipe batuan. Joffe (dalam Tamhane dan Donahue, 1967) mengemukakan bahwa pada daerah tropis basah, pelapukan fisika merupakan sub-ordinat pelapukan secara kimia. Intensitas pelapukan biasanya turun jika salah satu faktor kurang aktif.

2.7 Perkembangan Profil Tanah

Profil tanah ialah penampang vertikal tanah dimulai dari permukaan tanah sampai lapisan bahan induk di bawah tanah. Solum tanah adalah penampang tanah dimulai dari horizon A hingga horizon B (lihat kembali Gambar 1.1).

Dalam rangka penelitian tanah, kadang-kadang diperlukan deskripsi (penyifatan) profil tanah. Deskripsi profil dibutuhkan untuk menentukan jenis tanah. Dari pengamatan sifat-sifat tanah di lapangan serta disokong

oleh hasil analisis contoh tanah di laboratorium yang diambil dari tiap horizon dalam profil, jenis tanahnya dapat ditentukan. Ditinjau dari sifat-sifat fisika dan kimia tanah, tiap jenis dan tipe tanah memiliki ciri yang khas. Uraian pada bagian ini difokuskan pada tanah-tanah yang memiliki horizon-horizon sebagai akibat berlangsungnya evolusi genetis di dalam tanah.

Terdapatnya horizon-horizon pada tanah-tanah yang memiliki perkembangan genetis, menandakan bahwa beberapa proses tertentu, telah terjadi dalam perkembangan pembentukan profil tanah. Berikut ini akan dipelajari dulu horizon-horizon yang biasanya terdapat didalam tanah. Selanjutnya akan didiskusikan proses-proses yang bertanggung jawab dalam differensiasi horizon-horizon itu.

2.7.1 Tata Nama Horizon dan Sifatnya

Umumnya hampir semua profil tanah telah memiliki dua atau lebih horizon utama. Sifat-sifat horizon itu dapat dijelaskan sebagai berikut :

Horizon O, adalah horizon organik terletak paling atas pada tanah mineral.

- Cirinya :
- (1) terbentuk di atas tanah mineral
 - (2) didominasi oleh bahan organik yang segar atau sebagian telah melapuk,
 - (3) mengandung lebih dari 30% bahan organik jika fraksi mineral mengandung lebih dari 50%klei, atau lebih dari 20% bahan organik jika fraksi mineral tidak mengandung klei.

Horizo A, adalah horizon tanah mineral teratas atau dibawah horizon O

- Cirinya :
- (1) Horizon ini merupakan akumulasi bahan organik yang tercampur dengan bahan anorganik, atau mineral.
 - (2) Horizon ini telah kehilangan sebagian klei, besi atau aluminium dengan meninggalkan mineral kuwarsa atau mineral-mineral resisten lainnya.
 - (3) Horizon ini dapat pula didominasi oleh (1) atau (2) diatas, tetapi dapat pula berupa transisi kehorizon B atau C dibawahnya.

Horizon B - Horizon yang memiliki satu atau lebih sifat-sifat di bawah ini :

- Cirinya :
- (1) Merupakan horizon illuvial (penumpukan), yang merupakan akumulasi klei silikat, besi, aluminium atau humus, secara sendiri-sendiri atau kombinasinya, yang berasal dari horizon A.
 - (2) Merupakan sisa dari sequioksida atau klei silikat (secara tersendiri atau tercampur) yang terbentuk akibat keluarnya garam-garam karbonat atau garam-garam terlarut lainnya dari horizon ini.
 - (3) Mantel (coating) mineral sesquioksida telah cukup memberikan warna gelap, kuat atau warna kemerahan dibandingkan dengan warna horizon dibawahnya ataupun yang diatasnya.
 - (4) Alterasi dari bahan-bahan mineral atau batuan asalnya, akibat alterasi itu terbentuklah klei-klei silikat, pembebasan oksida-oksida atau keduanya, dan diikuti dengan pembentukan struktur granular, gumpal, atau prisma.

Horizon C, adalah horizon atau lapisan **Bahan Induk** berupa campuran pecahan batuan kasar sampai kecil dan halus, tergantung dari mana solum tanah itu berkembang; hanya sedikit dipengaruhi proses-proses pedogenesis, tidak memiliki (sedikit sekali) sifat-sifat horizon diagnostik A dan B.

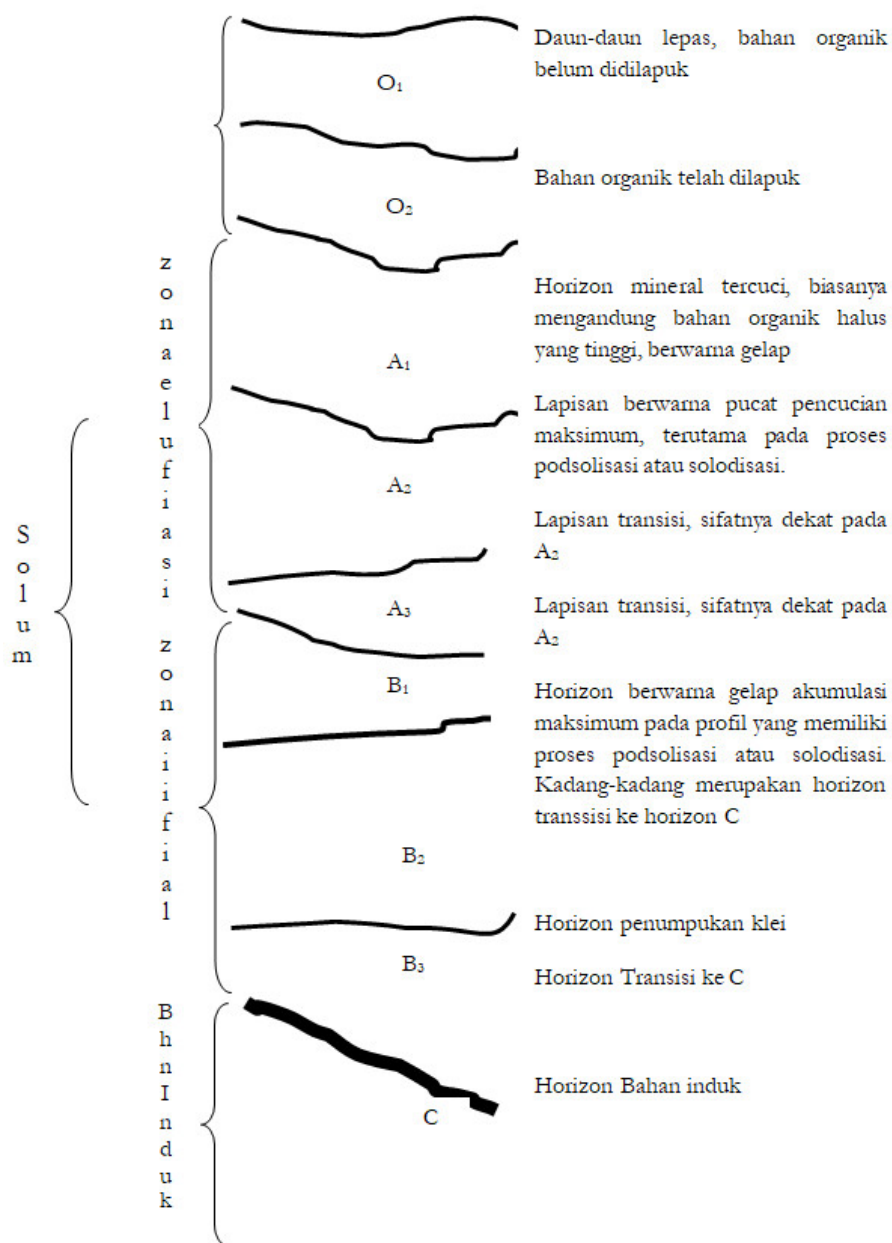
Lapisan R, adalah lapisan **Batuan Induk** yang terletak dibawah horizon bahan induk (C) seperti batuan granit, batuan andesit, batuan pasir, batuan kapur, atau batuan lainnya. Semuanya termasuk kedalam “consolidated bedrock”.

Subdivisi horizon utama

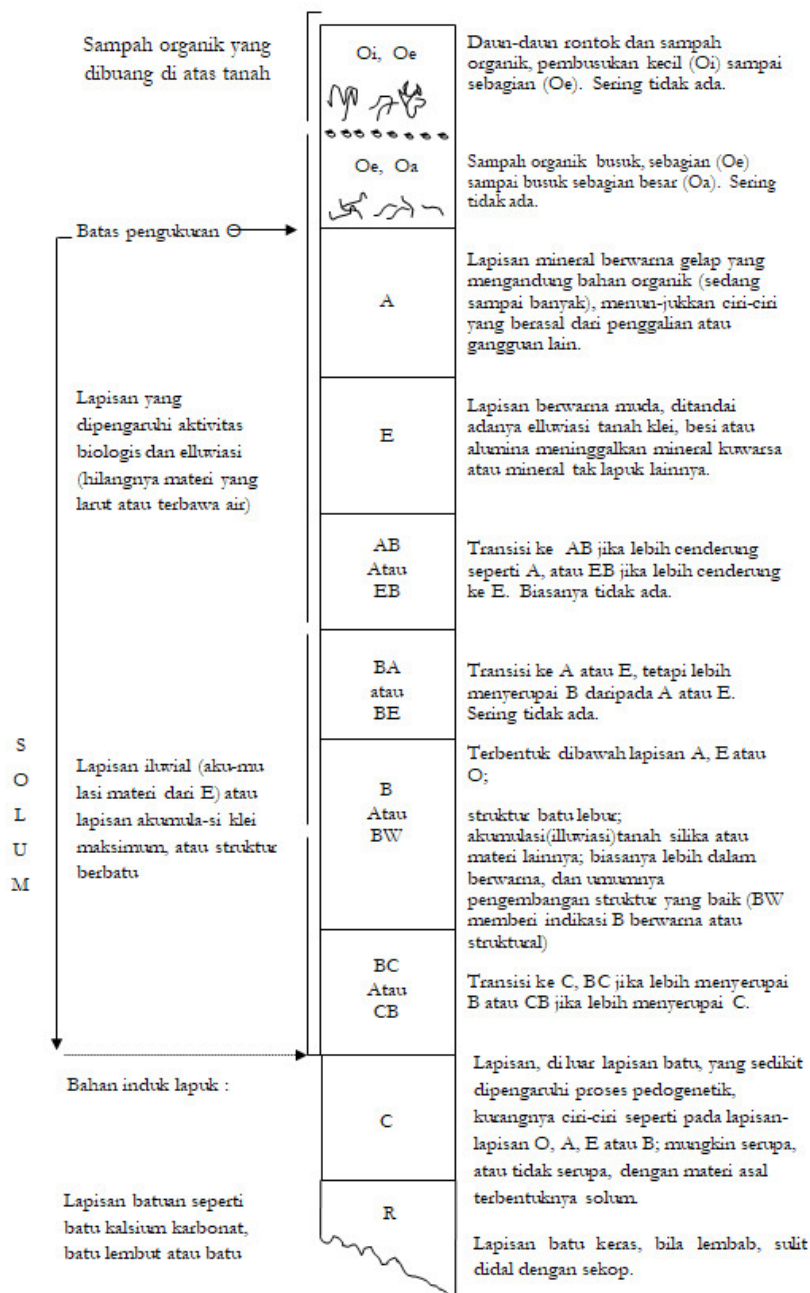
Horizon utama biasanya terdiri atas satu atau lebih subdivisi, yang ditunjukkan oleh angka. Contohnya: Horizon O_1 menunjukkan sisa-sisa tanaman yang belum lapuk. Horizon O_2 merupakan horizon bahan organik yang hanya sebagian sudah melapuk (Gambar 2 . 4 dan 2.5).

Satuan lapisan yang didominasi oleh partikel-partikel mineral dan berwarna gelap akibat sisa-sisa bahan organik, diberi nama horizon A_1 . Sebaliknya, untuk yang berwarna terang dan memperlihatkan pengaruh maksimum dari proses pencucian (leaching) atau eluviasi (terbasuh keluar), disebut Horizon A_2 . Horizon akumulasi atau illuviasi (terbasuh kedalam washing in) akan menunjukkan horizon B. Horizon B ini dapat dibagi menjadi horizon B_1 , B_2 dan B_3 tergantung dari tingkat akumulasi (lihat Gambar 2.4 dan 2.5).

Perhatikanlah horizon-horizon A dan B yang bersama-sama membentuk solum, yang disebut tanah. Seperti telah dijelaskan terdahulu, semua horizon tidak selalu terdapat pada setiap tanah. Kadang-kadang pada suatu tanah tidak memiliki A_2 , atau B_1 , bahkan ada pula jenis tanah yang hanya memiliki horizon-horizon A dan C, atau B dan C. Tambahan lainnya mengenai penandaan horizon-horizon tanah ialah, bahwa kadang-kadang menggunakan huruf kecil. Misalnya pada tanah-tanah pertanian yang sering diolah, sering horizon-horizon O, A_1 ataupun A_2 itu bercampur merata dan membentuk lapisan olah. Lapisan ini dinamakan lapisan Ap yang menunjukkan kerusakan horizon-horizon oleh pengolahan tanah.



Gambar 2.4 Profil yang umum terdapat pada tanah hutan, beriklim basah dan bersuhu sedang.



Gambar 2.5 Profil Horizon Tanah dan deskripsi dari tiap profil

Satuan lapisan yang didominasi oleh partikel-partikel mineral dan berwarna gelap akibat sisa-sisa bahan organik, diberi nama horizon A_1 . Sebaliknya, untuk yang berwarna terang dan memperlihatkan pengaruh maksimum dari proses pencucian (leaching) atau eluviasi (terbasuh keluar), disebut Horizon A_2 . Horizon akumulasi atau illuviasi (terbasuh kedalam washing in) akan menunjukkan horizon B. Horizon B ini dapat dibagi menjadi horizon B_1 , B_2 dan B_3 tergantung dari tingkat akumulasi (lihat Gambar 2.4 dan 2.5). Perhatikanlah horizon-horizon A dan B yang bersama-sama membentuk solum, yang disebut tanah .

Seperti telah dijelaskan terdahulu, semua horizon tidak selalu terdapat pada setiap tanah. Kadang-kadang pada suatu tanah tidak memiliki A_2 , atau B_1 , bahkan ada pula jenis tanah yang hanya memiliki horizon-horizon A dan C, atau B dan C. Tambahan lainnya mengenai penandaan horizon-horizon tanah ialah, bahwa kadang-kadang menggunakan huruf kecil. Misalnya pada tanah-tanah pertanian yang sering diolah, sering horizon-horizon O, A_1 ataupun A_2 itu bercampur merata dan membentuk lapisan olah. Lapisan ini dinamakan lapisan Ap yang menunjukkan kerusakan horizon-horizon oleh pengolahan tanah.

2.7.2 Ciri Khas Profil Tanah

Adakalanya terjadi penumpukan klei atau oksida besi pada horizon B. Jika pada horizon B itu terdapat banyak partikel-partikel klei, atau penumpukan klei, maka disebut B_{2t} , tanah tersebut menunjukkan klei illuvial. Tanah spodosol (podzol) umumnya memiliki horizon B_{1t} , yang menunjukkan horizon B tersebut banyak mengandung besi. Jika humus dan besi bersama-sama terakumulasi pada tanah Spodosol, disebut horizon B_{h1t} . Humus illuvial dengan simbol **h**.

Sifat-sifat yang lain ditunjukkan dengan simbol sebagai berikut :

- b - Horizon tanah terkubur
- ca - Akumulasi karbonat dari bahan-bahan alkalin, biasanya kalsium.
- cs - Akumulasi kalsium sulfat
- cn - Akumulasi konkresi
- f - Tanah membeku
- g - Lapisan Gley yang kuat
- m - Sementasi yang kuat

- sa - Akumulasi garam yang daya larutnya lebih besar dari kalsium sulfat
- si - Simentasi oleh bahan silika, larut dalam alkalin
- x - Ciri fragipan (lapisan teguh di bawah tanah).

Horizon O_1 di tanah hutan selalu disebut lapisan L, berasal dari Litter (sisa-sisa tanaman), sedangkan horizon O_2 kadang-kadang disebut pula lapisan F, jika bahan organik adalah amorf.

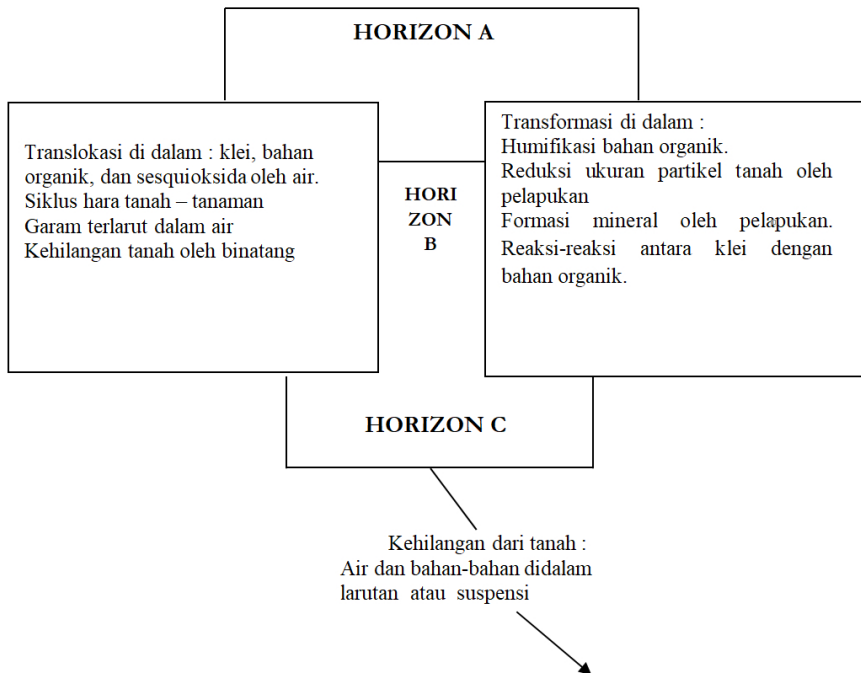
2.7.3 Proses Differtensiasi Horizon

Genesis tanah atau differensiasi horizon, kedalamannya termasuk proses-proses yang berkaitan dengan penambahan (addition), kehilangan (losses), transformasi (perubahan bentuk) atau translokasi (perpindahan tempat).

Tanaman ataupun binatang mendapatkan habibatnya pada semua tanah menjadi bagian dari fraksi organik. Carbon dari hasil perombakan bahan organik oleh jasad renik (mikroba) akan hilang dari dalam tanah sebagai CO_2 kembali lagi ke udara. Nitrogen diubah bentuknya dari senyawa organik menjadi senyawa inorganik. Selanjutnya, akibat aktifitas air dan binatang bahan organik dapat pula berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya.

Unsur-unsur dalam mineral tanah akan mengalami perubahan yang harus diperhitungkan. Pada semua tanah, mineral-mineral sekunder dan senyawa-senyawa lainnya dengan sifat kelarutan yang berbeda-beda, akhirnya akan bergerak dari satu horizon ke horizon lainnya. Ringkasan proses ini dapat dilihat pada Gambar 2 .6.

<u>Penambahan</u>	<u>Kehilangan</u>
ke dalam tanah	dari dalam tanah
↓	↓
Air bertambah dari curah hujan, condensasi. O_2 dan CO_2 dari atmosfer N, C dan S dari atmosfer dan curah hujan. Bahan organik dari aktifitas biologis. Bahan-bahan inorganik melalui sedimentasi. Energi dari matahari	Air hilang melalui evapotranspirasi, N oleh denitrifikasi, sebagian CO_2 dari oksidasi bahan organik, kehilangan tanah oleh erosi, dan energi oleh radiasi.



Gambar 2.6 Diagram memperlihatkan penambahan, kehilangan, translokasi dan transformasi yang terlibat di dalam differensiasi horizon.

Informasi berikut ini berdasarkan presedur-prosedur survei tanah Amerika Serikat. Ini mungkin rujukan yang berguna karena survei tanah Indonesia menggunakan sebagian sistem Amerika yang dikenal dengan USDA (Unitet State Departement of Agrriculture).

2.7.4 Label-label Lapisan (Sistem USDA, 9 Juni 1981) ¹

(Berdasarkan petunjuk, tanggal 9 Juni 1981, sistem USDA menggantikan informasi dalam Petunjuk Survei Tanah 1951 dan Tambahan Petunjuk 1962.)

Sebuah perbandingan antara sistem Lama dan sistem Baru.

- Tujuan penggunaan label-label lapisan tidaklah berubah. Label-label tersebut merupakan interpretasi sipeneliti mengenai hubungan-hubungan genetik antara lapisan-lapisan tanah.
- Huruf kapital, huruf yang dikebawahkan dan angka Arab gunakan untuk memberikan label lapisan.

- (1) Huruf kapital untuk label lapisan induk. Perumusan ini tidak diubah.
 - (2) Huruf yang dikebawahkan digunakan sebagai penanda untuk menunjukkan ciri-ciri utama lapisan induk. Perumusan ini tidak diubah.
 - (3) Angka Arab digunakan sebagai penanda untuk menunjukkan sub-bagian vertikal suatu lapisan dan sebagai penanda untuk menunjukkan diskontinuitas. Ini merupakan perubahan. Sebelumnya, angka Arab digunakan sebagai penanda jenis suatu lapisan, dan angka Romawi digunakan sebagai penanda diskontinuitas.
- c. Simbol-simbol yang digunakan untuk berbagai ciri lapisan telah diubah. Perbandingan simbol-simbol yang digunakan untuk memberikan label lapisan induk dan ciri-ciri pembeda suatu lapisan tidaklah persis tepat. Beberapa label lapisan induk menurut sistem lama disejajarkan dengan gabungan simbol lapisan induk dan simbol lapisan induk dan sub-lapisan menurut sistem baru.

d. (1) Lapisan Induk

Lama	Baru	Lama	Baru
0	O	A&B	E/B
01	Oi, Oe	AC	AC
02	Oa, Oc	B	B
A	A	B1	BA atau BE
A1	A	B&A	B/E
A2	E	B2	B atau Bw
A3	Ab atau EB	B3	BC atau CB
AB	-	C	C
		R	R

(2) Ciri-ciri pembeda dalam lapisan induk

Lama	Baru	
--	a	bahan organik gembur
b	b	lapisan tanah tertutup
ca	c	konkresi atau noluda
--	e	bahan organik setengah gembur
f	f	tanah beku
g	g	gleying keras
h	h	akumulasi iluvial bahan organik
--	i	bahan organik agak gembur
ca	k	akumulasi karbonat
m	m	sementasi keras
sa	n	akumulasi sodium
--	o	akumulasi sisa sesquioksida
p	p	plowing atau gangguan lain
si	q	akumulasi silika
r	r	lapisan batu lapuk atau lembut
ir	s	akumulasi iluvial sesuioksida
t	t	akumulasi tanah klei
--	v	plinthite
--	w	B struktural atau berwarna
x	x	ciri fragifan
cs	y	akumulasi gipsum
sa	z	akumulasi garam-garam

Simbol-simbol terdahulu digunakan dalam kedua sistem, baik yang lama maupun yang baru, tetapi ketentuan-ketentuan dalam pemakaiannya berbeda. Dalam sistem lama simbol-simbol terdahulu dipakai untuk menunjukkan sequm bagian bawah tanah yang mempunyai dua sequm, meskipun bukan untuk tanah tertutup.

Dalam sistem yang baru, mungkin dianggap tepat dalam memberi label dua lapisan atau lebih dalam satu pedon jika lapisan-lapisan itu dipisahkan oleh suatu lapisan jenis lain. Simbol yang digunakan untuk menunjuk dua lapisan lebih rendah (dibawahnya) sama. Jika tiga lapisan mempunyai simbol yang sama, untuk lapisan terbawah digunakan simbol rangkap.

Contoh urutan label lapisan tanah.

Typic Pragiudal	: O-A-E-Be-Btl Bt2-B/E-B' Tl-B't2-Btx1-Btx2-C
Typic Hapludult	: O-A1-A2-BA-Btl-Bt2-BC-C
Typic Dystrochrept	: Ap-Bw1-Bw2-C-R
Typic Fragiocrept	: Ap-Bw-E-Bx1-Bx2-C
Typic Udifluent	: Ap-C-Ab-C'
Typic Medisaprist	: Op-Oa1-Oa2-Oa3-C

2.8 Ringkasan

Faktor pembentuk tanah meliputi bahan induk, iklim, jasad hidup, relief atau topografi, dan waktu, yang menyebabkan terbentuknya berbagai jenis tanah yang memiliki sifat dan ciri berbeda-beda. Tanah terbentuk melalui proses pelapukan fisika, kimia, dan biologi. Proses tersebut menambah perbedaan sifat dan ciri tanah.

Terdapat tiga kelompok penting batuan sebagai sumber bahan induk, yaitu batuan beku, batuan endapan dan batuan metamorf. Berdasarkan kandungan SiO_2 terdapat kelompok batuan masam ($\text{SiO}_2 > 65\%$), intermediet (SiO_2 55-65%) dan basa ($\text{SiO}_2 < 55\%$). Batuan yang mempunyai komposisi yang kompleks melapuk lebih mudah, sedangkan batuan masam melapuk lebih lambat.

Bahan induk dapat digolongkan ke dalam bahan induk residual dan angkutan. Bahan induk residual adalah bahan induk yang tidak berpindah atau tetap ditempat. Artinya, tanah terbentuk di atas batuan induknya. Bahan induk angkutan adalah fragmen batuan dan mineral yang terangkut ke luar dari tempat asalnya oleh angin, air, es atau gaya gravitasi. Dengan kata lain, tanah terbentuk tidak di atas batuan induknya. Bahan induk yang penting di Indonesia adalah bahan induk residual dari batuan beku (granit, gneiss, basal, andesit) dan bahan induk endapan (batu kapur, batu pasir, dll).

Pelapukan tanah secara fisika ialah pecahnya batuan dari volume besar menjadi volume kecil perubahan suhu dan perubahan fase air tanpa mengubah komposisi kimianya. Sedangkan pelapukan secara kimia, mengubah komposisi dan sifat kimianya. Proses-proses kimia termasuk ke dalamnya pelarutan, hidrolisis, reduksi dan oksidasi.

Tanah-tanah di Indonesia didominasi oleh tanah Podzolik Merah Kuning (Ultisol), tanah gambut (Organosol/Histosol), Latosol (Oxisol), aluvial dan lain-lain. Kedua, tanah yang cukup luas di Indonesia Ultisol dan organosol mempunyai masalah-masalah reaksi yang masam, kekurangan dan kelebihan air, sehingga dibutuhkan upaya reklamasinya.

Iklim sangat mempengaruhi pembentukan tubuh tanah karena air yang berasal dari hujan serta suhu amat berperan dalam mempengaruhi reaksi-reaksi kimia, kondisi fisik tanah dan aktivitas jasad-jasad hidup. Suhu dan curah hujan di daerah tropis cenderung menurunkan pH tanah, karena intensifnya pencucian basa-basa kelapisan tanah bagian bawah. Disamping itu, iklim juga mempengaruhi pelapukan serta proses pembentukan klei.

Jenis vegetasi mempengaruhi siklus hara, tingkat evaluasi dan pencucian, semuanya dapat menghasilkan perkembangan tanah yang berbeda-beda. Tanah yang terdiri dari vegetasi hutan memiliki tingkat perkembangan profil yang lebih sempurna dibandingkan dengan vegetasi rumput. Perkembangan suatu tanah akan tergantung pula pada bahan induknya yang menentukan sifat-sifat fisika dan kimia dari tanah yang dihasilkan. Disamping ke tiga faktor di atas, tidak kalah pula pentingnya peranan yang dimainkan oleh topografi dan waktu. Kesemua faktor-faktor itu berkaitan satu sama lainnya dalam menghasilkan suatu tanah sebagai resultannya.

Profil tanah ialah penampang vertikal tanah dimulai dari permukaan tanah sampai lapisan bahan induk dibawahnya. Beberapa proses pedogenesis bertanggung jawab dalam pembentukan profil tanah. Pada umumnya hampir semua profil tanah memiliki dua atau lebih horizon. Dalam topik ini telah dikemukakan tata nama horizon dan sifat-sifatnya. Horizon A, dicirikan oleh kandungan bahan organik segar atau sedang melapuk sedikit tercampur dengan butiran tanah. Horizon B dicirikan dengan kandungan kleinya yang sangat tinggi. Sedangkan Horizon C adalah bahan induk berupa pahan batuan besar dan kecil, sedikit tercampur dengan bahan halus. Telah dijelaskan pula diagram yang memperlihatkan penabahan, kehilangan, translokasi dan transformasi yang terlibat dalam differensiasi horizon kearah pembentukan profil tanah.

Daftar Bacaan

- Foth, H. D, dan L.N. Turk, 1972, *Fundamentals of Soil Science*, Fifth Ed. John Waley & Sons, Inc.
- Jenny, H. 1941, *Factors of Soil Formation*, McGraw-Hill Company Inc. New Yoek and London.
- Mohr, C.C.J, F.A. Van Baren and J. Van Schuylenbergh, 1972, *Tropical Soil, A Comprehensive Study of Their Genesis*, Third Revised and Enlarge Edition, Houten – Ichtiar Baru – van Hoeve.
- Tambane, R.V. dan Donahue, R, 1967, *Soils and Their Chemistry in Tropical Asia*.

Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi:

1. Apakah perbedaan pelapukan dengan genesa tanah ?
2. Sebutkan penggolongan batuan dengan contohnya !
3. Apakah perbedaan disintegrasi dengan dekomposisi ?
4. Jelaskan istilah-istilah : hidrolisis, reduksi, dalam kaitannya dengan proses pelapukan.
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan bahan induk residual dan angkutan.
6. Terangkan proses pembentukan delta.
7. Tanah podzolik merah kuning dan organosol memiliki masalah-masalah tersendiri untuk diusahakan. Kenapa demikian ?
8. Jelaskan ekuasi (persamaan) yang diciptakan oleh Jenny, yang menghubungkan sifat-sifat tanah dengan faktor-faktor pembentuk tanah.
9. Terangkan peranan suhu dan curah hujan dalam pembentukan tanah.
10. Mengapa bahan organik yang disimpan dalam tanah tergenang selalu “awet”.
11. Mengapa tanah-tanah di daerah tropik yang suhu dan curah hujannya tinggi, kemasaman tanahnya cenderung tinggi?
12. Terangkan pendapat Mohr dan Van Baren mengenai fase-fase perkembangan tanah.

13. Jelaskan diagram yang menunjukkan terjadinya penambahan dan kehilangan bahan, translokasi dan translokasi yang terlibat didalam differensiasi horizon.
14. Gambarkan penampang profil tanah yang umum terdapat pada tanah di bawah hutan.
15. Jelaskan sifat-sifat penciri dari horizon B.

BAB III

SIFAT- SIFAT FISIKA TANAH

Seperti telah dikemukakan pada bagian terdahulu, tanah merupakan suatu sistem mekanik yang kompleks tersusun dari 3 fase yakni bahan-bahan padat, cair dan gas. Fase padat yang menempati hampir 50% volume tanah sebagian besar (+45%) terdiri atas bahan mineral atau inorganik dan sebagian lainnya (+5%) bahan organik. Akan tetapi, pada tanah organik (Organosol atau Histosol) bahan organik dijumpai dalam jumlah yang besar (>30%). Sisa volume selebihnya merupakan ruang pori yang ditempati sebagian oleh fase cair dan gas yang perbandingannya selalu beragam menurut musim dan pengelolaan tanah.

Dengan demikian, perbandingan keempat komponen utama tanah partikel-partikel inorganik, bahan organik, air dan udara, sangat bervariasi menurut jenis tanah, lokasi dan kedalaman.

Sifat-sifat fisika tanah diketahui, sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman. Oleh karena kondisi fisika tanah menentukan penetrasi akar di dalam tanah, retensi air, drainase (pengaliran air), aerasi (pengaliran udara) dan nutrisi tanaman. Sifat fisika tanah juga mempengaruhi sifat-sifat kimia dan biologi tanah.

Sifat-sifat fisika tanah tergantung pada jumlah, ukuran, bentuk, susunan dan komposisi mineral dari partikel-partikel tanah. Macam dan jumlah bahan organik, volume dan bentuk pori-porinya, serta perbandingan air dan udara menempati pori-pori pada waktu tertentu, juga sangat berpengaruh. Komponen terpenting yang menentukan sifat fisika tanah adalah tekstur, struktur, kerapatan (density) isi dan kerapatan jenis, porositas, konsistensi, warna dan suhu. Komponen tersebut akan diuraikan lebih lanjut.

3.1 Tekstur Tanah

Tekstur tanah ialah perbandingan relatif (dalam persen) fraksi-fraksi pasir, debu dan klei. Pasir adalah partikel mineral (inorganik) yang berukuran >50-2000 μm , debu 2-50 μm , sedangkan klei < 2 μm .

Tekstur tanah penting diketahui, karena komposisi ketiga fraksi butir-butir tanah tersebut akan menentukan sifat-sifat fisika, fisika-kimia dan kimia tanah. Sebagai contoh, besarnya tapak pertukaran dari ion-ion di dalam tanah amat ditentukan oleh tekstur tanah.

Jika beberapa contoh tanah ditetapkan atau dianalisis di laboratorium, maka hasilnya selalu memperlihatkan beraneka ragam ukurannya, ada yang berukuran koloid, sangat halus, halus, kasar dan sangat kasar.

Partikel-partikel ini telah dibagi ke dalam group-group atau kelompok-kelompok atas dasar diameternya, tanpa memandang komposisi kimia, warna, berat atau sifat lainnya. Group partikel tanah ini disebut pula “separate tanah”(soil separate). Analisis laboratorium yang memisahkan partikel-partikel tanah itu dinamakan analisis mekanis. Dalam analisis ini ditetapkan distribusi menurut ukuran –ukuran partikel tanah pasir, debu dan klei.

Pada Table 3.1 dapat dilihat klasifikasi separate tanah menurut United States Department of Agriculture (USDA) dan sistem pembagian menurut “ Internasional Soil Science Society”(ISSS). Table 3.1 memperlihatkan bahwa dalam bobot yang sama, partikel-partikel pasir ukurannya jauh lebih besar, mempunyai luas permukaan yang lebih kecil, sedangkan fraksi klei ukurannya lebih kecil, mempunyai luas permukaan yang lebih besar. Luas permukaan butir klei sangat jauh lebih besar daripada luas permukaan butir debu, apalagi dibandingkan dengan pasir, per satuan berat yang sama.

Tabel 3.1 Klasifikasi Partikel-Partikel Tanah Menurut Sistem USDA dan ISSS

Separate-tanah	Menurut USDA (mm)	Menurut ISSS (mm)	Jumlah partikel/g	Luas permukaan untuk 1g tanah (cm ²)
Pasir sangat kasar	2.00-1.00	-	90	11
Pasir kasar	1.00-0.50	2.00-0.20	720	23
Pasir sedang	0.50-0.25	-	5.700	45
Pasir halus	0.25-0.10	0.20-0.02	46.000	91
Pasir sangat halus	0.10-0.05	-	722.000	227
Debu	0.05-0.002	0.02-0.002	5.776.000	454
Klei	< 0.002	<0.002	90.260.853.000	8.000.000

Oleh karena luas permukaan pasir adalah kecil per gram, maka peranannya dalam ikut mengatur sifat-sifat kimia juga kecil sekali. Oleh karena fraksi pasir mempunyai luas permukaan yang kecil, tetapi memiliki ukuran yang besar, maka fungsi utamanya adalah sebagai penyangga partikel- partikel klei dan debu yang lebih aktif. Jika semakin tinggi presentase pasir dalam tanah , semakin banyak ruang pori diantara partikel-partikel tanah, maka semakin dapat memperlancar gerakan udara dan air di dalam tanah tersebut.

Telah diketahui bahwa pasir dan debu, terutama yang berasal pecahnya butir-butir mineral tanah, ukurannya berbeda dari satu jenis tanah dengan tanah jenis tanah lain. Luas permukaan debu jauh lebih besar dari luas permukaan pasir per gram (lihat Tabel 3.1). Tingkat pelapukan debu dan pembebasan unsur-unsur hara untuk diserap akar lebih daripada pasir.

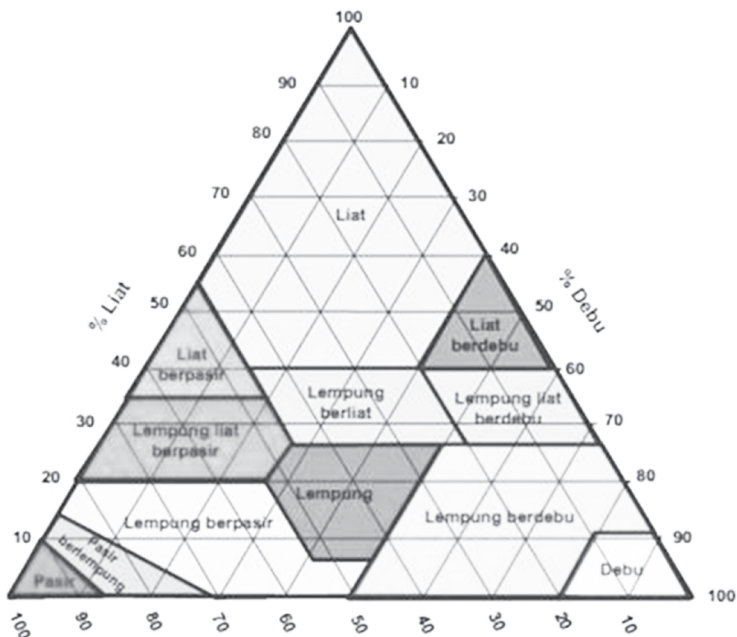
Partikel-partikel debu terasa licin sebagai tepung (powder) dan kurang melekat. Tanah- tanah yang memiliki kemampuan besar dalam memegang air adalah fraksi klei. Sedangkan tanah-tanah yang mengandung debu yang tinggi dapat memegang air tersedia untuk tanaman. Fraksi klei pada kebanyakan tanah terdiri atas mineral-mineral yang berbeda komposisi kimianya dan sifat-sifat lainnya dibandingkan dengan pasir dan debu.

Data fraksi klei dalam Tabel 3.1 memperlihatkan luas permukaan yang besar. Di dalam tanah, molekul-molekul air mengelilingi partikel-partikel klei berbentuk selaput tipis, sehingga jumlah klei akan menentukan kapasitas memegang air dalam tanah. Disamping itu permukaan klei dapat menyerap (mengadsorpsi) sejumlah unsur-unsur hara dalam tanah. Dengan demikian, klei yang permukaannya bermuatan negatif dianggap sebagai penyimpanan air dan makanan untuk tanaman.

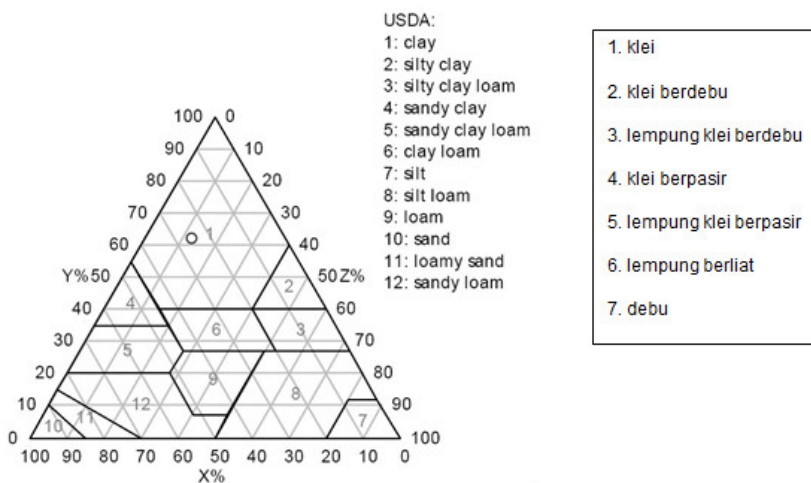
3.1.1 Kelas tekstur tanah

Kelas tekstur ditentukan berdasarkan persentase antara pasir, debu, dan klei suatu tanah. Di alam ternyata tanah tidak pernah hanya memiliki satu fraksi saja. Langkah pertama dalam klasifikasi tekstur ini adalah dengan mengelompokkan mereka atas dasar proporsi atau persentase dari masing-masing fraksi. Kelompok –kelompok ini dinamakan kelas tekstur tanah.

USDA telah menetapkan sebanyak 12 kelas tekstur tanah. Bila hasil analisis mekanis tanah menunjukkan bahwa tanah mengandung 15% klei, 20% debu dan 65% pasir, maka pertanyaan yang logis adalah apakah nama tekstur tanah ini? Gambar 3.1 yang melukiskan diagram segitiga tekstur menurut USDA memperlihatkan jumlah persentase pasir, debu dan klei adalah 100. Titik A misalnya mewakili 15% klei, 20% debu dan 65% pasir, maka kelas tekstur pada titik A, adalah **lempung berpasir** (warna pink). Untuk latihan penentuan kelas tekstur dapat juga digunakan Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Diagram segitiga tekstur menurut USDA



Gambar 3.2 Diagram segitiga tekstur menurut USDA dengan nama kelas diluar

3.1.2 Penentuan tekstur tanah

Penetapan tekstur di laboratorium dapat dilakukan dengan analisis mekanis. Proses penentuan jumlah separat- separat dibawah ukuran dua mm, ialah pasir, debu, dan klei dinamakan analisis mekanis. Analisis mekanis ini umumnya dilakukan di laboratorium dan merupakan bagian yang harus ditetapkan. Akan tetapi, analisis kualitatif juga dapat dilatih di lapangan dengan menggunakan perasaan diantara 2 jari. Tanah dengan sedikit air ditaruh di antara 2 jari empu dan telunjuk, atau dengan 2 jari lainnya, lalu diremas-remas. Bila terasa kasar, maka kelas teksturnya pasir, bila terasa seperti bedak, teksturnya debu, dan bila licin seta lengket, teksturnya klei. Bila terasa campuran, seperti licin lengket, tapi ada sedikit kasar, maka teksturnya klei berpasir. Jika terasa kasar, tetapi ada sedikit seperti bedak, maka teksturnya pasir berlempung, dan seterusnya. Hasil analisis kualitatif di lapangan ini dapat membantu pengambilan kesimpulan di lapangan, dan dapat disempurnakan di laboratorium.

Sebelum analisis mekanis dijalankan, contoh tanah kering udara harus dihancurkan dulu, kemudian disaring dengan ayakan 2 mm. Semua kerikil, sisa tanaman, seperti daun, akar, dan lainnya harus dibuang.

Untuk memperoleh hasil analisis yang akurat, bahan organik harus dihancurkan terlebih dulu dengan penambahan hydrogen-peroksida (H_2O_2) ke dalam contoh tanah yang telah disiapkan dalam gelas piala 1000ml; bahan – bahan pengikat seperti karbonat-karbonat dan oksida-oksida juga perlu disingkirkan dengan menambahkan asam chlorida (HCl), selanjutnya agar partikel-partikel tanah itu terdispersi sempurna ditambahkan pula natrium hidroksida (NaOH).

Ada beberapa metoda analisis mekanis, tetapi hanya dua metoda yang acapkali digunakan, yakni metoda pipet dan metoda hydrometer bouyocos. Kedua metoda ini didasarkan atas perbedaan kecepatan jatuh partikel-partikel di dalam air dan ketelitian metoda ini tergantung pada kondisi dan asumsi sebagai berikut:

- a. Dispersi partikel-partikel harus sempurna
- b. Suspensi tanah di dalam air harus encer, sehingga menghindari tubrukan-tubrukan sesama partikel.
- c. Partikel –partikel bulat dengan permukaan yang rigid
- d. Temperatur dijaga konstan selama analisis

- e. Semua partikel-partikel tanah memiliki kerapatan yang sama
- f. Dinding silinder dimana analisis dilakukan tidak mempengaruhi” settling” partikel-partikel di dalam suspensi.

Gerakan jatuh partikel-partikel di dalam cairan (fall of particles in liquid) sangat erat hubungannya dengan radius partikel. Stokes pada tahun 1851 mengemukakan formula yang menghubungkan kedua variable ini sebagai berikut:

$$V = \frac{2}{9} \frac{(dp - d) g \cdot r^2}{n}$$

Dalam hal ini :

V = adalah kecepatan jatuh partikel dalam cm/detik

g = kecepatan karena gravitasi,

dp = kerapatan partikel,

d = kerapatan cairan,

r = radius partikel dalam cm dan adalah viskositet absolute cairan.

Dari formula di atas jelaslah bahwa kecepatan jatuh partikel dengan kerapatan (density) yang sama pada suatu cairan akan meningkat jika kuadrat radius bertambah besar.

3.1.3 Ciri tekstur profil

Tekstur tiap horizon dalam suatu profil tanah biasanya berbeda-beda. Jika hal ini terjadi, maka tanah disebut memiliki tekstur profil. Jika tekstur ini sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah pada tiap-tiap horizon, maka perkembangan tekstur profil harus diberikan perhatian. Partikel-partikel klei bersama air perkolasi bergerak dari horizon A dan ditumpulkan (deposit) di zona horizon B. Dengan demikian kandungan klei pada horizon ini adalah tinggi.

Mayoritas tanah di dunia memiliki horizon B yang kaya akan partikel klei. Horizon yang kaya klei ini umumnya diberi symbol Bt. Simbol t berasal dari istilah Jerman “ ton” artinya “klei”. Jika horizon Bt mempunyai 20% klei atau lebih dari horizon atasnya, maka horizon ini dikualifikasikan sebagai *horizon argillik*.

Contoh tekstur profil adalah tanah lempung di Miami USA. Pada tanah ini persentase yang sama terdapat pada horizon A_1 dan A_2 .

Kandungan klei pada horizon Bt lebih kurang dua kali kandungan klei pada horizon A. terdapatnya kulit-kulit klei (*clay skin*) atau *cutan* atau mantel pada permukaan agregat tanah dan pada ruang pori-pori horizon Bt, membuktikan transkolasi klei itu memegang peranan penting dalam perkembangan tekstur profil tanah. Terjadinya peningkatan sejumlah klei dalam sub-soil adalah penting, karena dapat meningkatkan persediaan air dan makanan pada zona tersebut.

Dengan pengurangan yang kecil terhadap jumlah air yang dapat bergerak ke dalam tanah, berarti jumlah hara yang hilang melalui pencucian juga berkurang. Walaupun demikian, pada kejadian tertentu seperti berakumulasinya klei dalam jumlah yang besar di Bt horizon, dapat menghasilkan *clay-plan*. Hal ini akan mengakibatkan gerakan-gerakan air dan udara sebagian tanah bawah terhambat, demikian pula penetrasi akar tanaman menjadi sukar atau bahkan terhambat. Akibatnya, kemampuan akar juga berkurang dalam menyerap air dan hara.

3.1.4 Kepentingan tekstur tanah

Tekstur tanah berhubungan erat dengan plastisitas, permeabilitas, kekerasan, kemudahan olah, kesuburan, dan produktifitas tanah pada daerah-daerah geografis tertentu. Akan tetapi, berhubungan dengan adanya variasi yang terdapat dalam sistem minerologi faraksi tanah, maka belum ada ketentuan –ketentuan umum yang berlaku untuk semua jenis tanah di permukaan bumi.

Tanah dengan 25% klei misalnya, maka klei monmorillonit akan lebih plastis dibandingkan dengan tanah yang mengandung 70% klei yang terdiri dari oksida-oksida berair dari besi dan aluminium. Pasir dan debu pada beberapa tanah, umumnya terdiri atas mineral-mineral yang kaya hara-hara esensial, sedangkan pada kasus lain mereka didominasi oleh kuwarsa (SiO_2). Tidak suburnya tanah-tanah berpasir biasanya berhubungan erat dengan kandungan kuwarsa yang tinggi.

Hasil penelitian-penelitian yang menghubungkan tekstur tanah dengan produksi tanaman disajikan pada Table 3.2. Dari table 3.2 terlihat bahwa hasil tanaman jagung tertinggi terdapat pada tanah lempung, sedangkan kentang pada lempung berpasir, keduanya tanpa air irigasi.

Tabel 3.2 Hubungan Antara Tekstur dan Rerata Hasil Tanaman
(Produktivitas) Tanah

Tekstur yang dominan dilapisan atas (3 kali) dari profil	Hasil per acre	
	Jagung (dalam bushel)	Kentang (dalam qwt)
Klei	80	-
Lempung	100	250
Lempung berpasir	80	300
Pasir berlempung	60	250
Pasir dengan irigasi	120	300

3.2 Struktur tanah

Jika istilah tekstur digunakan untuk menyatakan komposisi fraksi pasir, debu dan klei, maka struktur adalah penggabungan partikel-partikel pasir, debu dan klei menjadi agregat-agregat. Pada dasarnya struktur tanah adalah penyusunan (arrangement) partikel-partikel tanah primer seperti pasir, debu dan klei membentuk agregat-agregat, yang satu agregat dengan yang lainnya dibatasi oleh bidang belah alami yang lemah.

Sehubungan dengan cara terbentuknya struktur tanah dikenal beberapa istilah. Agregat yang terbentuk secara alam (natural agregat) disebut **ped**, sedangkan untuk bongkah tanah hasil pengolahan tanah disebut **clod**. Apabila ped pecah, maka disebut fragment agment, sedangkan agregat yang terbentuk akibat presipitasi garam-garam terlarut karena fluktuasi yang besar dari permukaan air tanah disebut **kongkresi**, misalnya kongkresi besi.

Struktur dapat memodifikasi pengaruh tekstur dalam hubungannya dengan kelembaban, porositas, tersedianya unsur hara, kegiatan jasad hidup dan pertumbuhan akar. Salah satu contoh hubungan struktur tanah dengan produktivitas tanah adalah kasus yang terjadi pada tanah “ black lands” di Alabama, Texas –USA. Tanah disini mengandung klei cukup tinggi yakni 60%. Dari hasil percobaan ditunjukkan bahwa tanah ini tidak akan produktif jika tidak terjadi perkembangan struktur yang sempurna yang mampu memperbaiki sistem aerasi dan drainase.

3.2.1 Tipe struktur tanah

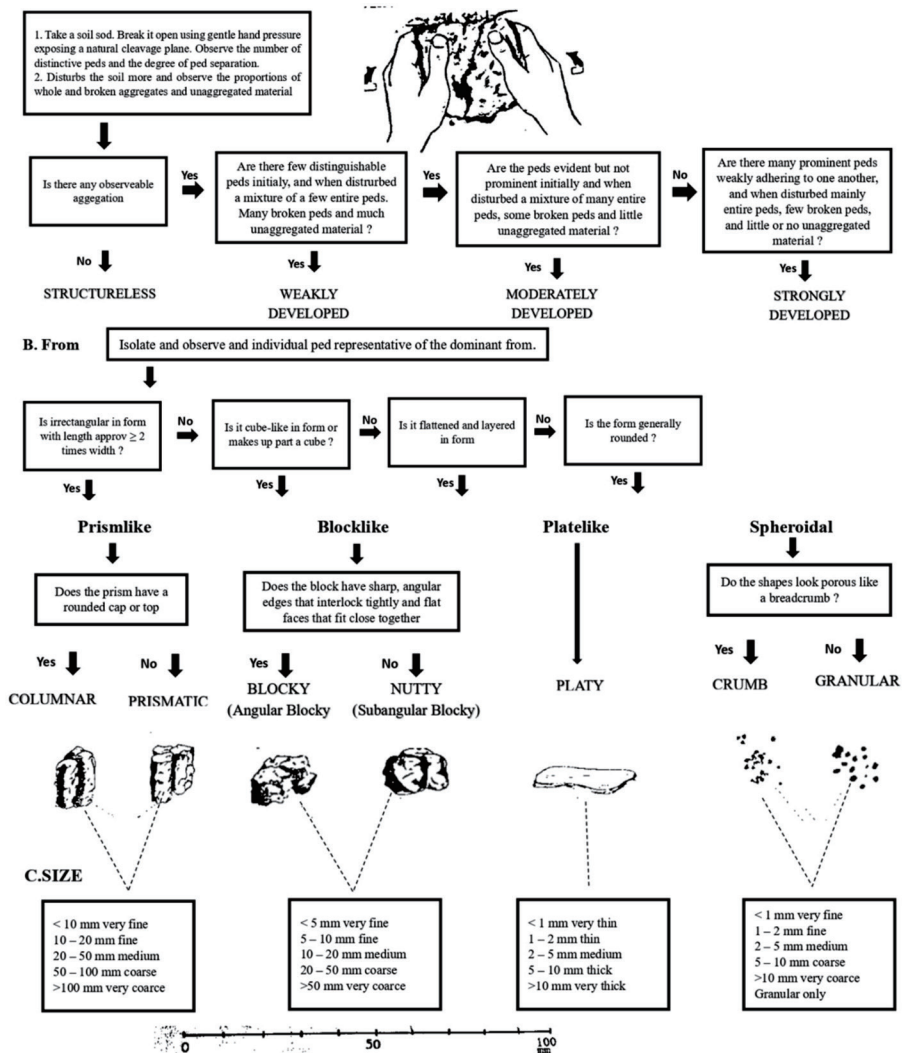
Berdasarkan bentuk atau tipe terdapat empat bentuk struktur tanah, yaitu :

- a. Lempeng : dimensi horizontal lebih berkembang dari vertikal, menghasilkan bentuk lempeng-lempeng. Lempeng yang tebal disebut *platy*, sedangkan lempeng tipis disebut *laminar*.
- b. Prisma : sumbu vertikal lebih berkembang dari lainnya, bagian samping agak datar(flat) menghasilkan bangunan bentuk pilar. Jika puncak ped adalah bulat disebut struktur *coloumnar*, jika datar disebut prisma.
- c. Gumpal : perkembangan ketiga dimensi lebih kurang sama dan ped-ped terbentuk serupa kubus dengan muka datar atau bulat. Jika mukanya datar dan pinggirannya bersudut tajam, maka strukturnya dinamakan gumpal bersudut(angular bloocky).
- d. Spheroidal:berbentuk bulat atau spheroidal, degan semua sumbu lebih kurang sama panjangnya dengan muka tidak beraturan (irregular). Biasanya ukuran struktur kecil, agregat-agregat dari group ini dinamakan *granular* jika relative kurang porous, sedangkan untuk granular sangat porous dinamakan *crumb* atau remah.

Keempat bentuk utama struktur tersebut, akhirnya menghasilkan enam tipe struktur tanah seperti yang terlihat pada Gambar 3.3. Dalam gambar ini diringkas penyifatannya, serta kemungkinan di lokasi mana struktur itu biasanya terdapat.

Gambar 3.3 Tipe struktur, penyifatan, diagram agregat dan lokasinya pada profil tanah

Tipe struktur	Penyifatan Agregat	Diagram agregat	Lokasi pada horizon
Granular	kurang porous ukuran kecil padat, tidak terikat antara aggregate, bulat		Horizon A
Remah (crumb)	porous, bulat, ukuran kecil, agregat tidak terikat sesamanya		Horizon A
Lempeng (plate)	agregat berbentuk lempeng		Sering terdapat pada horizon A2 tanah hutan dan tanah claypan
Gumpal	gumpal berbetuk kubus, agregat berpegang erat dengan lainnya, jika terjadi agregat lebih kecil		Horizon B
Gumpal bersudut	berbetuk gumpal, bermuka datar dengan pinggir bersudut tajam		Horizon B
Prisma	bentuk mirip prisma, bagian atas datar		Horizon B
Columnar	agregat seperti tiang dengan puncak berbentuk agak bulat		Horizon B



Gambar 3.4 Soil Flow Diagram

Ukuran makroskopik kebanyakan ped-ped memberikan kemungkinan ruang udara antara ped itu lebih besar dibandingkan dengan ruang udara antar pasir, debu dan klei. Peristiwa inilah yang merupakan pengaruh utama struktur terhadap hubungan-hubungannya dengan ruang pori-pori tanah. Gerakan udara dan air akan berlangsung dengan baik jika struktur tanah itu adalah remah. Ruang antar ped juga bertindak sebagai koridor untuk penetrasi akar tanaman. Struktur itu juga disifatkan menurut ukuran dan tingkat perkembangannya (kuat, lemah dan lain-lain).

Jika pada suatu tanah tidak terlihat adanya perkembangan struktur, maka grade struktur tanah adalah *structurless* (tanpa struktur). Dikenal dua jenis tanah tanpa struktur, yakni butir tunggal (pasir lepas) dan *massive* (klei terikat kuat). Butir tunggal adalah apabila partikel-partikel tanah dalam keadaan lepas (tidak terikat) satu dengan lainnya. Keadaan ini sering dijumpai pada tanah-tanah yang banyak mengandung pasir. Struktur *massive* dipergunakan untuk tanah-tanah padat yang ruang pori-porinya kebanyakan telah diisi oleh butir-butir klei. Keadaan ini terjadi apabila tanah itu selalu mendapat tekanan dari atas tanah. Kondisi tanah padat seperti itu disebut *massive*.

3.2.2 Pembentukan struktur tanah

Struktur tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan dapat berubah karena pengolahan tanah. Struktur dapat berkembang dari butir-butir tunggal ataupun kondisi *massive*. Dalam rangka menghasilkan agregat-agregat terdapat beberapa mekanisme. Partikel-partikel tanah mengelompok bersama-sama menjadi bentuk *cluster*. Pembentukan *cluster* ini kadang-kadang sampai ketaraf perkembangan struktur yang mantap.

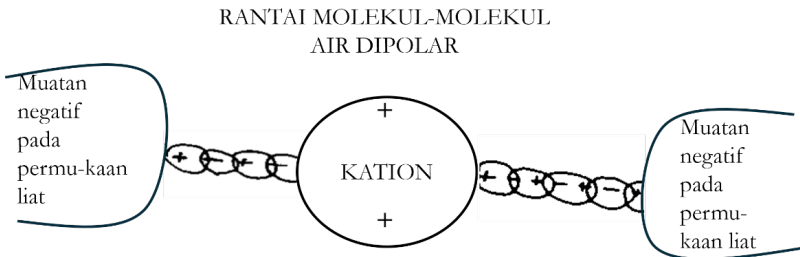
Bukti-bukti menunjukkan bahwa fraksi klei, terutama yang bersifat *kolloid* merupakan komponen aktif dalam pembentukan struktur tanah. Di samping klei bahan organik dalam bentuk humus juga berperan aktif dalam pembentukan struktur tanah.

Tiga group bahan *kolloid* tanah dikenal sebagai bahan perekat (*cometing agent*) dalam proses pembentukan agregat-agregat tanah, yaitu:

- a. Mineral-mineral klei
- b. Oksida-oksida besi dan mangan yang bersifat *koloidal*,
- c. Koloid organik, termasuk gum yang dihasilkan oleh aktifitas jasad renik.

Oleh karena partikel-partikel koloid itu bermuatan listrik negatif, maka molekul-molekul air bipolar akan terjepit (teradsorpsi) di permukaan klei. Jerapan molekul-molekul itu secara skematis dapat dilihat pada Gambar 3.5. Dari Gambar 3.5 tampak bahwa rantai molekul air(dipolar) dapat merangkai koloid klei bersama-sama dengan kation-kation.

Para peneliti di Universitas Wisconsin telah menentukan agregasi empat jenis tanah, dan menetapkan kandungan “microbial gum: oksida besi, karbon organik (bahan organik) dan klei. Hasilnya disajikan pada Tabel 3.3. Microbial gum merupakan bahan penting dalam proses agregasi pada tiga tanah dari empat tanah yang dicoba.



Gambar 3.5 Skema mekanisme proses pembentukan struktur (jika air menguap, maka lempeng- lempeng luas akan berdekatan, dan dengan bantuan bahan perekat, struktur turut berkembang).

Tabel 3.3 Urutan menurut pentingnya unsur-unsur tanah dalam proses pembentukan agregat diatas diameter 0.5 mm pada empat macam tanah di Winconsin.

Tipe tanah	Urutan menurut pentingnya unsur-unsur tanah dalam proses pembentukan agregat-agregat tanah
Lempung berdebu par	Microbial gum> klei>besi oksida>karbon organik
Lempung berdebu Almena	Microbial gum> besi oksida
Lempung klei Miami	Microbial gum> besi oksida > karbon organik
Lempung berdebu Kewanee	Besi oksida. klei> microbial gum
Semua tanah	Microbial gum> besi oksida> karbon organik klei

Besi oksida merupakan bahan perekat penting pada tanah lempung berdebu Kewanee. Dari hasil percobaan di atas jelaslah bahwa aktifitas jasad renik itu memegang peranan penting dalam proses pembentukan agregat-agregat tanah. Banyak percobaan menunjukkan bahwa tanpa aktifitas jasad renik, penambahan sisa-sisa tanaman kedalam tanah, akan berpengaruh kecil sekali terhadap agregasi tanah.

Aggregasi pada hakekatnya amat dipengaruhi oleh kegiatan mikroba-mikroba dalam tanah dan dibantu oleh terdapatnya sejumlah bahan organik. Faktor-faktor yang terlibat dalam proses pembentukan agregat ini adalah organisme, seperti benang-benang jamur yang dapat mengikat satu partikel tanah dengan partikel lainnya.

Organisme juga memproduksi sejumlah bahan kimia (seperti asam-asam organik) yang dapat merekat partikel-partikel tanah. Lemak-lemak dan lilin juga cenderung berperan dalam memantapkan agregat-agregat tanah.

3.2.3 Pengaruh pengolahan tanah terhadap struktur

Pada paragraf terdahulu telah dikemukakan bahwa agregat tanah selalu dalam tingkatan perubahan yang kontinu. Pembasahan, pengeringan, pengolahan tanah dan aktifitas biologis, semuanya berpengaruh. Semuanya berperan dalam pengrusakan dan pembangunan aggregate-agregat tanah. Struktur lapisan olah dipengaruhi oleh pengelolaan praktis. Dalam hal ini erasi dan drainase membatasi pertumbuhan tanaman. Sistem pertanaman yang mampu menjaga kemantapan aggregasi tanah akan memberikan hasil yang tinggi bagi produksi pertanian.

Sebagai contoh, adalah percobaan yang dilakukan di Ohio-USA pada tanah-tanah klei Paulding, ternyata persentase tanah yang beragregat, berkorelasi positif dengan hasil jagung. Hasil percobaan menunjukkan bahwa jika jagung ditanam berselang-seling dengan kacang-kacangan, maka kacang-kacangan dapat membantu hasil jagung yang tinggi, karena terjadinya peningkatan N tersedia di dalam tanah. Walaupun demikian, fakta menunjukkan bahwa penggunaan pupuk terhadap petak-petak percobaan yang beragregat rendah, berproduksi rendah daripada tanah beragregat tinggi. Petak percobaan beragregat rendah yang tidak dipupuk menghasilkan lebih kurang 30 bushel, sedangkan produksi dari tanah beraggregasi baik pada petak percobaan yang tidak dipupuk menghasilkan lebih kurang 70 bushel. Ini menunjukkan bahwa kondisi fisis tanah dari petak beraggregasi rendah membatasi hasil jagung.

Hasil penelitian juga menunjukkan, bahwa pada sistem jagung-oat-kacang, terlihat peningkatan yang nyata dari aggregasi tanah. Agregasi yang menyolok terjadi pada teknik penanaman agak jarang karena tanah ditutup canopy tanaman. Dalam hal ini canopy dapat menjadi payung yang menghalangi pukulan butir-butir hujan ke tanah, sehingga kerusakan agregat-agregat tanah dapat dihindari.

3.3 Konsistensi tanah

Konsistensi tanah ialah istilah yang berkaitan sangat erat dengan kandungan air yang menunjukkan manifestasi gaya-gaya fisika tanah, yakni kohesi dan adhesi yang bekerja di dalam tanah pada kandungan air yang berbeda-beda.

Setiap materi tanah mempunyai konsistensi yaitu baik bila masa tanah itu besar atau kecil (sedikit), dalam keadaan alamiah ataupun sangat terganggu, berbentuk aggregate atau tanpa struktur, maupun dalam keadaan lembab atau kering.

Sekalipun konsistensi tanah dan struktur berhubungan erat satu sama lain, struktur tanah menyangkut bentuk, ukuran dan pendefinisian aggregate alamiah yang merupakan hasil dari keragaman gaya tarikan didalam masa tanah. Sebaliknya konsistensi meliputi kekuatan dan corak dari gaya-gaya tersebut.

Konsistensi tanah bergantung pada tekstur, sifat dan jumlah koloid-koloid inorganik dan organik, struktur dan terutama kandungan air. Umumnya tanah-tanah akan kehilangan sifat melekatnya (stickness) dan plastisnya, dan dapat menjadi gembur (friable) dan lunak (soft) dan akhirnya jika kering menjadi keras dan coherent.

3.3.1 Cara penentuan konsistensi

Istilah-istilah yang umum digunakan untuk menyifatkan konsistensi tanah pada kandungan air yang berbeda-beda adalah sebagai berikut :

Konsistensi basah (lebih kurang kandungan air pada kapasitas lapang)

Kelekatan atau stickness adalah sifat tanah yang dapat melekat atau menempel pada benda-benda yang mengenainya. Dapat dibagi atas: tidak melekat, sedikit melekat, lekat, dan sangat lekat.

Plastisitas: menunjukkan sifat-sifat yang mempunyai kemampuan dapat dengan mudah diubah-ubah bentuknya. Dapat dibagi atas: non plastic, slightly plastic, plastic dan very- plastic.

Konsistensi lembab:(Sedikit basah), kira-kira kandungan airnya terletak antara tanah kering-udara dan kapasitas lapang). Dicitrakan oleh tanah yang gembur. Istilah-istilah yang digunakan adalah: lepas, lunak, sedikit keras, keras, sangat keras dan ekstrem keras.

Jumlah dan ciri bahan koloid mempengaruhi plastisitas. Fraksi-fraksi klei silika menunjukkan plastisitas yang kuat dibandingkan dengan sesquioxida. Hal ini mungkin disebabkan oleh ciri-ciri klei yang mirip lempung. *Monmorillonit* lebih plastis dibandingkan dengan klei *kaolinit*.

Tanah yang berbeda, akan berbeda pula sifat plastisitasnya. Plastic number menyatakan perbedaan antara kandungan air pada batas plastic tertinggi (upper plastic limit) dan batas plastic terendah (lower plastic limit). Upper plastic limit, ialah kandungan air dalam tanah pada waktu masa tanah- air mulai mengalir(flows)dibawah pengaruh gaya-gaya dan tak mampu mempertahankan bentuknya semula. Sedangkan lower plastic limit menyatakan kandungan air dalam tanah pada saat mana konsistensi tanah berubah dari lekat menjadi friable (gembur), sedangkan masa tidak mampu memperoleh bentuk secara kontiniu dibawah pengaruh gaya.

3.3.2 Kepentingan konsistensi

Pekerjaan yang orisinal dari Atterberg dilaksanakan mula-mula adalah dengan harapan untuk mendapatkan beberapa kriteria sifat fisika tanah untuk klasifikasi tanah. Dia membuat bermacam-macam penetapan konsistensi dalam usaha mengklasifikasikan tanah-tanah di Swedia.

Terzaghi pada tahun 1926 juga mengemukakan batas-batas kelekatan (plastic limit) itu dapat digunakan sebagai indeks untuk klasifikasi fisika tanah. Tanah-tanah yang tinggi “upper plastic limit”nya akan mengandung jumlah yang banyak fraksi partikel-partikel yang berbentuk lempeng. Tanah-tanah yang memiliki “upper plastic limit” yang tinggi dan rendah plasticity numbernya akan mempunyai partikel-partikel yang berukuran sedang. Akan tetapi, jika plasticity number tinggi, maka akan terkandung dalam tanah ini partikel berbentuk lempeng.

Pada tahun 1926, Russel menemukan bahwa konstanta Atterberg dapat juga digunakan untuk mengetahui tingkat akumulasi sebagai indeks yang memuaskan dan dapat juga digunakan untuk mengetahui tingkat akumulasi klei di dalam profil tanah.

Pada tahun yang sama, Terzaghi telah menghubungkan “lower plastic limit” dengan permeabilitas klei serta terhadap jumlah evaporasi air tanah. Dikemukakan bahwa koefisiensi permeabilitas dari klei yang homogen turun dengan cepat jika kandungan air menurun hingga saat lower plastic limit tercapai, nilainya praktis sama dengan 0.

Nichols dan kawan-kawan (1930) juga melaporkan bahwa konstanta Atterberg dapat digunakan dengan memuaskan dalam hubungannya dengan pengolahan tanah dan untuk design alat-alat pengolah tanah pertanian.

3.4 Porositas tanah

Di dalam tanah terdapat sejumlah ruang pori (pori-pori). Ruang pori-pori ini penting, karena pori-pori ini diisi oleh air dan udara. Air dan udara (gas-gas) juga bergerak melalui ruang pori ini. Jadi penyediaan air dan O_2 untuk pertumbuhan tanaman dan jumlah air yang bergerak melalui tanah berkaitan sangat erat dengan jumlah dan ukuran pori-pori tanah ini. Oleh karena berat tanah berhubungan dengan jumlah ruang pori-pori maka hubungan ruang pori dan berat tanah akan didiskusikan bersama-sama.

Berat dan ruang pori tanah bervariasi dari satu horizon ke horizon yang lain, sama halnya dengan sifat tanah lainnya dan kedua variable ini dipengaruhi oleh tekstur dan struktur tanah.

3.4.1 Kerapatan isi

Kerapatan isi atau berat volume (BV) adalah berat tanah kering per satuan volume tanah kering oven, bearti termasuk ruang pori yang ada dalam volume tanah, dengan satuan dalam g/cm^3 . Kerapatan Zarah atau berat jenis (BJ) adalah berat kering tanah tanpa ruang pori, juga dengan satuan g/cm^3 .

Contoh tanah yang digunakan untuk menetapkan kerapatan isi (BV) dan kerapatan zarah atau berat jenis (BJ), harus diambil secara hati-hati dari dalam tanah. Pengambilan contoh tanah tidak boleh merusak struktur asli tanah. Empat atau lebih bongkah (gumpal) tanah biasanya diambil dari tiap horizon untuk memperoleh nilai rata-rata. Cara yang lebih tepat, biasanya menggunakan ring sampel yang sudah diketahui volume dan beratnya .

Gumpal-gumpal tanah atau contoh tanah dalam ring yang diambil dari lapangan untuk penetapan kerapatan isi dn kerapatan jenis itu dibawa ke laboratorium untuk dikeringkan dalam oven dan ditimbang. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Kerapatan isi} = \frac{\text{berat tanah kering oven (g)}}{\text{Volume tanah (cm}^3\text{)}} = g/cm^3$$

Jika ditetapkan dalam g/cm^3 , maka kerapatan isi lapisan olah berstruktur halus biasanya berkisar antara 1.0-1.3. Sedangkan jika tekstur tanah kasar, maka kisaran kerapatan isi selalu diantara 1.3-1.8. Semakin berkembang struktur tanah lapisan olah yang berstruktur biasanya memiliki nilai berat volume rendah, dibandingkan pada tanah-tanah berpasir. Kerapatan isi horizon-horizon tanah Miami Loam, memperlihatkan bahwa bahan induk merupakan lapisan yang terpadat dan memiliki nilai kerapatan isi 1.8 g/cm^3 . Untuk kepentingan perhitungan-perhitungan kuantitatif tanah mineral, biasanya disepakati menggunakan BV tanah rata-rata sama dengan $1 \text{ g/cm}^3 = 1$

Berdasarkan kesepakatan tersebut, maka bobot tanah satu hektar dengan kedalaman 20 cm dapat dihitung sebagai berikut:

Volume tanah 1 ha sedalam 20cm = $100\text{m} \times 100\text{m} \times 0,2\text{m} = 2000 \text{ m}^3 = 2000.000 \text{ dm}^3$

Bila BV tanah sama dengan 1, maka bobot tanah 1 ha = $2000.000 \text{ kg} = 2 \times 10^6 \text{ kg}$

Timbulnya proses pembentukan struktur di horizon –horizon bagian atas dari bahan induk ini mengakibatkan kerapatan isi lebih rendah dari bahan induk itu sendiri.

Tanah organik memiliki nilai kerapatan isi yang sangat rendah dibandingkan dengan tanah mineral. Tergantung dari sifat-sifat bahan organik yang menyusun tanah organik itu dan kandungan air pada saat pengambilannya, maka biasanya kerapatan isi tanah organik berkisar antara $0,2-0,6 \text{ g/cm}^3$.

3.4.2 Kerapatan zarah

Dalam menentukan kerapatan zarah tiap jenis tanah adalah konstan dan tidak bervariasi dengan jumlah ruang antara partikel-partikel. Untuk kebanyakan tanah-tanah mineral, rata-rata kerapatan zarahnya adalah $2,65 \text{ gr/cm}^3$. Perbedaan kerapatan zarah diantara jenis-jenis tanah tidak begitu besar kecuali terdapat variasi yang besar di dalam kandungan bahan organik dan komposisi mineral tanah.

3.4.3 Ruang pori-pori tanah

Persentase ruang pori-pori dalam tanah dapat dihitung dari kerapatan isi dan kerapatan zarah, jika keduanya ditetapkan dalam pengukuran yang sama. Rumus berikut akan memberikan persentase tanah yang merupakan partikel-partikel padat:

$$\frac{\text{kerapatan isi}}{\text{Kerapatan zarah}} \times 100\% = \dots (\%)$$

Substitusi berat jenis palsu dengan 1.3 dari rumus tadi dan 2.65 untuk berat jenis partikel, menghasilkan 50.35 ruang pori-pori, yang typical terjadi pada lapis berstekstur sedang.

Gumpal tanah yang digunakan untuk menentuakn kerapatan isi dapat pula digunakan untuk menentukan Ruang pori-pori Total. Untuk menentukan ruang pori-pori gumpalan tanah diletakkan di atas pan yang ber air, hingga tanah jenuh air dan kemudian gumpalan tanah ditimbang. Perbedaan berat antara tanah jenuh air yang sama dengan volume ruang pori-pori dalam tanah.

Untuk 174 cm³ gumpal tanah yang mengandung 87 gr (87cc) air pada saat jenuh, maka ruang pori-pori total tanah adalah 50%.

3.4.4 Kepentingan ruang pori tanah

Ketika mendiskusikan kerapatan isi, telah ditegaskan bahwa top-soil yang berpasir biasanya mempunyai kerapatan isi yang lebih besar dibandingkan dengan tanah-tanah yang berklei. Artinya dalam kondisi kering , tanah berpasir memiliki volume yang diisi ruang pori lebih rendah. Meskipun dari pengalaman sehari-sehari memberi-tahukan bahwa biasanya bergerak lebih cepat melalui tanah-tanah berpasir dibandingkan tanah-tanah berklei.

Ruang pori-pori total pada tanah berpasir semakin rendah, tetapi sebahagian besar dari pori-pori itu terdiri pori-pori yang besar dan sangat efisien dalam lalu lintas air maupun udara. Persentase volume yang ditempati oleh pori-pori kecil, dalam tanah-tanah berpasir adalah rendah, yang menunjukkan kapasitas memegang air yang rendah. Sebaliknya, pada top soil bertekstur halus, memiliki ruang pori total yang sebagian besar terdiri dari pori-pori kecil. Hasilnya adalah tanah dengan kapasitas memegang air yang besar.

Air dan udara bergerak melalui tanah dengan sukar karena hanya sedikit saja terdapat pori-pori berukuran besar. Jadi dapat kita lihat bahwa ukuran ruang pori-pori itu dalam tanah sama pentingnya dengan jumlah ruang pori-pori total. Pada tanah yang lembab, berdrainase baik ruang pori-pori besar biasanya diisi oleh udara dan sebagai akibatnya mereka disebut pori-pori aerasi (aeration pores) atau pori-pori makro (macro pores). Pori-pori yang lebih kecil biasanya cenderung diisi oleh air dan biasanya disebut kapiler atau pori-pori micro (micro pores).

Distribusi ruang pori di dalam profil tanah matang (telah berkembang sempurna) dapat dilihat pada Tabel 3-4. Adanya perkembangan struktur granular pada horizontal memberikan hasil porositas total yang tinggi, meningkatkan jumlah ruang pori mikro dan makro.

Tabel 3.3 Permeabilitas Tanah dan Klas Perkolasi

Klas	Permeabilitas Inchi/jam	Perkolasi Menit/inchi
<u>Lambat</u>		
Sangat lambat	0.50	1200
Lambat	0.50-0.20	300-12000
<u>Sedang</u>		
3. Agak sedang	0.20-0.80	75-300
4. Sedang	0.80-0.50	24-75
5. Agak cepat	2.50-5.00	12-24
<u>Cepat</u>		
6. Cepat	5.00-10.00	6-12
7. Sangat cepat	10.00	6

Seperti telah dijelaskan pada bagian terdahulu, dengan posisi klei di dalam pori-pori horizon Bt dapat menyebabkan merosotnya porositas tanah. Horizon Bt tanah ini dapat mengandung sedikit kedua tipe ruang pori tersebut di atas dibandingkan dengan horizon Al.

Air di dalam tabung kapiler tidak akan bergerak atau didrain keluar. Hal ini disebabkan oleh karena adanya atraksi air dengan gelas yang memberikan tahanan yang besar, sehingga air inipun tidak dapat bergerak kebawah oleh gaya gravitasi. Sebagai hasilnya adalah suatu zat (substance) dapat menjadi sangat porous dan perlahan-lahan permeable terhadap air.

Dalam tabung atau pipa yang berukuran besar (ukuran non kapiler), gerakan air bervariasi menurut pangkat empat dari radius. Jadi apabila diameter pipa dilipat duakan, maka jumlah air yang mengalir akan meningkat 16 kali (24)

Selagi molekul-molekul air disorpsi dengan kuat ke permukaan tanah, seperti halnya pada gelas tadi, maka ukuran pori-pori tanah merupakan hal yang sangat penting untuk menentukan aliran dan gerakan air ke dalam tanah. Sebaliknya, tarikan (atraksi) yang tidak berarti antara partikel-partikel tanah dan udara menghasilkan gerakan udara terutama ada hubungannya dengan pori-pori tanah kosong, jadi bukan oleh ukuran pori-pori.

Permeabilitas adalah kemampuan tanah untuk mentransfer air atau udara. Permeabilitas biasanya diukur dengan istilah jumlah air yang mengalir melalui tanah dalam waktu tertentu dan ditetapkan sebagai inchi/jam. Rata dan kelas-kelas permeabilitas tanah diberikan pada Tabel 3-4. Besarnya perkolasi ditetapkan sebagai menit per inchi air yang merembes melalui tanah.

3.5 Tata udara tanah

Hasil penelitian Baver(1951) mengenai hubungan antara udara tanah dengan sifat-sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman, menyimpulkan bahwa dengan terbatasnya udara dalam tanah akan mengakibatkan terjadinya hal-hal sebagai berikut:

1. Menghambat pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman.
2. Menghambat pernafasan akar.
3. Menghambat penyerapan air dan unsur hara dari dalam tanah.
4. Menekan aktifitas jasad-jasad hidup dalam tanah, sehingga proses-proses biologi yang berhubungan dengan pembangunan kesuburan tanah terhambat.

3.5.1 Komposisi udara tanah

Komposisi udara tanah menyatakan kandungan (dalam %) gas-gas seperti N_2 , O_2 , CO_2 dalam udara tanah. Komposisi udara ini amat tergantung dari aktivitas jasad-jasad hidup, termasuk akar tanaman di dalam tanah. Akar tanaman, demikian pula jasad-jasad hidup lainnya akan menyerap O_2 dari udara tanah dan sebagai akibat pernafasan, mereka akan mengeluarkan CO_2 ke dalam udara tanah. Sebagai akibatnya kandungan CO_2 lebih tinggi dalam udara tanah dibandingkan dengan atmosfer diatas tanah, demikian pula kandungan O_2 lebih rendah di dalam tanah dibandingkan O_2 dalam atmosfer. Perbedaan konsentrasi ini akan meningkat, jika lalu lintas O_2 dan CO_2 dari tanah ke udara semakin sukar.

Russell (1915) melaporkan hasil penelitiannya tentang komposisi udara tanah, sebagai berikut :

N_2	: 79,2 %
O_2	: 20,6 %
CO_2	: 0,25 %

Sedangkan komposisi pada atmosfer adalah :

N_2 : 79,00 %

O_2 : 20,97 %

CO_2 : 0,03 %

Kandungan CO_2 dalam udara tanah kurang –lebih 6-7 kali lebih besar.

- 1) Terjadinya perbedaan suhu diantara lapisan-lapisan tanah. Adalah mungkin konsentrasi dan ekspansi udara di dalam ruang pori-pori sebagaimana pula adanya tendensi bagi udara panas bergerak kebagian atas akan menyebabkan pertukaran disesama lapisan tanah atau diantara tanah dengan atmosfer.
- 2) Tanah dan atmosfer biasanya memiliki perbedaan temperature. Perbedaan temperature ini akan memungkinkan pertukaran gas atmosfer dengan gas yang berasal dari tanah.

3.5.2 Fungsi oksigen dalam tanah

Seperti tumbuh-tumbuhan tingkat tinggi, manusia dan hewan memerlukan sejumlah oksigen untuk bernafas, maka tanahpun memerlukan gas untuk bernafas. Tanah bukanlah suatu benda mati, tetapi adalah hidup, karena didalam tanah tidak sedikit dijumpai populasi jasad-jasad hidup dari yang berukuran kecil sampai besar. Misalnya bakteri, jamur, actinomycetes, ganggang, semut, cacing tanah, serangga dan lain-lain.

Akar tanaman memerlukan O_2 untuk bernafas. Oksigen di dalam tanah juga menyelenggarakan reaksi-reaksi kimia. Oksigen akan bereaksi dengan unsur-unsur ferro, mangan membentuk ferri dan mangani. Secara tidak langsung oksigen turut mempercepat dekomposisi bahan organik di dalam tanah.

3.6 Suhu tanah

Jika suhu atau temperatur tanah turun secara drastis, maka kehidupan jasad hidup di dalam tanah urun aktifitasnya sehingga akhirnya kehidupan jasad-jasad itu terhenti. Hal ini sama juga terjadi pada tanaman-tanaman yang tumbuh pada tanah itu. Proses pertumbuhan kebanyakan tanam – tanaman pertanian yang penting akan sangat lambat jika temperature tanah pada $40^0 F$ dan giat kembali jika temperature antara 70 sampai $90^0 F$.

3.6.1 Pengaruh suhu tanah terhadap tanah dan tanaman

Proses-proses kimiawi dan aktivitas jasad-jasad renik yang dapat memberontak hara-hara tanaman menjadi bentuk tersedia, juga sangat ditentukan oleh temperature tanah. Dengan demikian pertumbuhan tanaman itu disamping dipengaruhi oleh sistem serasi tanah juga ditentukan oleh temperature.

Keseimbangan panas tanah terdiri dari peristiwa berganti-berganti dari peningkatan dan penurunan energi panas. Radiasi sinar matahari diterima oleh permukaan tanah sebagiannya akan direfleksikan kembali ke udara (atmosfir) dan sebagian lainnya diabsorpsi tanah. Tanah-tanah berwarna gelap dan tanah-tanah mengandung kuarsa yang banyak dan berwarna terang akan mengabsorpsi berturut-turut kira-kira 80 dan 30 % radiasi matahari yang masuk.

Dari jumlah total radiasi matahari yang tersedia untuk bumi, maka kira-kira 30 % akan direfleksikan kembali ke ruang angkasa, 19 % diabsorpsi atmosfer dari 47% diabsorpsi oleh bumi.

Panas yang diabsorpsi tanah akan hilang kembali melalui:

- a. Penguapan
- b. Re-radiasi ke dalam atmosfer sebagai radiasi gelombang panjang
- c. Untuk memanaskan udara di dalam tanah
- d. Memanaskan tanah sendiri

Kemudian setelah itu, dalam jangka waktu yang lama peningkatan dan penurunan (kehilangan) panas akan berimbang satu sama lain. Dalam jangka waktu yang relative pendek seperti siang hari ataupun di musim panas, peningkatan panas kadang melebihi panas hilang dan sebagai akibatnya temperatur tanah akan meningkat. Kebalikannya, terjadi selama waktu malam hari dan di musim dingin.

Butir-butir mineral membutuhkan relative sedikit panas untuk meningkatkan temperaturnya. Kualitas panas yang dibutuhkan untuk meningkatkan 1° temperatur 1gr partikel tanah adalah kira-kira seperlima dari sebanyak yang dibutuhkan untuk menguatkan 1 gr air.

Dengan perkataan lain, panas spesifik (specific heat) partikel-partikel tanah yang kering adalah 0,2 adalah bukti dari kenyataan ini ialah bahwa kandungan air tanah merupakan faktor yang penting dalam menentukan

temperature tanah. Tanah yang tinggi kandungan airnya akan panas perlahan-lahan dalam musim penghujan, tetapi akan cepat bila di musim kemarau. Dengan demikian, drainase sangat penting dan mempengaruhi temperature tanah.

3.6.2 Faktor yang mempengaruhi suhu tanah

Seperti telah dikemukakan, pembuangan air berlebihan dari tanah akan membantu proses temperatur tanah. Dengan membuat parit-parit drainase, maka petani dari satu sudut dapat mengendalikan suhu tanahnya. Disamping itu dengan menggunakan mulsa dan sistem perlindungan tanah lainnya, maka jumlah radiasi matahari yang diabsorpsi tanah, kehilangan aerasi dari tanah oleh radiasi, infiltrasi air dan kehilangan air oleh evaporasi dapat ditekan.

Pengaruh utama "mulsa" bahan organik yang bewarna agak terang ini untuk mereduksi temperature tanah. Di daerah-daerah dimana musim kemaraunya bersuhu sedang (cool), maka dilaporkan penurunan temperature tanah justru mereduksi hasil-hasil pertanian. Pengaruh mulsa adalah:

- a. Mengabsorpsi sebagian besar radiasi matahari
- b. Mereduksi kehilangan panas dari tanah oleh radiasi,
- c. Mereduksi evaporasi air dari permukaan tanah

Pengaruh utama dari plastik hitam yang digunakan sebagai "mulsa" ini ialah untuk meningkatkan temperature tanah. Makin tinggi peningkatan temperatur di daerah-daerah beriklim "cool summer" akan meningkatkan pula produksi tanaman.

Di Michigan-USA, mulsa plastic ini digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan "muskmelon", disamping pula dapat mempercepat masaknya buah. Keuntungan lain dari penggunaan mulsa plastik ini ialah terberantasnya rumput-rumput di aeral pertanaman.

3.7 Warna tanah

Warna tanah sangat membantu para petani dan ahli-ahli tanah. Warna tanah yang bervariasi dapat digambarkan sebagai petunjuk tentang sifat-sifat tanah. Kandungan bahan organik, kondisi drainase dan aerasi adalah sifat-sifat tanah yang berkaitan dengan warna tanah. Para peneliti banyak pula menggunakan warna tanah sebagai bantuan dalam klasifikasi

dan mencirikan perbedaan horizon-horizon dalam tanah, atas dasar warnanya yang muncul sebagai akibat gaya-gaya aktif dalam dalam proses pembentukan tanah.

3.7.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi warna tanah

Mineral-mineral yang terdapat dalam jumlah tertentu dalam tanah kebanyakan berwarna agak terang (light). Sebagai akibatnya, tanah-tanah itu berwarna agak kelabu terang, jika terdiri dari mineral-mineral serupa itu yang sedikit mengalami perubahan kimia.

Sehubungan dengan warna tanah dan untuk menjelaskan mengapa tanah mempunyai warna kelabu tua, coklat, merah dan kuning, maka kita harus melihat kepada adanya perubahan kimia dari unsur-unsur tertentu di dalam tanah, misalnya peranan mineral-mineral besi serta bahan organik.

Warna gelap tanah-tanah umumnya disebabkan oleh kandungan tinggi dari bahan organik yang terdekomposisi. Jadi, dengan cara praktis persentase bahan organik di dalam tanah diestimasi berdasarkan warnanya. Bahan organik dalam tanah akan menghasilkan warna kelabu gelap, coklat gelap, kecuali terdapat pengaruh mineral seperti besi oksida ataupun akumulasi garam-garam sehingga sering terjadi modifikasi dari warna-warna diatas.

Jika tanah memiliki sistem drainase yang jelek, maka disana biasanya terjadi akumulasi bahan organik pada lapisan atas tanah jadi akan memberikan warna yang gelap pada lapisan tanah yang lebih rendah yang sedikit mengandung bahan organik akan memeberikan warna yang agak kelabu ringan, menunjukan pula keadaan drainase tanah yang jelek. Jika pada lapisan terjadi fluktuasi (air turun-naik) maka pada lapisan ini akan terlihat karatan atau bercak- bercak yang berwarna kuning.

Jika permukaan air tanah menurun dan menyebabkan aerasi tanah membaik, demikian pula kelembaban dan temperatur tanah memungkinkan berlangsungnya aktifitas kimia, maka mineral-mineral besi berair berwarna kuning. Semakin kecil molekul air yang terikat dalam molekul besi oksida semakin merah warna tanah. Terdapat bermacam-macam mineral besi di dalam tanah seperti goethite yang memberikan warna kuning pada tanah dan hematite yang memberikan warna merah.

3.7.2 Pengenalan dan pencatatan warna menurut sistem Munsell

Warna tanah dengan akurat dapat diukur dengan tiga sifat-sifat prinsip warnanya, yaitu HUE, VALUE dan CHROMA. HUE adalah panjang gelombang dominan warna dari cahaya, VALUE, kadang-kadang disebut kekerasan cahaya atau “brilliance”, adalah jumlah total cahaya. Warna berkisar antara gelap sampai agak terang(light colour). CHROMA adalah kemurnian relatif (relative purity) dari panjang gelombang cahaya yang dominant. Warna ini meningkat dengan menurunnya proporsi sinar putih.

Notasi warna menurut Munsell merupakan angka numerik yang sistematis dan terdapat huruf-huruf penunjukan tiap variabel sifat warna. Hubungan-hubungan antara satu warna dengan yang lainnya ditunjukkan dengan menggunakan tabung kubus padat, dalam mana HUE, VALUE dan CHROMA. Misalnya dalam notasi urutan HUE, VALUE dan CHROMA. Misalnya, dalam notasi Munsell 10 YR 6/4, 10 YR adalah HUE, 6 adalah VALUE dan 4 adalah CHROMA.

Notasi Munsell untuk contoh tanah secepatnya dapat ditetapkan dengan membandingkan warna contoh tanah dengan warna tanah standar pada colour-chart., yang biasa dipakai adalah Munsell Soil Colour Chart yang dipakai oleh USDA (Amerika)

3.8 Ringkasan

Tekstur tanah ialah perbandingan relatif (dalam %) antara fraksi-fraksi pasir, debu, dan klei. Tekstur tanah mempengaruhi sifat-sifat fisis, kimia dan fisika-kimia tanah. Dengan demikian tekstur erat hubungannya dengan produktifitas tanah.

Tekstur tanah dapat ditetapkan dengan cara perasaan (textur by feel), analisis mekanis atau analisis ukuran-ukuran partikel (butir) tanah dengan metoda pipet dan hydrometer. Jika dalam suatu profil tanah dijumpai perbedaan tekstur profil, maka horizon tersebut diberi kode tertentu, berikut contohnya. Horizon B dicirikan dengan horizon yang kaya dengan klei, disebut horizon Bt. Horizon Bt dapat menahan sebagian hara-hara yang tercuci, namun % klei yang tinggi dapat merubah claypan yang sukar ditembus air. Sesuai dengan perbandingan pasir, debu dan klei, terdapat sebanyak 12 kelas tekstur tanah (1. klei, 2. klei berdebu, 3. lempung klei berdebu, 4.klei berpasir, 5. lempung klei berpasir, 6. lempung berklei, 7. Debu, 8. lempung berdebu,9. lempung,10. Pasir, 11. pasir berlempung, dan 12. lempung berpasir).

Tanah berstekstur ringan (kandungan pasir tinggi) mudah diolah dan mudah merembeskan air, sedangkan tanah bertekstur berat (kandungan klei tinggi) sukar diolah dan sukar merembeskan air. Hasil percobaan menunjukan bahwa jagung hasilnya lebih baik, bila ditanam pada tanah lempung, sedangkan kentang pada lempung berpasir.

Struktur tanah adalah penyusunan(arrangement) partikel-partikel tanah primer pasir, debu dan klei membentuk agregat-agregat yang satu agregat dengan agregat lainnya dibatasi oleh bidang belah alami yang lemah. Struktur dapat memodifikasi pengaruh tekstur dalam hubungannya dengan kelembaban, porositas, tersedianya unsur-unsur hara, kegiatan jasad hidup dan pertumbuhan akar. Terdapat empat tipe utama strukur, yakni berbentuk lempeng, prisma, gumpal dan spheriodal.

Tiga group bahan kolloid tanah dikenal sebagai cementing agent dalam proses pembentukan struktur, ialah mineral-mineral klei, oksida-oksida besi dan mangan serta bahan organik koloidal. Asam-asam organik, miselium jamur, aktifitas biologi tanah juga mempengaruhi pembentukan struktur tanah.

Konsistensi tanah adalah istilah yang digunakan untuk menunjukan manifestasi gaya-gaya fisika yakni kohesi dan adhesi yang bekerja didalam masa tanah dengan kandunagn air yang berbeda-beda. Konsistensi ditetapkan dalam keadaan basah, lembab dan kering. Konsistensi penting untuk klasifikasi tanah, pengelolaan tanah dan perencanaan alat-alat olah tanah.

Jumlah dan ukuran pori-pori tanah mempengaruhi penyediaan air dan O_2 untuk pertumbuhan tanaman. Berat dan ruang pori tanah bervariasi dari satu horizon ke horizon yang lain dan kedua variable ini dipengaruhi tekstur dan struktur. Porositas tanah berkaitan erat dengan kerapatan isi, kerapatan zarah dan persen ruang pori-pori.

Udara didalam tanah sangat penting. Terbatasnya ruang gerak udara dapat menimbulkan terhambatnya pertumbuhan tanaman, mengganggu pernafasan akar, penyerapan air terhambat, demikian pula mengganggu penyerapan unsur hara, dan aktifitas jasad hidup tertekan. Udara di dalam tanah dapat diperbaiki dengan pengolahan tanah, penanaman penutup tanah, dan penambahan bahan organik. Perbaikan ini terutama ditujukan agar tanaman mendapat suplay O_2 yang cukup. Dalam bab ini telah dikemukakan pula aliran masa dan diffuse dua cara bagaimana Bergeraknya udara didalam tanah.

Suhu tanah berperan penting dalam mengendalikan aktifitas jasad hidup, baik tanaman maupun kegiatan biologi tanah. Suhu berperan pula dalam menentukan reaksi-reaksi kimia, sifat fisika dan fisika-kimia tanah. Panas yang diterima tanah yang berasal dari radiasi matahari akan hilang melalui penguapan, radiasi ke dalam atmosfer sebagai radiasi gelombang panjang, memanaskan udara dalam tanah dan tanah itu sendiri. Suhu tanah dapat dikontrol dengan pembuangan air berlebihan dengan pembuatan parit-parit drainase, perlindungan tanah dengan tanaman dan penggunaan mulsa.

Warna tanah dapat digunakan dalam klasifikasi tanah dalam mencirikan perbedaan horizon-horizon. Warna tanah juga erat hubungannya dengan kandungan bahan organik ikatan-ikatan besi dan pencucian. Pengenalan dan pencatatan warna tanah dapat dilakukan dengan alat atau buku Munsell Soil Colour Chart.

Daftar Bacaan

- Baver, L.D, 1961. Soil Pysics. Third Printing, Modern Asian Edition
- Brady, N.C, 1974. The Nature and Properties of Soil. 8th.Ed. MacMilland Pub., Co., Inc. New York
- Foth, H.D, dan Turk L.M, 1972. Fundamental of Soil Science, Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi.

1. Jelaskan batasan tekstur serta diameter masing-masing fraksi.
2. Jelaskan Hukum Stokes dalam menetapkan ukuran partikel-partikel tanah dengan metode pipet.
3. Terangkan faktor-faktor yang menentukan ketelitian penetapan tekstur dengan metoda pipet.
4. Mengapa tekstur bertalian erat dengan kesuburan tanah?
5. Berikan definisi kesuburan tanah secara fisis.
6. Tuliskan tipe struktur tanah yang saudara ketahui serta deskriptif masing-masing agregat serta gambarnya.
7. Terangkan faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan agregat tanah.
8. Jelaskan hubungan agregasi tanah dengan produktifitas tanah.

9. Terangkan kepentingan konsistensi tanah
10. Terangkan pengertian kerapian zarah, dan kerapatan isi.
11. Bagaimana hubungan porositas tanah dengan pertumbuhan tanaman.
12. Bagaimana perbedaan komposisi gas di dalam tanah dengan atmosfer?
13. Bagaimana efeknya jika lalu lintas udara di dalam tanah terganggu?
14. Terangkan mass flow dan diffuse dalam tanah.
15. Terangkan faktor-faktor yang memengaruhi warna tanah
16. Jelaskan fungsi Mulsa dalam hubungannya dengan fungsi tanah
17. Apa gunanya warna tanah itu kita ketahui?
18. Terangkan faktor-faktor yang mempengaruhi warna tanah.
19. Apakah kegunaan Munsell Soil Colour Chart?
20. Apa hubungan warna tanah dengan kesuburan tanah

BAB IV

AIR TANAH

Sebagian besar air yang diperlukan oleh tumbuhan berasal dari tanah (disebut air tanah). Air ini harus tersedia pada saat tumbuhan memerlukannya. Kebutuhan air setiap tumbuhan berbeda-beda. Tumbuhan air, umumnya memerlukan air lebih banyak dibandingkan jenis tumbuhan lainnya. Uraian tentang air tanah akan meliputi 8 butir yang berkaitan erat dengan kebutuhan tanaman, yaitu (1) Kepentingan air tanah, (2) Konsep energi air tanah, (3) Korelasi antara energi dan kadar air tanah, (4) Pergerakan air tanah, (5) Hubungan air tanah dengan tanaman, (6) Konservasi air tanah (7) Drainase, dan (8) Irigasi.

4.1 Kepentingan air tanah

Air diperlukan oleh tumbuhan/tanaman untuk memenuhi kebutuhan biologisnya, antara lain untuk memenuhi transpirasi, dalam proses asimilasi untuk pembentukan karbohidrat, serta untuk pengangkut hasil fotosintesisnya ke seluruh jaringan tumbuhan. Disamping itu air merupakan bagian penyusunan tubuh tumbuhan. Air tanah berfungsi sebagai pelarut unsur hara dalam tanah. Air tanah dan unsur hara ini membentuk larutan tanah. Air tanah berfungsi membawa unsur hara ke permukaan akar tumbuhan. Di dalam jaringan tubuh tumbuhan, air lah yang berperan mengangkut unsur hara yang diserap akar ke seluruh tubuh tumbuhan.

Reaksi-reaksi kimia di dalam tanah hanya berlangsung bila terdapat air. Pelepasan unsur-unsur hara dari mineral primer juga karena pengaruh air, yang kemudian mengangkutnya ke tempat lain (pencucian unsur hara). Sebaliknya, kemampuan air menghanyutkan unsur hara dapat pula dimanfaatkan untuk mencuci garam-garam beracun yang berlebihan dalam tanah.

Dalam pengolahan tanah, air tanah juga berfungsi mempermudah pengolahan tanah, mengendalikan perubahan suhu, dan pada sistem sawah air dapat menghambat pertumbuhan gulma.

4.2 Konsep energi air tanah

Retensi dan pergerakan air di dalam tanah, pengambilan (uptake) dan translokasi air dalam tumbuhan, serta berbagai kehilangan air ke atmosfer merupakan fenomena energi. Berbagai bentuk energi terlibat, baik potensial, kinetis maupun listrik. Istilah energi bebas (free energy) dimaksudkan untuk mencirikan status energi air tanah, karena energi bebas merupakan penjumlahan seluruh bentuk energi yang ada. Akan tetapi, perubahan/pergerakan suatu benda (termasuk air) dari tingkat energi yang tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah. Kenyataan ini juga berlaku pada sistem tumbuhan : tanah-air-tumbuhan-atmosfir.

Tingkat energi air tanah bervariasi sangat besar. Perbedaan tingkat energi air tanah tersebut memungkinkan air bergerak dari satu zone ke zone yang lain dalam tanah. Air tanah akan bergerak dari tempat dengan tingkat energi yang tinggi (misalnya: muka air tanah) ke tempat dengan energi yang lebih rendah (misalnya: tanah kering). Dengan mengetahui tingkat energi dari beberapa tempat di dalam profil tanah dapatlah diprediksi arah pergerakan air tanah tersebut.

4.2.1 Gaya retensi air tanah

Molekul air bersifat polar dan dapat saling mengikat melalui ikatan-H (H-bonding). Gaya tarik menarik antara molekul air dalam tanah disebut gaya kohesi. Partikel (padatan/matrik) tanah umumnya bermuatan, yang dapat mengikat molekul air secara kuat. Gaya tarik menarik partikel tanah dan molekul air disebut gaya adhesi. Pengikatan air oleh molekul-molekul air yang terlarut (solute) dapat terjadi melalui gaya osmotik. Disamping itu, gaya gravitasi cenderung menarik molekul-molekul air tanah ke arah bawah.

Gaya matrik (adhesi) dan osmotik umumnya menurunkan tingkat energi air tanah, sehingga potensial matrik dan osmotik adalah negatif. Gaya gravitasi umumnya meningkatkan energi air dalam profil tanah, jika titik acuan berada dibawahnya.

4.2.2 Hisapan dan tegangan

Potensial makrix dan osmotik adalah negatif. Kedua gaya pengikatan molekul air dalam tanah tersebut menurunkan energi air tanah, yang mengakibatkan adanya hisapan atau tegangan yang dialami oleh air tanah. Pengertian ini menunjukkan adanya tenaga yang bertanggung jawab terhadap

pengikatan air dalam tanah atau sebaliknya, tenaga harus dikeluarkan untuk mengambil air tanah. Istilah hisapan lebih menguntungkan karena dapat dinyatakan dalam satuan positif.

4.2.3. Cara menyatakan tingkat energi air tanah

Karena tingkat energi air tanah dipengaruhi oleh potensial matrix dan osmotik yang dalam pengertian lain dapat dinyatakan dalam daya hisap atau tegangan air; maka tingkat energi air tanah dapat dinyatakan dalam satuan daya hisap atau tegangan.

Salah satu cara menyatakan daya hisap atau tegangan /tekanan yang dialami air adalah dalam bentuk cm-kolom-air, dimana tinggi kolom air sama dengan daya hisap atau tegangan/tekanan yang dialami oleh air. Makin tinggi kolom air makin tinggi tekanan. Kita dapat menyatakan tingkat energi air tanah dengan tinggi kolom air atau dalam logaritma dari kolom air tersebut, yang dikenal dengan istilah pF.

Cara lain yang umum dipakai adalah dengan menyatakan dalam bar atau atmosfer standar (tekanan udara rata-rata pada permukaan laut) sama dengan 1.03 kg per cm^2 . Tekana negatif yang disebabkan oleh kolom air setinggi 10 cm dalam keadaan standar sama dengan $1/100 \text{ atm}$ (10 m bar); $100 \text{ cm}=10 \text{ atm}$ (100 millibar dan seterusnya. Tabel 4.1 menunjukan konversi selanjutnya.

4.2.4. Penampilan fisik air yang diretensi

Pengikatan yang kuat molekul air oleh partikel/padatan tanah melalui gaya adhesi menghasilkan lapisan air tipis (water film) di sekeliling partikel tanah. Air tanah ini disebut air adhesi atau air adsorpsi.

Air adhesi diikat oleh tenaga listrik yang ada dipermukaan partikel tanah dan molekul air. Kemungkinan berada dalam bentuk kristal, tidak atau sedikit bergerak dan mempunyai tingkat energi yang rendah. Pada umumnya tidak tersedia bagi tumbuhan. Debu dari partikel tanah di udara umumnya diselimuti air adhesi ini, yang dapat dihilangkan melalui pengeringan tanah di oven.

Tabel 4.1 Kesetaraan antara Tinggi Kolom Air, pF dan Atmosfir atau Bar

Tinggi kolom air (cm)	Dalam Bar atau Atm	pF
1	1/1000	0
10	1/100	1
100	1/10	2
346	1/3	2.54
1000	1	3
10.000	10	4
15.849	15	4.2
31.623	100	5
100.000	1000	6
1000.000	10000	7

Dengan menebalnya lapisan air di sekeliling partikel tanah, lapisan air yang terluar tidak diikat sekuat semula. Molekul air saling bertarikan melalui ikatan hidrogen(gaya kohesi) atau akibat tegangan permukaan (gaya kapiler). Air tanah ini disebut air kohesi atau air kapiler. Umumnya berada dalam bentuk cair melapisi partikel yang tersedia atau mudah diambil oleh tumbuhan. Mempunyai tingkat energi yang tinggi daripada air adhesi, bergerak sangat lambat melalui penyesuaian tebal lapisan air di sekitar partikel tanah.

Tebal lapisan air (water film) yang menyelimuti partikel/padatan tanah umumnya berkisar dari 15 sampai 20 molekul air. Sekitar dua pertiga bagian lapisan air terluar, mudah tersedia bagi tumbuhan.

Ruang pori makro diantara partikel tanah, bila tanah mendekati kejenuhan, akan terisi oleh molekul air yang tidak diikat atau tidak lagi dipengaruhi oleh gaya hisap partikel/ padatan/ matrik tanah. Air tanah ini mudah bergerak dibawah pengaruh gaya berat bumi (gravitasi). Air tanah ini disebut air gravitasi.

4.3 Korelasi antara energi dan kadar air tanah

Bila air memasuki tanah, udara dalam tanah terdesak dan tanah menjadi basah, artinya seluruh ruang pori tanah terisi air. Tanah demikian dikatakan jenuh dengan air dan berada pada kemampuan retensi maksimum. Dalam hal ini lapisan sekeliling dan antara partikel-partikel tanah sangat tebal. Tegangan yang terdapat pada permukaan lapisan air sangat kecil atau hampir = 0 atm. Akibatnya, sebahagian air yang ditahan pada ruang pori yang besar mudah ditarik atau mengalir ke bawah karena gaya gravitasi, sehingga lapisan air menipis.

4.3.1. Koefisien air tanah

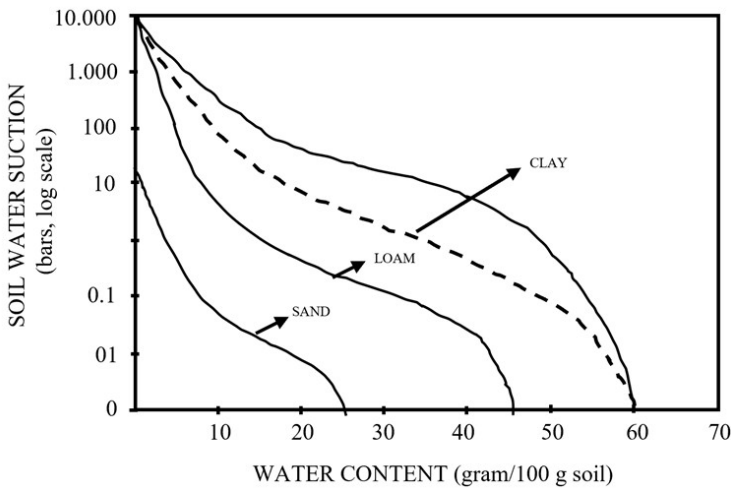
Bila tebal lapisan air menipis, tegangan antara batas air dan udara meningkat dan pada akhirnya begitu besar sehingga menghentikan gerakan air ke bawah. Air dalam ruang pori makro tidak ada lagi, tetapi masih terdapat dalam pori mikro. Pada keadaan ini tegangan pada permukaan lapisan air berkisar sekitar $1/3$ atm. Titik ini disebut kapasitas lapang, *atau pada pF 2.54*

Penggunaan air oleh tumbuhan atau karena penguapan akan menurunkan tebalnya lapisan air selanjutnya. Air hilang mula-mula dari pori mikro berukuran besar, yang secara relative lebih lemah diikat. Sebagian air tetap berada dalam pori mikro berukuran kecil sekali. Pengambilan air terus berlangsung selama tumbuhan secara efektif masih dapat mengambil air dari lapisan tersebut. Bila kecepatan absorpsi air tidak dapat memadai keperluan turgor tumbuhan, maka layu permanen akan terjadi. Keadaan tanah demikian dinyatakan berada pada titik kelembaban kritis atau koefisien layu permanen. Tegangan pada permukaan lapisan air adalah lebih kurang 15 atm.

Bila kehilangan air terus berlangsung menyebabkan lapisan air semakin menipis dan gaya yang mengikat air tanah meningkat dengan nyata. Bila tegangan pada permukaan air mencapai 31 atm, sebagian besar air bersifat non-cairan yang diikat kuat sekali oleh partikel tanah. Titik ini disebut koefisien hidrokopis. Pada kenyataan tegangan permukaan lapisan air dapat mencapai nilai 10.000 atm.

4.3.2. Kurva energi- kadar air tanah

Jika tingkat energi air tanah (yang dinyatakan dengan tegangan air) pada berbagai tingkat kadar air tanah ditetapkan, dapatlah dibuat kurva/ grafik hubungan antara tegangan (energi air tanah) dengan kadar air tanah. Gambar 4-1 memperlihatkan contoh kurva tersebut pada berbagai tekstur tanah.



Gambar 4.1 Kurva tegangan kadar air tanah untuk tiga macam tanah yang berbeda teksturnya

Kurva tegangan-kadar air tanah tersebut menunjukkan perubahan gradual antara dua titik ekstrim. Jadi sebenarnya tidak mungkin membuat pemisahan yang jelas klasifikasi air tanah berdasarkan unit energi (tegangan).

Dalam kurva tegangan–kadar air tanah, tegangan hanya menyatakan tegangan pada batas cairan udara, yaitu bagian terluar dari lapisan air. Jadi, lapisan yang tipis mempunyai tegangan negatif yang besar dan sebaliknya lapisan air yang tebal menunjukkan tegangan negatif yang lebih kecil sehingga lebih bebas.

Dari kurva dari Gambar 4.1 dapat ditelaah bahwa bentuk kurva berbeda-beda diantara tekstur tanah. Tanah bertekstur halus menahan air lebih banyak pada seluruh selang energi dibandingkan dengan tanah bertekstur kasar. Hal ini dimungkinkan karena tanah bertekstur halus mempunyai koloidal, ruang pori dan permukaan adsorbtif lebih banyak.

4.3.3. Kadar air tanah

Cara biasa menyatakan jumlah air yang terdapat dalam tanah adalah persen dalam tanah kering, bobot tanah lembab tidak dipakai karena bergelombang dengan kadar airnya.

Kadar air juga dapat dinyatakan dalam persen volume, yaitu persentase volume air terhadap volume tanah. Cara ini menguntungkan

karena dapat memberikan gambaran tentang ketersediaan air bagi tumbuhan pada volume tanah tertentu. Cara penetapan kadar air tanah ada tiga golongan yaitu: 1) gravimetric, 2) tegangan dan hisapan, 3) hambatan listrik (blok hambatan) dan pembauran neutron(neutron scattering).

Cara gravimetric merupakan cara yang paling umum dipakai. Dengan cara ini sejumlah tanah basah dikeringkan dalam oven 100 hingga 110°C untuk waktu tertentu. Air yang hilang karena pengeringan tersebut merupakan sejumlah air yang terdapat dalam tanah basah.

Dengan tensiometer dimungkinkan mengukur tegangan yang mengikat air, tetapi tidak mengukur jumlah absolut air dalam tanah. Prinsipnya: air dalam tensiometer akan berekuilibrium dengan air tanah melalui ujung yang porous, sehingga tegangan air tanah sama dengan tegangan pada potentiometer (alat pengukur pada tensiometer). Dengan tension plate dan pressure plate, yaitu mentuk tensiometer yang dipakai di laboratorium, dapat diukur daya hisap matrix pada kadar air tertentu, sehingga dapat dibuat kurva hubungan atau daya hisap/tegangan dengan kadar air.

Bila block tahanan (resistensi Block) yang dibuat dari CaSO_4 ditempat dalam tanah, blok ini dapat mengabsorbsikan air dari tanah. Tahanan blok terhadap aliran listrik tergantung jumlah air yang diabsorbsikan blok tersebut, dengan mengalib-rasikan tahanan terhadap kelembaban, dapatlah didekati berapa jumlah air dalam tanah. Blok CaSO_4 sangat sensitif pada tegangan 1 hingga 15 atm.

Cara penentuan kadar air tanah yang mutakhir adalah cara pembauran neutron. Atom hidrogen yang terdapat dalam air tanah secara efektif dapat mengurangi kecepatan neutron dan membaurnya. Karena pembauran dan perubahan arah, sebagian neutron kembali keasalnya, tetapi telah berubah sebagai neutron yang mempunyai kecepatan diperlambat. Jumlah neutron yang diperlambat kemudian dihubungkan dengan jumlah atom H (selanjutnya dengan molekul H_2O) yang terdapat di dalam tanah. Keuntungan cara ini adalah tanah tidak terganggu dan dapat dipergunakan pada tanah yang mengandung garam.

4.4 Pergerakan air tanah

Air merupakan unsur tanah yang dinamis. Dikenal tiga macam pergerakan air dalam tanah, yaitu (1) pergerakan tidak jenuh, (2) pergerakan jenuh dan (3) pergerakan uap. Karena pergerakan tidak jenuh menyangkut gerakan kapiler, maka pengertian mengenai dasar-dasar kapilaritas perlu diperhatikan.

4.4.1. Dasar-dasar kapilaritas

Kapilaritas merupakan fenomena fisika yang umum. Bila ujung bawah pipa kapiler ditempatkan tegak lurus tepat dipermukaan air, maka air akan naik dalam pipa tersebut dan mencapai permukaan yang itnggi dari permukaan air diluar pipa. Gaya-gaya yang bekerja pada kapilaritas ini adalah : (a) gaya Adhesi antara gelas dan air yang menyebabkan air sekeliling dinding pipa naik, dan (b) ada waktu bersamaan karena gaya tarik menarik antara molekul-molekul air (kohesi), bagian air yang tidak dipengaruhi gaya adhesi akan tertarik ke atas sehingga kolom air tidak terputus.

Makin kecil tabung kapiler makin tinggi kolom air dalam tanbung tersebut. Hal ini karena untuk satu unit bagian dari tabung kapiler, jumlah permukaan adhesive per satuan bobot air lebih besar dalam tanbung kecil dari pada tabung besar. Kecekungan permukaan air dalam tanbung tergantung dari tinggi kenaikan air kapiler. Makin tinggi air kapiler, makin cekung permukaannya, karena makin panjang kolom air, makin besar pula bobot yang harus ditunjang per satuan permukaan yang mengakibatkan permukaan air dalam tabung makin cekung. Air akan bergerak ke titik-titik dimana dijumpai kecekungan terbesar. Konsep ini dipakai untuk menjelaskan penyesuaian kapiler dari air tanah.

4.4.2. Pergerakan air tanah tidak jenuh dari muka air tanah

Pada tanah-tanah yang mempunyai muka air tanah dekat dengan permukaan tanah, pergerakan air kapiler ke atas mempunyai arti penting untuk memepertahankan/ menjamin kelembaban tanah di daeah perakaran. Misalnya pada tanah-tanah di daerah rawa yang telah didrainasekan (muka air tanah diturunkan).

Bila air tanah bergerak dari muka tanah ke atas melalui pori mikro, maka pergerakan tidak jenuh ini merupakan gejala kapilaritas yang prinsipnya serupa dengan kenaikan air kapiler dalam tabung seperti dikemukakan tadi. Adhesi dan kohesi secara aktif berlangsung. Hal ini berlawanan dengan penyesuaian kapiler dalam tabung gelas, pergerakan tidak jenuh dalam tanah berlangsung tidak teratur dan permukaan air yang menaik berbentuk tidak menentu. Membengkaknya tanah dan adanya udara terjebak antara butir-butir tanah menghalangi kecepatan gerakan dan pori-pori yang besar sama sekali tidak dapat dijembatani.

Hasil kapilaritas umumnya lebih tinggi untuk tanah bertekstur halus, bila diberikan cukup waktu dan pori tidak terlalu kecil. Hal ini dapat dijelaskan atas dasar ukuran kapiler dan kontinuitas pori. Pada tanah berpasir, penyesuaian kapiler sangat cepat, tetapi banyak pori yang bersifat non kapiler, sehingga kenaikan kapiler tidak begitu tinggi. Kenaikan kapiler juga tergantung dari struktur tanah. Pemadatan dan pembengkakan klei dapat menghalangi kecepatan pergerakan kapiler. Dengan demikian, granulasi pada tanah yang bertekstur halus sangat membantu mempercepat penyesuaian kapiler dan meningkatkan kenaikan air kapiler.

4.4.3. Pergerakan air tidak jenuh yang biasa terjadi dalam tanah

Bila sejumlah air diterima di permukaan tanah, penyesuaian tegangan yang dibantu oleh gaya gravitasi yang menarik air ke bawah melalui pori besar, memungkinkan pembasahan tanah diseluruh profil. Akan tetapi, bila jumlah air terbatas penyesuaian ke bawah segera bersifat kapiler. Kecepatan gerakan menjadi sangat terbatas, terutama pada kandungan air dibawah kapasitas lapang. Akhirnya gerakan air ke bawah akan berhenti.

Bila penguapan terjadi di permukaan tanah atau tanaman mengabsorbsikan air dari daerah sekitar perakaran, maka akan mengakibatkan berkurangnya air dari tempat tertentu dan meyebabkan terjadinya tegangan yang berbeda-beda. Perbedaan tegangan ini akaibat daya mengikat oleh partikel tanah dan gaya kapiler. Gerakan tidak jenuh terjadi akibat adanya tegangan berbeda. Arah gerakan tergantung dari tegangan lapisan air yang mengelilingi partikel tanah.

Pergerakan air yang tidak jenuh melalui penyesuaian tebal lapisan air di sekitar partikel tanah umumnya berlangsung sangat lambat dan hanya mencapai jarak beberapa centimeter saja. Kenyataan ini penting dalam kaitannya dengan penyediaan air bagi tanaman. Pada kondisi demikian, akar harus berkembang ekstensif ke dalam profil tanah untuk mendapatkan air yang cukup.

4.4.4. Pergerakan air jenuh dalam tanah.

Air hujan atau air irigasi yang memasuki tanah, mula-mula menggantikan udara yang terdapat dalam pori makro dan kemudian pori mikro. Air tambahan berikutnya akan bergerak ke bawah melalui proses pergerakan air jenuh. Gerakan ini berlangsung terus selama cukup air ditambahkan, dan tidak ada penghalang.

Pergerakan air jenuh ditentukan oleh dua faktor, yaitu 1) daya air yang bergerak (driving force) dan 2) kemampuan pori melalukan air (hydraulic conductivity = hantaran hidrolis). Hubungan kedua faktor tersebut dengan jumlah air yang bergerak tertera pada persamaan berikut:

$$V = k f$$

Dimana V = volume air bergerak, f = daya air yang bergerak dan k = hantaran hidroulik.

Antaran hidroulik pada tanah jenuh adalah tetap, yang ditentukan oleh ukuran dan distribusi pori. Daya air yang bergerak, yang dikenal juga sebagai gradien hidrolis, merupakan perbedaan tinggi antara di atas dan dibawah kolom tanah. Pergerakan air jenuh tidak hanya terjadi secara vertical, tetapi juga horizontal. Mengingat gaya gravitasi tidak berpengaruh terhadap pergerakan horizontal, maka pergerakan air jenuh secara horizontal umumnya tidak secepat gerakan air ke bawah.

Jumlah air yang bergerak melalui profil tanah ditentukan oleh faktor-faktor 1) jumlah air yang ditambahkan, 2) kemampuan infiltrasi permukaan tanah, 3) hantaran hidrolis horizon-horizon dan 4) jumlah air yang ditahan oleh profil tanah pada keadaan kapasitas lapang.

Tekstur dan struktur berbagai horizon menentukan pengaruh keempat faktor tersebut. Tanah berpasir mempunyai kemampuan infiltrasi dan hantaran hidrolis tinggi serta daya menahan air rendah, sehingga pergerakan air jenuh lebih mudah dan cepat. Sebaliknya, tanah bertekstur halus umumnya mempunyai perkolasi air rendah, karena penyumbatan pori oleh pembengkakan koloid tanah, serta adanya udara yang terjepit.

4.4.5. Pergerakan air dalam tanah berlapis

Profil tanah pada umumnya tidak mempunyai tekstur dan struktur yang sama, melainkan terdiri dari lapisan-lapisan yang berbeda susunan fisiknya. Lapisan-lapisan itu ada yang bersifat permeable maupun impermeable. Kondisi lapisan demikian sangat mempengaruhi pergerakan air dalam tanah.

4.4.6. Pergerakan uap air

Penguapan air dapat dibedakan ke dalam penguapan internal dan penguapan eksternal. Penguapan eksternal terjadi pada permukaan tanah (evaporasi), sedangkan pengupan internal terjadi dalam pori tanah. Disini akan dibicarakan tentang penguapan internal.

Selama air tanah tidak lebih rendah dari koefisien higroskopik, udara tanah umumnya selalu jenuh dengan uap air. Pada tegangan kurang lebih 31 atm, air cukup bebas mempertahankan tanah 100% lembab. Bila tegangan menurun sampai di bawah higroskopik, air ditahan lebih kuat dan sulit menguap, sehingga tekanan uap dalam tanah menurun.

Pergerakan uap air dalam tanah terjadi karena perbedaan tekanan uap air satu tempat ke tempat lain. Penguapan ini terjadi dari titik bertekanan uap tinggi ke titik bertekanan uap rendah. Misalnya tanah lembab berdekatan dengan tanah kering, maka difusi uap air terjadi dari bagian yang lembab ke bagian yang kering.

Demikian halnya bila temperatur pada bagian tanah meningkat, tekanan uapnya menurun sehingga akan terjadi difusi uap air ke arah bagian tanah tersebut. Pada tanah di daerah arid, pergerakan uap air ini penting dalam penyediaan air bagi tanaman tanah kering di daerah ini.

4.5 Hubungan air tanah dan tanaman

Oleh karena air yang diabsorpsi oleh tumbuhan dari tanah tidak mengalir secara bebas, melainkan berdifusi lambat ke dalam akar tumbuhan melalui proses osmosis, maka diperluakan area kontak yang luas antara akar tumbuhan dan partikel tanah. Hal ini dapat dibahas pada kemampuan tumbuhan memperoleh air dari tanah.

4.5.1. Klasifikasi fisik dan biologi air tanah

Dalam mengklasifikasikan air tanah dipergunakan batas-batas arbiter, karena memang tidak ada batas yang jelas untuk membedakan bentuk-bentuk air tanah tersebut. Atas dasar tingkatan tegangan, air tanah dapat digolongkan ke dalam tiga bagian yaitu : air bebas (air gravitasi), air kapiler, dan air higroskopik.

- **Air Bebas** (drainase, gravitasi), mengisi ruang pori makro pada tanah dalam keadaan lebih basah dari kapasitas lapang. Air ini ditahan pada tegangan kurang dari $1/3$ atm. Mudah bergerak karena pengaruh gravitasi, cepat hilang sambil mencuci unsur hara.
- **Air Kapiler**, menempati ruang pori mikro dan dinding-dinding pori makro, yang ditahan tanah pada tegangan lapisan air berkisar antara $1/3$ -31 atm, pada kelembaban tanah antara kapasitas lapang dan koefisien higroskopik. Bergerak lambat melalui penyesuaian tebal lapisan air. Berfungsi sebagai larutan tanah dan sebagian tersedia bagi tumbuhan.

- **Air Hidroskopik**, menempati ruang pori sangat kecil dan menyelimuti partikel padat tanah, yang ditahan tanah pada tegangan sekitar 31- 10.000 atm, pada keadaan tanah lebih kering dari koefisien higroskopik. Sebagian besar bersifat non cairan, bergerak dalam bentuk uap dan tidak tersedia bagi tumbuhan.

Berdasarkan tingkatan ketersediaan air bagi tumbuhan, terdapat pembagian tentative air tanah sebagai berikut: air berlebihan, air tersedia yang diinginkan, dan air tidak tersedia.

- **Air Berlebihan**, umumnya berupa air bebas yang berada pada kelembaban tanah lebih dari kapasitas lapang. Air ini tidak berguna bagi tumbuhan karena berpengaruh buruk, antara lain: mengakibatkan keadaan aerasi yang buruk bagi akar tumbuhan, bakteri-bakteri amonifikasi, nitrifikasi N, serta pencucian unsur hara ke lapisan yang lebih dalam atau keluar/ menghilang dari tanah.
- **Air Tersedia**, sebagian besar merupakan air kapiler, yang ditahan tanah pada kelembaban antara kapasitas lapang dan koefisien layu. Masih dipertanyakan apakah air yang terdapat diantara kapasitas lapang dan koefisien layu dapat secara langsung diambil oleh tumbuhan.

Jawabannya tergantung pada jenis tumbuhannya dan bagian dari profil tanah yang dijangkau akar. Kenyataan menunjukkan bahwa untuk pertumbuhan optimum, air harus ditambahkan bila 50 hingga 85% air tersedia telah habis dipakai. Ini berarti bahwa *air tersedia cepat* pada keadaan kapasitas lapang dan bila keadaan air ini mendekati titik *air tersedia lambat* sehingga tidak dapat mengimbangi keperluan pertumbuhan.

- **Air Tidak Tersedia**, ditahan tanah pada kelembaban lebih kering dari tidak layu. Air ini meliputi sebagian dari air kapiler dan seluruh air higroskopik. Sebagian air kapiler tersebut sebenarnya masih dapat diambil tumbuhan tetapi jumlahnya terlalu sedikit untuk menghindarkan kelayuan, kecuali untuk tumbuhan di daerah kering. Akan tetapi, kegunaan air ini penting untuk bakteri dan jamur. Namun, pertumbuhannya tidak sebaik pada keadaan air lebih tersedia.

4.5.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah air yang tersedia

Selain sifat tanah, faktor tumbuhan dan iklim sangat mempengaruhi jumlah air yang dapat diabsorbsikan tumbuhan dari tanah. Faktor tumbuhan antara lain, bentuk perakaran, daya tahan terhadap kekeringan, tingkat dan stadia pertumbuhan. Di samping itu juga ditentukan faktor iklim antara lain, temperatur, kelembaban dan kecepatan angin. Diantara sifat-sifat tanah yang berpengaruh terhadap jumlah air yang tersedia adalah, daya hisap (matrik dan osmotik), kedalaman tanah dan pelapisan tanah.

Daya hisap matrik/ partikel tanah sangat jelas mempengaruhi jumlah air tersedia. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap daya menahan air pada kapasitas lapang dan berikutnya juga terhadap koefisien layu, menentukan jumlah air tersedia. Faktor-faktor tersebut antara lain, tekstur, struktur, dan bahan organik.

Kapasitas tanah menahan air berhubungan dengan luas permukaan adsorpsi dan volume ruang pori, sehingga ia ditentukan baik oleh tekstur maupun struktur tanah. Tanah bertekstur halus mempunyai kapasitas total menahan air tertinggi, tapi jumlah air yang tersedia tertinggi dimiliki oleh tanah bertekstur sedang. Pengaruh bahan organik bukan semata-mata disebabkan oleh kemampuan bahan organik menahan air, tetapi juga peranannya dalam pembentukan struktur dan porositas tanah.

Adanya garam-garam dalam tanah, alami atau pupuk, berpengaruh terhadap koefisien osmotik yang dapat menaikkan koefisien layu sehingga dapat menurunkan jumlah air yang tersedia. Dalam hal ini tegangan air tanah merupakan jumlah dari daya hisap partikel tanah (matrik) dan daya hisap osmotik dari larutan tanah, pada daerah humid pengaruhnya dapat diabaikan, tetapi sangat penting di daerah kering dan salin.

Kedalaman dari lapisan tanah juga berpengaruh. Bila semua faktor sama, tanah bersolum dalam mempunyai air tersedia lebih banyak dibandingkan dengan tanah dangkal. Hal ini penting untuk tumbuhan berakar dalam. Pelapisan tanah berpengaruh terhadap jumlah air yang tersedia dan pergerakannya dalam tanah. Lapisan keras tidak tembus air memperlambat pergerakan air dan mempengaruhi daya tembus dan perkembangan akar. Yang secara efektif mengecilkan kedalaman tanah dari mana air diperoleh. Lapisan berpasir juga menghalangi pergerakan air dari lapisan yang bertekstur halus.

4.5.3. Suplai air bagi tumbuhan

Hanya sebagian kecil air tanah yang setiap saat berada dekat dengan permukaan adsorptif tumbuhan. Ada dua fenomena penting yang memungkinkan tumbuhan dapat mengambil sejumlah air yang banyak dan teratur, yaitu 1) adanya pergerakan kapiler air tanah ke perakaran, dan 2) pertumbuhan akar ke arah tanah yang lembab.

4.5.3.1. Pergerakan kapiler

Bila akar mulai mengabsorbsikan air dari suatu titik dalam tanah, lapisan air menipis dan energi retensinya menaik. Air yang ada disekitar ini akan tertarik ke daerah dimana absorpsi berlangsung. Pada tanah-tanah tertentu, penyesuaian di atas berlangsung cepat dan aliran air nyata, sebaliknya pada tanah lain(tanah berat dan bergranulasi buruk, pergerakan air lambat dan jumlah air yang dipindahkan sedikit.

Sebenarnya pergerakan kapiler ini hanya mencapai jarak beberapa centimeter saja dibandingkan dengan kecepatan suplai air yang diperlukan oleh tumbuhan. Ini tidak berarti bahwa gerakan kapiler tidak penting dalam penyediaan air bagi tumbuhan.

4.5.3.2. Perpanjangan akar

Selama periode pertumbuhan tertentu, akar sering memanjang begitu cepat sehingga kontak baru dengan partikel tanah selalu tercipta, walaupun suplai air cepat menurun dan tanpa bantuan air kapiler. Perpanjangan akar begitu cepat sehingga secara praktis dapat memenuhi kebutuhan air bagi tumbuhan yang tumbuh pada keadaan air optimum.

Meskipun jumlah akar dan luas permukaannya sangat menakjubkan, ternyata akar hanya bersentuhan dengan 1 hingga 2 % dari tanah, sehingga dalam keadaan akar tidak tumbuh, air harus bergerak kearah akar bila tumbuhan harus tetap hidup.

4.5.4. Transpirasi dan absorpsi air oleh tanaman

Jumlah air yang ditranspirasikan oleh tumbuhan untuk memproduksi sejumlah bahan kering telah dipelajari secara teliti oleh Briggs dan Shantz. Ternyata setiap tumbuhan mentranspirasikan paling sedikit sebanyak 500 pounds air untuk setiap 1 pounds bahan kering, berbeda untuk setiap jenis tumbuhan.

Oleh karena transpirasi adalah proses evaporasi air dari permukaan tumbuhan, maka faktor-faktor iklim yang mempengaruhi evaporasi secara umum juga berpengaruh terhadap transpirasi. Kenyataan di lapangan kedua proses, evaporasi dari permukaan tanah dan transpirasi dari tumbuhan sulit dipisahkan, sehingga keduanya disebut evapotranspirasi.

Faktor-faktor iklim yang berpengaruh terhadap evapotranspirasi adalah penyinaran matahari, temperatur udara, kelembaban udara, tekanan udara dan kecepatan angin.

Kehilangan air melalui transpirasi menciptakan daya absorpsi air (uptake) bagi akar tumbuhan yang kehilangan air tersebut. Tegangan air yang terbentuk dipermukaan dan kaibat transpirasi mendorong pergerakan (translokasi) air dari xylem dan selanjutnya dari akar.

Bila tegangan yang terbentuk dipermukaan akar lebih tinggi dari daya tahan air di permukaan tanah disekeliling akar, maka air akan bergerak ke akar. Tegangan air sebesar 4 hingga 5 bar yang terbentuk dalam xylem cukup untuk menarik air dan mentranslokasikannya keseluruh permukaan tubuh tumbuhan.

4.5.5. Pemakaian air konsumtif

Pemakaian air konsumtif adalah jumlah air yang diperlukan untuk evapotranspirasi selama pertumbuhan. Besarnya pemakaian air konsumtif ini bervariasi menurut jenis tumbuhan, dan daerah zona/ iklim. Perbedaan jenis tumbuhan disebabkan perbedaan masa pertumbuhan dan pematangan, sedangkan perbedaan tipe iklim disebabkan oleh perbedaan unsur-unsur iklim yang berpengaruh terhadap evapotranspirasi.

4.5.6. Pola pengambilan air tanah oleh tumbuhan

Jika kadar air tanah diseluruh daerah perakaran rendah, akar tumbuhan akan mengabsorpsi air secepatnya pada tanah lapisan atas. Begitu tanah mulai mengering dan tegangan dipermukaan tanah mulai meningkat, pengambilan air bergeser ke lapisan bawah. Dengan cara demikian secara progresif akar menyerap air tersedia. Bila lapisan atas dibasahi kembali (oleh hujan atau irigasi), pengambilan air bergeser kembali ke lapisan atas.

Pola pengambilan air demikian mengakibatkan (1) penetrasi akar makin dalam pada tanah relatif kering dari pada tanah relatif basah sepanjang tahun, (2) pemakaian/ pengambilan air lebih banyak pada tanah lapisan atas dibandingkan tanah lapisan bawah.

4.5.7. Hubungan antara kadar air tanah dan pertumbuhan tanaman

Pada kadar air tinggi, kekurangan udara mungkin dapat menjadi penghambat pertumbuhan tanaman. Kecepatan pertumbuhan tanaman mencapai maksimum pada keadaan kelembaban tanah berada disekitar kapasitas lapang, karena pada keadaan itu oksigen cukup tersedia dan tegangan air cukup rendah sehingga memudahkan absorpsi air. Begitu air diserap, lapisan air menjadi tipis dan tegangan air meningkat, mengakibatkan absorpsi air menurun. Hal ini berlangsung sampai kadar air mendekati titik layu. Pada keadaan titik layu, laju pertumbuhan dan fotosintesis umumnya menurun.

Jadi ada dua hal yang berkaitan antara pertumbuhan tanaman dan keadaan kelembaban tanah, yaitu a) kekurangan oksigen b) laju absorpsi air yang rendah pada kadar air yang rendah (tegangan air tinggi).

4.5.8. Peranan air tanah dalam absorpsi unsur hara

Akar tumbuhan tidak menyerap larutan tanah yang mengandung hara seperti halnya hewan minum air yang mengandung makanan terlarut. Air tanah memasuki akar sebagai air murni tanpa peduli apakah hara yang terlarut di dalamnya terbawa serta. Masuknya hara ke dalam akar merupakan proses tersendiri. Tetapi hara yang terlarut mendekati akar bersama-sama pergerakan air kapiler. Tampaknya proses ini cukup penting dalam rangka penyediaan hara bagi tanaman.

Sejarah pengelolaan air sebenarnya sudah setua sejarah manusia itu sendiri, tetapi dengan meningkatnya populasi manusia dan kebutuhan akan sandang, pangan dan papan menjadikan masalah pengelolaan air semakin penting.

Cepatnya peningkatan akan kebutuhan air di daerah perkotaan (urban) mengakibatkan semakin serius kompetensi penyediaan air bagi pertanian dan industri. Pada dasarnya terdapat 3 pendekatan dalam pengelolaan air untuk meningkatkan produksi pangan dan kehutanan, yaitu (1) konservasi air hujan di daerah submid dan arid (2) pembuangan air di daerah rawa dan (3) penambahan air melalui irigasi.

4.6 Konservasi air tanah

Konservasi air hujan sangat penting bagi daerah-daerah aridic, ustic dan xeric, dimana selalu terjadi defisit air yang besar. Konservasi air di daerah ini umumnya ditemukan untuk meningkatkan jumlah air yang memasuki tanah dan mengurangi jumlah kehilangan air. Ini berarti 1) meningkatkan laju infiltrasi dan kapasitas penyimpanan air di daerah perakaran dan 2) mengurangi kekurangan air karena evaporasi dan runoff.

4.6.1. Pengelolaan permukaan tanah

Infiltrasi adalah masuknya air melalui permukaan tanah, kondisi permukaan, seperti sifat pori dan kadar air tanah, sangat menentukan jumlah air hujan yang diinfiltrasikan dan jumlah runoff. Jadi, laju infiltrasi yang tinggi tidak hanya meningkatkan jumlah air yang tersimpan dalam tanah untuk pertumbuhan tanaman, tetapi juga mengurangi besarnya banjir dan erosi yang diaktifkan oleh runoff. Pukulan butir-butir hujan pada permukaan tanah yang terbuka, akan menghancurkan dan mendispersikan agregat tanah yang menyebabkan penyumbatan pori tanah di permukaan. Hal ini akan menurunkan laju infiltrasi. Penurunan laju infiltrasi juga dapat terjadi karena over grazing, deforestation dan pemadatan tanah akibat penggunaan alat-alat berat.

Permukaan tanah yang tertutup oleh vegetasi dapat menyerap energi tumbukan hujan dan mampu mempertahankan laju infiltrasi yang tinggi. Pengembalian sisa-sisa tanaman dan penambahan bahan organik lainnya sebagai mulsa di permukaan tanah juga mampu meningkatkan laju infiltrasi sebaik pengaruh vegetasi hidup.

Banyak petani melakukan modifikasi terhadap permukaan tanah dengan pengolahan menurut kontur, pembuatan guludan dan teras, yang dimaksudkan agar air tinggal agak lama di permukaan tanah, sehingga memungkinkan infiltrasi yang lebih besar.

4.6.2. Perbaikan sifat-sifat fisik tanah internal

Air infiltrasi terus bergerak ke arah bawah. Pergerakan air ke bawah sangat ditentukan oleh sifat pori, stabilitas agregat, tekstur, kedalaman lapisan impermeable, serta ada-tidaknya klei yang mengembang.

Misalnya tanah Grumosol yang kaya klei tipe 2:1 pada musim kemarau akan membentuk retakan (crack) lebar yang memungkinkan infiltrasi lebih tinggi, tetapi setelah tanah jenuh air klei mengembang dan menyumbat pori sehingga mengakibatkan infiltrasi menurun mendekati nol.

Pada tanah dengan horizon argilik, pergerakan air ke bawah juga akan terhambat karena horizon ini lebih padat. Perbaikan sifat fisik internal antara lain dapat dilakukan dengan pengolahan tanah dalam, pembenaman sisa tanaman dan bahan organik lainnya, pemberian soil conditioner pada lapisan bawah dan sebagainya.

4.6.3. Penyemprotan aspal dibawah lapisan olah

Tanah berpasir yang dalam umumnya menahan sedikit air dan sebaliknya memungkinkan air banyak hilang melalui perkolasi. Dengan adanya lapisan aspal dibawah lapisan olah memungkinkan tanah lapisan olah meningkatkan kapasitas menahan airnya, yang dapat tersedia bagi tumbuhan karena lapisan aspal tersebut menciptakan penghalang bagi air perkolasi ke bawah dan sebaliknya menampung kelebihan air yang menjadikan seperti muka air tanah dangkal yang mampu mensuplai air ke atas melalui gerakan kapiler.

4.6.4. Pengendalian penguapan

Pengendalian penguapan dapat dilakukan dengan berbagai cara. Antara lain dengan penutupan permukaan tanah, pengolahan tanah minimum, pemberantasan gulma, dan bisa juga melalui bera di musim kemarau.

4.6.4.1. Penutupan dengan mulsa

Mulsa adalah setiap bahan yang dipakai di permukaan tanah untuk menghindari kehilangan air melalui penguapan atau untuk menekan pertumbuhan gulma. Bahan mulsa antara lain, sisa tanaman, pupuk kandang, limbah industri kayu (serbuk gergaji), kertas dan plastik.

Mulsa sisa tanaman merupakan bahan sisa dari tanaman yang ditanam sebelumnya, seperti jerami, tongkol jagung, dan lain-lain. Dengan menggunakan mesin atau sabit, sisa tanaman ini dipotong-potong kecil dan disebar rata di atas permukaan tanah. Mulsa demikian, efektif untuk mengendalikan kehilangan air melalui penguapan air, terutama di daerah-daerah submid dan semi arid. Contohnya seperti dilakukan petani-petani di Jawa Timur, yang dikenal dengan nama walik dami, sebelum penanaman kedele setelah panen padi.

Mulsa kertas dan plastik merupakan bahan yang dibuat secara khusus untuk mulsa, yang dihamparkan di atas permukaan tanah, diikat sehingga tidak mudah dibuang. Tanaman tumbuh melalui lobang-lobang yang telah disiapkan. Selama tanah tertutup mulsa demikian, air dapat diawetkan dan pertumbuhan gulma ditekan. Kecuali terjadi hujan sangat lebat, mulsa kertas dan plastik tidak mengganggu infiltrasi. Contoh yang berhasil adalah penggunaan mulsa kertas basah di perkebunan nenas di Hawaii. Petani Indonesia juga sudah terbiasa menggunakan mulsa plastik untuk penanaman bawang, cabai, dan sayuran lainnya.

4.6.4.2. Pengolahan tanah minimum dan pemberantasan gulma

Manfaat pengolahan tanah dalam perbaikan keadaan fisik yang baik bagi tanaman dan pemberantasan gulma tidak dapat disangkal, tetapi terdapat petunjuk bahwa manfaat pengolahan tanah dalam pengawetan air diragukan. Penelitian bertahun-tahun menunjukkan bahwa air tersedia menjadi lebih banyak akibat pengolahan tanah.

Ada tiga alasan mengapa pengolahan tanah tidak efektif dalam pengawetan air, yaitu (1) air telah banyak hilang melalui penguapan sebelum tanah cukup kering untuk dapat diolah (2) kehilangan air sebelum pengolahan tanah telah menciptakan udara kering pada tanah lapisan atas yang mampu mengurangi penguapan air berikutnya dan (3) tanaman sendiri, yaitu perakarannya telah berkembang dengan baik, mampu mengintersepsi air yang bergerak ke atas atau bahkan menguap.

Pengolahan tanah pada batas-batas tertentu masih diperlukan, terutama dalam menciptakan aerasi yang baik terutama gulma. Pertumbuhan gulma sangat memboroskan cadangan air dalam tanah melalui transpirasinya yang tinggi. Jika persoalan gulma ini dapat diatasi misalnya dengan aplikasi herbisida dan kondisi fisik tanah masih cukup memadai, pengolahan tanah selanjutnya mungkin tidak diperlukan.

Dengan pertimbangan tersebut dan dengan adanya kemungkinan kerusakan akar tanaman akibat pengolahan tanah serta waktu dan biaya yang diperlukan, maka tanah sebaiknya diolah seperlunya atau semimum mungkin.

4.6.4.3. Pengendalian penguapan air di daerah sub- humid dan semi arid

Pertanian di daerah yang relative kering dapat berhasil jika diterapkan cara-cara pengawetan air, yaitu maksimalkan penggunaan air dan minimumkan kehilangan air melalui penguapan. Usaha- usaha tersebut meliputi:

1. Penanaman jenis dan varietas tanaman yang tahan kekurangan air.
2. Pola tanam yang sesuai, yaitu dengan mengurangi populasi tanaman per satuan luas yang disesuaikan dengan jumlah air yang tersedia.
3. Penerapan teknik pengolahan tanman minimum dan pemberian mulsa
4. Pengaturan bera pada musim kemarau.

Pengolahan tanah minimum dan pemberian mulsa telah diuraikan, sedangkan bera (lahan dibiarkan kosong) pada musim kemarau bertujuan agar sedapat-dapatnya menghemat air, yang selanjutnya dapat dipakai sebagai cadangan yang besar untuk masa berikutnya.

Cara bera yang umum adalah dengan membiarkan bongkol tanaman tahun lalu tetap tegak di lahan hingga saatnya lahan itu dipakai lagi pada musim hujan. Tanah sesekali diolah sebelum gulma menghebat atau sewaktu-waktu gulma diberantas dengan herbisida. Dengan cara ini kehilangan air karena penguapan dapat dibatasi hanya pada tanah lapisan atas saja. Cara ini merupakan cara khusus, yaitu hanya sesuai untuk daerah kering, sedangkan pada daerah humid pemberaan pada musim kering justru merugikan.

4.6.4.4. Pengendalian penguapan air di daerah beririgasi

Kehilangan air melalui penguapan di daerah beririgasi jauh lebih gawat dari pada penguapan di daerah lahan kering, karena keadaan yang menunjang terjadinya evaporasi sangat ideal. Hal ini karena tanah umumnya lebih lembab, bila iklim kering, penyinaran matahari sangat intensif dan angin kencang maka diharapkan penguapan air akan besar.

Pengendalian penguapan praktis di daerah demikian adalah mengatur cara dan waktu pemberian air irigasi yang tepat. Permukaan tanah dipertahankan tetap lembab sesuai yang diperlukan untuk mencapai produksi tanaman yang baik serta perkembangan akar yang dalam harus diusahakan. Dengan cara dan waktu pemberian air irigasi yang baik dapat juga bahaya akumulasi garam di permukaan tanah pada daerah-daerah irigasi yang salin dan basa.

4.7 Drainase

Pembuatan fasilitas drainase mutlak diperlukan di daerah-daerah dimana muka air dekat dengan permukaan tanah atau bahkan menggenang, yang dimaksudkan untuk membuang air berlebihan dari profil tanah, terutama pada tanah lapisan atas, sehingga aerasi tanah yang baik dapat dipertahankan. Secara praktis, drainase tidak hanya penting dalam rangka reklamasi daerah rawa, tetapi juga di setiap areal pertanian.

4.7.1. Sifat-sifat tanah aquic

Tanah-tanah aquic mempunyai regim kelembaban aquic dan berkembang dibawah pengaruh kejenuhan air. Umumnya berwarna gelap karena kaya dengan bahan organik atau berwarna kelabu. Tersebar di

daerah cekung. Umumnya bertekstur halus dan mempunyai kesuburan tanah alami yang tinggi, setelah dilakukan perbaikan drainase. Tanah-tanah demikian akan menjadi tanah pertanian yang baik.

4.7.2. Pengaruh muka air tanah terhadap udara dan kelembaban tanah

Air bergerak secara kapiler dari muka air tanah dan mencipakan daerah kapiler (kapillary fringe) diatas muka air tanah yang mempunyai kelembaban lebih tinggi dari kapasitas lapang. Seperti yang telah disinggung pada sub-bab kapileritas, pori yang besar umumnya menarik air ke atas pada jarak yang lebih jauh dari muka air tanah. Akibatnya semakin jauh dari muka air tanah daerah kapiler semakin besar kandungan airnya dan sebaliknya semakin tinggi kandungan udaranya.

Ketebalan daerah di atas muka air tanah bervariasi sangat besar tergantung tipe tanahnya. Misalnya, hanya mencapai beberapa inchi pada tanah berpasir atau berkerikil, tetapi dapat mencapai 10 kaki (3 meter) pada tanah bertekstur halus.

4.7.3. Manfaat drainase tanah

Ujung akar merupakan daerah pembelahan dan perpanjangan sel yang hebat, sehingga memerlukan banyak oksigen. Umumnya akar tanaman lahan kering tidak mampu menembus lapisan tanah yang jenuh air karena defisit oksigen. Drainase, langsung dan tidak langsung berhubungan dengan aerasi. Drainase yang baik memungkinkan difusi oksigen ke CO_2 dari akar tanaman. Ia juga berpengaruh terhadap aktifitas mikro organisme aerobik dalam tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi ketersediaan unsur hara seperti N dan S. Demikian juga toksisitas unsur Fe dan Mn dapat dikurangi pada keadaan aerasi yang baik.

Tujuan utama drainase di lahan pertanian dan kehutanan adalah menurunkan muka air tanah untuk meningkatkan kedalaman dan efektifitas daerah perakaran. Ini berarti bahwa jumlah hara yang mungkin dapat diserap oleh tanaman dapat dipertahankan pada level yang lebih tinggi.

Dengan hilangnya kelebihan air dalam tanah karena drainase, mengakibatkan turunnya panas jenis tanah sehingga menurunkan jumlah energi untuk menaikkan suhu tanah. Bersamaan dengan hal itu efek evaporasi di permukaan tanah mengalami efek pendinginan. Keduanya berpengaruh terhadap pemanasan tanah.

Pada daerah-daerah dimana suhu tanah dan frost menghambat pertumbuhan tanaman, drainase memungkinkan memperpanjang masa pertanaman. Drainase menurunkan muka tanah memanaskan lebih cepat dan pertumbuhan tanaman juga lebih cepat, sehingga secara keseluruhan meningkatkan potensi bagi pertumbuhan tanaman.

Terdapat dua cara yang umum dipakai, yaitu (1) drainase permukaan, seperti tipe drainase saluran dan 2) drainase dalam, seperti tipe drainase gorong-gorong.

4.7.4. Drainase permukaan – tipe drainase saluran(open ditch)

Drainase permukaan adalah cara pengumpulan dan pembuangan air dari permukaan tanah. Tipe drainase ini cocok untuk daerah rendah yang menerima limpahan air dari daerah yang lebih tinggi dan daerah-daerah yang tanahnya impermeable sehingga kapasitas melewati kelebihan air ke dalam profil tanah rendah.

Tipe drainase permukaan ini banyak dipakai dalam reklamasi daerah rawa, di sepanjang jalan-jalan raya, daerah pemukiman di kota-kota dan daerah persawahan. Tipe drainase saluran ini mempunyai keuntungan karena dapat menyalurkan air secara cepat. Sebaliknya ia memerlukan tempat yang luas, sering merupakan pemborosan, serta biaya perawatan yang tinggi, yaitu setiap kali harus dibersihkan dari sampah atau rumput yang tumbuh.

4.7.5. Drainase dalam- tipe drainase gorong-gorong(tile drain)

Drainase saluran dapat dibuat dengan mudah dan murah untuk menyalurkan air gravitasi. Akan tetapi, saluran memerlukan pembersihan secara periodik serta menyulitkan penggunaan alat-alat mesin. Bila secara ekonomis dapat dipertanggung-jawabkan, drainase gorong-gorong lebih menguntungkan dan dapat diandalkan.

Gorong-gorong dibuat dari tanah klei yang dibakar berukuran panjang 30 hingga 80 cm dengan diameter bervariasi dari 10cm hingga beberapa puluh cm. Mereka dipasang sambung menyambung dengan celah pada sambungannya, di dalam saluran yang telah dipersiapkan. Celah pada sambungan dibalut dengan bahan porous untuk menjamin pemasukan air atau agar tidak tersumbat. Gorong-gorong kemudian ditutup dengan tanah. Air berlebihan masuk ke dalam gorong-gorong melalui celah sambungan.

Pada dasarnya pemasangan gorong-gorong tidak lain adalah usaha menstimulir perkolasi. Cara ini sangat efektif bila pori makro tanah banyak dan kontiniu, sehingga pergerakan air ke bawah untuk memasuki gorong-gorong dapat berlangsung cepat.

Sistem pemasangan gorong-gorong disesuaikan dengan keadaan wilayah. Pada wilayah yang mempunyai drainase alamiah, maka gorong-gorong hanya dipasang di daeah depresi (cekungan). Ini disebut sistem drainase alamiah, dimana gorong-gorong memmbantu mempercepat hilangnya air dari tempat-tempat akumulasi air secara alamiah. Akan tetapi, pada wilayah dataran atau bergelombang diperlukan sistem drainase yang lebih seragam, yaitu sistem drainase regular. Ini dapat menggunakan pola tulang ikan atau gridion atau modifikasi dari keduanya. Bila di suatu wilayah dijumpai banyak mata air atau rembesan, sistem drainage intersepsi perlu dipasang.

Kemiringan yang diperlukan agar sistem drainase gorong-gorong dapat berfungsi baik bervariasi, umumnya berkisar antara 5 hingga 50 cm setiap 30 meter. Kemiringan darai-drain utama dapat kecil, terutama bila cabang-cabang dapat menyalurkan air dengan kecepatan tinggi.

Kedalaman gorong-gorong dari permukaan tanah dan jarak antara cabang bervariasi mengikuti sifat tanah, yaitu berkisar antara 75 cm (tanah dengan permeabilitas lambat) hingga 120cm (pada tanah berpasir). Interval pemasangan gorong-gorong diperpendek dengan memberatnya tanah (lihat Tabel 4-2). Hai ini diperlukan agar penurunan muka air tanah dapat mencapai kedalaman yang dikehendaki.

Tabel 4.2 Jarak yang disarankan antara gorong-gorong cabang pada beberapa tanah dan keadaan permeabilitas

Tanah	permeabilitas	Jarak (m)
Klei, lempung klei	Sangat lambat	9-21
Debu, lempung klei Berdebu	Lambat- agak lambat	18-30
Lempung berpasir	Agak lambat-cepat	30-90
	Lambat-cepat	15-60

4.8. Irigasi

Irigasi sebenarnya merupakan teknik pertanian kuno yang diciptakan oleh bangsa Moor yang beragama Islam, sekitar 1200 tahun yang lalu di Spanyol. Saat ini kurang lebih 11 persen areal pertanian di dunia diirigasi. Di Mesir hampir 100 % areal pertaniannya beririgasi. Peru 75 %, Jepang 60%, Irak 45 % dan Meksiko 41%. Ternyata irigasi tidak hanya diterapkan di daerah arid yang memang kekurangan air, tetapi juga di daerah humid untuk memperpanjang masa pertanaman dalam rangka meningkatkan produksi pertanian.

Di Indonesia pertanian yang diirigasi adalah pertanian sawah. Luas sawah di Indonesia pada tahun 2016 mencapai 8,19 juta ha. Seluas 4,78 juta ha merupakan sawah irigasi dan 3,41 juta ha masih non irigasi (tadah hujan). Usaha pertanian sawah yang utama adalah untuk tanaman padi. Oleh karena bahan pangan utama rakyat Indonesia adalah beras (padi), maka pemerintah harus mengusahakan seluruh lahan sawah beririgasi yang baik.

4.8.1. Sumber air

Sebagian sumber air untuk irigasi adalah air permukaan yang berasal dari air hujan dan pencairan salju. Air ini secara alami mengalir di sungai-sungai, yang membawanya ke danau-danau atau ke laut. Jika dimanfaatkan untuk irigasi, sungai dibendung dan air dialirkan melalui saluran-saluran buatan ke daerah pertanian.

Banyak juga air ditampung terlebih dahulu di dalam reservoir / waduk, selanjutnya dialirkan secara teratur melalui jaringan irigasi ke daerah pertanian. Di beberapa tempat sumber air berupa air bawah tanah yang dipompa atau dengan kekuatan sendiri menyembur ke permukaan dan selanjutnya dialirkan ke areal pertanian.

4.8.2. Lahan sesuai untuk irigasi

Tidak semua lahan sesuai untuk irigasi. Dalam memilih lahan yang sesuai untuk irigasi, penelitian mendalam harus dilakukan terhadap tanah. Sifat-sifat tanah yang menentukan adalah (1) tekstur tanah sampai kedalaman beberapa kaki (2) ada tidaknya lapisan impermeable atau kerikil dalam kedalaman 5 hingga 6 kaki, (3) akumulasi garam-garam terlarut yang meracun, (4) kemiringan dan kerataan permukaan tanah dan (5) perilaku tanah setelah diirigasikan. Kriteria penentuan kesesuaian lahan tertera pada Tabel 4-3.

Tabel 4.3 Sifat-sifat tanah yang menentukan kesesuaian lahan untuk irigasi

Land Capabil- ity class	Surface Texture	Available Water- holding capacity					
		Coarse Frag- ments In sur- face %	Surface Foot, in	Soil Profile to 60 inches, in	Soil permeabiliy	Effective Depth,in	Salinity or Sodim Hazard
I	Sandy loam to clay loam or silty loam	<15	>1.5	>7.5	Slow to medium	>40	None
II	Loamy sand to silty clay loam or clay loam	15-35	1.0-1.5	5.0-7.5	Slow to rapid	30-40	Slight
III	Sand to clay	>35	0.75-1.0	3.75-5.0	Slow to rapid	20-30	Moder- ate
IV	Sand to clay	No limits	<0.75	<3.75	Slow to rapid	<20	severe
V,VI, VIII,VIII	Sand to clay	No limits	No limit	No limit	Slow to rapid	<20	No limits

Adapted from conservation service, USDA, Phoenix, Arizone, State Guide by Donald Post

Permukaan tanah harus rata karena, kalau tidak , biaya perataan (leveling) sangat tinggi. Lereng yang seragam dengan kemiringan 10 hingga 20 kaki setiap mil menguntungkan, meskipun lereng yang lebih tajam juga dapat dipergunakan. Lahan yang teriris oleh lembah curam sebaiknya dihindarkan. Akan tetapi, di Indonesia ditemukan banyak sawah beririgasi pada topografi miring. Pada lahan miring tersebut dibuat sawah bertingkat-tingkat atau berjenjang. Petak sawah di sini umumnya memiliki lebar yang lebih kecil dan dibatasi oleh galengan atau pematang agar air menggenang. Sawah berjenjang ini menciptakan pemandangan yang indah. Terutama ketika padi sedang menghijau dan menguning.

4.8.3. Metode pemberian air irigasi

Faktor- faktor yang menentukan pemilihan metoda pemberian air irigasi adalah (1)distribusi musim hujan (2) kemiringan lereng dan bentuk permukaan lahan (3)suplai air (4)rotasi tanaman dan (5)permeabilitas tanah lapisan bawah. Metoda pendistribusian air irigasi dapat dikelompokan ke dalam (1) irigasi permukaan, (2) irigasi lapisan bawah, (3) irigasi curah, (4) sprinkler atau drip atau trickle.

4.8.4. Irigasi permukaan

Irigasi permukaan mengalirkan airnya melalui saluran ke dalam petakan lahan yang dibatasi oleh galengan, baik secara merata menggenangi permukaan lahan atau melalui selokan-selokan di antara guludan. Penggenangan ke seluruh permukaan lahan umumnya untuk tanaman padi, padang rumput dan sejenisnya, sedangkan irigasi (furrow) umumnya untuk tanaman yang ditanam berlarikan dalam guludan seperti bawang merah, bawang putih, kentang, gula bit, ketela rambat, jagung, tanaman buah-buahan dan sejenisnya.

Saluran utama umumnya memotong di tengah-tengah lahan pertanian, sedangkan untuk memasukan air ke petakan dapat dilakukan dengan pintu air (untuk cara penggenangan) atau melalui tabung siphon (untuk irigasi selokan).

4.8.5. Irigasi lapisan bawah

Merupakan cara pemberian air irigasi melalui pergerakan air ke atas dalam profil tanah dari aliran air yang berbeda beberapa puluh centimeter di bawah permukaan tanah. Contoh penerapan irigasi lapisan bawah yang terkenal adalah di negeri Belanda.

Di negeri ini rawa-rawa direklamasi dengan menggunakan sistem drainase gorong-gorong (tile drain). Pada keadaan basah, gorong-gorong dipakai untuk mengalirkan kelebihan air, sedangkan pada saat kekeringan, gorong-gorong dipergunakan untuk mengalirkan air irigasi.

Air irigasi tersebut masuk ke dalam profil tanah dan bergerak ke daerah perakaran melalui pergerakan kapiler. Cara irigasi ini bila dibandingkan dengan cara irigasi lainnya tergolong tidak efisien dan hanya sesuai untuk areal yang khusus.

4.8.6. Irigasi curah

Irigasi curah sangat sesuai bagi daerah yang tanahnya mempunyai laju infiltrasi yang tinggi dan topografi wilayahnya tidak mungkin untuk diratakan, sehingga tidak menguntungkan bila diterapkan irigasi permukaan. Dengan irigasi curah, banyaknya air yang ditambahkan dengan mudah dikontrol. Disamping itu alat-alatnya dapat disetel secara otomatis.

Irigasi curah memungkinkan perubahan total lingkungan pertumbuhan melalui pembasahan tanaman dan tajuk tanaman. Hal ini mengaki-

batkan turunnya temperatur dan naiknya kelembaban nisbi di sekitar tanaman sehingga tegangan air (water stress) di dalam jaringan tanaman turun. Irigasi curah juga efektif mencegah terjadinya frost.

4.8.7. Irigasi drip

Merupakan cara pemberian air dengan jalan meneteskannya melalui pipa-pipa secara setempat di sekitar tanaman atau sepanjang larikan tanaman. Disini hanya sebagian dari daerah perakaran yang terbasahi, tapi hampir seluruh air yang ditambahkan dapat diserap dengan cepat oleh akar pada keadaan kelembapan tanah yang rendah. Jadi keuntungan cara ini adalah penggunaan air irigasi yang sangat efisien. Cara ini juga sangat adaptif pada daerah berlereng curam dimana cara irigasi lain tidak dapat diterapkan. Salah satu contoh irigasi drip ini ditemukan untuk mengairi pohon penghijauan di Padang Arapah, Saudi Arabia. Lingkaran pohon dibatasi dengan tembok dengan diameter sekitar 1 meter. Setiap pohon dilalui pipa air yang dilengkapi keran terbuka. Air dialirkan selama waktu tertentu dan setiap waktu tertentu pula.

4.8.8. Banyaknya dan frekuensi pemberian air irigasi

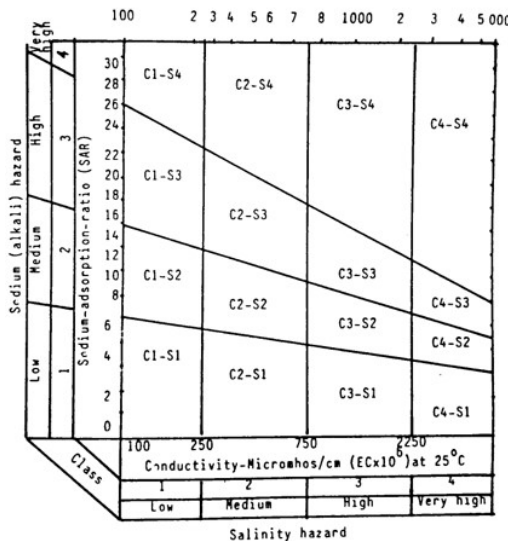
Banyaknya pemberian air ideal adalah sejumlah air yang dapat membasahkan tanah di seluruh daerah perakaran sampai keadaan kapasitas lapang. Jika air diberikan berlebih, maka akan mengakibatkan penggenangan di tempat-tempat tertentu yang memperburuk aerasi tanah.

Pedoman yang umum tentang waktu pemberian adalah bila sekitar 60% air yang tersedia dalam daerah perakaran telah dipakai tanaman, maka sudah saatnya memberikan air irigasi. Dengan mengetahui besarnya evapotranspirasi harian dan jumlah air yang tersedia dalam daerah perakaran, maka waktu pemberian air dapat diperhitungkan.

Cara lain adalah dengan berpatokan pada tegangan air, yaitu dengan memonitornya dengan mempergunakan tensiometer. Dengan tensiometer dapat ditetapkan keadaan tegangan air tanah pada berbagai kedalaman tanah, jika tegangan air tanah telah mendekati titik layu, maka sudah saatnya air irigasi diberikan.

4.8.9. Kualitas Air Irigasi

Kualitas air yang dipergunakan untuk irigasi harus memenuhi standar tertentu. Faktor-faktor yang menentukan kualitas air irigasi meliputi (1) daya hantar listrik atau konsentrasi total garam-garam terlarut (2) konsertrasi boron dan (3) sodium adsorption ratio (SAR). Kriteria kualitas air irigasi disajikan pada gambar 4-2.



Gambar 4.2 Diagram klasifikasi kualitas air irigasi

4.8.9.1. Faktor daya hantar listrik

Air yang tidak asin (DHL-CI) dapat dipergunakan sebagai air irigasi hampir untuk semua jenis tanaman, tanpa menimbulkan pengaruh buruk serta tanpa perlu pengelolaan khusus untuk mengontrol salinitas tanah.

Air agak asin (DHL = C2) tidak dapat dipergunakan pada tanah dimana kecepatan leaching sedang sampai rendah. Hanya tanaman yang toleran mampu tumbuh dengan baik pada kondisi salinitas tersebut. Lainnya memerlukan tindakan pengelolaan salinitas yang khusus.

Air asin sampai sangat asin (DHL= C3 dan C4) penggunaannya sangat terbatas. Tanah harus benar-benar permeable, dipergunakan tanaman yang toleran, serta perlu kontrol salinitas yang intensif.

4.8.9.2. Pengaruh Boron

Boron (B) adalah unsur esensial untuk tanaman, tetapi jumlah yang diperlukan sangat sedikit (unsure mikro). Boron sangat berguna bagi tanaman tertentu. Batas yang masih ditoleransikan oleh tanaman disajikan pada Tabel 4.4 sedangkan toleransi relatif tanaman disajikan pada Tabel 4.5. Tabel 4.4 Kandungan boron (B) yang masih diizinkan bagi setiap kelas air irigasi

Boron Class	Sensitive Crops	Semi tolerant Crops	Tolerant Crops
1	0.33	< 0.67	< 1.00
2	0.33-0.67	0.67-1.33	1.00-2.00
3	0.67-1.00	2.00-2.50	3.00-3.75
4	1.00-1.25	2.50	3.75

From agriculture Handbook 60, USDA, 1954

Tabel 4.5 Toleransi relatif tanaman terhadap boron

Tolerant	Semitolerant	Sensitife
Athel (tamarix aphylla)	Sun flower(native)	Pecan
Asparagus	Potato	Black wainut
Palm (phoenix canariensis)	Acalan cotton	Persian(English wainut)
Datepalm	Pima cotton	Jerussalem artichoke
(P. dactylifera)	Tomato	Navy bean
Sugar best	Sweetpea	American elm
Mangel	Radish	Plum
Garden best	Field pea	Pear
Alfalfa	Ragged robin rose	Apple
Gladiolus	Olive	Grape(sultanina& Malaga)
Sroadbean	Barley	
Onion	Wheat	Kadota fig
Turnip	Corn	Cherry
Cabbage	Oat	Peach
carrot	Zinnia	Apricot
	Pumpkin	Thornless, blackberry
	Bell pepper	Orange
	Sweet potato	Avocado
	Lima bean	Grapefruit
		Lemon

4.8.9.3. Faktor SAR

Dasar sodium adsorption ratio (SAR) ini dipakai dalam hubungannya dengan pengaruh Na-Tukar terhadap sifat fisik tanah, yaitu efek deflokulasi. Akan tetapi, beberapa tanaman yang peka terhadap kejenuhan Na, dapat juga menderita akibat adanya Na tukar yang tinggi. SAR dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$SAR = \frac{Na}{\frac{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}{2}}$$

dimana konsentrasi ion dalam me/l

SAR kelas 1 umumnya baik untuk semua jenis tanah dan tanaman, kecuali tanaman buah-buahan seperti avocadro. SAR kelas S2 tidak baik untuk tanah-tanah bertekstur halus, kecuali bila Gypsum terdapat dalam tanah itu. SAR kelas S3 umumnya jelek untuk semua jenis tanah sehingga memerlukan pengelolaan yang khusus, seperti drainase yang baik dan tambahan bahan organik. SAR kelas 4 tidak dapat dipergunakan untuk irigasi.

4.8.10. Efek penggaraman dan respon tanaman.

Karena air irigasi pasti mengandung garam dan jumlah air irigasi yang dipergunakan setiap kali cukup besar, maka irigasi mempunyai efek penggaraman yang besar. Jika proses pencucian (leaching) tidak berjalan baik maka dapat dipastikan garam-garam tersebut akan terakumulasi dalam tanah dan tanah menjadi salin. Garam-garam tersebut umumnya dalam bentuk klorida.

Garam karbonat dan sulfat dari Na, K, Ca dan Mg, tingkat salinitasnya dapat dinyatakan dalam daya hantar listrik dari ekstrak tanah jenuh pada suhu 25⁰ C (ECe). Klasifikasi dan efeknya terhadap pertumbuhan tanaman tertera pada Tabel 4-6.

Pengaruh buruk garam-garam bagi tanaman umumnya secara tidak langsung, yaitu melalui peningkatan tekanan osmotik pada air tanah sehingga menyulitkan tanaman menyerap air, terutama bagi kecambah dan perakaran tanaman. Jadi efeknya sama dengan tanah dalam keadaan kering.

Tabel 4.6 Klasifikasi salinitas berdasarkan daya hantar listrik dan ekstrak tanah jenuh

klass	ECe	Efek terhadap tanaman
1	0-1	Salinity effects mostly negligible
2	2-4	Yield of very sensitive crops may be restricted
3	4-8	Yield of many crops restricted
4	8-16	Only tolerant crops yield satisfactorily
5	Over 16	Only a few very tolerant crops yield satisfactorily

4.8.11. Kontrol salinitasi

Jika dalam areal beririgasi, jumlah garam yang dipertambahkan melalui irigasi dapat diimbangi dengan pengangkatan melalui leaching dan diserap tanaman, maka problem penggaraman tidak terjadi. Oleh karena itu, sebagian dari air irigasi harus tercuci ke bawah. Kebutuhan akan pencucian ini sebanding dengan kandungan garam dalam air irigasi. Misalnya kebutuhan pencucian adalah 25 %, berarti sebanyak 25% air harus mengalir ke bawah dalam profil tanah sambil mencuci garam yang terlarut.

4.9 Ringkasan

Air diperlukan oleh tumbuhan untuk memenuhi kebutuhan transpirasi, asimilasi dan pengangkut unsur hara dari akar dan hasil-hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tumbuhan. Air berfungsi sebagai pelarut unsur hara dalam tanah, yang bersamanya membentuk larutan tanah, serta berfungsi dalam reaksi-reaksi kimia dalam tanah. Disamping itu air tanah berperan dalam mengontrol udara dan suhu tanah.

Retensi dan pergerakan air dalam tanah, pengambilan air oleh tumbuhan dan translokasinya dalam tumbuhan, serta kehilangan air ke atmosfer merupakan fenomena energi. Cara menyatakan tingkat energi air tanah antara lain dengan tinggi kolom air atau logaritma tinggi kolom air (pF), bar atau atmosfer standar. Hubungan antara energi air tanah dan kandungan airnya dapat dinyatakan dalam koefisien air tanah sebagai berikut. jenuh air atau retensi maksimum (tegangan permukaan = 0 atm), kapasitas lapang (tegangan permukaan air = 1/3 atm). Koefisien layu (tegangan = 15 atm) dan koefisien hidroskopis (tegangan = 31 atm). Kadar air tanah sering disebut kurva pF.

Terdapat beberapa cara menetapkan kadar air tanah, antara lain cara grafimetrik, tegangan dan hisapan, hambatan listrik (blok tahanan dan cara pembauran neutron, neutron scattering). Cara menyatakan kadar air tanah antara lain dengan persen berat atau persen volume.

Pergerakan air tanah dalam tanah terjadi dalam tiga bentuk yaitu pergerakan air tidak jenuh, pergerakan air jenuh dan pergerakan uap air. Pergerakan air tidak jenuh merupakan fenomena kapiler, baik yang terjadi dari muka air tanah dangkal ke permukaan tanah maupun dari air hujan maupun air irigasi di permukaan tanah yang bergerak ke lapisan bawah yang lebih kering. Pergerakan air tidak jenuh sangat penting untuk mempertahankan kelembaban tanah di daerah perakaran. Pergerakan air jenuh dalam tanah ditentukan oleh daya air yang bergerak dan hantaran hidrolis. Pergerakan air jenuh terjadi secara vertikal maupun horizontal.

Sifat-sifat lapisan tanah sangat menentukan kecepatan pergerakan air jenuh. Pergerakan uap air eksternal terjadi di permukaan (evaporasi) dan pergerakan uap air internal terjadi dalam pori tanah. Pergerakan uap air dalam tanah terjadi karena perbedaan tekanan uap air, yaitu dari tempat bertekanan uap tinggi ke tempat bertekanan uap rendah.

Secara fisik air tanah dapat dibedakan dalam air bebas (gravitasi, drainase), air kapiler dan air higroskopik, sedangkan secara biologis dibedakan dalam air berlebihan, air tersedia dan air tidak tersedia. Ketersediaan air tanah bagi pertumbuhan tanaman ditentukan oleh faktor iklim, tanaman dan tanah. Diantara sifat-sifat tanah yang berpengaruh adalah daya hisap matrik dan osmotik, kedalaman tanah dan pelapisan tanah. Suplai air bagi tanaman dapat terjadi melalui pergerakan air kapiler dan jangkauan akar.

Konservasi air hujan sangat penting pada daerah-daerah dimana selalu terjadi defisit air tanah yang besar, seperti daerah arid dan subhumid. Konservasi air hujan ini dapat dilakukan dengan (1) peningkatan laju infiltrasi dan kapasitas penyimpanan air di daerah perakaran, antara lain dengan pengelolaan permukaan tanah, perbaikan sifat-sifat fisik tanah internal dan penyemprotan bahan kedap air di bawah lapisan olah, (2) Pengendalian penguapan antara lain dengan pemberian mulsa, pengolahan tanah minimum dan pemberantasan gulma.

Pembuangan air dengan pembuatan fasilitas drainase mutlak diperlukan pada daerah-daerah dimana muka air tanah dekat dengan permukaan tanah atau bahkan menggenang, agar aerasi tanah yang baik tetap dapat dipertahankan. Terdapat dua tipe drainase tanah, yaitu drainase permukaan (drainase saluran , open ditch) dan drainase dalam (drainase gorong-gorong, tile drain).

Pemberian air tambahan melalui irigasi tidak saja diterapkan di daerah arid dan subhumid yang memang kekurangan air, tetapi juga di daerah humid untuk memperpanjang masa pertanaman. Sumber air irigasi umumnya air permukaan, tetapi dapat juga air bawah tanah, yang harus memenuhi kualitas baku air untuk irigasi, diantara sifat-sifat yang menentukan adalah kemiringan lereng, kerataan permukaan tanah dan sifat fisik tanah. Cara pemberian air irigasi dapat dikelompokkan ke dalam irigasi permukaan, irigasi lapisan bawah, irigasi curah (sprinkler) dan irigasi tetes (drip atau trickle).

Daftar Bacaan

- Brady, N.C, 1974, *The Nature And Properties Of Soils*, 8 th.ed. MacMillan Pub.CO. inc. New- York.
- Fort, H,D, 1978 *Fundamentals Of Soil Science*, 6 th.Ed. John Willey& Sons, New York.

Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi

1. Jelaskan kepentingan air tanah bagi tumbuhan dan hubungan air – tumbuhan
2. Terangkan dengan singkat apa yang dimaksudkan konsep energi air tanah.
3. Gambarkan secara diagram penampilan air yang diretensi oleh partikel tanah.
4. Gambarkan secara diagram/kurva hubungan antara tingkat energitanah dan kadar air tanah.
5. Terangkan mekanisme pergerakan air tanah tidak jenuh, air jenuh dan uap serta kepentingannya dalam penyediaan air bagi tanaman.
6. Terangkan secara diagram kaitan antara air bebas (gravitasi, drainase), air kapiler dan air higroskopik dengan air berlebihan, air tersedia dan air tidak tersedia bagi pertumbuhan tanaman.
7. Bagaimana pendekatan konservasi air hujan di daerah arid dan sub-humid
8. Mengapa fasilitas drainase diperlukan bagi lahan pertanian? Apa keuntungan dan kelemahan tipe drainase permukaan dan drainase dalam.
9. Jelaskan cara-cara pemberian air irigasi pertanian.

BAB V

SIFAT DAN CIRI BIOLOGI TANAH

Pada bagian terdahulu telah kita bicarakan bahwa bagian organik dari tanah mineral hanya sekitar 5 %. Namun peranannya dalam tanah sangat besar. Bahan organik tanah merupakan bagian dari konsep koloidal yang memegang peranan penting dalam kesuburan tanah. Bahan organik tanah itu sendiri berpangkal dari kehidupan dalam tanah yang dalam hal ini disebut biologi tanah. Oleh karenanya, uraian ini akan meliputi hal-hal menyangkut kegiatan jasad hidup dalam tanah dan peranannya, serta peranan bahan organik dengan segala sifat dan cirinya.

5.1 Jasad hidup tanah dan peranannya

Guna memulai konsep koloidal, perhatian kita arahkan pada bahan organik tanah dengan memulai mengemukakan kehidupan dalam tanah. Setelah kita dapat memahami aktifitas jasad hidup yang terdiri atas tumbuhan (flora) dan binatang

(fauna) tanah, usaha mempelajari bahan organik menjadi lebih mudah. Oleh karena kita kenal dua kelompok besar jasad hidup tanah yang berbeda aktifitas dan peranannya, maka akan lebih baik bila di sini juga ditunjukkan klasifikasi dari jasad hidup tersebut secara sederhana.

5.1.1 Klasifikasi Jasad Hidup Tanah

Di pandang dari sudut tanaman, ada dua kelompok besar jasad hidup (organisme) tanah yaitu yang menguntungkan dan merugikan. Kedua kelompok ini tidak dapat diabaikan dari perhatian. Hasil tanaman yang kita pungut kurang lebih merupakan cerminan dari hasil kerja sama kedua kelompok ini.

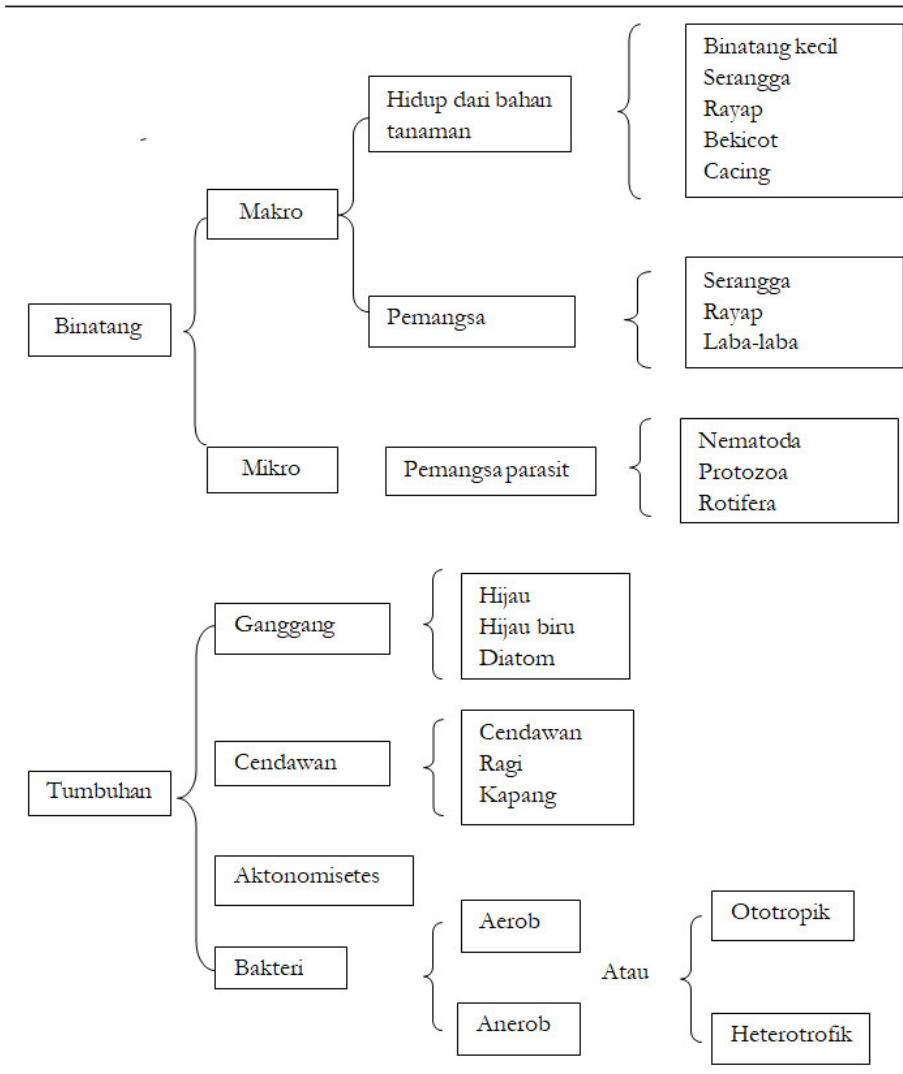
Kelompok yang menguntungkan meliputi seluruh organisme yang melakukan pelapukan bahan organik, perubahan ke organik dan penambahan nitrogen ke tanah. Sedangkan kelompok yang merugikan adalah kelompok yang melakukan persaingan hara dengan tanaman pokok dan atau menyebabkan kena hama dan penyakit.

Berdasarkan peranan biokimia dari masing-masing kelompok jasad hidup dapat diklasifikasikan seperti dalam Tabel 5.1. Pada Tabel 5.1 terlihat bahwa organisme tanah yang tergolong binatang terbatas hingga binatang-binatang kecil saja. Pada kelompok tumbuhan terbatas pada tumbuhan tingkat rendah atau disebut mikro flora. Keberadaan mereka dalam tanah saling berkaitan satu sama lain. Sehingga akhirnya menyumbangkan suatu sifat dari cirri tanah tertentu. Aktifitas mereka sangat menentukan hal itu. Secara umum aktivitas organisme tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor yang antara lain adalah :

1. Iklim (curah hujan, suhu dan lain-lain)
2. Tanah (kemasaman, kelembaban, suhu, hara dan lain-lain)
3. Vegetasi di atasnya (hutan, padang rumput, belukar dan lain-lain)

Akibat berbagai faktor tersebut, maka amat sukarlah menduga jumlah, macam dan aktifitas organisme yang ada dalam tanah. Namun, beberapa ketentuan umum dapat digunakan. Misalnya, dibawah vegetasi hutan terdapat fauna tanah yang beragam daripada bawah padang rumput, tetapi dibawah padang rumput fauna tanah lebih aktif dan bobot tiap hektarnya lebih berat. Tanah yang dikapur dan dipupuk akan mengandung mikroflora yang banyak daripada tanah masam. Tanah perawan yang relatif subur juga lebih banyak jasad hidupnya daripada tanah yang telah dikuras haranya. Keragaman organisme dan bobot biomassa dari organisme pada vegetasi yang berbeda disajikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.1 Jasad utama yang umum dijumpai dalam tanah



Pada Tabel 5.2 terlihat perbedaan biomassa yang cukup menonjol antara padang rumput dan hutan. Perbedaan biomassa juga terlihat diantara jenis tanaman hutan itu sendiri. Tampaknya masing-masing fauna tanah menghendaki habitat tertentu. Namun demikian, secara umum dapat dikatakan bahwa biomassa binatang dibawah padang rumput jauh lebih besar daripada vegetasi hutan. Pengukuran aktivitas jasad hanya salah satu parameter untuk mengukur aktivitas jasad hidup tanah. Dasar parameter

tersebut adalah aktifitas metabolik berkaitan sangat erat dengan biomassa jasad hidup tertentu.

Tabel 5.2 Biomassa dari kelompok binatang tanah yang dijumpai dibawah vegetasi padang rumput dan hutan

Kelompok organisme	Biomassa(g/m ²)		
	Padang rumput	Hutan	
		oak	spruce
Herbivore	17.4	11.2	11.3
detritivor			
besar	137.5	66.0	1.0
kecil	25.0	1.8	1.6
predator	9.6	0.9	1.2
Jumlah	189.5	79.9	15.1

Aktivitas organisme tanah dicirikan oleh parameter seperti:

1. Jumlahnya dalam tanah
2. Bobot tiap unit isi atau luas tanah (biomassa)
3. Aktivitas metaboliknya

Aktivitas metaboliknya biasanya berkaitan erat dengan biomassa organisme tertentu. Seperti disebutkan pada awal, bahwa sebagian besar organisme ini adalah jasad mikro baik flora maupun fauna. Begitu banyaknya mikro flora sehingga mendominasi biomassa meskipun ukuran masing-masing organisme adalah kecil. Keragaman biomassadari flora dan fauna tersebu disajikan dalam Tabel 5.3. Diperkirakan 60-80% dari metabolisme total dalam tanah adalah hasil kegiatan mikroflora tanah. Dengan alasan itu perhatian kita akan lebih besar terhadap jasad mikro ini.

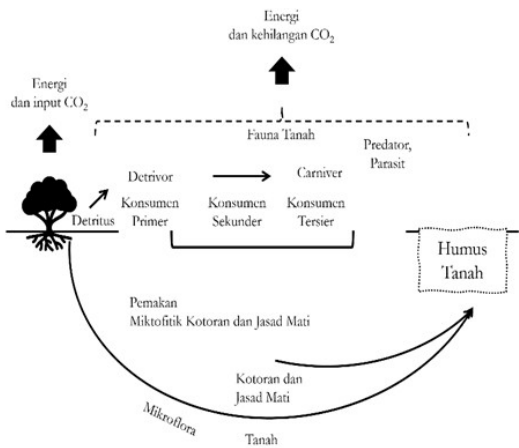
Tabel 5.3 Jumlah dan biomassa relative dari flora dan fauna tanah yang umum di dalam tanah

Organisme	Nilai umum dalam lapisan atas tanah		
	Jumlah tiap Meter persegi ^{a)}	Jumlah tiap gram	Biomassa ^{b)} (kg/HLB)
Mikroflora			
Bakteri	10 ¹³ ·10 ¹⁴	10 ⁸ -10 ⁹	450-4 500
Aktinomisetes	10 ¹² -10 ¹³	10 ⁷ -10 ⁸	450-4 500
Fungi	10 ¹⁰ -10 ¹¹	10 ⁴ -10 ⁵	56-560
Mikrofauna			
Protozoa	10 ⁹ -10 ¹⁰		17-170
Nematode	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁴ -10 ⁵	11-110
Fauna lainnya	10 ³ ·10 ⁵	10-10 ²	17-170
Cacing tanah	30-300		110-1 100

- a) kedalaman biasanya dianggap sama dengan 15 cm, tetapi untuk beberapa kasus (umpamanya cacing tanah) digunakan kedalaman yang lebih dalam.
- b) nilai biomasnya adalah untuk bobot hidup. Bobot kering sekitar 20-25% dari nilai-nilai tersebut

5.1.2 Peranan jasad hidup tanah

Peranan utama organisme tanah adalah untuk mengubah bahan organik, baik segar maupun setengah segar atau sedang melapuk, sehingga menjadi bentuk senyawa lain yang bermamfaat bagi kesuburan tanah. Secara sederhana lintasan perombakan bahan organik dilukiskan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Bagan dari lintasan umum penghancuran jaringan tanaman tingkat tinggi

Dari gambar 5.1 jelaslah bahwa sebagian besar proses perombakan bahan organik dilakukan oleh mikroflora. Oleh karena tanaman tingkat tinggi adalah penangkap energi matahari dan CO_2 yang pertama maka ia disebut produsen primer. Serasah tanaman yang jatuh ke permukaan tanah disebut detritus yang dimakan atau diserang oleh binatang (karnivor) yang disebut detritivor yang diserang oleh mikroflora yang dikenal sebagai konsumen primer, sekunder dan tersier. Klasifikasi mereka berdasarkan peranannya dalam merombak bahan organik dalam Tabel 5.4.

Sisa-sisa tanaman-tanaman segar diubah menjadi bagian-bagian kecil oleh nematoda, keong, bakicot, serangga, rayap, tikus dan lain-lain. Bagian-bagian kecil ini diserang oleh mikroflora dan binatang yang hidup dari jaringan tanaman mati atau membusuk. Bila ada sedikit air ia akan diserang oleh bakteri dan fungi. Beriringan dengan proses situ, cacing-cacing akan mencampur bagian-bagian tadi antara lapisan atas dan bawah.

5.1.3 Peranan dan aktifitas cacing tanah

Cacing tanah merupakan binatang berkelamin dua, karenanya melakukan perkawinan silang. Kopulasi berlangsung di atas permukaan tanah di waktu malam hari atau pagi hari. Telur diletakkan dalam cocon. Periode mulai dari bertelur, menetas menjadi dewasa menghabiskan waktu 6-18 bulan. Jenis yang banyak ditemukan adalah *lumbricus terrestris* (merah) dan *allolobophora caliginosa* (merah jambu).

Seperti tadi telah dikatakan, bahwa cacing berperan mencampurkan bahan organik kasar ataupun halus antara lapisan atas dan bawah. Aktifitas ini menyebabkan tanah menjadi gembur dan penyebaran bahan organik yang agak merata. Kotoran cacing kaya dengan unsur hara karena itu cacing dapat memperkaya tanah dengan hara melalui kotorannya.

Tabel 5.4 Contoh pemakan mikrofillik dan karnivor yang berperanmgai sebagai konsumen sekunder dan tertier di dalam atau diatas tanah

Pemakan		karnivor			
mikrofillik		Konsumen sekunder		konsumen tertier	
Organisme	Mikroflora Dimakan	Predator	Mangsa	Predator	Mangsa
Fungi	{ Algae Bakteri	Tungau	{ Spring tail nematoda enchyttacide	Semut	{ Laba-laba santipeda kalajengking
Tungau	{ Fungi Algea Lumut bakteri	sentipeda	{ springtail nematode keong bekicot applied lalat	sentipeda	{ laba-laba tungau sentipeda
Protozoa	{ mikro flora lain			kumbang	{ laba-laba tungau kumbang
Bakteri	{				
Nematoda	{ fungi	cerucut	{ cacing tanah serangga		
Rayap fungi					

Tanah yang diperoleh melalui pencernaan cacing sekitar 15 ton/ tahun/ Ha. Selama 75 tahun akan terbentuklah tanah kotoran cacing setebal 20 cm seluas satu hektar. Kandungan hara yang terdapat dalam kotoran cacing jauh lebih banyak daripada dalam lapisan tanah 0-40 cm(Tabel5.5)

Kehidupan cacing itu sendiri juga sangat dipengaruhi oleh kemasaman dan kesuburan tanah. Tanah yang kaya kapur, kaya bahan organik akan mengandung cacing lebih banyak. Jumlah cacing yang terdapat dibawah padang rumput jauh lebih banyak daripada dibawah hutan atau tanah-tanah pertanian. Biomassa cacing tanah setiap hektar diperkirakan sekitar 15 kg hingga 1.1 ton, sedangkan jumlahnya berkisar dari 60 hingga 235.000 ekor.

Tabel 5.5 Sifat kimia dan fisika eksperimen cacing dan tanah sekitarnya

Sifat kimia dan fisika -kimia	kotoran	Lapisan 0-15 cm	Lapisan 20-40 cm
N-total,%	0.35	0.25	0.88
C-organik,%	5.17	3.35	1.11
Nitrat, ppm N	21.9	4.7	1.7
P-tersedia, ppm P ₂ O ₅	150.0	20.8	8.3
Ca dapat ditukarkan, ppm Ca	2763.0	1993.0	481.0
Ca-total %	1.19	0.88	0.91
Mg dapat dipertukarkan, ppm Mg	492.0	162.0	69.0
KTK, me/100g	4.67	3.82	1.63
KB,%	92.9	74.1	55.5

5.1.4 Peranan binatang mikro tanah

Diantara sekian banyak binatang mikrotanah yang berperan penting antara lain adalah nematode, protozoa, dan rotifera. Nematode adalah binatang bulat seperti cacing, tetapi ukurannya sangat kecil dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop. Mereka terdiri atas golongan yang hidup dari bahan organik yang sedang membusuk, golongan sebagai predator, dan golongan parasit.

Golongan parasit ini sangat berbahaya bagi tanaman, karena ia bisa hidup di dalam akar tanaman. Nematoda ini sangat merugikan petani dan sampai sekarang masih dicarikan cara pemberantasannya yang baik.

Protozoa merupakan binatang yang paling sederhana dan dapat dikelompok- kan menjadi amoeba, silata dan flagelata. Flagelata merupakan golongan yang terbanyak di dalam tanah terutama di lapisan atas. Secara tidak langsung protozoa dapat mempercepat tersedianya unsur hara bagi tanaman.

Rotifera ditemukan pada tanah rawa yang mengalami pelapukan tingkat akhir. Mereka berperan dalam peredaran bahan organik, terutama di daerah rawa.

5.1.5 Peranan tumbuhan tanah

Peranan umum dari tumbuhan tanah ini adalah sebagai sumber bahan organik, mendekomposisikan bahan organik, melakukan sintesa humus, dan menghasilkan senyawa anorganik (unsur hara tanaman). Kelompok tumbuhan itu adalah:

- a. Akar anaman
- b. Algae

- c. Fungi
- d. Aktinomisetas
- e. Bakteri.

Akar tanaman. Peranannya cukup besar dalam hal memperbaiki fisika tanah. Akar tanaman membuat lubang-lubang bila mati, akar memperbaiki drainase dan aerasi tanah. Akar juga merupakan massa bahan organik hidup yang memantapkan agregasi tanah. Tegangan-tegangan akar juga merupakan awal dari pembentukan agregat tanah. Akar yang mati merupakan penyumbang bahan organik atau humus.

Akar juga berfungsi sebagai penjaga keseimbangan unsure hara dalam larutan melalui pelepasan asam-asam organik sebagai pelarut. Rizofera merupakan binatang yang menyukai akar sebagai tempat hidupnya karena ekskresi bahan amino dan adanya bagian-bagian akar yang mati terus menerus. Selain dari akar tumbuhan, jenis tumbuhan tanah lainnya merupakan mikroflora tanah. Kehidupan mereka sangat kompleks karena itu sukar dijelaskan secara pasti.

Algae tanah. Algae yang mempunyai klorofil hidup di lapisan permukaan tanah dan memperoleh energi dari matahari, sedangkan yang tidak berklorofil dapat hidup di lapisan bawah dan memperoleh energi dari sisa bahan organik. Algae tanah dapat digolongkan atas algae hijau biru, algae hijau dan diatome.

Padang rumput merupakan habitat yang cocok bagi algae hijau biru, sedangkan kebun tua cocok untuk diatome. Algae hijau biru yang terdapat di sawah dapat menambat N dari udara. Fiksasi N akan berlangsung baik bila ada tanaman padi. Hal ini diduga karena adanya CO_2 yang berlimpah diwaktu itu.

Fungi tanah. Fungi utama dalam tanah adalah *ragi*, *kapang* dan *jamur*. Jasad mikro ini tidak berklorofil karena itu sumber energinya dari bahan organik. Kapang dan jamur mempunyai arti penting bagi pertanian, sedangkan ragi belum banyak diketahui.

Kapang dapat hidup dan aktif dalam suasana masam, netral dan basa. Dalam suasana masam kapang lebih berperanan dalam dekomposisi bahan organik daripada bakteri dan aktinomisetas yang tidak tahan masam. Kapang lebih banyak ditemukan dilapisan olah yang kaya bahan organik dan beraerasi baik. Diperkirakan jumlahnya tidak kurang dari satu juta per gram tanah, ini berarti 1-1,2 ton/ Ha. Jenis kapang yang banyak ditemukan

adalah *Penicilium*, *Mucor*, *Trichoderma* dan *aspergillus*. Jenis dan jumlah akan berubah sesuai dengan perubahan keadaan tanah.

Fungi merupakan jasad renik yang dapat menghancurkan selulosa, zat pati, gum, lignin dan senyawa organik yang mudah didekomposisikan seperti protein dan gula. Oleh karenanya, dalam pembentukan humus dan agregasi tanah fungi lebih berperan daripada bakteri, terutama dalam suasana masam. Mikoriza adalah fungi yang berasosiasi dengan akar tanaman, jenisnya antara lain adalah *Hymenomisetes*. Mereka menyelimuti permukaan serapan akar. Bahkan ada yang menyusup ke dalam akar. Adanya mikoriza menguntungkan bagi tanaman inangnya karena dapat memperluas permukaan serapan akar. Diduga serapan P dapat meningkat dengan adanya mikoriza pada akar tanaman. Demikian pula serapan hara lainnya, terutama dalam suasana masam.

Aktinomisetes Tanah. Jasad mikro ini mempunyai sifat diantara fungi dan bakteri. Ukuran miselianya lebih kecil daripada fungi. Sama atau kecil daripada bakteri. Jasad ini peka terhadap suasana masam, akan lebih baik daripada pH 6.0-7.5.

Keadaan lembab dengan aerasi baik, merupakan habitat yang baik, tetapi dalam suasana agak kering aktinomisetes lebih banyak daripada bakteri dan fungsi. Penyakit yang ditimbulkan aktinomisetes dapat diatasi dengan menurunkan pH tanah. Mereka menyukai bahan organik yang banyak. Jumlah mereka dalam tanah berkisar antara 15-20 juta/g tanah kering atau kira-kira 6 - 600 kg/ hektar.

Peranan utama dari aktinomisetes adalah dalam penambahan organik dan pembebasan unsur hara. Mereka dapat menyerang lignin dan mengubahnya menjadi senyawa sederhana. Peranannya sangat menonjol dalam mineralisasi nitrogen.

Bakteri tanah. Bakteri merupakan jasad bersel satu bentuk hidup sederhana dan terkecil. Berkembang biak dengan membelah diri dan sangat cepat pada kondisi tanah yang baik. Ukuran bakteri yang terbesar tidak lebih dari 4-5 mikron, sedangkan ukuran kecil hampir sama dengan klei.

Bakteri berflagel, dengan itu ia dapat berenang dalam larutan tanah. Bentuknya beragam yaitu bentuk batang, bulat atau spiral. Bentuk batang adalah dominan dalam tanah. Ukuran yang kecil ini menyebabkan ia bersifat koloidal. Sifat ini berkaitan dengan biokimia bakteri. Jumlah mereka dalam tanah sekitar 3 - 4 milyar/g tanah atau kira-kira 4-5 ratus kg / Ha.

Berdasarkan sumber energi, bakteri dibagi atas dua kelompok yaitu ototropik dan heterotropik. Kelompok ototropik memperoleh energi dari oksidasi mineral dan karbon yang diperoleh dari CO_2 . sedangkan heterotropik energinya dari bahan organik.

Peranan bakteri sangat penting dalam tanah karena ia turut dalam semua perubahan bahan organik, ia memenopoli dalam reaksi enzimatik seperti nitrifikasi, oksidasi bakteri dan fiksasi nitrogen. Bila proses ini terganggu maka seluruh kehidupan tumbuhan akan terganggu. Peranan bakteri ini sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kelembaban, oksigen (aerasi), suhu, bahan organik, pH dan kalsium dapat ditukar.

5.1.6 Pengaruh buruk jasad mikro terhadap tumbuhan

Fauna tertentu dapat merusak tanaman dengan jalan memakan atau mengerat dan menghancurkan tanaman tersebut. Mereka tergolong pada roden (tikus, tupai), moluska, keong, bekicot, serangga, nematode, protozoa.

Demikian jenis flora tertentu dapat menimbulkan penyakit pada tanaman. Mereka tergolong pada bakteri, fungsi dan aktinomisetes yang dapat menimbulkan penyakit layu, layu bibit, akr busuk, akar buruk lanas dan lain-lain. persaingan hara dan oksigen dengan tanaman juga merupakan pengaruh buruk dari organisme tanah.

Pengendalian pengaruh buruk ini dapat dilakukan dengan berbagai cara. Diantaranya adalah dengan pergiliran tanaman. Sehingga tanaman inangnya sebagai host nya terputus. Penyakit yang disebabkan oleh aktinomisetes dapat dicegah dengan menurunkan pH tanah menjadi 5.3 – 5.5. Sedangkan busuk akar akibat fungi dapat dihindari dengan menaikkan pH hingga 7.0. Disamping itu, penggunaan uap panas di kamar kaca dapat pula dilakukan. Menciptakan tanaman yang toleren atau resisten terhadap penyakit adalah cara yang terbaik.

5.1.7 Persaingan antara jasad mikro

Disamping persaingan antara jasad mikro dengan tanaman juga terdapat persaingan diantara sesama mereka. Di bawah pengaruh bahan organik segar, jasad heterotropik (bakteri, fungs, aktinomisetes) lebih banyak dari jasad ototropik, sebagai akibat persaingan makanan.

Jumlah jasad mikro tertentu dapat mengeluarkan sejenis bahan kimia yang dapat membunuh jasad mikro lainnya dan sekarang dikenal sebagai antibiotika. Diantaranya adalah penisilin, streptomisin dan areomisin.

5.2 Bahan organik tanah

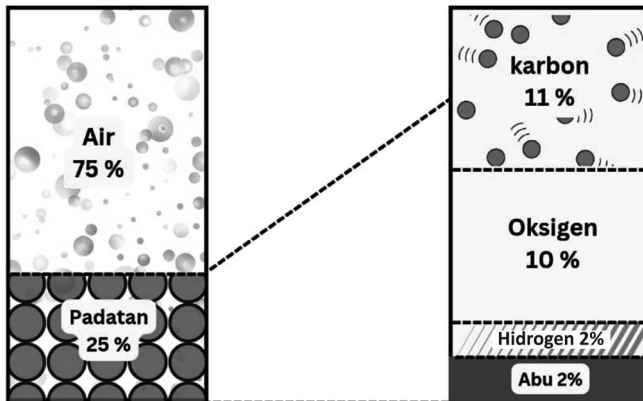
Bahan organik merupakan bahan penting dalam menciptakan kesuburan tanah, baik secara fisika, kimia maupun dari segi biologi tanah. Bahan organik adalah bahan pemantap agregat tanah yang tiada taranya. Sekitar setengah dari kapasitas tukar kation (KTK) berasal dari bahan organik. Ia merupakan sumber hara tanaman. Disamping itu bahan organik adalah sumber energi dari sebagian besar organisme tanah. Dalam memainkan peranan tersebut bahan organik sangat ditentukan oleh sumber dan susunannya, oleh kelancaran dekomposisinya, serta hasil dekomposisi itu sendiri. Berbagai faktor tersebut akan ditinjau lebih lanjut.

5.2.1 Sumber bahan organik tanah

Sumber primer bahan organik adalah jaringan tanaman berupa kar, batang, ranting, daun, bungan dan buah. Jaringan tanaman ini akan mengalami dekomposisi dan akan terangkut ke lapisan bawah serta diinkorporasikan dengan tanah. Tumbuhan tidak saja sumber bahan organik tanah, tetapi sumber bahan organik dari seluruh makhluk hidup.

Sumber sekunder bahan organik adalah binatang. Fauna atau binatang terlebih dahulu harus menggunakan bahan organik tanaman. Setelah itu barulah binatang menyumbangkan pula bahan organiknya. Berbeda sumber bahan organik tanah tersebut akan berbeda pula pengaruh yang disumbangkan ke dalam tanah. Hal itu berkaitan erat dengan komposisi atau susunan dari bahan organik tersebut.

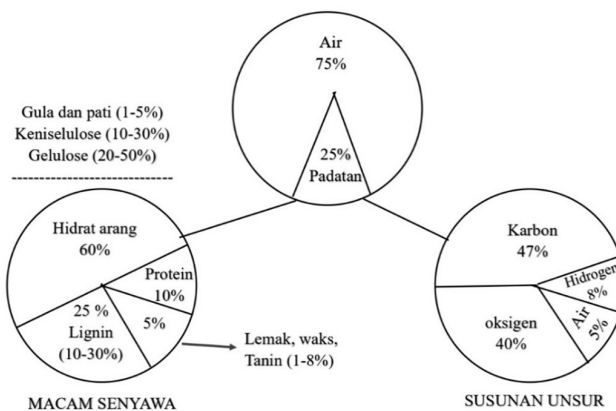
Komposisi atau susunan jaringan tumbuhan akan jauh berbeda dengan jaringan binatang. Pada umumnya jaringan binatang akan lebih cepat hancur daripada jaringan tumbuhan. Jaringan tumbuhan sebagian besar tersusun dari air yang beragam dari 60-90% dari rata-rata sekitar 75%. Bagian padatan sekitar 25%. Jumlah tersebut terdiri dari hidrat arang (60%), protein(10%), lignin(10-30%) dan lemak (1-8%). Ditinjau dari susunan unsur kimia, karbon merupakan bagian terbesar (44%), disusul oleh oksigen (40%) hydrogen dan abu masing-masing sekitar 8%. Susunan abu itu sendiri terdiri dari seluruh unsur tanaman, kecuali C, H, dan O. untuk jelasnya perhatikan Gambar 5.2 dan 5.3.



Gambar 5.2 Susunan dari jaringan tumbuhan hijau

Walaupun kadar abu yang terdiri dari berbagai unsur itu hanya sekitar 8%, tetapi memainkan peranan yang amat penting. Unsur C, H dan O mendominasi bahan kering tanaman tidak dapat bereaksi tanpa adanya unsur N, P, K, Ca, Mg dan unsur-unsur mikro lainnya. Oleh karena itu, pengaruh mereka harus mendapat perhatian.

Karbohidrat tersusun dari C,H dan O mulai dari bentuk gula sederhana sampai selulosa. Lemak merupakan gliserida dan asam lemak seperti butirat, stearat, oleat dan lain-lain. Lignin yang ditemukan dalam jaringan tua juga tersusun dari C, H dan O dalam bentuk struktur lingkaran. Protein merupakan senyawa paling kompleks yang tersusun dari C, H, O, N, P, S, Fe dan beberapa unsur lainnya.



Gambar 5.3 Susunan dari bahan tumbuhan hijau yang ditambahkan pada tanah

5.2.2 Pelapukan bahan organik dan hasilnya

Sumber dan komposisi bahan organik yang telah dikemukakan sangat menentukan kecepatan dekomposisi dan senyawa yang dihasilkan. Hubungan antara kelompok tersebut dan senyawa yang dihasilkan disajikan pada Tabel 5.6

Tabel 5.6 Perubahan yang terjadi pada bahan organik segar yang diberikan dalam tanah

I	<u>Senyawa yang terdapat dalam jaringan tumbuhan segar</u>	
	<u>sukar didekomposisikan</u>	<u>mudah didekomposisikan</u>
	lignin	selulosa
	minyak	zat pati
	lemak	gula
	resin dan lain-lain	protein dan lain-lain
II	Hasil intermediasi dekomposisi	
	<u>Senyawa resisten</u>	<u>senyawa tidak resisten</u>
	Resin	asam amino
	Waks	amida
	Minyak dan lemak	alkohol
	Lignin dan lain-lain	aldehida dan lain-lain
III	<u>Hasil dekomposisi yang resisten</u>	<u>Hasil akhir yang sederhana</u>
	Humus-kompleks koloidal dari dari Ligno-protein	CO ₂ dan air
		Nitrat
		Sulfat
		Fosfat
		Senyawa Ca dan lain-lain

Berdasarkan kecepatan reaksi dekomposisi, bahan organik dapat dikelompokkan menjadi senyawa yang cepat dan lambat sekali didekomposisikan. Hemi selulosa merupakan senyawa yang berada diantara cepat dan lambat didekomposisikan.

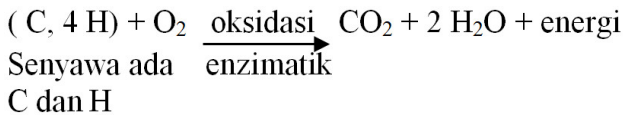
1. Bahan organik yang cepat didekomposisikan adalah:
 - a. Gula, zat pati dan protein sederhana
 - b. Protein kasar
 - c. Hemi selulosa
2. Bahan organik lambat sekali didekomposisikan adalah
 - a. Hemi selulosa
 - b. Selulosa
 - c. Lignin, lemak, waks dan lain-lain.

Kelompok pertama merupakan sumber energi yang mudah diperoleh, sedangkan lignin merupakan senyawa yang paling resisten terhadap hancuran, meskipun akhirnya juga merupakan sumber energi.

Reaksi umum bahan organik dalam tanah adalah:

- a. Oksidasi enzimatik dengan CO_2 dan air, **panas** sebagai hasil utama.
- b. Reaksi spesifik pembebasan dan atau immobilisasi unsur esensial seperti N, P, S dan lain-lain.
- c. Sintesa dari bahan resisten hancuran menjadi bentuk senyawa baru.

Proses pembakaran. Proses ini dikenal sebagai proses oksidasi. Seluruh bahan organik yang dirombak mengalami proses pembakaran yang melibatkan kerjasama jasad mikro. Reaksi sederhananya adalah sebagi berikut:



Reaksi intermediasi selalu menyertai reaksi tersebut, demikian pula reaksi-reaksi sampingan akan terjadi simultan.

Dekomposisi selain menghasilkan CO_2 dan air juga menghasilkan amida, ammonium dan nitrat. Sebagian digunakan sebagi pembentuk tubuh jasad mikro. Dalam hal ini bakteri, fungi dan atinomisetes. Sebagian lagi dari N bereaksi dengan lignin dan senyawa resisten lainnya membentuk humus tanah. Penambahan bahan organik ke dalam tanah akan meningkatkan jumlah dan aktivitas jasad mikro tanah dan kembali seperti semula sejalan dengan berkurangnya bahan organik tersebut.

Hasil akhir dari reaksi enzimatik adalah:

- a. Energi yang dibebaskan oleh mikroba.
- b. Hasil akhir sederhana
- c. Humus

Energi bahan organik. Bahan organik mempunyai sejumlah energi dan sebagian besar dapat diubah menjadi energi laten atau dibebaskan sebagai panas. Sisa tanaman diatas muka tanah mengandung 4-5 kcal/g bahan kering. Penambahan pupuk kandang sebanyak 10 ton/Ha, ton, dimana sekitar 2,5 ton merupakan bahan kering. Hal ini berarti penambahan

sejumlah 9 - 11 juta kcal energi laten. Tanah yang mengandung 4% bahan organik mempunyai 170- 200 juta kcal energi potensial tiap hektar lapisan olah. Jumlah itu sama 20-25 ton batubara.

Dari jumlah energi tersebut hanya sebagian saja yang digunakan mikroba tanah. Sisanya tetap tersimpan dalam sisa bahan organik atau dibebaskan sebagai panas. Juga telah diketahui bahwa tanah sangat cepat kehilangan panas.

Hasil sederhana dekomposisi bahan organik adalah air dan CO_2 yang merupakan senyawa sederhana yang mudah dihasilkan melalui dekomposisi bahan organik. Senyawa yang terbentuk bila tidak digunakan oleh tumbuhan atau jasad hidup tanah, maka ia akan hilang.

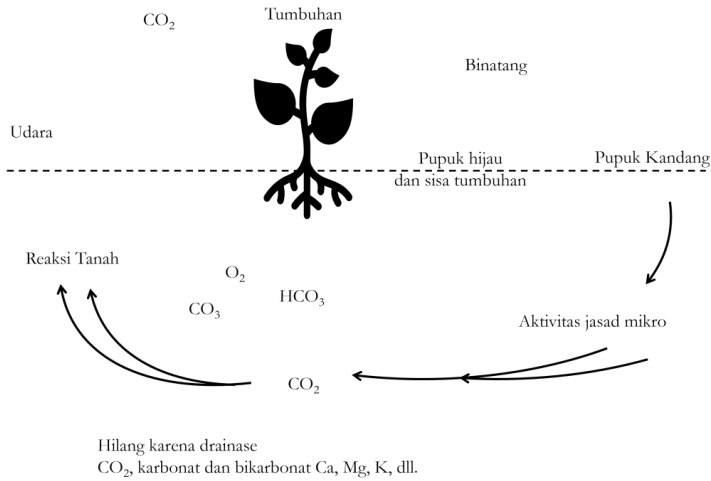
Hasil dekomposisi oleh jasad mikro adalah:

- a. Karbon : CO_2 , CO_3^{2-} , HCO_3^- , CH_4 , C
- b. nitrogen : NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- ,
- c. belerang : S, H_2S , SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , CS_2
- d. fosfor : K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H_2O , O_2 , H_2 , H^+ , OH^- dan lain-lain

5.2.3 Peredaran dan pelapukan senyawa karbon

Karbon merupakan bahan organik yang utama. Karbon ditangkap tanaman berasal dari CO_2 udara. Kemudian bahan organik didekomposisikan kembali dan membebaskan sejumlah bahan karbon. Peredaran karbon tersebut dilukiskan pada Gambar 5.4. Perubahan karbon di dalam, di atas atau di luar tanah disebut peredaran karbon.

Pada Gambar 5-4 tampak bahwa dekomposisi bahan organik membebaskan sejumlah CO_2 , demikian pula akar tanaman juga melepaskan CO_2 yang dihasilkan tanah kembali ke udara. Kemudian diambil lagi oleh tanaman melalui fotosintesis. Selanjutnya tanaman dimakan oleh binatang dan manusia. Sampah tanaman bersama-sama sampah binatang dan manusia, menjadi bahan organik dan didekomposisikan kembali.



Gambar 5.4 Bagan peredaran karbon dalam dan di luar tanah. Perhatikan tekanan pada CO_2 dengan dan tanpa tanah

Dengan demikian, dapat dipahami bahwa peredaran karbon adalah peredaran energi yang sangat kompleks dan lebih tepat bila disebut peredaran hidup. Bila peredaran itu gagal maka terjadilah malapetaka bagi penghuni bumi.

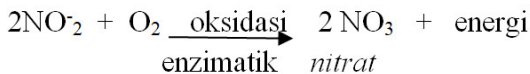
5.2.4 Pelapukan senyawa Nitrogen

Senyawa yang mengandung nitrogen (N) sebagai hasil dekomposisi bahan organik adalah:

- Ammonium
- Nitrit
- Nitrat
- Gas nitrogen

Amonium merupakan bentuk N pertama yang diperoleh dari penguraian protein melalui proses enzimatik yang dibantu oleh jasad heterotropik seperti bakteri fungi dan aktinomisetes. Ammonium akan digunakan oleh jasad mikro, oleh tanaman, atau diubah menjadi nitrat. Nitrit merupakan hasil antara dari perubahan ammonium nitrat. Sedangkan nitrat merupakan hasil akhir dari dekomposisi senyawa nitrogen. Perubahan ammonium menjadi nitrit dan nitrat ini disebut nitrifikasi.

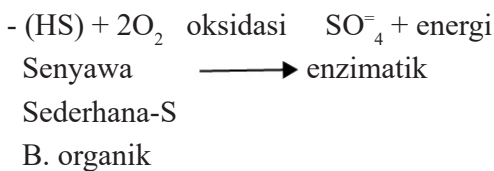
Nitrifikasi merupakan reaksi oksidasi enzimatik yang dipengaruhi oleh kelembaban, suhu, aerasi, adanya Ca dan tersedianya ammonium. Bakteri yang berperan dalam hal ini adalah kelompok ototropik. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Dari reaksi itu dapat dilihat bahwa dalam pembentukan nitrit, ion H disumbangkan, sehingga menimbulkan suasana masam. Senyawa NO₃ yang terbentuk akan digunakan oleh tanaman, jasad mikro, atau hilang tercuci. Dalam keadaan tertentu reaksi nitrit dan nitrat mungkin terjadi, sehingga membebaskan nitrogen atau nitrogen oksida yang mudah menguap ke udara. Diduga oleh para ahli, bahwa sebagian besar kehilangan nitrogen adalah melalui proses tersebut.

5.2.5 Pelapukan senyawa Belerang

Senyawa organik, terutama yang mengandung N biasanya juga mengandung belerang (S). Senyawa sederhana belerang dibentuk oleh jasad heterotropik. Selanjutnya senyawa sederhana belerang ini dioksidasi oleh jasad ototropik membentuk sulfat. Bentuk ini dapat dimanfaatkan oleh tanaman, atau hilang melalui air pengairan/ pencucian. Secara sederhana reaksi oksidasi senyawa belerang adalah:



5.2.6 Pelapukan senyawa Fosfor

Melalui proses pelapukan, fosfor organik dapat diubah menjadi fosfor anorganik, seperti H₂PO₄⁻ dan HPO₄²⁻ yang dapat diserap oleh tanaman. Pemberian pupuk P ke dalam tanah sering diubah oleh jasad mikro menjadi tubuhnya, dengan kata lain fosfor dalam tanah dapat terikat dalam bentuk organik, karena sebagian besar sumber P adalah fosfor

organik. Selanjutnya P organik itu diubah lagi oleh jasad mikro lainnya menjadi ion P yang tersedia bagi tanaman.

Disamping itu perlu pula diingat bahwa CO_2 yang dihasilkan akan membentuk H_2CO_3 dengan air. Selanjutnya asam lemah ini menyumbangkan sejumlah ion H^+ yang memasamkan tanah atau melarutkan sejumlah basa-basa lainnya. Kapasitas tukar kation bahan organik demikian besar, sehingga ia dapat menahan sejumlah Ca, Mg, K dan berarti sebagai penyumbang hara tanaman.

5.2.7 Humus dan pembentukannya

Humus adalah senyawa kompleks yang agak resisten pelapukan, berwarna coklat, amorfus, bersifat koloidal dan berasal dari jaringan tumbuhan atau binatang yang telah dimodifikasikan atau disintesisakan oleh berbagai jasad mikro.

5.2.7.1 Komposisi humus

Komposisi humus adalah sebagai berikut:

- a. Lignin berikatan dengan N
- b. Minyak, lemak dan resin
- c. Uronida dan karbon uronida
- d. Polisakarida berikatan N (amino-polisakarida)
- e. Protein dan klei

Komposisi tersebut menunjukkan bahwa humus itu adalah senyawa kompleks. Disini tampak N dilindungi yaitu bersenyawa dengan bahan tahan lapuk seperti lignin, lemak, polisakarida dan klei. Pada pembicaraan terdahulu telah dijelaskan bahwa lignin, lemak dan polisakarida adalah senyawa organik yang lambat sekali didekomposisikan dan bahkan resisten. Bahan-bahan itu rupanya kemudian menjadi satu sebagai humus, yang amat penting artinya bagi kesuburan tanah.

5.2.7.2 Sifat dan ciri humus

Sifat humus sebetulnya juga cukup kompleks sesuai dengan bahan penyusunnya. Namun secara umum sifat dan ciri humus adalah sebagai berikut:

- a. Bersifat koloidal seperti klei, tetapi amorfus
- b. Luas permukaan dan daya jerap jauh melebihi klei

- c. Kapasitas tukar kation (KTK) 150-300 me/100g, klei hanya 8-100 me/100g
- d. Daya jerap air 80-90% dari bobotnya , klei hanya 15-20%
- e. Daya kohesi dan plastisitasnya rendah, sehingga mengurangi sifat lekat dari klei dan membantu granulasi agregat tanah.
- f. Misel humus tersusun dari lignin, poli-uronida dan protein klei yang di dampingi oleh C, H, O, N, S, P dan unsur lainnya.
- g. Muatan negatif berasal dari gugus – COOH dan OH yang tersembul di pinggiran di mana ion H dapat digantikan oleh kation lain (lihat gambar....)
- h. Mempunyai kemampuan meningkatkan unsur hara yang tersedia seperti Ca, Mg dan K
- i. Merupakan sumber energi jasad mikro
- j. Memberikan warna gelap pada tanah.

5.3 Peranan bahan organik

Peranan bahan organik ada yang bersifat langsung terhadap tanaman, tetapi sebagian besar mempengaruhi tanaman melalui perubahan sifat dan ciri tanah, diantaranya mempengaruhi sifat fisika tanah, kimia tanah, dan biologi tanah.

5.3.1 Pengaruh langsung bahan organik pada tumbuhan

Pengaruh langsung senyawa organik sebetulnya dapat diabaikan sekiranya kemudian tidak ditemukan bahwa beberapa zat tumbuh dan vitamin dapat diserap langsung dan dapat merangsang pertumbuhan tanaman. Dulu dianggap orang bahwa asam amino, alanin dan glisin yang diserap tanaman. Serapan senyawa N tersebut ternyata relatif rendah daripada N lainnya.

Sehubungan dengan hasil-hasil dekomposisi bahan organik dan sifat-sifat humus yang telah dikemukakan, maka dapat dikatakan bahwa bahan organik akan sangat mempengaruhi sifat dan ciri tanah. Pengaruh itu diringkas berikut ini.

5.3.2 Pengaruh bahan organik pada ciri fisika tanah

- a. Kemampuan menahan air meningkat
- b. Warna tanah menjadi coklat hingga hitam

- c. Merangsang granulasi agregat dan memantapkannya
- d. Menurunkan plastisitas, kohesi dan sifat buruk lainnya dari klei.

5.3.3 Pengaruh bahan organik pada kimia tanah

- a. Meningkatkan daya jerap dan kapasitas tukar kation
- b. Kation yang mudah dipertukarkan meningkat
- c. Unsur N,P,S diikat dalam bentuk organik atau dalam tubuh mikroorganisme, sehingga terhindar dari pencucian, kemudian tersedia kembali.
- d. Pelarutan sejumlah unsur hara dari mineral oleh asam humus.

5.3.4 Pengaruh bahan organik pada biologi tanah

- a. Jumlah dan aktivitas metabolik organisme tanah meningkat
- b. Kegiatan jasad mikro dalam membentuk dekomposisi bahan organik juga meningkat

5.4 Nisbah- karbon nitrogen

Tadi telah disebutkan bahwa ada kaitan yang erat antara karbon dan nitrogen dalam tanah. Jaringan tanaman sebagian besar tersusun dari karbon, sedangkan nitrogen jauh lebih sedikit. Oleh karena itu, ia juga mempengaruhi jumlah CO_2 dan N yang dihasilkan pada proses dekomposisi.

Nisbah C/N dalam tanah berkisar antar 8/1 hingga 15/1 atau rata-rata 10/1 sampai 12/1. Perubahan itu berkorelasi dengan iklim seperti curah hujan dan suhu. Disamping itu juga dipengaruhi juga oleh C/N dalam tanaman dan jasad mikro itu sendiri. Nilai C/N daerah kering dan daerah basah. Demikian pula C/N di wilayah panas dan wilayah dingin. Hal itu berkaitan dengan aktivitas organisme tanah yang telah dibicarakan.

Nilai C/N tumbuhan berkisar antara 20/1 hingga 30/1 pupuk hijau dan pupuk kandang dapat mencapai 90/1, sedangkan dalam tubuh organisme nilai C/N adalah 4/1 hingga 9/1. Tampaknya nilai C/N tanah berada antara C/N tumbuhan segar dan jasad mikro.

Nilai C/N bahan organik segar menentukan reaksi dalam tanah. Bila C/N bahan organik tinggi maka akan terjadi persaingan N antara tanaman dan mikroba, dalam hal ini N di immobilisasi. Bila nitrifikasi baik, maka C/N akan rendah, dengan demikian bahan organik akan cepat habis. Untuk

mempertahankan bahan organik dalam tanah, harus disediakan N yang cukup. Suatu dekomposisi bahan organik yang lanjut dicirikan oleh C/N yang rendah, sedangkan C/N yang tinggi menunjukkan dekomposisi bahan organik belum lanjut atau baru mulai.

Nitrat sebagai pelapukan biasa berubah-ubah, mula-mula tinggi karena kondisi memungkinkan. Kemudian ditambahkan bahan organik dengan C/N tinggi, sehingga jasad mikro berkembang dengan pesatnya dan mengimobilisasikan sebagian besar N, akibatnya NO_3 menurun sekali dalam tanah sampai humifikasi selesai. Diwaktu N tidak dibutuhkan lagi oleh organisme, maka nitrifikasi berjalan kembali dan NO_3 menanjak melebihi jumlah semula, pada keadaan demikian C/N menjadi rendah kembali.

5.5 Faktor yang mempengaruhi bahan organik tanah

Diantara sekian banyak faktor yang mempengaruhi kadar bahan organik dan nitrogen tanah. Faktor yang penting adalah kedalaman tanah, iklim, tekstur tanah dan drainase.

Kedalaman lapisan menentukan kadar bahan organik dan N, kadar bahan organik terbanyak ditemukan di lapisan tanah setebal 20cm(15-20%), makin kebawah makin berkurang. Hal itu disebabkan akumulasi bahan organik memang terkonsentrasi di lapisan atas (Gambar 5.5).

Faktor iklim yang berpengaruh adalah suhu dan curah hujan. Makin ke daerah dingin kadar bahan organik N makin tinggi. Pada kondisi yang sama kadar bahan organik dan N makin tinggi. Pada kondisi yang sama kadar bahan organik dan N bertambah dua hingga tiga kali tiap suhu tahunan rata-rat turun 10 C. bila kelembaban efektif meningkat kadar bahan organik dan N juga bertambah. Hal itu menunjukkan suatu hambatan kegiatan organisme tanah.

Tekstur tanah juga cukup berperan, makin tinggi jumlah klei makin tinggi pula kadar bahan organik dan N tanah bila kondisi lain sama. Tanah berpasir memungkinkan oksidasi yang baik sehingga bahan organik cepat habis.

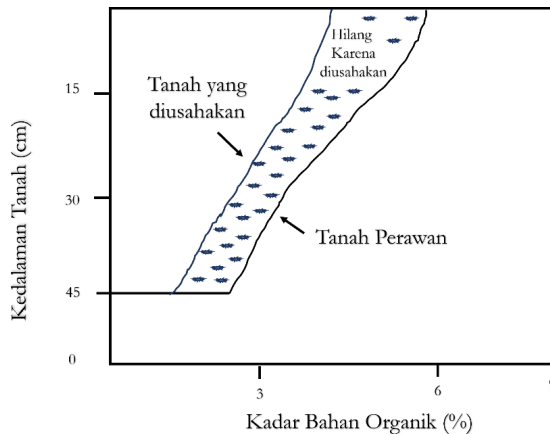
Drainase buruk, dimana air berlebih, oksidasi terhambat, karena aerasi buruk menyebabkan kadar bahan organik dan N tinggi daripada tanah berdrainase baik.

Disamping itu vegetasi penutup tanah, adanya kapur juga mempengaruhi kadar bahan organik tanah. Vegetasi hutan akan berbeda dengan padang rumput dan tanah pertanian. Faktor-faktor ini saling berkaitan, sehingga sukar menilainya sendiri.

5.6 Pengelolaan bahan organik tanah

Masalah yang dihadapi pada tanah yang ditanami terus menerus adalah merosotnya kadar bahan organik tanah. Penurunan kadar bahan organik lebih dari 40% sudah berbahaya sekali karena menyebabkan produksi menurun. Mengingat peranan bahan organik tanah tidak saja perlu dipertahankan, tetapi harus ditingkatkan secara teratur.

Kandungan bahan organik sebenarnya mudah untuk dipertahankan ataupun ditingkatkan (Gambar 5.5 dan 5.6).

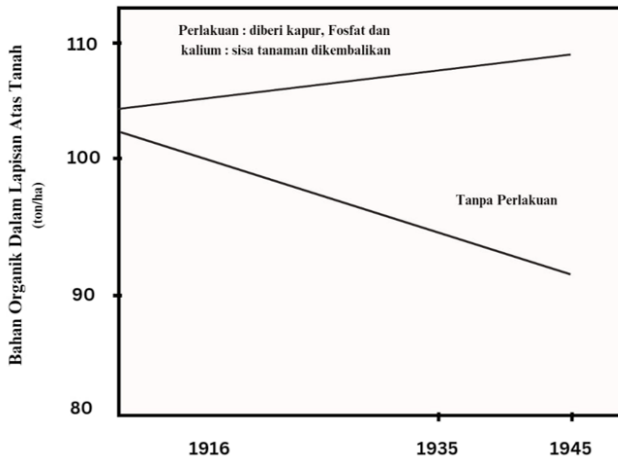


Gambar 5.5 Rata-rata bahan organik sebelum dan sesudah digunakan selama 43 tahun

Untuk mempertahankan dan meningkatkan kadar bahan organik tersebut dapat dilakukan cara-cara berikut ini:

- a. Sumber bahan organik tidak disia-siakan seperti:
 - Membenamkan bahan hijau sekulen
 - Menambahkan pupuk kandang
 - Menutupkan sisa tanaman di atas tanah
- b. Mempertahankan jaminan pelapukan melalui:
 - Menjaga reaksi tanah(pH)
 - Menciptakan drainase yang baik
 - Menambahkan pupuk yang cukup

- c. Rotasi tanaman, mengatur penanaman secara bergilir dapat mempertahankan bahan organik tanah. Setiap jenis akan menghasilkan jumlah bahan organik berbeda, sehingga dapat saling mengimbangi.



Gambar 5.6 Bagan yang melukiskan pengaruh perlakuan tanah terhadap bahan organik tanah illinois selama 29 tahun

Sehubungan dengan hal-hal yang telah dikemukakan, suatu pengelolaan tanah yang baik, hendaknya selalu mencari tambahan bahan organik yang serasi, menciptakan sifat fisika dan kimia yang optimum, mengatur urutan tanaman yang tidak merusak atau kehilangan unsur hara karena kegiatan biologi sekecil-kecilnya. Dengan demikian, setiap kali panen tidak kehilangan humus yang menyolok dengan kata lain kadar bahan organik tanah yang sangat berguna itu dapat dipertahankan atau ditingkatkan.

5.7. Ringkasan

Jasad hidup tanah terdiri dari kelompok yang menguntungkan dan yang merugikan tanaman. Keduanya dapat digolongkan ke golongan fauna dan flora yang dalam hal ini terbatas pada binatang-binatang kecil (mikro fauna) dan tumbuhan tingkat rendah (mikroflora). Aktifitas kehidupan organisme tanah ini dipengaruhi oleh:

- a. Iklim(curah hujan, suhu, dll)
- b. Tanah (kemasaman, kelembaban, suhu, hara,dll)
- c. Vegetasi (hutan, padang rumput, belukar, dll)

Diperkirakan 60-80% aktifitas di dalam tanah adalah hasil aktifitas mikroflora tanah. Berarti jauh lebih besar daripada kelompok fauna. Dalam hal ini mikroflora didominasi oleh bakteri. Peranan jasad hidup sangat besar dalam kesuburan tanah baik dari segi fisika tanah maupun dari sudut kimianya. Hal ini terlihat dari pengaruhnya yang menguntungkan yaitu:

- a. Dekomposisi bahan organik, dalam hal ini bahan organik dihancurkan. Unsur hara yang terikat dibebaskan sedangkan asam organik yang dihasilkan melarutkan mineral.
- b. Transformasi bahan organik membentuk senyawa amonium dan nitrat yang dibutuhkan tanaman. Mangan dan besi dioksidasi tidak larut, sehingga tidak meracuni bagi tanaman.
- c. Pengikatan nitrogen dari udara hanya akan terjadi bila ada mikroorganisme tanah.

Pengaruh yang merugikan dari organisme adalah berupa rusaknya tanaman dan timbulnya penyakit, serta terjadi persaingan hara dan O_2 dengan tanaman.

Sumber bahan organik adalah jaringan tanaman (sumber primer) dan jaringan hewan (sumber sekunder). Jaringan hewan lebih mudah lapuk daripada jaringan tanaman. Senyawa organik yang mudah lapuk antara lain adalah gula, pati, protein dan hemiselulosa. Sedangkan yang sukar dilapuki adalah hemiselulosa, lignin, lemak, waks, dan lain-lain. Hasil perubahan bahan organik meliputi energi, air, dan unsur hara seperti C, N, S, P, K, Ca, Mg dan lain-lain.

Peredaran karbon merupakan peredaran energi atau peredaran kehidupan. Peredaran itu dimulai dari penangkapan CO_2 oleh tanaman melalui fotosintesa. Selanjutnya dimanfaatkan oleh tanaman dan hewan. Kemudian dibebaskan kembali melalui pelapukan. Nilai C/N yang rendah menunjukkan proses pelapukan yang lanjut, sebaliknya C/N yang tinggi menunjukkan proses pelapukan yang masih mudah atau terhambat.

Humus adalah suatu bahan aktif tanah yang bersifat koloidal dan merupakan hasil akhir dari pelapukan bahan organik. Humus tersusun dari senyawa organik yang kompleks, mempunyai KTK dan daya jerap air yang tinggi.

Bahan organik tanah sangat berperan dalam hal memperbaiki sifat fisik tanah, kimia tanah, meningkatkan aktifitas biologi tanah, serta meningkatkan hara bagi tanaman. Kadar bahan organik tanah dipengaruhi oleh kedalaman, iklim, drainase dan pengelolaan dari tanah tersebut. Mengingat peranannya yang sangat besar, bahan organik tanah perlu dipertahankan dan ditingkatkan melalui suatu pengelolaan yang baik.

Daftar Bacaan

- Kononova, M.M. 1966. *Soil Organic Mater. Its Nature Its Role In Soil Formation and In Soil Fertility*, Translated By T.Z. Novakowski and A.C.D Newman. Pergamon Press, Oxford.
- Pelezar, M.J and R.D. Reid, 1958, *Microbiology*, Mc Graw Hill Book Co, Inc. New- York.
- Soepardi, G, 1979. *Sifat dan Ciri Tanah*, Saduran Dari The Nature And Properties of Soils. oleh N.C Brady, 1975.

Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi

1. Coba anda jelaskan tentang pengaruh iklim, tanah dan vegetasi terhadap aktifitas jasad hidup tanah.
2. Tunjukkan bahwa aktivitas jasad hidup sangat berperan dalam perharaan tanaman.
3. Keuntungan apa yang diperoleh oleh tanaman inang dari mikoriza.
4. Kenapa jasad hidup tanah dapat pula merugikan tanaman?
5. Mengapa komposisi dan sumber bahan organik tanah menentukan pelapukannya?
6. Kenapa peredaran karbon sangat penting artinya bagi kehidupan makhluk?
7. Sebutkan sifat-sifat baik dari humus.
8. Mengapa bahan organik dapat mempengaruhi sifat fisika, kimia dan biologi tanah
9. Bagaimana cara mempertahankan dan meningkatkan kadar bahan organik tanah?

BAB VI

MINERAL TANAH

Ditinjau dari komponen tanah, mineral adalah bahan anorganik tanah. Pembicaraan mengenai mineral secara umum dapat diikuti pada bagian Geologi/Mineralogi. Khususnya yang berkaitan dengan ilmu tanah telah disinggung sewaktu membicarakan bahan induk tanah pada bagian terdahulu. Pada bagian ini akan dibicarakan beberapa mineral yang penting dan banyak ditemukan dalam tanah, serta kaitannya dengan ciri tanah.

6.1 Klasifikasi mineral

Berdasarkan sifat-sifat tertentu dari mineral, orang telah mengelompokkannya menjadi berbagai-bagai kelompok. Misalnya, berdasarkan proses kejadiannya, mineral digolongkan kepada mineral *primer* dan *sekunder*. Primer adalah mineral yang terjadi langsung dari pembekuan magma dan menyusun diri membentuk batuan-batuan tertentu sebagai kerak bumi. Sedangkan mineral sekunder adalah mineral yang terjadi dari mineral primer yang telah mengalami pelapukan atau pelarutan dan kemudian mengkristal kembali.

Selanjutnya, mineral dikelompokkan pula berdasarkan warnanya yaitu mineral *gelap* dan *terang*. Mineral gelap maksudnya mineral yang berwarna hitam, hijau, coklat, atau biru dan sebagainya. Mineral yang demikian lebih mudah dilapuk daripada mineral terang. Mineral terang adalah mineral yang tidak berwarna atau berwarna putih jernih seperti kuarsa. Adalagi penggolongan mineral berdasarkan bobot jenisnya yaitu mineral *berat* (B.J 2.9) dan mineral *ringan* (B.j 2.9). Penyelidikan mineral berat mempunyai arti tertentu bagi genesa dan klasifikasi tanah, karena dapat menentukan homogenitas suatu tanah.

Berdasarkan kedudukannya dalam menyusun batuan, mineral dapat dibagi menjadi mineral *utama*, mineral *tambahan* dan mineral *pengiring*. Mineral utama menduduki sebagian besar dari batuan tersebut, sedangkan mineral tambahan hanya sebagian kecil saja, dan mineral pengiring kadang-kadang ada, tetapi kadang-kadang tidak dijumpai dalam batuan tersebut.

Selain dari pengelompokan tersebut, Berzelius (dalam Berry dan Mason, 1959) berdasarkan *sifat* dan *susunan kimianya* telah menyusun 8 kelas mineral berikut:

1. Unsur tunggal, seperti emas (Au), intan (C) dan lain-lain

2. Senyawa sulfida , seperti perak sulfida (AgS), dan lain-lain.
3. Senyawa oksida dan hidroksida, seperti hematit (Fe_2O_3), limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$), dan lain-lain.
4. Senyawa halogen , seperti silver (KCl), halit (NaCl) dan lain-lain.
5. Senyawa karbonat dan nitrat seperti kalsit (CaCO_3) sendawa cilli (NaNO_3) dan lain-lain.
6. Senyawa sulfat, chromat, dan molibdat, seperti gips ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), tawas (K_2SO_4), $\cdot 24 \text{H}_2\text{O}$) dan lain-lain.
7. Senyawa fosfat, arsenat, vanadat, seperti apatit ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) dan lain-lain
8. Senyawa silikat, seperti kuarsa, velspat, piroksia, amfibol, mika dan mineral klei.

Semua pengelompokan tersebut mempunyai kaitan yang erat dengan sifat dan ciri tanah. Misalnya, suatu tanah mengandung mineral primer yang jauh lebih banyak daripada mialerl sekunder, dalam hal ini dapat dikatakan bahwa tanah tersebut belum mengalami pelapukan yang lanjut. Suatu contoh tanah lainnya mengandung mineral gelap yang agak banyak, mineral tersebut termasuk pada mineral berat dan rupanya terdiri atas mineral Augit dan Hiperstin. Dari komponen yang demikian, maka kita katakan bahwa tanah ini akan mudah dilapuk karena bewarna gelap, dan akan mengandung kedua unsur tersebut.

Dari berbagai dasar pengklasifikasian mineral tersebut, penggolongan berdasarkan sifat dan susunan kimia jauh lebih berarti, dengan catatan tanpa mengabaikan dasar pengelompokan yang lain.

Dari kedelapan kelas yang dikemukakan oleh Berzelius, kelas silikat adalah mineral yang dominan, baik sebagai penyusun batuan maupun yang ditemukan dalam tanah. Oleh karena itu, mineral golongan silikat akan menjadi perhatian utama dalam tulisan ini. Kemudian dilengkapi dengan mineral kelas lainnya. Mineral-mineral penting tersebut disajikan dalam Tabel 6.1

6.2 Pembentukan mineral sekunder

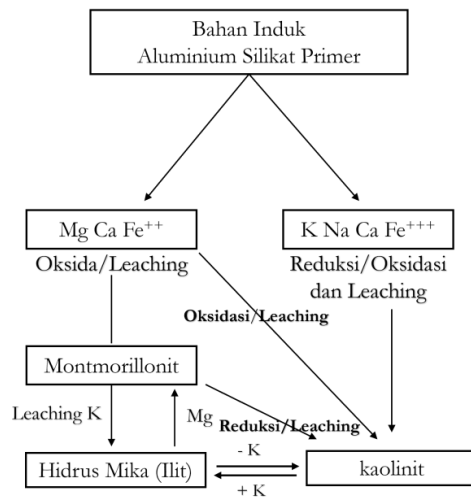
Mineral sekunder adalah mineral yang terbentuk dari hasil pelarutan mineral primer yang telah mengkristal kembali. Disamping itu mineral sekunder juga berasal dari pelarutan sisa-sisa organisme seperti kerangka binatang kapur, bangkai dan kotoran burung layang-layang yang kemudian mengkristal kembali bersama unsur-unsur lainnya. Pengkristalan larutan tertentu dipermukaan bumi juga menghasilkan mineral sekunder.

Mineral kalsit dan dolomit merupakan hasil pengkristalan dari pelarutan binatang yang berkerangka kapur. Sedangkan apatit merupakan pengkristalan dari bangkai dan kotoran burung atau hewan-hewan berkerangka fosfat. Berbeda halnya dengan mineral sekunder silikat, begitu juga lemontit, hamatit dan gipsit karena terbentuk sebagai hasil penghancuran dan pengkristalan kembali dari mineral primer. Kelompok yang terakhir ini biasanya digolongkan pada mineral klei. Oleh karena spesifik maka akan dibicarakan tersendiri.

6.2.1 Pembentukan mineral klei

Menurut Grim (1953) mineral klei terbentuk dari hasil hancuran iklim terhadap mineral primer atau bantuan yang mengandung mineral velspat, mika, piroksin dan amfibol. Milner (1940) memberikan suatu gambaran tentang pembentukan mineral seperti pada Gambar 6.1. Bahan induk aluminium silikat primer dapat berupa mineral primer dalam keadaan berceraai berai, dapat pula dalam bentuk gabungan sebagai batuan. Melalui proses pelapukan atau hancuran iklim terbentuklah mineral klei.

Dari gambar 6.1 terlihat bahwa semua mineral primer dan mineral klei akan berakhir pada pembentukan klei kaolinit. Disini juga tampak bahwa proses-proses yang dialami mineral primer atau batuan dalam pembentukan klei adalah oksidasi, reduksi dan pencucian (leaching).



Gambar 6.1 Bagan pembentukan mineal liat yang umum dalam tanah (Milner,1940)

Tabel 6.1 Mineral primer dan sekunder, silikat dan bukan silikat yang umum dijumpai di tanah

Kelompok>Nama	rumus	
<u>Mineral Silikat Primer</u>		
Kuarsa		Si O2
Velspat	Ortoklas	K Al Si3 O8
	Na-plagioklas	Na Al Si3 O8
	Ca-plagioklas	Ca Al2 Si O8
Piroksin	Augit	Ca2(Al,Fe) 4 (Mg,Fe) 4Si6 O24
	Hipersten	(Mg,Fe)SiO3
	Diopsida	(Mg,Ca)SiO3
Amfibol	Hornblende	Ca,Al,Mg Fe, Si8 O22 (OH)2
	Aktinolit	Ca2(Mg,Fe)Si8 O22 (OH)2
Mika	Biotit	KAl (Mg,Fe)3 Si3) O10 (OH)2
muskovit		KAl3 Si3 O10 (CH)2
<u>Mineral Silikat Sekunder</u>		
Mineral klei	Kaolit	Al Si4 010 (OH)8
	Monmirillonit	(Al,Mg)4 Si8 O20 (OH)4
	Illit	Al 4SiAl O20 (OH)4 K
	Vermikulit	Mg6Si7Al O20 (OH) 4K
	Khlorit	Mg6SiAl2 O20 (OH)4 Mg6
(OH)12		
Kalsit		CaCO3
Dolomite		CaMg(CO3)2
Gips		CaSO4 H2O
Apatit		Ca5(PO4)3(Cl,F)
Limonit		Fe2 O3 .3H2
Hematit		Fe2 O3
Gipsit		Al2 O3.3H2 O

yang tidak mudah larut seperti hidrous oksida Al dan Fe (limonit, geotit, gipsit). Klei yang terakhir ini menunjukkan suatu hancuran lanjut di daerah tropik dimana Si bisa musnah dari tanah.

6.2.2 Mineral klei tanah

Mineral klei tanah merupakan mineral sekunder yang sangat berperan dalam membentuk kesuburan tanah. Tipe dan struktul kristal mineral klei tersebut sangat menentukan sifatnya dalam mempengaruhi sifat dan cirri tanah.

6.2.3 Tipe mineral klei

Pada dasarnya mineral klei dapat dibedakan atas dua kelompok senyawa, yaitu klei silikat dan bukan silikat. Klei silikat kemudian dibedakan pula 3 tipe yaitu tipe 1:1, 2:1 dan tipe 2:2. tipe dalam hal ini menunjukkan perbandingan natara Si-tetraeder dengan Al-oktaeder. Dengan mengetahui tipe mineral klei juga dapat ditentukan tingkat hancuran suatu tanah. Tanah yang mengandung klei 1:1 menunjukan suatu tanah yang lebih tua daripada tanah yang berklei tipe 2:1 karena Si telah habis tercuci. Disamping itu, ada klei silikat amorfus yaitu alofan. Contoh dari masing-masing tipe tersebut disajikan dalam Tabel 6.2.

Klei bukan silikat merupakan kelompok senyawa hidrus oksida besi dan aluminium. Nama hidrous oksida mencerminkan asosiasi antara molekul air dan oksida. Mekanisme penahanan air oleh oksida ini belum diketahui secara pasti. Bentuk umum dari senyawa hidrous oksida itu adalah: $Al_2O_3 \cdot nHO$ dan $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$. Sandi n dalam hal ini menunjukkan jumlah molekul air yang beragam. Contoh klei bukan silikat, yang umumnya dijumpai adalah:

1. Gipsit ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$)
2. Goetit ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$)
3. Limonit ($Fe_2O_3 \cdot n H_2O$)

6.2.4 Struktur kimia dan kristal mineral klei

Melalui analisis kuantitatif, ahli kimiawi telah dapat menentukan rumus kimia dari berbagai mineral. Berperannya sinar roentgen dalam penyelidikan mineral, telah menunjukkan kedudukan berbagai atom dalam kisi kristal. Adanya modifikasi kisi dan subsitusi ion yang intensif dan terus menerus, menyebabkan kesukaran dalam menuliskan rumus kimia mineral klei. Namun demikian, rumus-rumus kasar untuk dapat membedakannya satu sama lainnya disajikan dalam Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Rumus kimia beberapa mineral klei penting dimana terjadi substitusi dalam lempeng oktaeder dan tetraeder dan molekul yang terdapat antar unit kristal (Soepardi,1979)

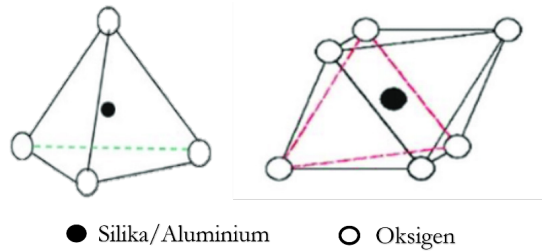
Mineral klei	Kation dominan dalam lempeng		Jumlah O dan OH	Antara Unit Kation	Unit muatan lempeng
Kaolinit	Al ₄	Si ₄	O ₁₀ (OH) ₈	-	0
Pirofilit	Al ₄	Si ₄	O ₂₀ (OH)	-	0
Montmorillonit	Al _{3,5} Mg _{0,5}	Si ₈	O ₂₀ (OH) ₄	-	0.5
Vermikulit	Na _{0,5} Mg ₆	Si ₇ Al (Mg _{0,5})	O ₂₀ (OH) ₄	nH ₂₀ Mg ⁺⁺	1.0
Klorit	Mg ₆	Si ₆ Al ₂	O ₂₀ (OH) ₄	Mg ₆ OH ₁₂	2.0
Ilit	Mg ₆	Si ₇ Al (K _{0,2})	O ₂₀ (OH) ₄	K _{0,8}	1.0
muskovit	Al ₄	Si ₆ Al ₂	O ₂₀ (OH) ₄	K ₂	2.0
	Al ₄				

Melihat rumus kimia yang disajikan dalam Tabel 6.2 ternyata klei hanya mengandung K, dan Mg . Sedangkan kita mengetahui bahwa dalam klei tersimpan sejumlah besar dari hara yang dibutuhkan tanaman. Akan tetapi dengan mengingat bahwa sifat mineral klei bermuatan negatif pada umumnya dan kadang-kadang bermuatan positif, maka pengadaan hara dari mineral klei akan mudah dipahami. Adanya kation-kation dan anion-anion yang dapat dijerap dan dipertukarkan oleh mineral klei dapat menyakinkan kita bahwa mineral klei adalah faktor penentu penyediaan unsur hara bagi tanaman.

Setiap tipe dan jenis mineral klei mempunyai sifat dan cirri berbeda. Oleh karenanya pengetahuan tentang tipe dan jenis mineral klei suatu tanah sangat penting dalam mengenal sifat dan ciri tanah tersebut.

Dulu orang beranggapan bahwa koloid klei ini seperti bola. Sejak diperkenalkan penyelidikan mineral dengan sinar roentgen diketahuilah bahwa mineral klei berbentuk krisal umumnya, kecuali klei alofan. Pada dasarnya struktur kristal klei silikat terdiri dari komponen silikat-tetraeder dan alumina-oktaeder. Komponen molekuler tersebut secara bagan disajikan pada Gambar 6.2.

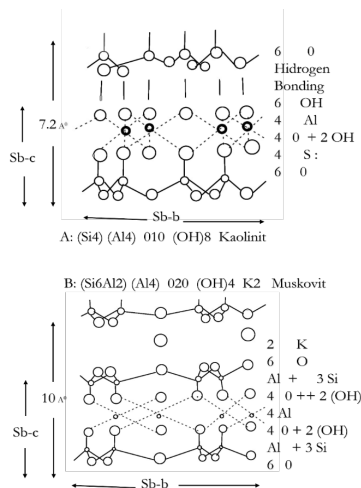
Pada Gambar 6.2 (kiri) terlihat bahwa suatu atom silika dikelilingi oleh empat atom oksigen yang membentuk empat bidang dan disebut **silikat-tetraeder**. Di sebelah kanan terlihat bangun atau struktur **aluminium-oktaeder**, karena terbentuk dari delapan bidang.



Gambar 6.2 Bagan silikat tetraeder (kiri) dan aluminium oktaeder (kanan)

Pada Gambar 6.2 tersebut tampak bahwa satu atom aluminium atau silikon dikelilingi oleh empat atom oksigen atau hidroksil pada tetraeder, atau oleh enam oksigen pada oktaeder. Selanjutnya silikat-tetraeder bergabung satu sama lain melalui atom oksigen, dengan cara demikianlah terbentuk lempeng-lempeng tetraeder. Demikian pula halnya dengan aluminium oktaeder yang bergabung satu sama lainnya melalui atom oksigen, sehingga terbentuklah lempeng-lempeng oktaeder.

Kedua lempeng-lempeng dasar ini tersusun dengan cara yang berbeda-beda. Perbedaan-perbedaan itu akan menghasilkan berbagai jenis mineral klei yang kemudian dikenal sebagai mineral klei tipe 1:1, 2:1 dan 2:2-2:2 seperti disebutkan sebelumnya. Gambar 6.3 menunjukkan lempeng-lempeng silikat-tetraeder dan aluminium oktaeder dari tipe klei 1:1 dan 2:1



Gambar 6.3 Skema mineral tipe 1:1 kaolinit (A) dan tipe 2:1 muskovit(B) dalam hal ini satu Si diganti oleh satu Al

Secara umum dapat dikatakan bahwa tiap zarah (butir) klei terdiri dari atas beberapa unit struktur lempeng. Susunannya menyerupai lempeng-lempeng mineral mika. Lempeng-lempeng itu melekat satu sama lain dengan kekuatan yang berbeda-beda. Dalam beberapa hal terjadi pengembangan bila basah, sehingga seluruh klei mengembang. Beberapa klei mempunyai ikatan lempeng yang kuat satu sama lain sehingga tidak mudah mengembang.

6.2.4 Sumber muatan negatif mineral klei

Sumber muatan negatif klei yang utama adalah substitusi isomorfik. Disamping itu juga akibat patahnya pinggiran lempeng kristal klei. Juga mungkin berasal dari permukaan koloid klei yang mempunyai gugus oksigen dan hidroksil yang tersembul, sehingga menimbulkan titik bermuatan negatif.

Pada proses substitusi isomorfik kation bervalensi tinggi digantikan oleh kation bervalensi rendah. Substitusi isomorfik ini akan terjadi bila radius atomnya tidak banyak berbeda. Misalnya penggantian Si^{4+} oleh Al^{3+} atau Al^{3+} digantikan oleh Mg^{2+} (perhatikan radius atom pada Tabel 6.4).

Tabel 6.3 Jari-jari ionic unsur-unsur yang umum dijumpai dalam klei silikat dan petunjuk dimana mereka ditemukan dalam lempeng tetraeder dan oktaeder (Soepardi, 1979)

Ion	Jari-jari ($A_0=10^{-8}$ cm) ditemukan di	
Si^{4+}	0.41	Silika Tetraeder
Al^{3+}	0.50	
Fe^{3+}	0.64	
Mg^{2+}	0.65	Aluminium Oktaeder
Zn^{2+}	0.70	
Fe^{2+}	0.75	
Ca^{2+}	0.94	Titik Pertukaran
Na^{+}	0.98	
K^{+}	1.33	Kedua Lempeng
O^{2-}	1.45	

Mekanisme timbulnya muatan negatif melalui **substitusi isomorfik** ini secara sederhana dapat dilukiskan berikut ini.



Tanpa substitusi

Si⁴⁺ disubstitusi Al³⁺

Tanpa muatan

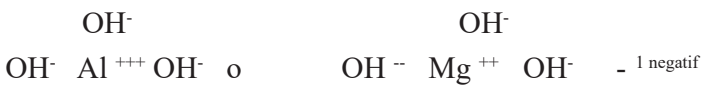
timbul suatu muatan negatif



Bermuatan satu

Al³⁺ disubstitusikan oleh Mg²⁺

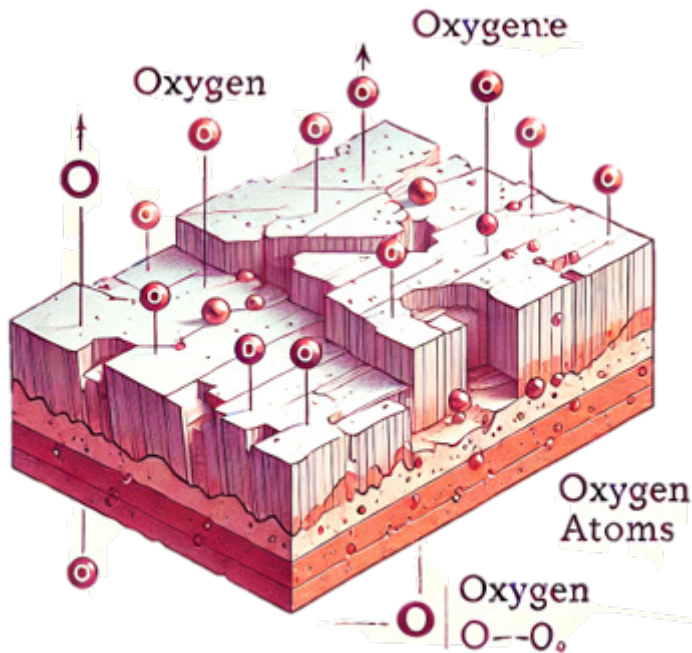
Timbul dua muatan negatif



Timbulnya ketidakseimbangan muatan akibat substitusi isomorfik ini menyebabkan kristal klei menarik kation-kation lain. Dengan cara demikian terjeraplah berbagai kation seperti K, Na atau Ca pada koloid klei tersebut. Substitusi isomorfik ini terutama ditemukan pada mineral klei tipe 2:1

Muatan negatif yang berasal dari patahnya pinggirannya lempeng koloid klei secara bagan disajikan pada Gambar 6.4. Gugus hidroksil yang melekat pada atom silikon atau aluminium akan menanggalkan oksigen bila pinggirannya patah. Terutama pada pH tinggi. Hidrogen dari hidroksil itu sedikit berdisosiasi dan meninggalkan permukaan klei bermuatan negatif. Hidrogen yang terikat lemah, mudah dipergunakan.

Ada beribu-ribu titik demikian menyebabkan mineral tipe 1:1 penuh dengan muatan negatif. Akibatnya klei tersebut akan dikerumuni oleh ion H atau kation lainnya yang mungkin menggantikan H. Kejadian ini merupakan fenomena penting dalam terjadinya pertukaran kation terutama pada mineral klei tipe 1:1.

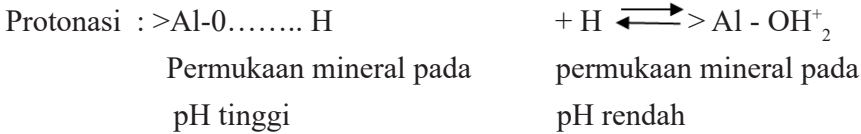


Gambar 6.4 Bagan suatu pinggiran lempeng yang patah pada mineral kaolinit, yang memperlihatkan oksigen sebagai sumber muatan negatif

Kenyataan menunjukkan bahwa dalam keadaan tertentu koloid klei bermuatan positif. Muatan positif ini diduga berasal dari peristiwa protonasi dan pertukaran group hidroksil oleh anion lain.

Tadi dikatakan bahwa pada pH tinggi ion hidrogen cenderung berdisosiasi dari oksigen dan meninggalkan muatan negatif pada permukaan kristal. Sebaliknya bila pH turun, suatu tambahan hidrogen berasosiasi dengan hidroksil dan meninggalkan muatan positif pada permukaan. Muatan tersebut akan menarik anion seperti H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , NO_3^- dan Cl^- . Anion ini akan saling tukar menukar, dengan demikian terjadilah pertukaran anion.

Pertukaran anion dengan cara lain dapat terjadi melalui pertukaran hidroksil oleh ion fosfat atau ion sejenis lainnya. Reaksi protonasi dan pertukaran hidroksil itu dapat dilukiskan berikut ini:



Pertukaran Hidroksil

Dengan salah satu atau keduanya dari dua mekanisme pertukaran anion itu, $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} , Cl^- dan NO_3^- dapat dijerap dan dipertukarkan oleh alofan, hidrous oksida dan hingga batas tertentu oleh grup kaolinit.

6.3 Peranan Mineral Tanah

Melihat susunan kimia dari mineral yang disajikan dalam Tabel 6.1, terlihat bahwa mineral memegang peranan penting dalam menyediakan sejumlah unsur hara tanaman melalui pelapukannya. Beberapa jenis mineral tertentu merupakan bahan baku pembuatan pupuk, yang akhirnya menyumbangkan hara tanaman ke dalam tanah.

Mineral kalsit dan dolomite dapat dijadikan pupuk kapur atau bahan pengapuran untuk memperbaiki kesuburan tanah masam atau ber pH rendah. Tanah ber pH rendah menempati bagian terluas di Indonesia. Mineral kapur pun terserak hampir diseluruh propinsi di Indonesia. Hal ini akan dibicarakan khusus di bagian lain.

Mineral ortoklas mengandung 5-12% K_2O dan boitit 7-9% K_2O . tanah yang berasal dari bauan yang kaya mineral tersebut, tentu juga kan hara kalium. Terdapat endapan leusit ditempat tertentu seperti G. Ringgit dan G. Muria dapat merupakan sumber bahan baku pupuk kalium.

Mineral patit mengandung P_2O_5 sekitar 41-42% dan endapan osfat lainnya seperti yang terdapat di Ceribon merupakan sumber fosfat. Golongan mineral peroksin amfibol dan mika disamping sumber kalsium. Mereka juga merupakan sumber magnesium bagi tanah. Tanah- tanah yang kaya mineral velspat, peroksin, amfibol, mika dan P. sebaliknya, tanah yang kaya kuarsa adalah tanah yang miskin hara tanaman.

Disamping peranan mineral sebagai sumber hara tersebut, peranan mineral klei mendapat tempat tersendiri di dalam tanah. Mineral klei dapat berfungsi sebagai penyangga di dalam tanh, karena reaksi tanah tidak berubah secara melonjak. Dengan mineral klei butir-butir tunggal dipersatukan menjadi agregat dan terbentuklah suatu struktur tanah seperti telah dibicarakan pada bagian terdahulu.

Peranan penting dari mineral klei adalah sebagai penyerap dan mempertukarkan ion, sehingga unsur hara yang tersedia bagi tanaman dan terhindar dari bahaya pencucian. Disamping itu, mineral klei juga berkemampuan besar dalam menahan air karenanya tanah tidak mudah kehilangan air.

6.4 Ringkasan

Mineral adalah bahan anorganik tanah yang tersusun dari berbagai unsur kimia baik yang diperlukan tanaman ataupun yang tidak diperlukan. Mineral dominan penyusun batuan dan terdapat di dalam tanah adalah kelas silikat (kuarsa, velspat, peroksin, amfibol, mika dan mineral klei). Sedangkan mineral silikat yang umumnya berupa mineral sekunder hanya terdapat pada tempat-tempat tertentu seperti kalsit, dolomit dan apatit, kecuali limonit, hematit dan gipsit juga banyak dalam tanah.

Mineral sekunder umumnya, mineral klei khususnya terbentuk dari hasil pelapukan fisika dan kimia bahan induk atau mineral primer. Proses kimia yang dominant dalam hal ini adalah pelarutan, oksidasi, reduksi dan leaching.

Mineral merupakan sumber hara tanaman yang diperoleh melalui pelapukan dan pelarutan, atau sumber hara setelah dijadikan pupuk. Khusus untuk mineral klei, berperan dalam mengatur penyediaan hara bagi tanaman, terutama melalui lempeng kristal klei. Juga mungkin berasal dari permukaan koloid klei yang mempunyai gugus oksigen dan hidroksil yang terdapat pada air.

Daftar Bacaan

- Berry, L.G and B. Mason.1958. *Mineralogy*. Concepts, Description. Determination.W,H .Freeman and Co.San Francisco.
- Grim, R.E1953. *Clay Mineralogy*. McGraw Book Co Inc.N.Y.
- Milner H.B.1940. *Sedimentary Petrography*.Thomas Murby and Co. Noderman Pub.Co.215 London.N.Y.
- Soepoardi, G.1979. *Sifat dan Ciri Tanah*. Saduran dari The Natures and Properties of Soils. By Brady.1975.

Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi:

1. Jelaskan perbedaan antara mineral primer dan sekunder, antara mineral berat dan mineral ringan, antara mineral gelap dan mineral terang, dan antara mineral utama dengan mineral tambahan.
2. Proses apa saja yang memegang peranan dalam pembentukan mineral sekunder
3. Jelaskan perbedaan mineral klei silikat dengan silikat dan tuliskan contoh masing-masing.
4. Kenapa mineral klei bermuatan negatif umumnya?
5. Jelaskan peranan mineral tanah.

BAB VII

KIMIA TANAH

Komponen kimia tanah berperan terbesar dalam menentukan sifat dan ciri tanah umumnya dan kesuburan khususnya. Uraian kimia tanah dalam hal ini bertujuan untuk menjelaskan reaksi-reaksi kimia yang menyangkut masalah ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka pembicaraan kita akan dibatasi pada hal-hal yang berkaitan erat dengan masalah penyerapan dan pertukaran kation, sifat sanggaan tanah, reaksi tanah serta pengelolaannya.

7.1 Dasar-dasar Jerapan dan Pertukaran ion

Fenomena jerapan (adsorpsi) dan pertukaran ion ditemukan pertama kali oleh Thomas Way pada tahun 1852. Waktu itu ia mengamati bahwa bau yang tidak sedap dari pupuk kandang bisa hilang setelah dicampur dengan tanah. Ia juga mengamati bahwa kehilangan amoniak dari pupuk kandang dapat dikurangi bila dicampur dengan tanah. Timbul pertanyaan, bahan apa kiranya dari tanah itu yang dapat menyerap amoniak. Pelacakan lebih lanjut berhasil menemukan bahwa bahan aktif dari tanah yang berperan dalam menyerap dan mempertukarkan ion adalah bahan yang berada dalam bentuk koloidal, yaitu liat dan bahan organik.

Kedua bahan koloidal tersebut haruslah mendapat perhatian yang seksama dari para pencinta ilmu tanah karena keduanya merupakan tempat terjadinya reaksi-reaksi perubahan-perubahan yang sangat nyata. Bahan aktif ini berperan langsung atau tidak langsung dalam mengatur dan menyediakan hara bagi tanaman. Kedua bahan koloidal tersebut sebetulnya telah disinggung pada pembicaraan sebelumnya, berikut ini akan ditinjau lebih lanjut.

7.2 Koloid Tanah

Tadi telah disebutkan bahwa koloid tanah yang berperan disini adalah koloid anorganik (koloid liat atau mineral) dan koloid organik (humus), kedua koloid ini mempunyai sifat dan ciri yang jauh berbeda.

7.2.1 Koloid Liat

Ukuran fraksi liat yang kita sepakati adalah 2 mikron sedangkan liat yang bersifat koloid berukuran terbesar tidak lebih dari 0.001 mm atau 1 mikron. Berarti tidak semua fraksi liat dapat dikatakan koloid tanah.

Koloid liat tersusun dari mineral-mineral liat yang telah dibicarakan sebelum ini, yaitu liat silikat dan bukan silikat, mengkristalkan amorfus, sifat dan ciri masing masing mineral liat tadi akan menentukan sifat dan ciri koloid tanah.

Sifat dan ciri koloid liat. Untuk mengetahui sifat dan ciri koloid liat secara keseluruhan sebetulnya agak rumit. Namun, agar peranannya sebagai penjerap dan mempertukarkan ion dapat dijelaskan, maka uraian akan dibatasi pada sifat dan ciri liat yang sangat menentukan reaksi-reaksi tersebut. Sifat dan ciri liat yang dimaksud adalah :

- a. Susunannya berbentuk kristal
- b. Mudah mengalami substitusi isomorfik
- c. Bermuatan negatif umumnya
- d. Sebagian kecil bermuatan positif
- e. Menjerap air
- f. Menjerap dan mempertukarkan kation
- g. Mempunyai permukaan yang luas
- h. Merupakan suatu garam yang bersifat asam

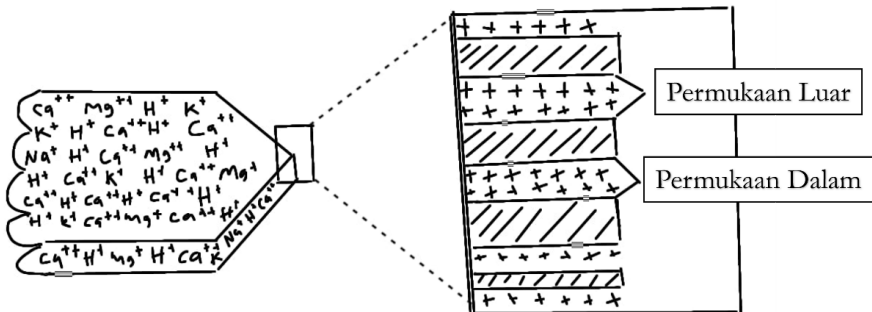
Sebagian besar dari sifat dan ciri tersebut telah dijelaskan bersamaan dengan mineral liat sebelumnya.

Liat silikat kecuali alofan, adalah berbentuk kristal. Adanya sifat substitusi isomorfik dan patahnya pinggir kristal menyebabkan mineral liat bermuatan negatif. Akibat bermuatan negative, terjadilah penjerapan dan pertukaran kation. Adanya reaksi protonasi menyebabkan timbulnya muatan positif, sehingga terjadilah penjerapan dan pertukaran kation.

Terdapatnya ruang antar lapisan mineral liat menyebabkan koloid liat menyerap air. Istimewa bagi koloid liat hidrous oksida yang memang berikatan dengan air. Sifat permukaan koloid yang luas serta sifat garam masam akan dibahas tersendiri.

Luas permukaan, secara fisika mudah dipahami bahwa semakin kecil pecahan suatu benda akan semakin luaslah permukaannya. Luas permukaan liat ini tidak saja disebabkan oleh pecahannya yang kecil, tetapi juga oleh bentuk lempeng dan adanya permukaan dalam di samping permukaan luar. Luas permukaan dalam, terdapat di samping permukaan

luar. Luas permukaan dalam, terdapat diantara unit-unit lempeng. Untuk jelasnya perhatikan Gambar 7-1.



Gambar 7.1 Bagan suatu kristal liat silikat (misel) struktur lempeng yang bermuatan negatif banyak dan kation-kation terjerap.

Pada Gambar 7-1 ditunjukkan bahwa pinggiran bagian dalam kristal penuh dengan muatan negatif, pada bagian mana kation-kation dan air tertarik. Luas permukaan 1 gram liat sekitar 1000 kali luas 1 gram pasir.

Koloid sebagai garam bersifat masam. Telah disebutkan bahwa zarah koloid terdiri atas gugusan kompleks yang bermuatan negatif umumnya atau misel dengan sejumlah kation-kation yang terjerap padanya. Di daerah basah (Humid) kation Ca, Al, dan H merupakan yang terbanyak dan secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut.

Koloid

Misel

- a. Ca
- b. Al
- c. H
- d. M

Dalam hal ini sandi a,b,c,d, merupakan jumlah yang berbeda dari kation-kation tersebut, sedangkan M merupakan kation basa seperti Mg, K, Na, dan lain-lain. Gambar tersebut menunjukkan bahwa koloid adalah suatu kompleks yang bersifat masam. Bentuk ini dapat disamakan dengan $CaHPO_4$ yang juga garam bereaksi masam.

Bila kation-kation terjerap digantikan seluruhnya oleh H, maka akan diperoleh H misel. Sebaliknya bila semua digantikan oleh Ca maka akan diperoleh Ca misel. Perlu diingat bahwa dalam tanah tidak seluruhnya bersifat masam atau garam, tetapi bersifat campuran atau kompleks garam bersifat masam.

Telah kita ketahui bahwa pada proses pembentukan tanah mineral atau batuan telah dikomposisikan sehingga menghasilkan kation-kation larut dan liat yang tahan lapuk. Kation-kation yang dihasilkan ini tidak lepas begitu saja sehingga mudah tercuci, tetapi dijerap oleh koloid. Kekuatan masing-masing kation itu terjerap juga berbeda-beda. Bila kation-kation tersebut berada dalam jumlah yang sama maka kekuatan jerapan adalah : $Al > Ca > Mg > K > Na >$.

Selanjutnya, kita beranggapan bahwa kation Al dan Ca adalah dominan ditemukan pada kompleks jerapan misel. Suplai gejala demikian ditemukan pada tanah-tanah masam. Suplai ion H dapat mempengaruhi jerapan kation melalui dua cara: pertama ia membantu melarutkan atau mempertahankan ion Al dalam larutan yang mudah dijerap oleh koloid, kedua : ion H dan Al sangat penting artinya karena keduanya merupakan ciri kemasaman tanah. Kehadiran mereka dibantu oleh curah hujan yang tinggi, yang cenderung mencuci kation-kation basa yang terikat agak lemah pada koloid.

Di daerah bercurah hujan rendah, Ca dan basa-basa lainnya tidak mudah tercuci dari tanah. Kation tersebut akan mendominasi tempat jerapan, sehingga tanah ber pH 7 atau lebih, dalam keadaan demikian Al berada dalam bentuk senyawa tidak larut, sedangkan ion H yang terjerap akan ditukar oleh kation- kation logam.

7.2.2 Koloid Organik

Pada awal pembicaraan bagian ini telah dikemukakan bahwa koloid tanah itu terdiri atas koloid liat dan organik. Campuran liat dengan koloid liat organik ini terutama ditemukan pada tanah lapisan atas.

Pada uraian terdahulu telah dijelaskan bahwa bahan organik yang bersifat koloid itu adalah humus, asal usul serta susunan kimia humus juga sudah dijelaskan. Selanjutnya, akan dibicarakan secara singkat tentang peranan humus dalam menahan air dan kation serta perbedaannya dengan koloid liat.

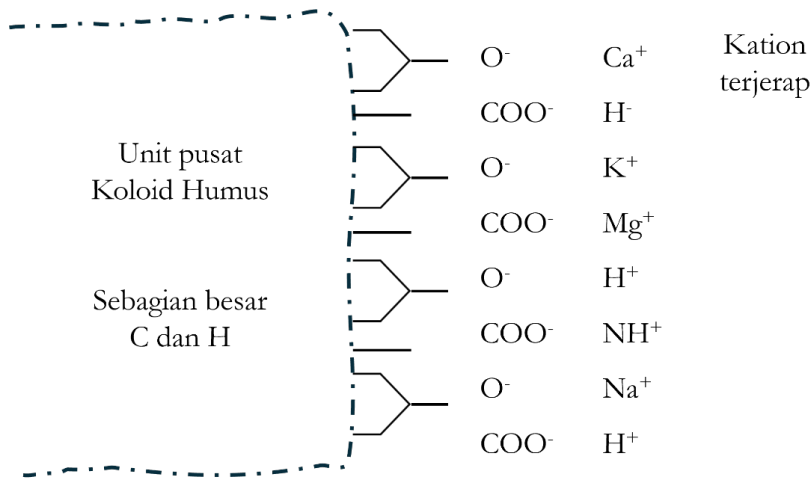
Koloid humus seperti halnya koloid liat juga bermuatan negatif. Muatan negative ini diduga berasal dari gugus karboksil ($-COOH$) dan fenolik (-OH) yang dinetralkan dan berasosiasi dengan unit-unit pusat dari koloid humus.

Muatan koloid humus bergantung pada pH. Dalam suasana sangat masam hidrogen terikat kuat sekali dan tidak mudah digantikan kation kation lain, dalam keadaan demikian koloid humus bermuatan negatif rendah. Sebaliknya dalam keadaan basa, hidrogen dari kelompok hidroksil berioniasi dan disusul oleh hidrogen dari kelompok hidroksil berionisasi dan disusul oleh hidrogen dari grup fenolik. Selanjutnya akan digantikan oleh kalsium magnesium dan kation kation lainnya.

Secara bagan unit koloid humus yang memungkinkan kation kation terjerap diperlihatkan bahwa kelompok hidroksil fenolik terikat pada aromatik dan kelompok karboksil melekat pada atom karbon lainnya dalam unit pusat humus. Seperti koloid liat, koloid humus dalam hal ini juga dikerumuni oleh berbagai kation. Koloid humus mempunyai daya jerap kation dan air yang jauh melebihi daya jerap koloid liat.

Berdasarkan kelarutan humus dalam asam dan alkali ia dapat dibedakan atas tiga kelas:

1. Asam fulfit teringan bobot molekulnya, termuda dalam warnanya, larut dalam asam maupun alkali.
2. Asam humik, bobot molekul dan warnanya sedang, larut dalam alkali, tetapi tidak larut dalam asam.
3. Asam humin terberat bobot molekulnya, tergelap warnanya dan tidak larut dalam asam maupun alkali



Gambar 7.2 Bagan unit koloid humus dengan jerapan kation.

Perbedaan utama dari koloid humus dengan koloid liat antara lain adalah, unit misel humus tersusun dari karbon, oksigen, dan hidrogen, sedangkan liat dari silikon, aluminium dan oksigen. Koloid humus tidak kristalen, sedangkan koloid liat kristalen umumnya. Daya jerap kation humus jauh melebihi koloid liat. Humus tidak semantap liat, karena itu ia bersifat dinamik, mudah dihancurkan dan dibentuk. Dapat dikatakan bahwa adanya campuran koloid liat dan humus dalam tanah akan saling menunjang peranannya sebagai penjepit dan mempertukarkan ion. Demikian pula dalam hal penahanan air.

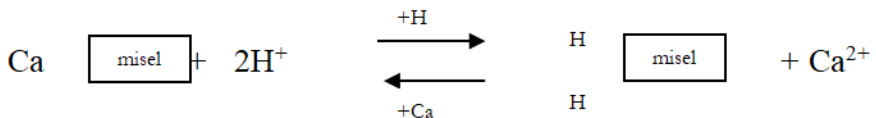
7.3 Kapasitas Tukar Kation dan yang Berpengaruh

Kapasitas tukar kation (KTK) suatu tanah dapat didefinisikan sebagai suatu kemampuan koloid tanah menjerap dan mempertukarkan kation. Kemampuan atau daya jerap unsur hara dari suatu koloid tanah dapat ditentukan dengan mudah. Jumlah unsur hara yang terjerap dapat ditukar dengan barium (Ba⁺) atau amonium (NH₄⁺), kemudian jumlah Ba atau HN₄ yang terjerap akan kembali melalui penyulingan. yang tersuling akan sama banyak dengan hara yang ditukar pada koloid tanah tadi. Hal ini ditentukan oleh jumlah Ba atau NH₄. Kenyataan menunjukkan, bahwa KTK dari berbagai tanah tanah sejenisnya pun berbeda sangat beragam, bahkan tanah sejenisnya pun berbeda KTK nya.

Besarnya KTK tanah dipengaruhi oleh sifat dan ciri tanah itu sendiri yang antara lain adalah;

1. Reaksi tanah atau pH
2. Tekstur tanah atau jumlah liat
3. Jenis mineral liat
4. Bahan organik
5. Pengapuran dan pemupukan.

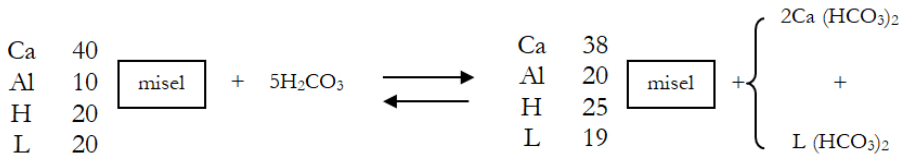
Sebelum meninjau pengaruh dari masing-masing faktor tersebut terhadap besarnya KTK tanah ada baiknya ditinjau dulu mengenai prinsip pertukaran kation itu sendiri. Pertukaran kation merupakan reaksi yang umum terjadi dan merupakan salah satu reaksi yang terpenting dalam tanah. Dasar-dasar jerapan dan pertukaran kation telah dibicarakan dengan jelas. Dengan demikian pertukaran kation oleh kation lain yang terjadi pada permukaan koloid tanah dapat dikemukakan secara sederhana. Penggantian ion lain dengan hidrogen (H) akan dipakai sebagai contoh terjadinya fenomena itu adalah sebagai berikut :



Reaksi tersebut terjadi pada tanah mineral di lapisan olah, banyak Ca terjerap dan berada di daerah humid. Sejumlah asam karbonat dan asam lainnya dibentuk bersamaan dengan proses dekomposisi bahan organik. Ion H yang terbentuk mulai menggantikan ion Ca yang berada pada kompleks jerapan. Hal itu terjadi sebagai akibat aksi massa. Ion H dijerap lebih kuat daripada ion Ca.

Pertukaran ion Ca dengan H berlangsung secara ekuivalen. Apabila terjadi penurunan ion H, atau terjadi penambahan ion Ca (misalnya dengan pengapuran), maka reaksi akan beralih ke kiri. Sebaliknya jika H bertambah, atau ion Ca berkurang. Dalam hal ini hukum keseimbangan reaksi kimia berlaku.

Berdasarkan prinsip yang dikemukakan itu suatu contoh dapat disajikan. Umpamanya suatu misel mengandung Ca, Al, H, dan L (kation logam) berbanding seperti 40, 20, 20, dan 20 yang dapat dilukiskan sebagai berikut: Reaksi pertukaran ini menunjukkan bahwa 2 ion Ca dan ion logam (L) diganti oleh 5 ion H.

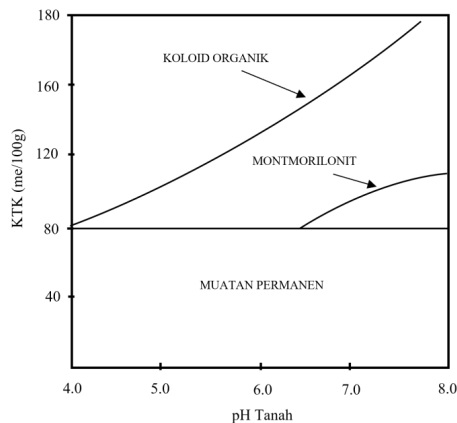


Selanjutnya, karbonat dan bikarbonat akan mudah tercuci dan hilang melalui drainase, dalam hal ini keseimbangan tidak pernah terjadi. Lebih lanjut mari kita ikuti mengenai faktor faktor yang mempengaruhi besarnya KTK tanah.

7.3.1 Pengaruh Reaksi Tanah atau pH

Pada kebanyakan tanah ditemukan bahwa pertukaran kation berubah dengan berubahnya pH tanah, pada pH rendah hanya muatan permanen liat dan sebagian muatan koloid organik memegang ion yang dapat digantikan melalui pertukaran kation. Dengan demikian KTK relatif rendah, hal ini disebabkan oleh kebanyakan tempat pertukaran kation koloid organik dan beberapa fraksi liat, H dan mungkin hidroksi -Al terikat kuat, sehingga sukar dipertukarkan.

Dengan meningkatkan pH, hidrogen yang diikat koloid organik dan liat berionisasi dan dapat digantikan. Demikian pula ion hidroksi-Al yang terjerap akan dilepaskan dan membentuk (OH)₃. Dengan demikian terciptalah tapak tapak pertukaran baru pada koloid liat. Beriringan dengan perubahan perubahan itu KTK pun meningkat. Hubungan KTK dengan pH tanah dapat dilihat pada Gambar 7-3.



Gambar 7.3 Pengaruh pH terhadap kapasitas tukar kation dari koloid organik dan liat montmorillonite (Coleman dan Mechlich, 1957).

Gambar 7-3 menunjukkan bahwa muatan koloid permanen liat tidak berubah dengan perubahan pH. Tetapi muatan tergantung pH jelas meningkat dengan naiknya pH (organik dan montmorillonit) dalam table 7-1 disajikan pula hubungan nilai pH dari beberapa jenis tanah dengan KTK - BaCl_2 - TEA yang tampaknya ada kaitan yang erat. Disini juga terlihat bahwa pada pH yang sama KTK berbeda. Hal ini mungkin akibat faktor lainnya berbeda, mungkin tekstur berbeda, atau kadar bahan organik berbeda.

Tabel 7.1 Kapasitas Tukar Kation dan pH tanah beberapa tempat di North Carolina (Coleman dan Thomas, 1967)

Asal Tanah	pH	KTK - BaCl_2 - TEA
iredell	6.3	23.7
granville	4.8	19.1
mayodan	4.9	16.0
wadaesboro	4.8	13.2

7.3.2 Pengaruh Tekstur Tanah atau Jumlah Liat

Dari berbagai pengamatan ciri tekstur tanah, ternyata KTK tanah berbanding lurus dengan jumlah butiran liat. Semakin tinggi jumlah liat suatu jenis tanah yang sama, KTK juga bertambah besar. Makin halus tekstur tanah semakin besar pula jumlah koloid liat organik nya, sehingga KTK juga makin besar. Sebaliknya tekstur kasar seperti pasir atau debu, jumlah koloid liat relatif kecil demikian pula koloid organiknya, sehingga KTK juga relatif lebih kecil daripada tanah bertekstur halus. Dalam table 7-2 ditunjukkan beragam KTK tanah pada beberapa tanah Indonesia dengan tekstur yang beragam.

Tabel 7.2 Kapasitas Tukar Kation beberapa tanah Indonesia yang beragam teksturnya (Soepardi, 1979)

Tanah Asal	Klas Tekstur	Kapasitas Tukar Kation (me/100 g)
Ciletuk	Lempung berdebu	8.1
Pengubuan	Lempungliat berdebu	22.9
Rentang Barat	Liat berdebu	38.8
Galapan Sipadi	Lempungliat berdebu	51.2

Pada Tabel 7-2 tampak pula bahwa tekstur tanah yang sama, juga dapat berbeda KTK nya, seperti antara tanah Pengubuan dan Galapan Sipadi. Hal ini mungkin karena perbedaan kandungan bahan organik atau jenis liatnya.

7.3.3 Pengaruh Jenis Mineral Liat

Pada bagian terdahulu telah dijelaskan bahwa jenis koloid mempunyai muatan yang beragam, oleh karena itu juga akan mempunyai KTK yang beragam. Dalam Table 7-3 ditunjukkan beragam KTK dari berbagai jenis mineral liat. Dengan demikian tidaklah mengherankan apabila KTK tanah Latosol sangat rendah, sedangkan KTK tanah Grumosol jauh lebih tinggi. Mineral liat yang dominan pada tanah Latosol adalah Kaolinit, sedangkan pada tanah Grumosol adalah Montmorillonit.

Tabel 7. 3 Kapasitas Tukar Kation dari beberapa jenis mineral liat (Coleman dan Thomas, 1967)

Mineral Liat	Kapasitas Tukar Kation (me/100 g)
Ilit (muskovit)	37
Hidrobiotit	80
Montmorillonit	100
Kaolinit	5
Halloysit	5

7.3.4 Pengaruh Bahan Organik

Pengaruh bahan organik tidak dapat disangkal terhadap kesuburan tanah. Pada bagian terdahulu telah dikemukakan bahwa bahan organik mempunyai daya jerap kation yang lebih besar daripada koloid liat. Berati semakin tinggi kandungan bahan organik suatu tanah, makin tinggi pulalah KTK-nya. Ketentuan ini berlaku, apabila faktor faktor lainnya relatif sama,

7.3.5 Pengaruh Pengapuran dan Pemupukan

Masukan kapur jelas akan menaikkan pH tanah, pada tanah tanah yang bermuatan tergantung pH, seperti tanah kaya montmorillonit atau koloid organik, maka KTK akan meningkat dengan pengapuran. Di lain pihak pemberian pupuk tertentu dapat menurunkan pH tanah. Sejalan dengan hal itu KTK pun akan turun. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa pengaruh pengapuran dan pemupukan ini berkaitan erat dengan perubahan pH, yang selanjutnya mempengaruhi KTK tanah.

Besarnya KTK dinyatakan dengan satuan milliekivalen (me). Satu me sama dengan satu milligram hidrogen, atau sejumlah ion lain yang dapat berkombinasi atau menggantikan ion hidrogen. Bila suatu tanah mempunyai KTK atau milliekivalen tiap 100 gram (1 me/100 g), berarti

tanah tersebut dapat menyerap H 1 mg/100 g, jumlah ini sama dengan 10 ppm. Berasumsi bahwa bobot tanah 1 Ha adalah 2×10^6 kg, maka tanah ini akan menyerap ion H sebanyak 20 kg/Ha. Bagaimana pula menghitungnya bila dinyatakan terhadap kation lain.

Mari kita ambil contoh ion Ca^{2+} . Unsur Ca^{2+} mempunyai bobot atom 40 sedangkan H^+ adalah 1. Tiap ion Ca^{2+} mempunyai 2 muatan dan ekuivalen dengan 2 ion H^+ . Dengan demikian untuk menggantikan 1 mg H diperlukan $40/2$, atau 20 mg Ca. Bila suatu tanah sanggup menyerap 400 mg Ca/100 g, maka KTK tanah tersebut adalah $400/20$ atau 20 me/100 g. Dengan perhitungan yang sama, penggantian dengan kation-kation lain dapat dihitung dengan mudah. Perhitungan ini sangat penting dalam menentukan jumlah kapur atau jumlah pupuk yang akan diberikan pada suatu tanah. Dengan perhitungan yang tepat diharapkan tidak terjadi pemberian kapur atau pupuk yang melebihi daya jerap tanah, atau KTK tanah yang bersangkutan.

7.4 Prosentase Kejenuhan Basa

Persen kejenuhan basa (KB) suatu tanah adalah perbandingan antara jumlah *me* kation basa dengan *me* kapasitas tukar kation (KTK) dan dapat disingkat dengan rumus:

$$\text{Persen Kejenuhan basa} = \frac{\text{me Kation basa}}{\text{me KTK}} \times 100 \%$$

Bila suatu tanah mempunyai persen kejenuhan basa adalah 40, maka berarti 40/100 atau 2/5 bagian dari seluruh kapasitas tukar kation ditempati oleh kation basa (Ca, Mg, K, Na). Kation Al^{3+} dan H^+ merupakan kation lain yang dominan terjerap, sedangkan kation lainnya kurang berarti. Oleh karenanya dapat dikatakan bahwa pada tanah yang ber KB 40% tadi, 60% adalah Al^{3+} H^+ , oleh sebab itu pH-nya rendah. Sebaliknya, di daerah kering, basa-basa jauh lebih banyak daripada Al^{3+} dan H^+ , maka pH-nya tinggi. Dengan demikian dapat dikatakan, bahwa KB suatu tanah sangat dipengaruhi oleh iklim (curah hujan) dan pH tanah tersebut. Pada tanah beriklim kering KB lebih besar daripada tanah beriklim basah. Demikian pula pada tanah ber pH tinggi KB lebih besar dari pada tanah ber pH rendah.

7.5 Peranan KTK bagi Perharaan Tanaman

Arti praktikel dari pertukaran kation bagi penyediaan hara tanaman adalah penting. Kation dikompleks jerapan dipaksa memasuki larutan, di sini mereka diasimilasikan oleh jasad renik atau diserap oleh tanaman. Bila hubungan antara koloid tanah dan akar sangat berdekatan maka akan terjadi pertukaran langsung antara tanah dan akar. Dalam hal ini orang beranggapan bahwa ion H^+ yang dihasilkan akar menggantikan kation-kation yang diperlukan tanaman langsung dari permukaan kompleks jerapan atau koloid tanah.

Mudah tidaknya kation-kation tersebut dapat digantikan oleh ion H^+ dari akar tergantung pada kejenuhan kation tersebut di kompleks jerapan. Bila kejenuhan tinggi maka akan mudalah ia digantikan. Sebaliknya, bila kejenuhannya sangat rendah. Kejenuhan suatu kation adalah perbandingan kation tersebut dengan seluruh kation terjerap (KTK). Kejenuhan kation ini dinyatakan dalam persen (%). Suatu tanah yang mengandung KTK tinggi memerlukan pemupukan kation tertentu dalam jumlah banyak agar dapat tersedia bagi tanaman. Bila diberikan dalam jumlah sedikit maka ia kurang tersedia bagi tanaman karena lebih banyak terjerap. Sebaliknya pada tanah-tanah yang ber KTK rendah, pemupukan kation tertentu tidak boleh banyak karena mudah tercuci bila diberikan dalam jumlah berlebihan. Pemupukan kation dalam jumlah banyak pada tanah ber KTK rendah adalah tidak efisien.

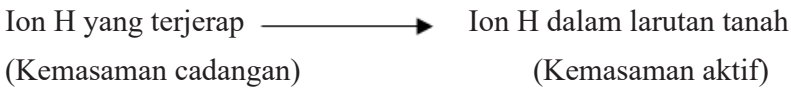
7.6 Reaksi Tanah dan Pengelolaannya

Pada pembicaraan sebelumnya telah dijelaskan mengenai dasar-dasar jerapan dan pertukaran ion, demikian pula faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas pertukaran kation. Salah satu faktor yang sangat berperan adalah pH tanah atau reaksi tanah. Perubahan dari nilai pH tanah oleh sesuatu tindakan sangat tergantung pada daya sangga dari tanah tersebut. Kedua faktor yang saling berkaitan ini dengan segala masalah dan pengelolaannya akan ditinjau lebih lanjut.

Telah diketahui bahwa untuk menciptakan pertumbuhan dan produksi optimal dari tanaman menghendaki pH tertentu. Jarang sekali kita dapat menemukan pH tanah yang sesuai dengan keperluan tanaman. Oleh karena itu diperlukan suatu tindakan untuk mengubah pH tanah sebelum dapat ditanami. Pengubahan ini mungkin menaikkan pH, atau menurunkan pH. Kenyataannya pH tanah tidak dapat diubah dengan mudah, dengan kata lain ada suatu hambatan. Hambatan ini disebut sanggaan (buffer), yang merupakan suatu sifat umum dari campuran asam basa dengan garamnya.

7.6.1 Sifat Sanggaan Tanah

Komponen tanah yang mempunyai sifat menyangga adalah gugus asam lemah seperti karbonat serta kompleks koloidal tanah. Dapat dikatakan bahwa koloid liat dan humus adalah bahan penyangga reaksi tanah. Berdasarkan mekanisme sanggaan dapat dijelaskan sifat disosiasi ion H^+ dari asam koloidal lemah. Bagan reaksinya dapat dilukiskan sebagai berikut :



Telah diketahui bahwa asam lemah ini mempunyai tingkat disosiasi yang lemah dan sebagian besar dari ion H masih tetap terjerap pada permukaan koloid. Bila kita ingin menaikkan pH tanah, maka kita tambahkan kapur. Akibatnya reaksi akan beralih ke kanan, ion Ca lebih banyak terjerap, tetapi pH tidak banyak berubah karena ion H masih banyak terjerap. Perubahan pH itu akan nyata bila diberikan cukup kapur sehingga seluruh ion H terjerap, dapat digantikan oleh Ca. Artinya kemasaman cadangan dinetralkan. Adanya bahan penyangga dalam tanah, juga dapat menjaga penurunan pH yang drastis akibat bertambahnya ion H oleh suatu proses biologis atau pemupukan.

Kegiatan jasad mikro atau penambahan pupuk yang bersifat masam, akan menyumbang kan sejumlah ion H. Dalam hal ini reaksi tadi akan beralih ke kiri, tetapi penurunan pH juga tidak nyata akibat adanya hambatan atau sanggaan tadi. Dengan demikian, jelaslah bahwa sifat sanggaan dari tanah sangat penting artinya dalam menjaga kestabilan reaksi dalam tanah. Sehingga tidak terjadi gejolak pH yang hebat yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman.

7.6.2 Kapasitas Sanggaan Tanah

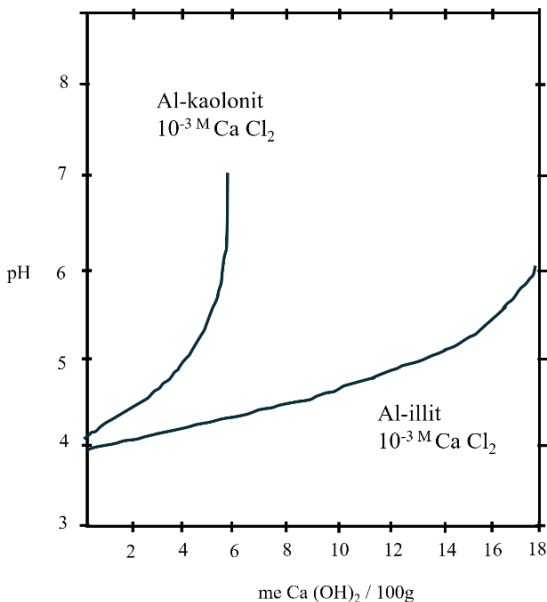
Bila faktor-faktor lainnya dari tanah adalah sama, maka kapasitas sanggaan akan makin besar dengan makin besarnya kapasitas tukar kation (KTK) dari tanah tersebut. Hal ini disebabkan oleh banyaknya Ion H dan kation lain yang harus ditukar untuk memberikan pengaruh menaikkan atau menurunkan persentase kejenuhan basa.

Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa makin tinggi kandungan liat dan bahan organik tanah, makin banyak pula diperlukan kapur untuk menaikkan pH tadi. Dengan kata lain, faktor yang mempengaruhi adalah

kapasitas sanggaan tanah. Dapat juga dikatakan bahwa kapasitas sanggaan tanah berbanding lurus dengan KTK. Tanah yang sama pH nya atau yang sama kejenuhan basanya, basanya belum tentu sama kapasitasnya. Kapasitas sanggaan tidak saja dipengaruhi oleh jumlah liat dan bahan organik, tetapi juga oleh macam mineral liat. Gambar 7-4 menunjukkan hal itu.

Pada Gambar 7-4 terlihat bahwa kapasitas sanggaan kaolinit jauh lebih rendah daripada illit. Dengan 6 me $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /100 g, pH Al-Kaolinit sudah mencapai 7, sedangkan Al-illit masih dibawah 4.5. Dengan pemberian 18 me $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /100 g, Al-illit baru mencapai pH 6. Jelaslah bahwa untuk mengubah satu unit pH tanah dominan illit diperlukan kapur jauh lebih banyak daripada untuk mengubah satu unit pH tanah dominan kaolinit.

Berdasarkan uraian ini, jelaslah bahwa penetapan tekstur tanah, kadar bahan organik, jenis liat, KTK dan kapasitas sanggaan tanah penting sekali artinya dalam usaha menaikkan pH tanah. Penetapan parameter-parameter ini akan membantu dalam penetapan jumlah kapur yang diperlukan. Sebaliknya, juga demikian dalam usaha menurunkan pH tanah. Ciri tanah tersebut dapat dipedomani dalam menentukan jumlah belerang, atau asam yang diperlukan guna menurunkan pH.



Gambar 7.4 Kurva sanggaan untuk kaolinit jenuh Al dan illit jenuh Al (Turner and Nichol, 1962)

7.6.3 Pengertian pH Tanah

Larutan tanah. Larutan tanah adalah air yang mengandung ion-ion yang terlarut yang merupakan hara bagi tanaman. Konsentrasi ion-ion terlarut ini sangat beragam dan tergantung pada jumlah ion terlarut serta jumlah bahan pelarut (air). Diwaktu musim kering dimana air banyak menguap maka konsentrasi garam akan bertambah, hal itu ditemukan di daerah iklim kering. Sebaliknya di daerah basah konsentrasi berubah-ubah drastis. Kadar garam yang tinggi berbahaya bagi pertumbuhan tanaman. Kadar garam sebanyak 0.5 persen saja sudah berbahaya bagi tanaman karena kadar tersebut sama dengan 10 ton garam di lapisan 20 cm teratas (lapisan olah).

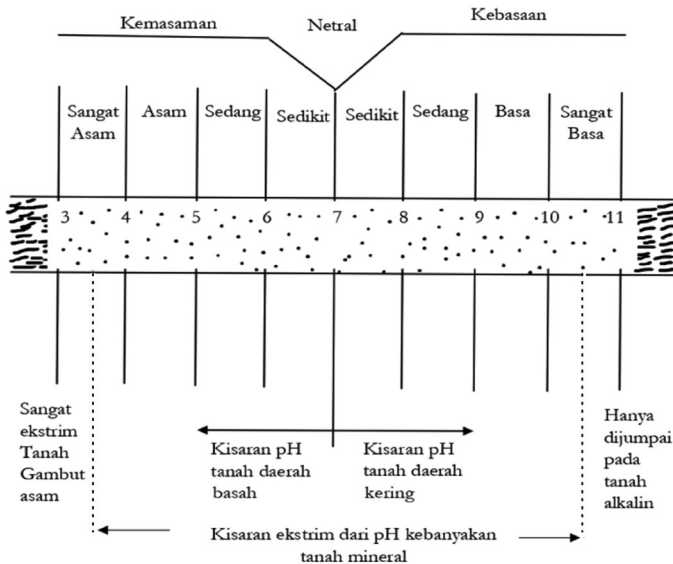
Sifat reaksi tanah dan kaitannya dengan pH. Reaksi tanah yang penting adalah masam, netral dan alkalin (basa). Pernyataan ini didasarkan pada jumlah ion H^+ dan OH^- dalam larutan tanah. Bila dalam tanah ditemukan ion H^+ lebih banyak dari OH^- maka **disebut masam**. Bila ion H^+ sama dengan ion OH^- **disebut netral**, dan bila ion OH^- lebih banyak daripada ion H^+ **disebut alkalin**.

Untuk menyeragamkan pengertian, sifat reaksi tersebut dinilai berdasarkan konsentrasi ion H^+ dan dinyatakan dalam **pH** (potential of Hydrogen). Dengan kata lain pH tanah adalah **minus logaritma dari konsentrasi ion hydrogen** atau **- log (H^+) tanah**. Suatu tanah disebut masam jika pH-nya kurang dari 7, netral jika sama dengan 7, dan basa jika lebih dari 7. Bila konsentrasi ion H^+ bertambah maka pH turun, sebaliknya bila konsentrasi ion OH^- meningkat maka pH naik. Distribusi ion H^+ dalam tanah tidak homogen. Ion H^+ lebih banyak dijerap daripada ion OH^- , sedangkan ion OH^- sebaliknya. Dengan demikian, pH lebih rendah di dekat koloid daripada tempat yang jauh dari koloid, sedangkan ion OH^- sebaliknya. Jadi pH di dekat koloid lebih rendah dibandingkan di tempat yang jauh dari koloid.

7.6.4 Kisaran pH Tanah

Kisaran pH tanah dapat dibatasi pada dua ekstrim. Kisaran pH tanah mineral biasanya terdapat antara pH 3,5 hingga 10.0 atau lebih. Untuk gambut pH tanah dapat kurang dari 3.0. Sebaliknya tanah alkalin bisa menunjuk kan pH lebih dari 11.0. Bagan sederhana kisaran pH tanah itu ditunjukkan pada Gambar 7-5.

Kisaran pH tanah mineral di daerah basah berbeda dengan daerah kering. Di wilayah basah kisaran pH itu berada antara sedikit dibawah 5 hingga sedikit di atas 7. Sedangkan di wilayah kering berada sedikit dibawah 7 hingga mendekati 9.



Gambar 7.5 Bagan kisaran pH tanah mineral dan istilah yang lazim dipakai untuk mengatakan reaksi tanah.

7.6.5 Arti pH Tanah bagi Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan tanaman dipengaruhi pH tanah melalui dua cara yaitu (1) pengaruh langsung ion hidrogen dan (2) pengaruh tidak langsung, yakni tidak tersedianya unsur hara tertentu dan adanya unsur-unsur yang beracun.

Dari berbagai hasil penelitian di Amerika Latin dan Puerto Rico, diketahui batas maksimum dari pH tanah untuk berbagai jenis tanaman yang masih perlu diberi kapur (Adam dan Pearson, 1967). Batas pH yang dimaksud menunjukkan bahwa di atas nilai pH ini tanaman yang bersangkutan tidak lagi memerlukan kapur. Sebaliknya, bila pH tanah di bawah nilai tersebut pertumbuhannya akan terganggu jika tidak diberi kapur. Hasil penelitian mereka disajikan pada Tabel 7-4.

Tabel 7.4 Nilai pH tanah pada batas mana pemberian kapur masih respons (Adam dan Pearson, 1967)

Tanaman	Nilai pH yang respons terhadap kapur	
	Rendah	Tinggi
Jagung	4,8	5,7
Kacang Tanah	5,2	5,7
Kedelai	5,0	6,0
Kapas	4,8	5,8
Kentang	4,7	5,0
Kopi	4,2	4,2
Nanas	4,7	4,7
Pisang	5,5	6,5
Tebu	5,5	5,5
Ubi jalar	5,5	5,5

Dari Tabel 7-4 ini dapat dipahami bahwa masing-masing tanaman menghendaki pH tertentu untuk dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik. Tanaman jagung dan kacang tanah akan tumbuh baik bila pH tanah besar dari 5.7, sedangkan kedelai menghendaki pH sedikit di atas 6.0. Kopi dan nanas dapat tumbuh baik pada pH tanah agak rendah , atau sekitar 4.2, sedangkan pisang memerlukan pH 6,6 atau lebih. Dalam hal ini tentu dengan ketentuan bahwa unsur hara cukup tersedia dan seimbang. Perbedaan-perbedaan pH yang dikehendaki masing-masing tanaman tersebut diduga karena adanya perbedaan toleransi dari tanaman-tanaman terhadap kepekatan ion H atau ion beracun lainnya. Bukan tidak mungkin, kejadian itu berkaitan denagn ketersediaan hara atau perharaan yang dipengaruhi pH tanah.

7.6.6 Arti pH Tanah bagi Perharaan

Kebanyakan tanaman toleran terhadap pH yang ekstrim rendah atau tinggi, asalkan dalam tanah tersebut tersedia hara yang cukup. Sayangnya tersedianya unsur hara yang cukup dipengaruhi oleh pH. Beberapa unsur hara tidak tersedia pada pH yang ekstrim dan beberapa unsur lainnya berada pada tingkat meracun.

Perharaan yang sangat dipengaruhi oleh pH antara lain adalah:

- Kalsium (Ca) dan magensium (Mg)dapat ditukar
- Aluminium (Al) dan unsur mikro
- Ketersediaan fosfor (P)
- Perharaan yang berkaitan dengan kegiatan jasad mikro

7.6.7 Kalsium dan Magnesium dapat Ditukar

Di wilayah basah terjadi pencucian yang intensif. Akibatnya sebagian besar dari Ca dan Mg akan hilang dari permukaan koloid tanah. Hal ini menyebabkan pH tanah beralih menjadi lebih rendah atau dengan kata lain tanah semakin masam. Oleh karena itu, di wilayah basah terdapat korelasi yang nyata antara pH dan jumlah kedua basa dapat ditukar ini. Sebaliknya di daerah kering juga terdapat korelasi yang nyata antara pH dengan Na dapat ditukar.

7.6.8 Aluminium dan Unsur Mikro

Bila pH tanah mineral rendah, sejumlah Al, Fe dan Mn menjadi sangat larut, sehingga merupakan racun bagi tanaman (Morris dan Oere, 1947). Sebaliknya bila pH naik hingga netral atau diatasnya dan diikuti hujan, jumlah ion-ion tersebut akan berkurang dalam larutan tanah, sehingga menyebabkan tanaman tertentu menderita kekurangan Fe dan Mn. Kejadian ini bisa ditemukan pada tanah berpasir masam, yang dikapur berlebihan, atau pada tanah alkalin kering. Jika pH tanah dapat dipertahankan antara 6 dan 7 kemungkinan keracunan Al, Fe dan Mn dapat dihindari, sedangkan ketersediaan Zn dan Cu sangat menurun pada pH lebih dari 7.

Ketersediaan Mo juga sangat bergantung pada pH. Pada tanah sangat masam Mo tidak tersedia. Bila pH naik hingga 6 atau lebih maka ketersediaan Mo meningkat. Berbeda halnya dengan Bo yang tersedia dengan baik pada interval pH 5 hingga 8. Unsur ini kurang tersedia bila pH di bawah 4 atau di atas 8.

7.6.9 Ketersediaan Fosfor

Ketersediaan P dipengaruhi sangat nyata oleh pH. Bentuk ion P dalam tanah juga bergantung pada pH larutan. Pada pH agak tinggi (basa) ion HPO_4^{2-} adalah dominan. Bila pH tanah turun ion H_2PO_4^- dan HPO_4^- akan dijumpai bersamaan. Makin masam reaksi tanah ion H_2PO_4^- yang dominan.

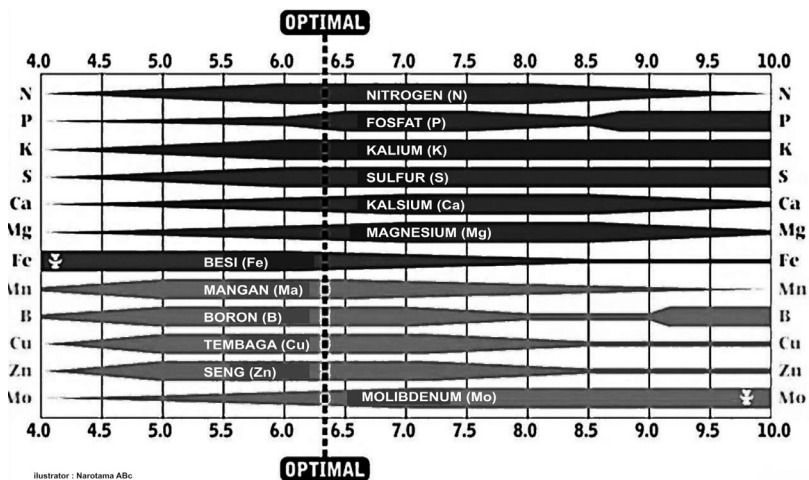
Pada pH rendah ion P akan mudah bersenyawa dengan Al, Fe atau Mn membentuk senyawa yang tidak larut. Sedangkan pada pH tinggi ion P yang larut akan diikat oleh Ca membentuk senyawa yang tidak larut. Dulu dipertahankan orang kisaran pH 6 hingga 7 untuk membentuk P lebih tersedia. Belakangan ditemukan bahwa pada pH lebih dari 6.0 P sudah kurang tersedia (Lutz, Genter dan Hawkins, 1972; Nurhajati Hakim, 1982). Tampaknya kelarutan maksimum dari P berada pada pH 5.5. Mempertahankan kisaran pH 5.5 hingga 6 sangat berarti bagi penyediaan P bagi tanaman.

7.6.10 Kegiatan Jasad Mikro

Dari berbagai penelitian ternyata kegiatan jasad mikro dipengaruhi oleh pH larutan. Hal ini mungkin akibat ion H atau akibat perharaan yang baru saja dijelaskan. Ketersediaan N banyak diharapkan dari proses nitrifikasi yang dibantu oleh jasad mikro. Beberapa unsur lainnya seperti P dan S juga diharapkan dari mineralisasi bahan organik. Proses mineralisasi umumnya, nitrifikasi khususnya berkaitan erat dengan kegiatan jasad mikro.

Pada umumnya, bakteri dan aktinomisetes berfungsi lebih baik pada tanah mineral ber pH sedang hingga tinggi. Kegiatan mereka berkurang bila pH turun lebih rendah dari 5.5. Pada pH rendah jamur yang dominan, sedangkan pada pH tinggi jamur bersaing dengan bakteri dan aktinomisetes. Nitrifikasi dan Denitrifikasi N berlangsung cepat pada tanah mineral ber pH lebih dari 5,5. Akan tetapi pelapukan, aminisasi/amonifikasi masih berlanjut pada pH agak rendah karena sebagian jamur dapat membentuk reaksi tersebut.

Ditinjau dari segala segi manapun, tanah ber pH 6 - 7 merupakan pH terbaik. Suasana biologi dan penyediaan hara umumnya berada pada tingkat terbanyak pada kisaran pH tersebut. Keadaan biologi dan perharaan tanah berkaitan dengan pH tersebut ditunjukkan pada Gambar 7-4. Seperti dikatakan tadi, bahwa dari penemuan belakangan menaikkan pH hingga 7 tampaknya tidak perlu untuk tanah-tanah tropik. Ternyata pertumbuhan tanaman dan ketersediaan hara umumnya sudah cukup baik pada kisaran 5,5 hingga 6 asalkan unsur yang beracun sudah ditiadakan pada pH tersebut.



Gambar 7.6 Hubungan antara pH tanah mineral dengan unsur hara dan kegiatan jasad mikro (Soepardi, 1979)

7.6.11 Cara penetapan pH tanah

Dari pembicaraan sebelumnya jelaslah bahwa penentuan nilai pH suatu tanah penting artinya sebagai diagnosa untuk menentukan tindakan perbaikan kesuburan tanah. Baik untuk memilih tanaman yang cocok, maupun untuk menciptakan suasana atau reaksi tanah tertentu, sehingga sesuai dengan kehendak tanaman dan cocok bagi penyediaan hara. Berikut ini akan dikemukakan cara penetapan pH secara elektrokronik dan metode warna.

Cara elektrometri, adalah cara pengukuran pH yang akurat dengan alat **pH-meter**. Sejumlah tanah dicampur dengan air atau larutan garam dengan perbandingan tertentu. Dewasa ini perbandingan tanah dengan air atau larutan garam yang banyak digunakan dalam menentukan pH tanah mineral adalah 1 : 1 dan untuk tanah organik 1 : 2,5. Dengan metode elektrometri konsentrasi ion H dalam larutan tanah dibandingkan terhadap suatu larutan baku elektrode hidrogen. Dalam mengecek pembakuan larutan tersebut haruslah berhati-hati, bila terdapat kesalahan dalam pembakuan alat, maka nilai pH tanah yang ditentukan adalah keliru. Bakukan lah secara akurat, sehingga diperoleh nilai pH tanah yang akurat.

Metoda warna, Cara ini mudah dan sederhana tetapi kurang akurat dibandingkan dengan cara elektrometri. Dalam hal ini pH ditentukan dengan menggunakan berbagai indikator yang berubah warnanya bila pH berubah. Titik perubahan warna dipakai untuk memperkirakan berapa konsentrasi ion H dalam larutan tanah. dengan menggunakan berbagai indikator, sendiri-sendiri atau bercampur, kisaran pH 3 – 8 mudah diperoleh. Caranya mudah sekali, yaitu dengan menjenuhi sejumlah tanah dengan dengan indikator, dibiarkan sebentar kemudian warna larutan dibandingkan dengan daftar warna yang diketahui pH nya. Bila dilakukan dengan hati-hati maka ketepatannya sekitar 0,2 unit pH.

7.7 Faktor yang Mempengaruhi pH Tanah

Nilai pH tanah sebetulnya dipengaruhi oleh sifat dan ciri tanah yang komplik sekali. Namun yang menonjol antara lain adalah:

- a. Kejenuhan basa
- b. Sifat misel (koloid)
- c. Macam kation yang terjerap

7.7.1 Kejenuhan Basa

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa kejenuhan basa adalah perbandingan antara kation basa dengan jumlah kation yang dapat dipertukarkan pada koloid tanah. Kejenuhan basa juga mencerminkan perbandingan kation basa dengan kation hidrogen dan aluminium. Berarti semakin kecil kejenuhan basa semakin masam pulalah reaksi tanah tersebut atau pH nya semakin rendah. Kejenuhan basa 100% mencerminkan pH tanah yang netral, kurang dari itu mengarah ke pH tanah masam, sedangkan lebih dari itu mengarah ke basa.

7.7.2 Sifat Misel

Sifat misel yang berbeda-beda mendisosiasi kan ion H terjerap menyebabkan pH berbeda pada koloid yang berbeda, walaupun kejenuhan basanya sama. Koloid organik mudah mendisosiasikan ion H ke dalam larutan tanah. Oleh karena itu, pH tanah organik lebih rendah daripada tanah mienral pada kejenuhan basa yang sama.

Koloid tanah yang terdiri atas Al dan Fe hidrous oksida mendisosiasikan ion H sangat radah. Dengan alasan itu pH tanah yang kaya Al dan Fe hidrous oksida relatif lebih tinggi pada kejenuhan basa yang sama. Pada kejenuhan basa 50%, kisaran pH tanah organik antara 4.5 - 5.0, liat silikat 5.2 - 5,8 dan hidrous oksida 6.0 - 7.0. Di sini jelas sekali bahwa pH tanah dipengaruhi oleh sifat koloid atau misel.

7.7.3 Macam kation terjerap

Pengalaman menunjukkan bahwa koloid yang mengandung natrium (Na) lebih tinggi, mempunyai nilai pH lebih tinggi pula pada kejenuhan basa yang sama. Hal ini sering sekali kita temukan pada tanah beriklim kering yang kaya Na. Kejadian ini diduga disebabkan oleh koloid yang kaya Na sukar mendisosiasikan ion H, sehingga sumbangan ion H rendah sekali dalam larutan tanah. Tampaknya akan sukar sekali untuk mengorelasikan pH dengan salah satu ciri tanah secara terpisah karena faktor yang mempengaruhi kait berkait.

7.8 Kemasaman Tanah dan Masalahnya

Reaksi tanah yang dikategorikan menjadi tigga kelompok yaitu masam, netral, dan basa yang berkaitan erat dengan pH tanah telah kita ikuti penjelasannya. Kenyataan menunjukkan bahwa tanah pertanian

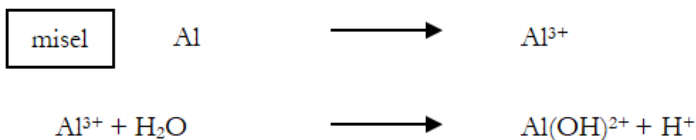
masam jauh lebih luas dan jauh lebih bermasalah daripada tanah alkali. Oleh karena itu, tanah bereaksi masam menjadi perhatian khusus dalam bagian ini.

Kemasaman tanah sering terjadi di daerah dengan curah hujan tinggi di daerah tropis (tropis basah), yang menyebabkan terjadinya pencucian basa tanah dari kompleks jerapan dan melalui air drainase. Bila basa tersapu, maka kation Al dan H tertinggal sebagai kation yang dominan pada tanah bereaksi masam (Coleman dan Thomas, 1967; Sanches, 1976).

7.8.1 Sumber ion Hidrogen

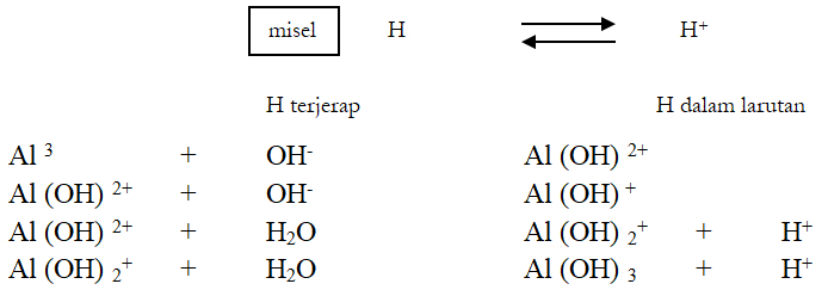
Tadi dinyatakan bahwa kation H dan Al yang terjerap pada permukaan koloid merupakan penyebab kemasaman. Curah hujan dan suhu yang tinggi di daerah tropic basah menyebabkan pelapukan bahan induk intensif. Dari pelapukan, basa-basa dan Al akan dibebaskan. Basa-basa sudah tercuci, sedangkan Al mudah terjerap bersama ion H.

Pada tanah yang sangat masam, Al menjadi sangat larut yang dijumpai dalam bentuk kation Al^{3+} dan hidroksida-Al. Kedua ion Al lebih mudah teradsorpsi pada koloid liat daripada ion H. Aluminium yang teradsorpsi berada dalam kesetimbangan dengan Al dalam larutan tanah. Oleh karena Al berada dalam larutan yang mudah terhidrolisis, maka Al merupakan penyebab keasaman atau penyumbang ion H. Kejadian itu dapat dilukiskan dengan reaksi sebagai berikut:



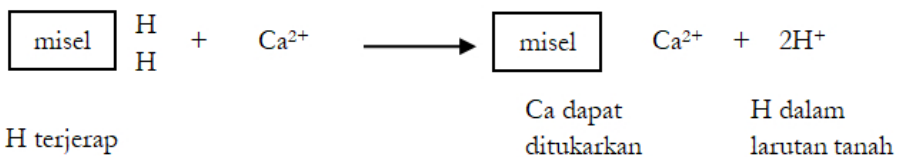
Ion H yang dibebaskan secara demikian akan memberikan nilai pH rendah bagi larutan tanah dan mungkin merupakan sumber utama ion H dalam sebagian besar tanah masam.

Disamping itu, ion H terjerap merupakan sumber ion H kedua dalam tanah masam. Ion H yang terjerap pada koloid humus masam dan pada muatan permanen koloid liat dapat dipertukarkan. Ion H demikian berada dalam keadaan seimbang dalam larutan tanah, sehingga menyebabkan pH larutan menjadi rendah. secara sederhana pelepasan H terjerap dapat dilukiskan berikut ini.



Dari ketiga reaksi tersebut, jelaslah bahwa Al dan H terjerap merupakan sumber ion H larutan sehingga menyebabkan reaksi tanah masam atau ber pH rendah. Pada tanah berkemasaman sedang, senyawa Al dan H juga sumber ion H dalam tanah berkemasaman sedang, tetapi melalui reaksi yang berbeda. Dalam hal ini basa-basa menyumbangkan sedikit OH sehingga Al tidak lagi dalam bentuk ion Al³⁺ tetapi dalam bentuk Al(OH)²⁺ atau Al(OH)₂⁺. Sebagian dari ion ini terjerap dan dapat dipertukarkan dan dalam keseimbangan dengan larutan. Melalui proses hidrolisis akan menyumbangkan ion H sehingga merupakan sumber kemasaman. Reaksi-rekasinya adalah sebagai berikut:

Ion H terjerap pada koloid liat dan humus juga merupakan penyumbang ion H dalam larutan tanah pada tanah ber-kemasaman sedang. Dalam hal ini dapat diartikan bahwa ion Ca yang sedikit, tidak cukup untuk menetralkan kemasaman. Reaksinya adalah sebagai berikut:

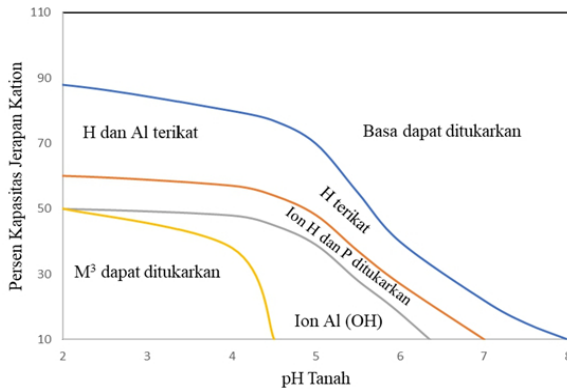


Berbeda sekali halnya bila Ca dan basa-basa lainnya cukup banyak, dimana akan disumbangkan sejumlah ion H. Dengan demikian pH berangsur naik dan reaksi menuju netral. Adanya ion H yang cukup ion Al akan diubah menjadi gipsit yang tidak larut melalui reaksi sebagai berikut:



Hubungan antara perubahan pH tanah dengan ion H tersebut secara sederhana dilukiskan pada Gambar 7-7. Perlu diingat bahwa pada Gambar tersebut adalah keadaan umum. Berbeda sifat dan ciri tanah akan berbeda

pula kurvanya. Dalam keadaan sangat masam pH <4 ion Al^{3+} dan H^+ terjerap dominan. Pada pH netral ion $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ dan H^+ terjerap yang menonjol.



Gambar 7.7 Hubungan umum antara pH tanah kation dijerap koloid (Soepardi, 1979).

7.8.2 Sumber Kemasaman lainnya

Disamping aluminium dan hidrogen, hasil dekomposisi bahan organik dan oksidasi senyawa pirit juga menimbulkan reaksi tanah yang masam. Salah satu produk dekomposisi bahan organik adalah H_2CO_3 . Senyawa ini berperan dalam melarutkan basa-basa dari batuan. Dengan demikian basa-basa akan cepat hilang tercuci atau dijerap tanah. Hilangnya basa-basa merupakan salah satu sebab timbulnya reaksi tanah yang masam. Sedangkan pengaruh H_2CO_3 sendiri terhadap pH tanah tidak banyak karena ia bersifat asam lemah.

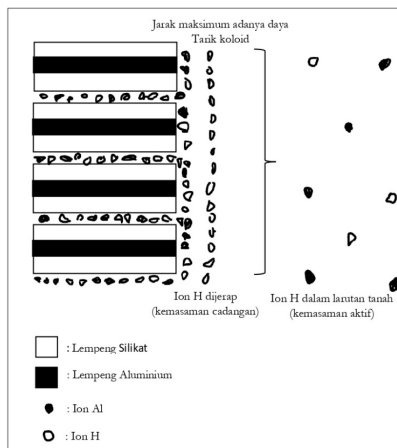
Terbentuk asam-asam anorganik seperti H_2SO_4 dan HN_3 baik dari mineralisasi bahan organik, maupun akibat merupakan kegiatan mikro organisme terhadap pupuk anorganik juga merupakan penyumbang reaksi asam. Dalam hal ini, pemberian pupuk yang mengandung belerang misalnya amonium sulfat perlu sekali menjadi perhatian, jika akan diberikan pada tanah masam.

Semua faktor kondisi yang memungkinkan terlarut dan tercucinya basa-basa dari kompleks tanah, merupakan penyebab terjadinya reaksi tanah yang masam. Dalam hal ini faktor curah hujan dan suhu yang tinggi adalah penyebab dominan.

7.8.3 Kemasaman Aktif dan Kemasaman Cadangan

Sebelumnya telah disebut-sebut bahwa ion H berada di dua tempat yaitu dalam larutan dan terjerap koloid. Jumlah ion H dalam larutan menunjukkan kemasaman aktif sedangkan ion H yang terjerap menunjukkan kemasaman cadangan atau kemasaman dapat dipertukarkan. Secara sederhana keberadaan ion H dalam tanah ditunjukkan pada Gambar 7-8.

Adanya dua kemasaman ini dapat meragukan kita. Kemasaman mana sebenarnya yang berbahaya bagi tanaman dan kemasaman mana yang sebetulnya yang perlu dinetralkan. Berdasarkan pengalaman yang cukup, ternyata kemasaman aktif jauh sangat rendah daripada kemasaman cadangan. Pada tanah berpasir kemasaman cadangan dapat mencapai 1000 kali lebih kuat dari kemasaman aktif, sedangkan pada tanah berliat dan kaya bahan organik bisa mencapai 50.000 hingga 100.000 kali lebih kuat. Untuk menetralkan kemasaman aktif pada tanah ber pH 6, diperlukan kapur CaCO_3 sekitar 0.02 kg/Ha dilapisi olah. Bila pH 5 diperlukan CaCO_3 sekitar 0.2 kg/Ha dan pada pH 4 kira-kira 2 kg/Ha. Dalam praktek pengapuran ternyata kita perlukan kapur sebanyak 2, 4, 6 ton CaCO_3 tiap hektar. Kenyataan ini menunjukkan bahwa yang kita netralkan dengan kapur adalah **kemasaman cadangan** karena keduanya selalu dalam keadaan keseimbangan. Disini jelaslah bahwa Al dan H jauh lebih berbahaya daripada yang ada dalam larutan tanah.



Gambar 7.8 Diagram yang menunjukkan hubungan keseimbangan antara kemasaman aktif dengan kemasaman cadangan dari koloid tipe 2: 1 (Soepardi, 1979).

7.8.4 Masalah Tanah Masam

Pada umumnya tanah-tanah di wilayah tropik basah brekasi masam (Sanchez, 1976). Di Indonesia lebih dari 50% dari luasan lahan 190 juta hektar adalah masam (Satari dan Orvedol, 1968). Oleh karenanya, masalah tanah masam menjadi perhatian utama para pakar tanah negeri ini.

Dari berbagai hasil penelitian tentang tanah masam baik di luar negeri maupun di Indonesia, sudah diketahui sejumlah masalah kemasaman tanah seperti berikut ini:

1. Unsur fosfor (P) kurang tersedia
2. Kekurangan unsur kalsium (Ca) dan magnesium (Mg)
3. Kekurangan unsur molibdium (Mo)
4. Fiksasi N oleh kekacangan terhambat
5. Kandungan mangan (Mn) dan besi (Fe) sering berlebih, sehingga dapat merupakan racun bagi tanaman.
6. Kelarutan aluminium (Al) sering sangat tinggi, sehingga merupakan faktor penghambat tumbuh tanaman yang utama pada tanah masam.

Ke enam masalah tersebut sering diketemukan serempak dan kait berkaitan dalam mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Penambahan unsur-unsur yang kekurangan seperti P, Ca, Mg dan Mo, ataupun N sering tidak bermanfaat pada tanam masam, bila unsur-unsur yang berlebihan seperti Al, Fe dan Mn tidak diatasi. Keadaan ini menimbulkan tanda tanya faktor mana sebetulnya yang menghambat pertumbuhan tanaman. Apakah hambatan itu akibat pH yang rendah atau keracunan Al. hasil penemuan Vlamis (1953) dalam Tabel 7-5 dapat menjawab pertanyaan tersebut.

Tabel 7.5 Aliminium dalam tanah bereaksi masam sebagai penghambat Jelai, Hordemvulgarte, L (Vlamis, 1953)

Perlakuan	pH	Al	Mn	Bobot Jelai		
				Akar	Bagian atas	Jumlah
Ek		ppm		 mg/pot.....		
Ekstraktanah(ET)	4,2	1,8	16	32	107	139
ET+Kapur (Ka)	5,8	0,8	7	152	201	353
ET+Ka+H ₂ SO ₄ (AS)	4,2	0,3	7	125	190	315
ET+Ka+As+Al ₂ (SO ₄) Al	4,2	1,8	8	39	137	176
ET+Ka+As+Al ₂ (S) ₄	4,2	0,3	16	16	216	341

Dari Tabel 7.5 jelaslah bahwa kadar Al yang tinggi dalam media tumbuh menjadi faktor penghambat tumbuh yang utama. Melihat kenyataan ini maka masalah keracunan Al akan ditinjau lebih lanjut.

7.8.5 Keracunan Aluminium

Keracunan tanaman dapat diartikan sebagai berkurangnya potensi tumbuh dan atau komponen produksi dari tanaman tersebut. Hasil penelitian Vlaamis (1953) terhadap tanaman jelai (*Hordeum vulgare* L.) telah membuktikan hal itu dengan sangat meyakinkan. Ia memperoleh bobot kering total jelai sebanyak 139 mg/pot pada kepekatan 1.8 ppm Al dalam larutan dan sebanyak 315 mg/pada kepekatan 0.3 ppm Al, sedangkan pH kedua larutan tersebut dipertahankan sama pada nilai pH 4,2 (Tabel 7.5).

Masalah keracunan Al lebih lanjut telah dipelajari dengan saksama. Dari hasil-hasil penelitian itu terungkaplah bahwa keracunan Al menghambat perpanjangan dan pertumbuhan akar primer, serta menghalangi pembentukan akar lateral dan bulu akar. Sebetulnya pendekatan mengenai masalah kemasaman tanah dan keracunan Al telah dilakukan sebelum tahun 1920 dan pada awal tahun 1930, tetapi belum diperoleh keterangan meyakinkan sampai akhirnya diketahui bahwa keracunan Al menyebabkan pertumbuhan akar terhambat.

Serapan hara dan air dilakukan oleh akar, disamping itu akar juga berperan dalam sintesis beberapa senyawa organik seperti asam glutamin, nikotin dan hormon serta sintesis P organik. Jelaslah bahwa apabila pertumbuhan akar terganggu, serapan hara dan pembentukan senyawa organik tersebut akan terganggu. Sistem perakaran yang terganggu akan mengakibatkan tidak efisiennya akar menyerap unsur hara.

Bila keracunan Al dikaitkan dengan serapan P oleh tanaman, ternyata gejala kekurangan P pada bagian atas tanaman karena P diendapkan oleh Al di akar. Hal itu mengungkapkan adanya interaksi antara Al dan P pada akar tanaman. Ternyata Al berada di dalam sel korteks yang ditempatkan di dalam protoplasma dan inti sel.

Clarkson (1965) berhasil menunjukkan bahwa keracunan Al menghambat pembelahan sel. Dari pengamatannya pada larutan tanpa P ditambahkan Al, ternyata pembelahan sel terhambat, hambatan tersebut dapat diatasi dengan mengganti larutan tanpa Al tetapi ditambah P, nyatalah bahwa Al berpengaruh langsung terhadap fisiologi akar. Keracunan Al tidak saja menghambat pembelahan sel, tetapi juga menghambat sintesis DNA di dalam sel akar.

Penemuan Clarkson (1969) lebih lanjut agaknya dapat memberi keterangan yang memuaskan tentang hambatan pertumbuhan tanaman dan serapan P akibat keracunan Al. Hasil penelitiannya dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) pada kepekatan 10^{-3} M Al-sulfat, perpanjangan akar terus berkurangan dan terhenti setelah 7 jam dan selama periode tersebut rupanya terjadi hambatan pembentukan asam nukleat dan DNA, sedangkan hambatan terhadap pembentukan RNA hanya sedikit; (2) Aluminium menghambat proses fosforilasi, dimana ATP terbentuk, sedangkan heksosafosfat seperti glukosa-6-fosfat dan ADP terhambat, rupanya Al menghambat kegiatan enzim heksokinase seperti fosfatase dan ATP-ase; dan (3) hambatan tersebut secara refleksi mengurangi respirasi, karena gula-6-fosfat merupakan substrat terbentuk karbohidrat dalam proses respirasi. Hambatan pengambilan O_2 terjadi setelah 8 hingga 11 jam pemberian Al. Maka dikatakan bahwa hambatan respirasi adalah efek sekunder dari pengambilan Ca dan ion lainnya yang berkurang, bukan akibat hambatan pembelahan sel. Bila metabolisme fosfat telah dihambat, demikian pula respirasi, maka serapan P akhirnya berkurang.

Clarkson (1969) juga melaporkan bahwa tanaman yang keracunan Al mempunyai akar lateral bergaris tengah sama dengan akar primer berkembang lebar ke arah apikal meristem, akar primer bercabang dekat ujungnya, seterusnya akar sekunder bercabang pula dekat ujungnya dan seterusnya percabangan selalu terjadi dekat ujung akar dengan panjang akar yang semakin berkurang dan semakin gemuk. Akibatnya daya tembus akar ke lapisan tanah yang lebih dalam semakin terhambat.

Dari penelitian Lee (1971) ternyata keracunan Al mengurangi serapan P, Ca, K, Mn, Fe, Cu, dan Zn. Beberapa unsur dirangsang serapannya pada kadar Al misalnya K, Mn, Cu. Serapannya cenderung meningkat pada 1 hingga 2 ppm Al, tetapi semua unsur berkurang serapannya pada 5 ppm Al, kecuali Al nya sendiri, terus meningkat dengan bertambahnya kepekatan Al dalam larutan.

Berdasarkan berbagai hasil penelitian yang telah dikemukakan, kiranya akibat keracunan Al terhadap pertumbuhan tanaman sudah dapat dipahami. Terganggunya sistem perakaran baik morfologi maupun fisiologinya oleh keracunan Al sudah pasti akan mengganggu serapan P dan hara lainnya oleh tanaman. Maka sangatlah beralasan bila dikatakan, bahwa pertumbuhan tanaman yang terhambat dan produksi yang rendah pada

tanah-tanah masam disebabkan oleh pertumbuhan akarnya yang terhambat, akibat keracunan Al. Namun, hal tersebut tidak perlu dikhawatirkan, karena berbagai cara penanganannya telah banyak diperkenalkan, diantaranya adalah menaikkan pH tanah dan meniadakan Al yang meracun dengan **pengapuran**. Pendekatan tersebut akan diuraikan lebih lanjut.

7.9 Tanah Masam dan Pengapuran

Tanah yang ber pH rendah ($\text{pH} < 6$) diklasifikasikan sebagai tanah masam. Tanah ini merupakan tanah yang telah mengalami pencucian berat akibat hancuran iklim yang intensif dan telah lanjut. Oleh karenanya tanah mineral masam di dunia hampir seluruhnya terpusat di wilayah tropik basah.

7.9.1 Potensi Tanah Mineral Masam untuk Pertanian

Jenis Podzolik dan Latosol merupakan tanah yang telah mengalami hancuran iklim lanjut. Agihan kedua jenis tanah tersebut di dunia disajikan dalam Tabel 7-6.

Di Indonesia jenis Podzolik merupakan tanah masam yang dominan (38.401 juta Ha), diikuti oleh Latosol, sebagian Aluvial dan sedikit Podzol. Di samping itu jenis Organosol juga tergolong tanah bereaksi masam, hal ini akan dibahas di bagian lain. Agihan tanah masam di tiap pulau di Indonesia disajikan dalam Tabel 7-7.

Tabel 7.6 Perkiraan lahan masam yang potensial berdasarkan jenis tanah dan benua (Slamet Sitijono, 1982)

Benua	Latosol	Podzolik	Persen terhadap pembukaan lahan
..... (juta Ha)			(%)
Afrika	417,15	8,10	58
Asia	101,25	36,45	22
Australia	12,15	4,05	11
Amerika Utara	16,20	76,95	20
Amerika Selatan	514,35	4,05	75

Dari kedua Tabel tersebut jelaslah bahwa berdasarkan luas lahan, tanah masam mempunyai potensi yang besar untuk perluasan dan peningkatan produksi pertanian, di Indonesia khususnya, di dunia umumnya. Oleh karena itu, kemasaman tanah perlu diatasi, salah satunya dengan pengapuran.

Tabel 7.7 Agihan tanah masam di berbagai pulau di Indonesia (Pusat Penelitian Tanah, 1981 dalam Nurhajati Hakim, 1982)

Pulau	Podzolik	Latosol	Aluvial	Podzol	Organosol
..... (juta Ha)					
Jawa Madura	0,325	2,775	2,550	-	0,025
Sumatera	14,659	6,018	5,682	1,031	8,875
Kalimantan	10,997	4,468	5,744	4,581	6,523
Sulawesi	1,308	2,649	1,562	-	0,240
Nusa Tenggara	-	0,563	0,312	-	-
Maluku	2,406	0,331	0,488	-	10,875
Irian jaya	8,706	0,356	2,575	-	10,875
JUMLAH	38,401	17,160	18,913	5,612	27,063

7.9.2 Tujuan pengapuran

Secara umum pemberian kapur ke tanah dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah serta kegiatan jasad renik tanah. Bila ditinjau dari sudut kimia, maka tujuan pengapuran adalah menetralkan kemasaman tanah dan meningkatkan atau menurunkan ketersediaan unsur-unsur hara bagi pertumbuhan tanaman (Malherbe, 1965). Dalam melakukan pengapuran untuk menetralkan kemasaman tanah perlu dipertimbangkan tentang macam sumber kemasaman dari tanah dan sumber mana yang harus dinetralkan.

Dulu orang beranggapan bahwa pH rendah disebabkan oleh ion H yang larut saja. Dari hasil-hasil penelitian belakangan ini ternyata Al yang dapat dipertukarkan merupakan kation utama dan dominan pada tanah-tanah mineral masam dengan pH 5 atau kurang (Coleman dan Thomas 1967). Sedangkan pada pH 5.6, ternyata kandungan Al dapat dipertukarkan adalah rendah sekali (Kapraht, 1972; Nurhajati Hakim, 1982).

Tujuan pengapuran untuk menaikkan pH menjadi 6,5 di wilayah beriklim sedang, ternyata tidak dapat diterapkan di daerah tropik. Pemberian kapur demikian di daerah tropik sering kali mengganggu produksi, karena itu mengapur tanah tropik mendekati netral tidak perlu. Tujuan pengapuran pada tanah masam di wilayah tropik sebaiknya ditujukan untuk meniadakan pengaruh meracun dari mineral dari aluminium (Al) dan menyediakan hara kalsium (Ca) bagi tanaman.

7.9.3 Bahan Kapur Pertanian

Sejak lama sudah diketahui dua kation yang paling cocok untuk mengurangi kemasaman tanah atau menaikkan pH, yaitu kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Bentuk senyawa yang sesuai dari kedua kation ini untuk tujuan tadi adalah bentuk-bentuk *karbonat, oksida dan hidroksida*. Selanjutnya senyawa-senyawa ini kita sebut kapur pertanian dengan nama kapur karbonat, kapur oksida atau kapur sirih, kapur hidroksida atau kapur tembok. Agar lebih jelas kita ikuti uraian berikut.

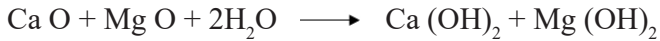
Kapur karbonat, kapur ini diperoleh dengan menggiling batu kapur kalsit (CaCO_3) atau dolomit $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$ hingga kehalusan tertentu. Reaksi kapur ini relatif agak lambat, karena itu dapat bermanfaat dalam waktu yang relatif lama pula. Bahan ini banyak dipakai sebagai kapur pertanian. Di Indonesia endapan batu kapur terdapat hampir diseluruh kepulauan. Sebagian besar terdiri atas kalsit, hanya pada beberapa tempat ditemukan jenis dolomit, yaitu di Jawa Timur (Madiapura, et al, 1977). Kemurnian bahan kapur ini beragam dari 75 hingga 99%, atau rata-rata 94%.

Kapur oksida, kapur ini diperoleh dengan membakar batu kapur klasit atau dolomit, hingga diperoleh kapur bakar atau kapur sirih CaO atau MgO . Setelah batu kapur dibakar sempurna, ia harus disimpan dalam bungkus rapat udara atau kaleng blek. Bahan ini bersifat kaustik karena itu kurang menyenangkan sewaktu memakainya, kemurnian kapur ini berkisar antara 85-95%.

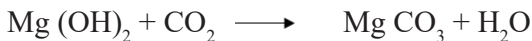
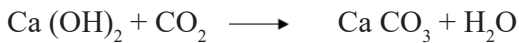
Bahan bakar yang digunakan juga beragam, ada yang dibakar kecil-kecilan menggunakan kayu bakar atau batu bara dan ada juga yang menggunakan blower dengan bahan bakar residu. Batu kapur didekomposisikan oleh panas dengan membebaskan karbon dioksida (CO_2) serta gas lainnya. Reaksi kapur ini jauh lebih cepat dibandingkan dengan kapur giling, oleh karena itu tidak tahan lama dalam tanah. Secara sederhana proses pembakaran batu kapur ini dapat dilukiskan seperti berikut:



Kapur hidroksida, bahan ini dikenal sebagai kapur tembok dan diperoleh dengan menambahkan air pada batu kapur yang sudah dibakar tadi. Reaksi berikut merupakan pembentukan kapur tembok.



Kapur tembok diperdagangkan dalam bentuk tepung putih dan bersifat lebih kaustik daripada kapur oksida. Kemurniannya sekitar 95%. Bahan kapur ini juga mudah membentuk karbonat kembali. Terutama bila berkontak bebas dengan CO_2 udara. Reaksi berikut menunjukkan hal itu.



Reaksi kapur ini dalam tanah juga cepat, karenanya efek sisa yang lama tidak dapat diharapkan.

Senyawa kalsium lainnya. Senyawa kalsium klorida (CaCl_2) dan kalsium sulfat (CaSO_4) ternyata tidak dapat digunakan untuk tujuan pengapuran tadi. Senyawa kalsium dengan sisa asam keras ini ternyata menyumbangkan sejumlah ion H dan sisa asamnya kedalam larutan tanah. Oleh karenanya larutan tanah menjadi lebih masam. Bahan ini dapat digunakan orang untuk tujuan menambahkan unsur Ca sebagai hara tanaman, tetapi tidak mengubah pH tanah.

7.9.4 Jaminan Mutu Kapur Pertanian

Mutu kapur dalam hal ini meliputi kandungan CaO dan MgO atau ekuivalen CaO, daya netralisasi, serta kehalusan bahan kapur. Oleh karena banyaknya macam kapur yang diperdagangkan, maka jaminan mutu kapur menjadi sangat penting bagi keperluan pertanian.

Mutu kimia, analisis kimia bahan kapur biasanya ditunjukkan untuk mengetahui kadar CaO dan MgO yang kemudian dapat dinyatakan dalam satuan ekuivalen CaO, berdasarkan daya netralisasi CaCO_3 yang mengandung CaO 56% adalah 100, maka daya netralisasi kapur lainnya dapat ditentukan. Konversi-konversi CaO menjadi MgO menjadi CaCO_3 atau MgCO_3 serta sebaliknya dapat dihitung dengan mudah berdasarkan sifat ekuivalen dan bobot molekulnya, dalam Tabel 7-8 disajikan mutu kimia dari bahan kapur.

Sebagai contoh perhitungan, kapur oksida dapat dijelaskan. Kapur oksida mengandung $\text{CaO} = 77\%$ dan $\text{Mg} = 18\%$. Kadar $\text{MgO } 18\% = (18 \times 1.389)$ dan $\text{CaO} = 25\%$. Dengan demikian ekuivalen kapur oksida dengan CaO adalah $77\% + 25\% = 102\%$. Daya netralisasi CaCO_3 yang mengandung $\text{CaO } 56\%$ adalah 100% , maka daya netralisasi kapur oksida $= 102/56 = 182.1\%$. Dengan contoh ini dapat diartikan bahwa tiap 100 kg kapur oksida (kapur sirih) mempunyai daya netralisasi sama dengan 182.1 kg CaCO_3 murni

Selanjutnya mutu kimia dari berbagai endapan kapur yang terdapat di berbagai pulau di Indonesia disajikan dalam Tabel 7-9. Dari Tabel itu terlihat suatu Gambaran bahwa batu kapur tersebar hampir diseluruh provinsi di Indonesia. Kapur pertanian sebaiknya bermutu ekuivalen CaO tidak kurang dari 50% .

Tabel 7.8 Mutu kimia dari bahan kapur dagangan yang dinyatakan dalam berbagai cara (Soepardi, 1979 yang dilengkapi)

Bahan kapur dagangan	Persentase CaO dan MgO		Ekuivalen $\text{CaO}^*)$	Daya netralisasi	Persentase elemen	
Kalsit murni	$\text{CaO} = 56$		56,0	100	$\text{Ca} = 40$	
(kapur giling)	$\text{MgO} = 0$				$\text{Mg} = 0$	
Kapur oksida	$\text{CaO} = 77$		102,0	182,1	$\text{Ca} = 55,0$	
	$\text{MgO} = 18$				$\text{Mg} = 10,8$	
Kapur	$\text{CaO} = 60$		76,7	136,9	$\text{Ca} = 42,8$	
hidroksida	$\text{MgO} = 12$				$\text{Mg} = 7,2$	
*) Konversi	MgO	$\text{CaO} = 1,389$		MgCO_3	$\text{CaO} = 0,664$	
	CaCO_3	$\text{CaO} = 0,560$		MgCO_3	$\text{CaCO}_3 = 1,186$	
	CaO	$\text{CaCO}_3 = 1,789$		MgCO_3	$\text{Mg} = 0,288$	
	CaCO_3	$\text{Ca} = 0,400$		Ca(OH)_2	$\text{CaO} = 0,823$	

Sebagai contoh perhitungan, kapur oksida dapat dijelaskan. Kapur oksida mengandung $\text{CaO} = 77\%$ dan $\text{Mg} = 18\%$. Kadar $\text{MgO } 18\% = (18 \times 1.389)$ dan $\text{CaO} = 25\%$. Dengan demikian ekuivalen kapur oksida dengan CaO adalah $77\% + 25\% = 102\%$. Daya netralisasi CaCO_3 yang mengandung $\text{CaO } 56\%$ adalah 100% , maka daya netralisasi kapur oksida $= 102/56 = 182.1\%$. Dengan contoh ini dapat diartikan bahwa tiap 100 kg kapur oksida (kapur sirih) mempunyai daya netralisasi sama dengan 182.1 kg CaCO_3 murni

Selanjutnya mutu kimia dari berbagai endapan kapur yang terdapat di berbagai pulau di Indonesia disajikan dalam Tabel 7-9. Dari Tabel itu terlihat suatu Gambaran bahwa batu kapur tersebar hampir diseluruh provinsi di Indonesia. Kapur pertanian sebaiknya bermutu ekuivalen CaO tidak kurang dari 50% .

Kehalusan. Mutu bahan kapur berdasarkan kehalusan akan menentukan cepat lambatnya reaksi kapur dalam tanah. Hal mana sangat bergantung pada tingkat kelarutan bahan kapur tersebut. Pada Gambar 7-9 ditunjukkan persentase bahan kapur yang bereaksi dengan tanah setelah 3 bulan menurut kehalusan dan macamnya.

Sebaliknya kehalusan kapur karbonat giling perlu sekali mendapat perhatian karena ia dapat dihasilkan dalam berbagai ukuran. Ukuran kehalusan yang dipakai biasanya adalah mesh. Bila ukuran 100 mesh , artinya ada 100 lubang tiap inci saringan (garis tengah dari ukuran $100\text{mesh} = 0,0058 \text{ inci}$). Kapur pertanian yang disarankan di Indonesia adalah 100% lolos dari saringan 20 mesh dan 50% lolos dari saringan $80 - 100 \text{ mesh}$.

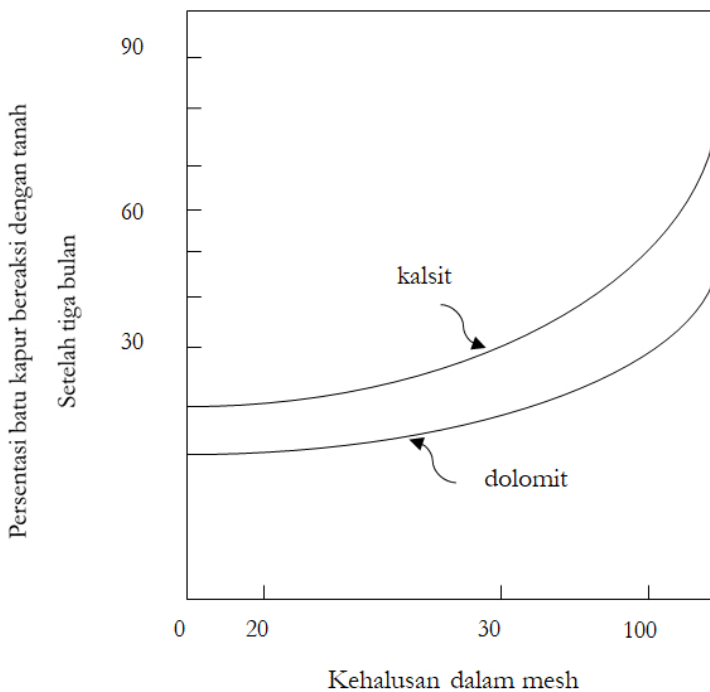
Tabel 7.9 Kisaran kadar Cao, MgO dan senyawa penghambat batu kapur
(Madiapura, et. al 1977)

Propinsi	CaO	MgO	Al ₂ O ₂
	%.....		
Jawa Barat	43,43-56,00	0,25-5,58	0,06-10,48
Jawa Tengah	45,68-56,00	0,02-1,48	0,03-6,01
Jawa Timur	27,00-55,70	0,10-18,30	0,01-2,98
Aceh	27,33-55,80	0,06-9,72	0,07-7,82
Sumatera Utara	53,00-55,35	0,01-0,50	0,20
Sumatera Barat	49,08-55,96	0,11-1,91	0,10-2,19
Riau	-*/	-	-
Jambi	-	-	-
Bengkulu	-	-	-
Lampung	53,51-55,32	0,29-2,19	0,31-2,02
Sumatera Selatan	49,36-53,90	0,45-0,95	0,02-0,65
Kalimantan Barat	-	-	-
Kalimantan Tengah	-	-	-
Kalimantan Timur	-	-	-
Kalimantan Selatan	55,36	0,08	0,43
Sulawesi Selatan	53,00	1,00	-
Sulawesi Tengah	-	-	-
Sulawesi Utara	50,00	1,00	-
Sulawesi Tenggara	-	-	-
Bali	-	-	-
Nusa Tenggara Barat	54,00	0,32	0,49
Nusa Tenggara Timur	-	-	-
Maluku	-	-	-
Irian Jaya	33,32-54,00	0,45-17,57	0,29-2,40

*/ Belum ada keterangan

Dari Gambar 7-9 jelaslah bahwa semakin halus bahan kapur semakin banyak jumlah yang bereaksi. Disini juga tampak bahwa kalsit bereaksi lebih cepat daripada dolomit. Kapur kaustik seperti Ca(OH)_2 merupakan kapur yang terjamin kehalusannya. Ukuran halus diharapkan dapat bermanfaat dalam waktu dekat, sedangkan yang agak kasar akan bermanfaat dalam waktu lama. Kombinasi kapur halus dengan agak kasar jauh lebih murah harganya daripada kapur halus. Oleh karenanya, akan terjangkau oleh keuangan petani. Disamping itu manfaatnya dapat dinikmati lebih lama. Pada Tabel 7-10 disajikan perbandingan reaksi dari berbagai kehalusan bahan kapur. Kehalusan yang berbeda tidak saja menyebabkan reaksi tanah berbeda, tetapi juga mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman

Mutu kimia yang sama dari kehalusan yang berbeda akan memberikan efek berbeda. Kapur pertanian hendaklah memenuhi persyaratan kehalusan yang disebutkan tadi.



Gambar 7.9 Hubungan antara kapur dolomit dan kalsit dengan kecepatan reaksi setelah 3 bulan dicampur dengan tanah (Schollenberger dan Salter 1943, dalam Soepardi, 1979)

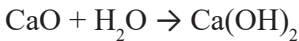
Tabel 7.10 Perbandingan berbagai kehalusan bahan kapur bila diberikan dalam jumlah yang sama (White, 1917 dalam Sopeardi, 1979)

Keadaan	10 mesh atau lebih inchi	60 – 80 mesh	20 – 40 mesh	8 – 12 mesh
Kelarutan dalam air mengandung CO ₂	100	57	45	28
Nilai memperbaiki kemasan	100	57	27	18
Pembentukan nitrat	100	94	56	12
Pertumbuhan tanaman	100	69	22	5

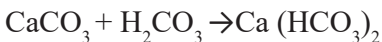
7.9.5 Netralisasi Kemasaman dengan Kapur

Mekanisme reaksi kapur dengan tanah masam adalah komplit. Tingkat netralisasi dan hasil akhir dari reaksinya tidak diketahui secara pasti. Bila kapur diberikan ke dalam tanah, kemungkinan ia bereaksi dengan air, dengan air mengandung CO₂ dan dengan koloid tanah.

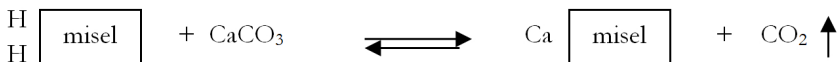
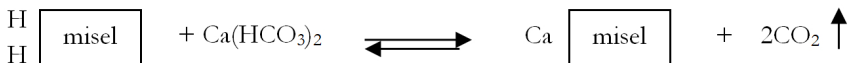
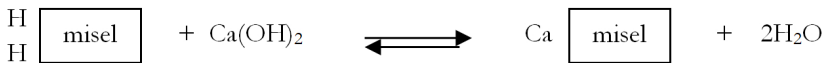
Reaksi kapur dengan H₂O antara lain sebagai berikut:



Reaksi dengan H₂CO₃ adalah



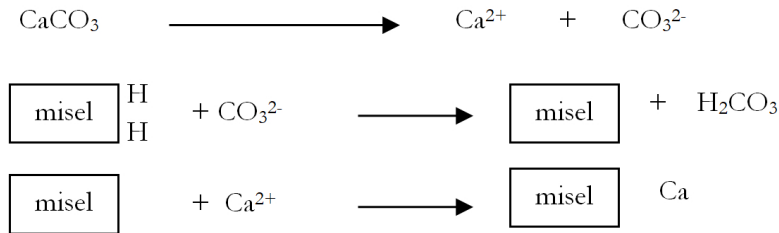
Reaksi dengan koloid (misel)



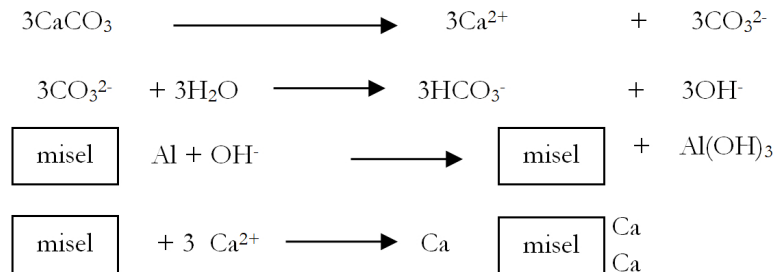
Kussow (1971) mengemukakan bahwa bahan penting dari kapur dalam menetralkan kemasaman adalah CO₃²⁻ dan OH⁻ yang dihasilkannya. Ion CO₃²⁻ mempunyai kemampuan dalam menarik ion H dari koloid tanah

(kompleks jerapan). Sedangkan untuk mengusir Al dari kompleks jerapan diperlukan ion OH^- . Setelah ion Al bersenyawa dengan OH membentuk gipsit $\text{Al}(\text{OH})_3$ barulah misel ditempati oleh Ca. melalui kedua proses itu terjadilah netralisasi kemasaman, baik yang bersumber dari ion H, amupun dari ion Al. Secara sederhana reaksinya dapat dilukiskan sebagai berikut:

Sumber kemasaman Ion H:



Sumber kemasaman ion Al



7.9.6 Pengaruh Kapur Terhadap Sifat dan Ciri Tanah

Dari pengalaman penelitian bertahun-tahun baik diluar negeri maupun di Indonesia sendiri, diketahuilah bahwa pemberian kapur ke dalam tanah masam tidak saja memperbaiki sifat kimia tanah, tetapi juga mempengaruhi sifat fisika dan biologi tanah.

Kimia tanah. Pengaruh kapur yang menonjol terhadap kimia tanah adalah berupa naiknya kadar Ca dan pH tanah, sehingga reaksi tanah mengarah ke netral. Di lain pihak terjadi penurunan Al-dd dan kejenuhan Al.

Kejenuhan $\text{Al} = \text{Al}/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Al})$ (Tabel 7-11).

Biologi tanah. pengaruh langsung terhadap biologi tanah juga kurang jelas. Akan tetapi, dengan naiknya pH tanah dan tersedianya beberapa hara yang dibutuhkan biologi tanah menyebabkan jasad hidup ini lebih mudah memperoleh energi dan materi dalam jumlah banyak. Sejalan dengan hal itu, populasi dan aktivitas mereka pun meningkat dengan penambahan kapur.

Tabel 7.11 Perubahan berbagai ciri kimia tanah oxisol pada dua kedalaman yang diberi berbagai takaran kapur setelah lima kali panen di Cerrado Brazil (Lathwell, 1979)

Takaran Kapur (ton / ha)	Kedalaman contoh (cm)	pH		Al-dd		Kejenuhan Al	
		1972	1976	1972	1976	1972	1976
				 me/100g		 %	
0	0 – 15	4,9	4,2	0,95	1,48	70	78
	15 – 30	4,7	4,1	0,90	1,25	72	71
1	0 – 15	5,0	4,4	0,60	0,89	39	44
	15 – 30	4,7	4,4	0,75	0,90	65	51
2	0 – 15	5,5	4,8	0,45	0,64	19	25
	15 – 30	4,7	4,6	0,90	0,80	27	44
4	0 – 15	6,4	4,9	0,10	0,36	4	13
	15 – 30	4,8	4,7	0,85	0,69	71	33
8	0 – 15	7,0	5,7	0,00	0,02	0	1
	15 – 30	4,7	4,9	0,80	0,36	67	15

7.9.7 Pengaruh Kapur Terhadap Tanaman

Pengaruh kapur terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman dapat ditinjau dari dua segi, (1) pengaruh langsung, yaitu kapur sebagai sumber hara Ca dan Mg, dan (2) pengaruh tidak langsung, yaitu berupa perbaikan-perbaikan sifat dan ciri tanah yang telah dikemukakan.

Pengaruh langsung, keterangan mengenai Ca dan Mg sebagai pupuk adalah langka karena kekurangan kedua unsur ini sukar dipisahkan dengan kelebihan Al, Fe dan Mn. Sekiranya kandungan Al, Fe dan Mn tidak mengganggu, maka kebutuhan Ca dan Mg sebagai hara tidak banyak. Kebutuhan tanaman akan berbeda-beda terhadap kedua unsur itu. Jenis berpolong seperti kacang tanah memerlukan kapur lebih banyak. Jadi, adanya tambahan kapur jelas akan menambah jumlah Ca dan Mg sebagai hara tanaman.

Pengaruh tidak langsung. Perbaikan-perbaikan ciri kimia seperti pH, Ca, P dan hara lainnya yang meningkat, Al-dd dan kejenuhan Al yang berkurang akibat penambahan kapur menciptakan suasana tumbuh yang sangat baik bagi akar. Lingkungan tumbuh yang baik itu memungkinkan akar menjadi lebih luas. Serapan hara menjadi lebih baik dan efisien, sehingga pertumbuhan menjadi lebih baik.

Meningkatnya serapan hara, akibat perbaikan sifat dan ciri tanah dengan kapur ini akan menyebabkan pertumbuhan dan produksi tanaman akan meningkat pula. Hal ini diperlihatkan dalam Tabel 7-12.

Tabel 7.12 Pengaruh berbagai takaran kapur terhadap produksi berbagai tanaman pangan pada tanah Podzolik di Indonesia (Nurhajati Hakim, 1983)

CaCO setara Al-dd	Biji kacang tanah	Polong Kacang Kedelai	CaCO ₃ se- tara Al-dd	Biji Jagung	Gabah Padi Gogo
.....g/pot.....				kg/Ha.....	
0,00	1,8	0,00	0,00	2040	925
0,25	15,9	18,26	0,50	4190	+
0,50	17,8	21,64	1,00	4390	+
0,75	15,9	25,53	1,25	+	2406
1,00	+	44,01	1,50	5086	+

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa setiap jenis tanaman membutuhkan jumlah kapur yang berbeda. Hal ini berkaitan erat dengan sifat toleransi dari masing-masing tanaman terhadap persen kejenuhan Al. Tanaman kedele dan kacang lainnya toleran hingga 20% kejenuhan Al, sedangkan jagung hingga 40% (Kamprath, 1970). Tanaman padi lebih toleran, ia tahan hingga 60% kejenuhan Al.

7.9.7 Penentuan kebutuhan kapur

Kebutuhan kapur, dari pembahasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa pemberian kapur memperbaiki keadaan tanah sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik. Masalahnya sekarang ialah bagaimana cara menentukan berapa banyaknya kapur yang harus ditambahkan agar lingkungan pertumbuhan dalam tanah menjadi sebaik-baiknya bagi tanaman.

Kamprath (1970) menyarankan agar pengapuran tanah di daerah tropik di dasarkan atas jumlah kapur yang di perlukan untuk meniadakan pengaruh racun aluminium (Al) dan menyediakan unsur kalsium (Ca). Sitorus, Leiwakabessy dan Soepardi (1974) untuk pertama kalinya menerapkan Al-dd (Al dapat dipertukarkan) sebagai tolak ukur kebutuhan kapur pada tanah mineral masam di Indonesia. Kacang tanah, jagung

dan kedele berturut-turut dapat mencapai pertumbuhan maksimum nya pada pH 5.2, 5.5 dan antara 5.5 sampai 6.0, atau pada persen kejenuhan aluminium 40 dan 20 persen (Adam dan Pearson, 1967).

Dengan demikian, penentuan banyaknya kapur yang harus diberikan, didasarkan pada dua hal, pertama, tanaman yang akan diusahakan, dan kedua, berapa banyaknya Al harus kita tekan agar dicapai pertumbuhan maksimum. Dengan kata lain tanah dan tanaman yang akan digunakan perlu diperhatikan.

Dari hasil uji korelasi antara berbagai ciri tanah, kebutuhan kapur, pertumbuhan tanaman, serta produksi tanaman yang diteliti Slamet Setijono (1982) diperoleh hasil kebutuhan kapur untuk perubahan nilai pH sampai 5.2, 5.5 dan 6.0. Perkiraan jumlah kapur didasarkan atas jumlah Al-dd yang terdapat dalam tanah. Jumlah Al-dd yang dikendalikan kapur ditujukan untuk mencapai pH tertentu yang paling sesuai untuk pertumbuhan tanaman tertentu pula. Rumus kebutuhan kapur (KK) yang disarankan oleh Slamet Setijono (1982) dan telah disederhanakan adalah:

1. Untuk menaikkan nilai pH tanah menjadi 6.0

Kebutuhan kapur (ton/Ha) = $2.1 \times \text{Al-dd}$ atau sama dengan 2.1 ton CaCO_3/Ha tiap me Al-dd/100 g.

2. Untuk menaikkan nilai pH tanah menjadi 5.5

Kebutuhan kapur (ton/Ha) = $1.5 \times \text{Al-dd}$ sama dengan 1.5 ton CaCO_3/Ha tiap 1 me Al-dd/100 g.

3. Untuk menaikkan nilai pH tanah menjadi 5.2

Kebutuhan kapur (ton/Ha) = $1.2 \times \text{Al-dd}$, atau sama dengan 1.2 ton CaCO_3/Ha tiap 1 me Al-dd/100g.

Perlu dicatat bahwa perhitungan ini hanya berlaku untuk kedalaman tanah 20cm yang akan dikapur.

Kapur untuk perbaikan dan perawatan. Perbaikan dan perawatan nilai pH tanah dengan kapur sebenarnya berarti usaha untuk mengendalikan unsur Al yang sangat mengganggu pertumbuhan dan produksi tanaman. Di samping itu juga ditujukan untuk mengusahakan dan mempertahankan kebaikan-kebaikan yang diperoleh dari pengapuran, antara lain ketersediaan unsur hara yang baik dan tingkat efesiensi serapan hara yang menguntungkan.

Usaha menaikkan pH dari nilai asal ke nilai baru yang cocok untuk menunjang pertumbuhan maksimum dinamakan perbaikan, sedangkan pemberian kapur selanjutnya didasarkan atas besarnya perubahan nilai pH ditinjau dari nilai pH yang cocok disebut perawatan. Usaha perbaikan sebaiknya dilakukan segera begitu kita mengusahakan tanah.

Masalah yang timbul sekarang ialah secepat kapan kita harus melakukan perawatan. Sebenarnya belum diketahui secara pasti. Akan tetapi dapat diperkirakan bila batu kapur giling dengan ukuran 100% lolos saringan 20 mesh dan 50% melewati 80-100 mesh yang digunakan, maka perawatan dapat dilakukan 4 sampai 5 tahun setelah usaha perbaikan. Jumlah kapur yang harus diberikan sebagai tindakan perawatan kira-kira 10 sampai 15 persen dari jumlah yang diberikan untuk perbaikan (pertama kali).

Cara pemberian kapur, cara pengapuran merupakan satu faktor yang menentukan tingkat keberhasilan dan keefisienan pengapuran itu. Di antara sekian banyak faktor, yang penting untuk diperhatikan adalah (a) macam dan kualitas bahan kapur, (b) kehalusan bahan kapur, dan (3) waktu dan cara pemberian, macam dan kualitas serta kehalusan kapur telah dijelaskan.

Bilakah bahan kapur itu harus diberikan ke dalam tanah? Jawabannya tidak lain adalah : secepatnya. Bilamana dalam pola pergiliran tanaman terdapat jenis-jenis tanaman yang sensitif terhadap keracunan aluminium, seyogianya pemberian dilaksanakan jauh sebelum tanaman itu ditanam dan dalam musim labuan (menjelang musim hujan).

Pada dasarnya kapur diberikan pada tanah bila diperkirakan hujan tidak akan turun pada saat pemberian kapur. Setelah kapur disebar rata diatas permukaan tanah, maka harus segera disusul dengan pembajakan/ pencangkulan untuk mempercepat terjadinya reaksi dengan tanah. Semakin dalam pencampuran bahan kapur dengan tanah semakin baik pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman, khususnya tanaman yang peka terhadap keracunan Al, karena kandungan Al yang tinggi di lapisan tanah yang lebih dalam akan menghalangi masuknya akar tanaman. Dengan mencampur kan kapur sedalam-dalamnya juga berarti meningkatkan kemampuan tanaman terhadap kekeringan dan dengan sendirinya unsur-unsur hara yang diserap akan besar pula.

7.10 Ringkasan

Koloid tanah yang terdiri atas liat dan bahan organik merupakan dasar dari terjadinya penjerapan (adsorpsi) dan pertukaran ion dalam tanah. Koloid liat terdiri atas mineral liat silikat kristalin dan amorf serta mineral liat bukan silikat. Sifat koloid liat tersebut antara lain adalah:

- a. Berbentuk kristal umumnya
- b. Mempunyai permukaan yang luas karena itu reaktif
- c. Bermuatan negatif karena menyerap kation
- d. Juga ada bermuatan positif karena itu menyerap anion
- e. Menjerap dan mempertukarkan ion, serta menyerap air
- f. Mudah mengalami substitusi isomorfik sehingga bermuatan negative (-)
- g. Merupakan suatu garam yang bersifat masam.

Koloid organik (humus) mempunyai daya jerap kation dan air serta kapasitas tukar kation yang lebih besar daripada liat. Muatan koloid organik tergantung pada pH. Koloid ini tidak kristalin, tidak semantap liat dan mudah dihindarkan.

Penentuan kapasitas tukar kation (KTK) tanah adalah penting karena akan menentukan jumlah kapur atau pupuk yang akan diberikan. Juga menentukan kemampuan tanah dalam menyerap dan menyediakan hara bagi tanaman.

Besarnya kapasitas tukar kation dipengaruhi oleh :

- a. Reaksi tanah, semakin tinggi pH semakin tinggi KTK
- b. Tekstur tanah, makin tinggi kadar liat makin tinggi KTK
- c. Jenis liat, KTK liat tipe 2 : 1 lebih besar daripada liat 1 : 1
- d. Kadar bahan organik, makin tinggi bahan organik makin tinggi KTK
- e. Pengapuran dan pemupukan kation, menaikkan pH.

Persen kejenuhan basa (KB) yang merupakan perbandingan antara kation basa dengan KTK, berkorelasi erat dengan pH dan iklim. Dimana KB tanah beriklim kering akan lebih besar daripada KB tanah beriklim basah, demikian pula KB tanah ber pH tinggi lebih besar dari pada KB tanah ber pH rendah.

Besaran KTK tanah mempengaruhi ketersediaan hara bagi tanaman. Tanah ber KTK tinggi dapat menyerap hara lebih banyak, tetapi agak sukar melepaskannya ke dalam larutan. Sehingga, sukar tersedia bagi tanaman karenanya diperlukan pupuk yang lebih banyak. Tanah ber KTK rendah, menyimpan hara sedikit, tetapi mudah melepaskannya ke dalam Larutan, sehingga mudah tersedia bagi tanaman.

Reaksi tanah tidak mudah berubah drastis karena ada suatu penyangga dalam tanah yang terdiri atas koloid liat dan organik (campuran asam Lemak dengan garamnya). Berbeda jumlah liat atau berbeda jenisnya akan berbeda pula kapasitas sangganya. Demikian pula bila jumlah bahan organik berbeda. Terdapat korelasi yang erat antara kapasitas sangga tanah dengan KTK tanah.

Reaksi tanah dikategorikan tiga tingkatan yaitu, masam ($\text{ion H}^+ > \text{ion OH}^-$), netral ($\text{ion H}^+ = \text{ion OH}^-$), dan basa ($\text{ion H}^+ < \text{ion OH}^-$) yang kemudian dinyatakan dalam berbagai nilai pH tanah. Nilai pH tanah adalah minus log konsentrasi H (H) tanah. Kisaran pH pada tanah mineral umumnya pH 3,5 – pH 10 atau lebih. Untuk tanah gambut masam pH bisa $< 3,0$ dan untuk tanah alkalin pH bisa $> 11,0$. kisaran pH di wilayah basah antara sedikit dibawah 5 hingga sedikit dibawah 7. Kisaran pH wilayah kering antara sedikit dibawah 7 hingga mendekati 9.

Pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh pH tanah baik langsung maupun tidak langsung. Setiap kelompok jenis tanaman membutuhkan pH tertentu untuk pertumbuhan dan produksinya yang maksimum. Nilai pH tanah mempengaruhi ketersediaan N, P, K, Ca, Mg, dan unsur mikro serta kelarutan unsur yang beracun seperti Al dan Mn. Disamping itu, juga mempengaruhi kehidupan jasad mikro dalam tanah. Pada pH rendah Ca, Mg dan P kurang tersedia, sedangkan unsur mikro tersedia, tetapi unsur Al yang meracun sangat tinggi. Pada pH tinggi Ca, Mg, tersedia sedangkan P dan unsur mikro juga kurang tersedia tetapi unsur Al yang meracun dapat ditiadakan.

Nilai pH tanah terutama dipengaruhi oleh sifat koloid tanah (liat dan organik), kejenuhan basa, jenis kation yang terjepit, serta faktor lingkungan lainnya. Pencucian basa-basa dan hidrolisis Al di daerah tropika basah merupakan penyebab utama kemasaman tanah. Disamping ion H dan Al hasil dekomposisi bahan organik dan oksidasi senyawa pirit juga menimbulkan reaksi tanah yang masam. Kemasaman aktif dicirikan oleh

ion H dalam larutan tanah, sedangkan kemasaman cadangan ditunjukkan oleh ion H dan Al yang terjerap pada kompleks jerapan, Masalah tanah masam antara lain adalah ; kurang tersedianya unsur P, Ca, Mg dan Mo ; fiksasi N terhambat ; serta kelebihan unsur Al dan Fe serta Mn sehingga meracuni tanaman.

Keracunan Al merupakan penyebab utama pertumbuhan yang buruk pada tanah masam, karena Al menyebabkan pertumbuhan dan perpanjangan akar terhambat ; pembentukan akar lateral dan bulu akar terhalang; mengurangi pembentukan DNA, RNA dan ADP serta menghambat pembelahan sel ; mengurangi serapan hara P, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu dan Zn.

Gejala keracunan Al antara lain adalah ; akar tumbuh gemuk pendek ; dinding sel akar menebal dan kaku ; akar cabang sedikit dan tanpa bulu akar ; akar cenderung tumbuh ke atas ; pertumbuhan bagian atas sangat buruk ; daun muda sukar membuka dan sering mudah gugur ; semuanya itu menyebabkan produksi rendah atau tidak berproduksi sama sekali.

Tanah masam cukup potensial untuk perluasan dan peningkatan produksi pertanian di daerah Tropika basah, tetapi ia memerlukan pengapuran. Tujuan pengapuran ialah untuk menaikkan pH, meniadakan Al yang meracun dan menyediakan Ca dan atau Mg sebagai hara.

Bahan kapur pertanian ada 3 macam, yaitu CaCO_3 atau $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, CaO atau MgO dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Kapur yang disarankan adalah CaCO_3 atau $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ yang digiling dengan kehalusan 100% melewati saringan 20 mesh dan 50% melewati saringan 80 – 100 mesh. Pemberian kapur dapat menaikkan pH, kadar Ca dan beberapa hara lainnya, serta menurunkan Al-dd dan kejenuhan Al, juga memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Pemberian kapur yang menyebabkan sifat dan ciri tanah membaik, meningkatkan produksi tanaman (padi gogo, jagung, kedele, kacang tanah).

Kebutuhan kapur untuk mencapai pH 6.0 atau untuk kedele dan kacang lainnya adalah 2,1 ton CaCO_3/Ha tiap 1 me Al-dd/100 g tanah. Untuk mencapai pH 5,5 atau untuk tanaman jagung, sebanyak 1,5 ton CaCO_3/Ha atau tiap 1 me Al-dd/100g tanah. Untuk mencapai pH 5,2 atau untuk tanaman padi, sebanyak 1,2 ton CaCO_3/Ha tiap me Al-dd/100g tanah.

Daftar Bacaan

- Adams, F and Pearson R.W, 1967, Corp Response to Line, in The Southern United States and Puerto Rico; in Pearson R.W and Adams F, Ed. Soil Acidity and Liming, Amer. Soc. Agron 12.
- Glarkson, D.T, 1965, The Effect of Aluminium and Othere Trivalent Metal Cations on Cell Devision In The Root Apices of Allium Ceba, Ann. Bot. N.S.29.
- 1969, Metabolic Aspect of Aluminum Toxity and Some Possible Meachanisme for Resistance, in Rorison I.H, Ba. Ecological Aspects of The Mineral Nutrition of Plant, British, Ecol. Soc. Symp.9 Blackwell Sci. Publ. Oxford.
- Coleman,N.T and Thomas, G.W., 1967, The Basic Chemistry pf Soil Acidity, in pearson R.W and Adams F, ed, Soil Acidity and Liming. Amer. Soc. Agron. 12.
- Kamprath, E.J. 1970 Exchangeable Al as a Criterion for Liming Leached Mineral Sois, Soil Sci. Sos. Amer. Proc. 34
- , 1972, Soil Acidity and Liming, in Soil of Humid Tropics. Nat. Acad. Sci. Washinton.
- Kussow, W.R. 1971. Introduction to Soil Chemistry; Soil Fertility Project; Dept. Ilmu Tanah Fakulktas
- Lathwell D.J. 1979, Corp Response to Liming of ultisol and Oxisols; Cornell Int. Agric. Bull 35, Cornell Univ. Ithaca N. Y.
- Lee, C.R. 1971. Influence of Aluminum on Plant Growth and Mineral Nutrition of Potatoes. Agron J. 63.
- Madiapura, T. Amir, dan Zulfahmi, 1977. Batugamping dan Dolomit di Indonesia, Publikasi Tebnik, seni Geologi Ekonomi 8: 1 - 14 Dit Geologi Dep. Per-tambangan.
- Malherbe, I de.V. 1964. Soil Fertelity; Fifth ed.Oxford University Press London.
- Nurhajati Hakim, 1982. Pengaruh Pemberian Pupuk Hijau dan Kapur pada Podzolik Merah Kuning Terhadap Ketersediaan Fosfor dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L). Disertasi Doktor Fakultas Pasca Sarjana, IPB - Bogor.

- 1983. Pengapuran adalah suatu Teknologi Tepat Guna untuk Meningkatkan Produksi Pangan di Pedesaan, Seminar IPTEK di Semarang 24 - 29 Januari.
- Sanchez, P.A, 1976, Properties and Management of Soil The Tropic, John Wiley and Sons, N.Y.
- Slamet Setijono S, 1982. Lime Estimate of Some Indonesia Acid Mineral Soil and Its Significance to Group Production, Thesis Doctor, Fakultas Pasca Sarjana IPB - Bogor.
- Soepardi G, 1979. Sifat dan Ciri Tanah, Saduran dari The Nature and Properties of Soils, by Brady, 1975.
- Viamis, J. 1953. Acid Soil Infertility as Related to Soil Solution and Soil Phase Effects, Soil Sci-75.

Contoh Soal Untuk Pendalaman Materi

1. Kenapa liat yang berukuran 1 mikron dan humus bersifat koloidal?
2. Mengapa bahan koloid tanah tersebut dapat menyerap dan mempertukarkan ion?
3. Coba pula jelaskan kenapa kation Al dan Ca adalah dominan pada kompleks jerapan?
4. Mengapa pengaruh campuran antara koloid liat dan organik jauh akan lebih baik daripada pengaruhnya sendiri-sendiri?
5. Coba jelaskan tentang faktor-faktor yang mempengaruhi KTK suatu tanah.
6. Kenapa KB suatu tanah berkaitan erat dengan iklim dan pH Tanah?
7. Jelaskan pula mengapa tanah yang ber KTK kecil tidak boleh dipupuk kation dalam jumlah yang banyak?
8. Mengapa penyediaan hara tanaman lebih sukar pada tanah ber KTK tinggi?
9. Coba anda jelaskan peranan masing-masing faktor yang mempengaruhi kapasitas sanggaan tanah?
10. Kenapa tanah di wilayah basah cenderung ber pH rendah, sedangkan di wilayah kering cenderung ber pH tinggi?

11. Mengapa unsur Ca, Mg dan P kurang tersedia pada pH rendah, sedangkan unsur mikro kecuali Mo tersedia dan unsur Al sangat tinggi?
12. Faktor apa sebenarnya yang menyebabkan pertumbuhan dan produksi tanaman sangat ditentukan oleh pH tanah?
13. Benarkah kelarutan Al merupakan penyubang kemasaman tanah? berikan alasan anda.
14. Mana yang lebih berbahaya antara kemasaman aktif dan kemasaman cadangan? Jelaskan alasannya.
15. Kenapa pertumbuhan tanaman menjadi buruk dan produksi menjadi rendah pada tanah masam?
16. Kenapa pengapuran pada tanah masam di tropik basah bertujuan untuk menaikkan pH dan meniadakan Al yang larut?

BAB VIII

HUBUNGAN HARA TANAH DAN TANAMAN

8.1 Dasar –Dasar Pengharaan

Untuk pertumbuhan dan perkembangan suatu tanaman dipengaruhi oleh faktor-faktor tanah, iklim dan tanamannya sendiri, yang semuanya saling berkaitan erat satu sama lain. Beberapa faktor ada yang dapat dikontrol oleh manusia dan ada pula yang sedikit bahkan ada yang tidak dapat dikontrol sama sekali. Sebagai contoh yaitu faktor cahaya, temperatur dan udara hanya sedikit saja yang dapat dikontrol oleh manusia. Sedangkan faktor unsur hara dapat ditingkatkan kesediaannya dalam tanah dengan jalan memperbaiki kondisi tanah sedemikian rupa atau dengan pemupukan.

Kapasitas tanah menyediakan unsur hara bagi pertumbuhan tanaman adalah relatif terbatas dan sangat tergantung pada sifat dan ciri tanah tersebut. Keadaan ini sering menimbulkan problema dalam meningkatkan produksi tanaman. Disamping itu pertumbuhan tanaman juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yang erat kaitannya dengan tanah. Tanaman tingkat tinggi mempunyai kebutuhan primer yang relative sama untuk tumbuh yaitu (1) cahaya (2) panas, (3) udara, (4) air dan (5) unsur hara. Tanah pun memegang peranan dalam hal pengaturan temperatur baik di sekitar akar maupun pada bagian atas tanah.

8.1.1 Peranan suhu tanah terhadap pertumbuhan tanaman

Terdapat suatu hubungan yang erat antara pertumbuhan akar bertambah dengan naiknya suhu dari minimum sampai optimum dan selanjutnya menurun dengan naiknya suhu. Disamping itu, suhu juga berpengaruh terhadap absorpsi air dan hara. Pada suhu rendah absorpsi air terhalang, demikian juga bila suhu tinggi. Walaupun hal ini tidak sama untuk semua jenis tanaman. Rumput Bermuda misalnya mulai layu pada suhu 50° F, sedangkan pada suhu ini Canadian Blue Grass yang sesuai untuk iklim dingin masih dapat mengambil air untuk mempertahankan turgornya.

8.1.2 Peranan udara tanah

Untuk pernafasan akar membutuhkan oksigen yang berasal dari tanah. Tetapi tidak semuanya tanaman membutuhkan oksigen dari tanah, karena mereka dapat mengambil oksigen dari reduksi nitrat ataupun sulfat.

Selanjutnya terdapat hubungan erat antara aerasi tanah dengan absorpsi air tanah. Aerasi yang jelek akan dapat menyebabkan berkurangnya absorpsi air. Hal ini disebabkan oleh karena bertambahnya tekanan parsial CO_2 .

8.1.3 Peranan air tanah

Air yang diambil tanaman dari dalam tanah sebagian besar ditranspirasikan, sebagian ditahan dalam bentuk cairan sel dan sebagian dipecahkan untuk mengambil hidrogennya dan mungkin juga sebagian oksigennya untuk menyusun karbohidrat. Di Dalam sel tanaman, air ini berfungsi untuk mempertahankan turgor sel. Tekanan turgor dapat memberikan energi untuk memperpanjang sel. Dengan demikian jika terjadi kekurangan air maka proses perpanjangan sel akan terganggu, karena berkurangnya proses pembesaran sel.

Kekurangan air umumnya menyebabkan kerusakan yang paling berat jika dibandingkan dengan kerusakan oleh faktor-faktor lain. Keadaan ini terutama disebabkan oleh karena lebih 75% jaringan tanaman terdiri dari air. Sedangkan bagian-bagian muda dapat mencapai 93%. Disamping itu juga dapat menyebabkan berkurangnya fotosintesa, dan air juga berfungsi sebagai zat pelarut.

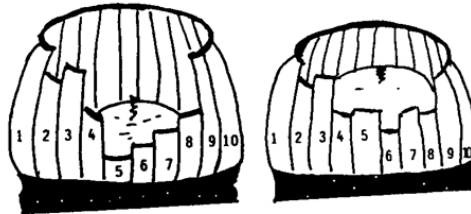
Untuk dapat berproduksi, tanaman memerlukan sejumlah tertentu air. Air ini harus berada pada daerah zona perakaran. Adanya air di sekitar akar ini disebabkan adanya pergerakan kapiler yang sangat ditentukan oleh kondisi tanah. Kebutuhan air berbeda-beda menurut jenis atau varietas tanaman.

8.2 Prinsip Faktor Pembatas

Pertumbuhan merupakan suatu perkembangan yang progresif dari suatu organisme. Banyak cara yang dapat digunakan untuk mengukur pertumbuhan misalnya dapat dinyatakan dalam berat kering, panjang, tinggi ataupun diameter dari tanaman.

Pertumbuhan tanaman yang baik dapat tercapai bila faktor keliling yang mempengaruhi pertumbuhan berimbang dan menguntungkan. Bila salah satu faktor tadi tidak berimbang dengan faktor lain, faktor ini dapat menekan atau kadang-kadang menghentikan pertumbuhan tanaman. Selanjutnya faktor yang paling tidak optimum menentukan tingkat produksi tanaman seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8-1 berikut.

- 1 = udara
- 2 = air
- 3 = belerang
- 4 = fosfor
- 5 = nitrogen
- 6 = kalium
- 7 = kalsium
- 8 = bahan organik
- 9 = panas
- 10 = cahaya



Gambar 8.1 Diagram yang Disederhanakan untuk Menggambarkan Prinsip Faktor Pembatas

Prinsip ini disebut sebagai prinsip faktor pembatas yang dapat didefinisikan sebagai berikut: tingkat produksi tidak akan lebih tinggi dari apa yang dapat dicapai oleh tanaman yang tumbuh dalam keadaan dengan faktor-faktor yang paling minimum. Konsep ini sangat penting dan selalu harus diperhitungkan dan dipertimbangkan bila membahas persoalan unsur hara. Tidak hanya penyediaan suatu hara yang harus diperhatikan, tetapi juga hubungan penyediaan hara terhadap faktor-faktor lain yang mungkin mempengaruhi pertumbuhan.

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8-1 dimana nitrogen merupakan faktor pembatas, walaupun unsur-unsur hara dan faktor penunjang lainnya cukup, tetapi produksinya tetap ditentukan oleh nitrogen yang rendah. Bila nitrogen ditambah(Gambar kanan) tingkat produksi tanaman bertambah sampai ke batas minimum dari faktor lain, dalam hal ini adalah faktor kalium, demikian selanjutnya.

8.3 Peranan Unsur Hara

Tanaman akan mengabsorbsi unsur hara dalam bentuk ion yang terdapat disekitar daerah perakaran. Unsur-unsur ini harus terdapat dalam bentuk tersedia dan dalam konsentrasi optimum bagi pertumbuhan. Selanjutnya unsur-unsur tersebut harus berada dalam suatu keseimbangan.

8.3.1 Unsur hara esensial

Hingga sekarang telah dikenal 16 unsur hara esensial bagi tanaman. Suatu unsur hara dikatakan esensial bila(1) kekurangan unsur tersebut dapat menghambat pertumbuhan baik vegetatif maupun generatif, (2) kekurangan unsur tersebut tidak dapat diganti oleh unsur lain dan (3) unsur tersebut harus secara langsung terlibat dalam gizi makanan tanaman. Akan tetapi, perlu diingat bahwa point (2) agak sedikit lemah, karena ada beberapa unsur dapat diganti oleh unsur lain, misalnya molibdenum dapat diganti oleh vanadium.

Berdasarkan kebutuhannya bagi tanaman maka ke enam belas unsur hara esensial tersebut dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok unsur hara makro dan kelompok unsur hara mikro. Unsur hara makro dibutuhkan relatif lebih banyak bahkan dapat mencapai 100 kg ataupun lebih untuk setiap hektar. Sedangkan unsur hara mikro dibutuhkan dalam jumlah sedikit. Pengelompokan unsur esensial tersebut disajikan pada Tabel 8-1.

Tabel 8.1 Unsur Hara Esensial dan Sumbernya

Unsur makro = 9		Unsur mikro=7
Dari udara dan air	Dari tanah	Dari tanah
C	N	Mn
H	P	Cu
O	K	Zn
	Ca	Mo
	Mg	B
	S	Cl
		Fe

Pada Tabel 8-1 dapat dilihat bahwa ke enam belas unsur hara tersebut dapat bersumber dari udara, air dan tanah. Karbon oksigen dan hidrogen bersumber dari udara dan larutan tanah. Karbon oksigen dan hidrogen bersumber dari udara dan larutan tanah/air. Sedangkan unsur-unsur lain bersumber dari tanah. Akan tetapi dapat juga menggunakan nitrogen

langsung dari udara misalnya beberapa jenis bakteri yang bersimbiosis dengan legum. Sulfur dapat masuk ke dalam daun secara diffuse berupa sulfur dioksida., walaupun tidak terlalu banyak. Unsur hara lain seperti Na, F, Si, Co, Sr dan Ba ternyata tidak diperlukan oleh semua tanaman, tetapi mereka dapat meningkatkan produksi tanaman tertentu.

8.3.2 Unsur hara esensial yang berasal dari udara dan air

Tumbuhan tingkat tinggi memperoleh C dan O langsung dari udara berupa CO₂ melalui fotosintesis, hidrogen diperoleh baik langsung atau tidak, dari air dalam tanah. Unsur N dapat diperoleh langsung misalnya oleh beberapa bakteri nodul dari udara, tetapi tumbuhan tingkat tinggi lainnya hanya dapat memperoleh N dari tanah.

Suatu kenyataan bahwa 94-99,5% jaringan tanaman segar tersusun oleh C,H dan O dan hanya 0,5 mungkin 5 atau 6 % berasal dari tanah, tetapi walaupun demikian, biasanya unsur-unsur hara dari tanah merupakan penentu pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Oleh karena itu, unsur-unsur hara yang berasal dari udara dan air kurang mendapat perhatian.

8.3.3 Unsur hara esensial dari tanah

Seperti telah dikemukakan bahwa 13 unsur hara yang berasal dari tanah, dan sebanyak 6 macam diantaranya dibutuhkan lebih banyak. Unsur-unsur tersebut adalah N,P, K, Ca,Mg dan S. Ke enam unsur ini sering mendapat perhatian yang serius, karena kurang dan lambat tersedia di dalam tanah terutama N,P dan K.

Nitrogen, fosfor dan kalium biasanya ditambahkan ke dalam tanah sebagai pupuk. Kalsium dan magnesium biasanya ditambah sebagai kapur. Belerang dapat ditambah ke dalam tanah bersama pemupukan nitrogen dalam bentuk amonium sulfat, bersama pupuk kandang bahkan dapat bersama air hujan. Dalam keadaan tertentu belerang dapat diberikan sebagai tepung belerang.

Unsur-unsur hara mikro seperti Mn,Cu, Zn,Mo,B,Cl, dan Fe digunakan tanaman dalam jumlah sedikit. Akan tetapi keberadaannya tetap penting bagi pertumbuhan tanaman. Keberadaan unsur mikro dalam tanah jumlahnya memang sedikit (Tabel 8-2).

Tabel 8.2 Kisaran Unsur Hara Mikro dalam Lapisan olah pada Umumnya

Hara	Kisaran normal	Hasil analisis lapisan olah	
	 %	ppm.....	ppm.....
Mn	0.020 - 1.00	200 -10.000	2500
Cu	0.005 - 0.015	5 - 150	50
Zn	0.001 - 0.025	10 - 250	100
Mo	0.00002 - 0.0005	0.2 - 5	2
B	0.0005 - 0.015	5 - 150	50
Cl	0.001 - 0.1	10 - 100	15
Fe	0.5 -5.00	5000 - 50.000	25.000

RI. Michel 1955 “ *Kadar unsur hara mikro dalam tanah* ”

Walaupun tanaman akan mengabsorbsi dalam jumlah sedikit pada setiap musim tanam, tetapi efek penanaman bertahun-tahun dengan cepat akan mengurangi jumlah unsur ini yang tersedia dalam jumlah yang sedikit yaitu(1) pada tanah berpasir, (2) tanah organik dan (3) tanah sangat alkalis. Persoalan kekurangan unsur hara mikro belum banyak diteliti, terutama di Indonesia, tetapi ada petunjuk bahwa beberapa hara mikro berada dalam jumlah sedikit dan sukar tersedia. Oleh karena pengaruh unsur makro terhadap kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman lebih menonjol, maka unsur makro ini lebih banyak dibicarakan.

Hasil analisis beberapa contoh tanah pada daerah yang beriklim basah (humid) dan beriklim kering(arid) dapat dilihat pada Tabel 8-3 di bawah ini. Patut dicatat bahwa angka-angka tersebut dalam Tabel 8-3 tersebut tidak selalu cocok untuk semua jenis tanah, karena angka rata-rata hanya dari dua daerah penelitian.

Tabel 8.3 Kadar Total Bahan Organik dan Hara Makro yang Terdapat dalam Lapisan Olah pada Daerah Temprate.

Unsur	Tanah daerah basah (%)	Tanah daerah kering (%)
Bahan organik	4.00	3.25
Nitrogen(N)	0.15	0.12
Fosfor (P)	0.04	0.07
Kalium(K)	1.70	2.00
Kalsium(Ca)	0.04	1.00
Magnesium(Mg)	0.30	0.60
Belerang (S)	0.04	0.80

8.3.4 Bahan organik, nitrogen dan fosfor

Seperti yang terlihat pada Tabel 8-3 kadar bahan organik tanah selalu lebih banyak dari kadar unsure-unsur lainnya. Namun demikian kadar bahan organik lapisan olah berada dalam keadaan kritis. Dengan demikian menjadi suatu keharusan untuk mempertahankan tanah tidak bera dan hilang tererosi. Penambahan dan mineralisasi bahan-bahan organik dalam tanah mempunyai pengaruh yang baik terhadap sifat fisika maupun kimia tanah.

Nitrogen dan fosfor terdapat dalam jumlah yang sedikit dalam tanah mineral. Dan sebagian besar dari kedua unsur ini berada dalam bentuk senyawa tidak larut dan tidak tersedia bagi tanaman. Umpamanya senyawa tidak larut, yang menyebabkan unsur ini sedikit tersedia, jumlahnya rendah dan akhirnya kritis.

8.3.5 Kalium, kalsium, magnesium dan belerang

Kadar kalium tanah jauh lebih banyak dari fosfor . problema yang dijumpai pada kalium ini adalah penyediaannya. Kalsium dalam tanah dalam jumlah yang bervariasi, tetapi lebih rendah dari kalium. Unsur ini sering ditambahkan kepada tanah-tanah masam dengan tujuan memperbaiki keadaan tersebut.

Magnesium disamping unsur hara, ia mempunyai fungsi yang lebih banyak dari kalsium. Kekurangan magnesium pada akhir-akhir ini telah dirasakan dan hal ini akan lebih nyata lagi bila tanah tidak dikapur. Pada daerah-daerah dimana dilakukan pengapuran masalah kekurangan magnesium dapat diatasi.

Kadar belerang tanah sebenarnya tidak lebih tinggi dari kadar fosfor, tetapi lebih tersedia jika dibandingkan dengan fosfor. Belerang yang bereaksi dengan tanah akan tetap tersedia bagi tanaman. Selanjutnya kadar belerang tanah akan terus bertambah akibat pemakaian pupuk kandang, air hujan dan beberapa pupuk buatan, seperti amonium sulfat (ZA).

8.4 Bentuk Hara Makro Dalam Tanah

Pada umumnya unsur-unsur hara dijumpai sebagai (1) senyawa kompleks yang sukar larut dan (2) bentuk sederhana, larut dalam air dan mudah tersedia bagi tanaman (Tabel 8.4)

Tabel 8.4 Bentuk Unsur Hara Makro Dalam Tanah

Golongan I : bentuk kompleks dan tidak tersedia	Golongan II : bentuk sederhana mudah tersedia dan bentuk ion-ionnya.
<u>Nitrogen</u> Senyawa organik, protein, asam amino, lain-lain bentuk koloidal dan peka terhadap dekomposisi <u>Fosfor</u> Apatit, Ca, Fe dan Al-Fosfat senyawa organik, fitin asam nukleat dan lain-lain <u>Kalium</u> Mineral folspat dan mika klei, aluminium silikat, ilit <u>Magnesium</u> Mineral mika, hornblende, dolomi serpentin, klei aluminium silikat, monmorillonit <u>Belerang</u> Mineral pirit dan gysum, bentuk organik, bentuk koloidal dan peka terhadap dekomposisi	Garam amonium NH_4^+ Garam nitrit NO_2^- Garam nitrat NO_3^- Ca, K, Mg, fosfat HPO_4^{2-} Senyawa P orgaik Yang larut H_2PO_4^- K pada kompleks Adsopsi, K-Sulfat Dan lain-lain K^+ Mg pada kompleks Adsorpsi garam Magnesium Mg^{2+} Berbagai sulfit SO_2 Sulfat dari Ca, K, Mg dan lain-lain SO_3^{2-} SO_4^{2-}

Akibat adanya proses kimia dan biokimia maka ada kecenderungan umum dari unsur hara dalam tanah adalah dari bentuk kompleks ke bentuk sederhana, walaupun demikian sebaliknya juga dapat terjadi. Pembentukan protein dari unsur N dan P yang mudah tersedia merupakan salah satu contohnya.

Bentuk sederhana dan larut di dalam air bertendensi hilang melalui drainase atau digunakan oleh jasad renik dan tanaman. Oleh karena itu sebagian besar dari unsur hara ini dijumpai dalam bentuk kompleks. Dari bentuk ini unsur tersebut menjadi tersedia melalui berbagai proses penyederhanaan. Sebagai hasilnya kapasitas tanah menyediakan unsur hara tidak begitu tergantung dari jumlah unsur, tetapi dari kecepatan unsur tersebut menjadi tersedia. Oleh karena itu, analisis kimia total kurang menggambarkan kebutuhan tanah akan pupuk.

8.4.1 Bentuk organik

Hampir seluruh nitrogen dan kebanyakan fosfor serta belerang berada dalam bentuk organik. Bentuk ini tidak dapat diabsorpsi tanaman. Dekomposisi bahan organik tanah melepaskan unsur hara yang semula berbentuk organik menjadi bentuk-bentuk anorganik yang tersedia bagi tanaman.

8.4.2 Bentuk anorganik

Sebagian besar kalium, kalsium dan magnesium tanah berada dalam bentuk anorganik. Derajat ketersediaan dari ketiga unsur hara ini berbeda. Sebagian besar kalsium berada pada kompleks adsorpsi dan mudah dipertukarkan dan kalsium ini mudah tersedia bagi tanaman. Jumlah kalsium yang tersedia melebihi unsur lain, oleh karena itu di daerah humid kehilangan kalsium sangat nyata, oleh karenanya, pengapuran selalu disarankan.

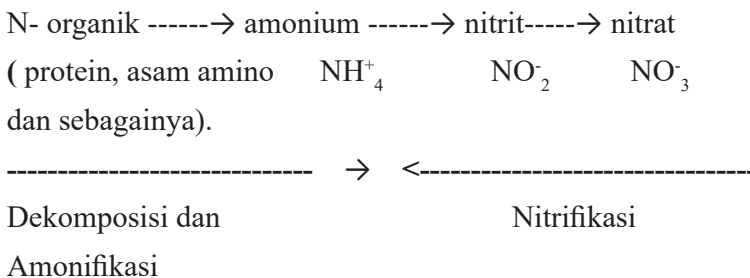
Kalium dan magnesium diikat dalam bentuk-bentuk yang kurang tersedia. Jumlah kalium yang dapat dipertukarkan atau tersedia bagi tanaman tidak melebihi dari 1% dari seluruh kalium tanaman. Kadar magnesium kadang-kadang ditemukan lebih tinggi dari kalsium tetapi jumlah yang tersedia selalu sedikit.

Belerang ditemukan dalam bentuk mineral dan organik dimana bentuk lebih banyak ditemukan pada tanah-tanah di daerah humid. Tersedianya belerang tergantung dari kecepatan dekomposisi.

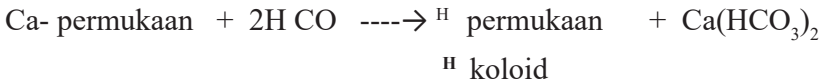
8.5 Ketersediaan Unsur Hara Makro Bagi Tanaman

Nitrogen. Sejumlah besar nitrogen dalam tanah adalah berada dalam bentuk organik. Dengan demikian dekomposisi nitrogen merupakan sumber utama nitrogen tanah, disamping itu nitrogen juga dapat berasal dari hujan dan irigasi.

Dekomposisi merupakan proses kimia yang menghasilkan nitrogen dalam bentuk amonium dan dioksidasikan lagi menjadi nitrat. Proses dekomposisi hingga menjadi nitrat dapat digambarkan sebagai berikut.



Proses dekomposisi ini dilakukan oleh jasad renik yang peka terhadap keadaan lingkungan, misalnya suhu, pH tanah dan lain-lain. Jika bahan organik yang secara relatif mengandung lebih banyak karbon(C) dari nitrogen ditambahkan ke dalam tanah, proses yang digambarkan di

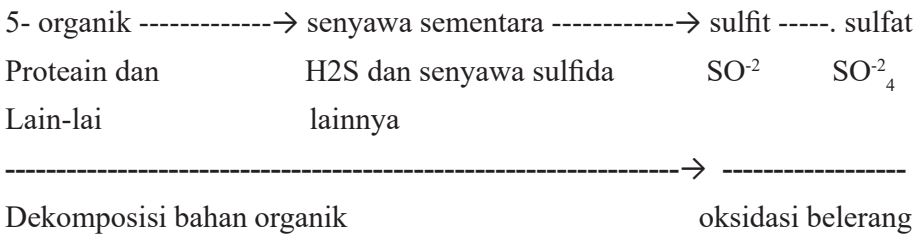


Ca- diadsorpsikan + asam kar H diadsorpsikan Ca bikarbonat larut

Ion H yang berasal dari karbonat akan menggantikan kedudukan ion Ca, sehingga Ca menjadi dalam bentuk mudah larut. penggantian ion demikian berlangsung cepat. Walaupun tanah mengandung lebih banyak kalium daripada kalsium, pembebasan kalsium melalui reaksi seperti diatas dan kemudian dapat hilang melalui pencucian lebih besar dari kalium.

Magnesium. Ketersediaan magnesium hampir sama dengan kalsium karena pengikatannya juga sama. Disamping itu dapat juga menjadi tersedia melalui hancuran mineral yang mengandung magnesium.

Belerang. Pembebasan belerang dari bahan organik seperti juga nitrogen adalah proses dekomposisi yang berlangsung sebagai berikut:



Oksidasi belerang seperti nitrifikasi dilakukan oleh jasad renik tertentu. Sulfat yang dihasilkan merupakan bentuk belerang yang diperlukan tanaman. Jasad renik menggunakan belerang , dengan demikian mereka berkompetisi dengan tanaman, dimana ini dapat mengurangi kehilangan belerang akibat pencucian.

8.6 Bentuk Unsur Hara Yang Diadsorpsi Tanaman

Di dalam tanah terdapat dua bentuk hara tanaman yang tersedia yaitu; (1) unsur hara yang diadsorpsi pada permukaan koloid dan (2) garam yang larut dalam larutan tanah. Dalam kedua hal ini unsur hara berada dalam bentuk ion seperti K⁺ Ca²⁺, Cl⁻ dan SO₄⁻². Ion yang bermuatan negatif dan sebagian kecil kation berada dalam larutan. Bentuk unsur hara yang digunakan tanaman disajikan dalam Tabel 8-5.

Nitrogen, fosfor dan belerang. Nitrogen umumnya diserap tanaman dalam bentuk NH_4^+ atau NO_3^- , tergantung dari keadaan tanah, macam tanaman dan stadia tumbuh. Tetapi bentuk urea (H_2NCONH_2) dapat juga dimanfaatkan tanaman, karena urea secara cepat diserap oleh epidermis daun. Bentuk NO_2^- terdapat dalam jumlah yang sedikit dan aerasi baik mudah dioksidasikan menjadi nitrat.

Tabel 8.5 Bentuk Unsur Hara Yang Digunakan Tanaman

Unsur	Bentuk ion	Unsur	Bentuk ion
Nitrogen	NH_4^+ ; NO_2^- ; NO_3^-	Molibdenum	MoO_4^{2-}
Fosfor	HPO_4^{2-} ; H_2PO_4^-	Mangan	Mn^{2+} ; Mn^{4+}
Kalium	K^+	Tembaga	Cu^+ ; Cu^{2+}
Kalsium	Ca^{2+}	Seng	Zn^{2+}
Magnesium	Mg^{2+}	Boron	B^{3+}
Belerang	SO_4^{2-} ; SO_3^{2-}	Chlor	Cl^-
Besi	Fe^{2+} ; Fe^{3+}	Air	H^+ ; OH^-

Tanaman biasanya mengabsorpsi fosfor (P) dalam bentuk ion ortofosfat primer $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ dan sebagian kecil bentuk sekunder HPO_4^{2-} . Kedua ion fosfor itu diabsorpsi oleh tanaman dan sangat dipengaruhi oleh pH tanah sekitar akar. Pada pH tanah rendah adsorpsi bentuk H_2PO_4^- yang lebih dominan. Selain kedua bentuk tersebut, bentuk pirofosfat dan metafosfat juga dapat diambil oleh tanaman.

Belerang diserap tanaman dalam bentuk sulfat ion (SO_4^{2-}). Sebagian kecil diambil dalam bentuk SO_2 melalui daun. SO_2 adalah sangat beracun bagi tanaman walaupun dalam jumlah yang sangat rendah. Bentuk SO_3^{2-} akan segera dioksidasi menjadi bentuk sulfat.

Unsur Hara Lain. Unsur K, Ca, Mg, Zn, B dan Cl diserap dalam bentuk kation. Tetapi besi, mangan dan tembaga berbeda. Keadaan redik tanah mempengaruhi bentuk unsur yang diambil. Jika tanah beraerasi baik maka ion bervalensi tinggi yang dominan. Akan tetapi, dalam keadaan anaerobik, ion bervalensi rendah yang kan dominant.

8.7 Fungsi Unsur Hara

Fungsi unsur hara yang esensial terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman akan dibicarakan secara singkat.

Nitrogen, Fosfor dan Belerang

Nitrogen merupakan suatu unsur yang paling banyak mendapat perhatian dalam hubungannya dengan pertumbuhan tanaman. Unsur ini dijumpai dalam jumlah yang besar dalam bagian yang muda daripada jaringan tua tanaman, terutama terakumulasi pada daun dan biji. Nitrogen merupakan penyusun setiap sel hidup, karenanya terdapat pada seluruh bagian tanaman. Unsur ini merupakan bagian dari penyusun enzim dan molekul khlorofil.

Kepentingan unsur hara fosfor untuk pertumbuhan tanaman telah banyak dipelajari. Unsur ini dijumpai dalam jumlah yang banyak dalam biji, walaupun ia juga terdapat pada semua bagian yang muda dari tanaman. Seperti juga nitrogen, fosfor merupakan penyusun setiap sel hidup. Fosfor merupakan penyusun fosfolipid, nukleoprotein dan fitin, yang selanjutnya akan menjadi banyak yang tersimpan dalam biji. Fosfor sangat berperan aktif dalam mentransfer energi dalam sel, baik sel tanaman maupun hewan, seterusnya juga berfungsi untuk mengubah karbohidrat, misalnya dalam perubahan tepung menjadi gula. Selanjutnya ia juga dapat meningkatkan efisiensi kerja chloroplast.

Belerang dalam tanaman berfungsi sebagai penyusun komponen seperti asam amino (cystein dan metionin) dan banyak dijumpai pada tanaman yang menghasilkan minyak.

Kalium, Kalsium dan Magnesium

Unsur kalium mempunyai fungsi penting dalam proses fisiologi tanaman, walaupun fungsi dan mekanisme yang jelas belum diketahui. Kalium berperan dalam dalam proses metabolisme dan mempunyai pengaruh khusus dalam adsorpsi hara, pengaturan pernafasan, transpirasi, kerja enzim dan berfungsi sebagai translokasi karbohidrat. Akan tetapi perlu diingat bahwa kalium tidak terlibat sebagai komponen penyusun, hanya tinggal sebagai bentuk anorganik.

Kalsium dalam bentuk kalsium pektat merupakan penyusun dinding sel dan penting dalam pertumbuhan jaringan meristem. Unsur ini dijumpai pada tanaman dalam bentuk kalsium oksalat. Unsur magnesium mempunyai fungsi dalam sistem enzim dan merupakan penyusun khlorofil. Ia juga berfungsi membantu translokasi fosfor dalam tanaman.

Unsur Hara Lainnya

Unsur hara besi dan mangan mempunyai fungsi penting dalam sistem enzim. Mereka juga diperlukan dalam sintesis khlorofil, kegunaannya di dalam tanaman mempunyai hubungan erat, misalnya jika terdapat kelebihan mangan maka dapat menyebabkan tidak aktifnya besi.

Fungsi boron di dalam tanaman yang telah diketahui adalah tidak sebanyak fungsi unsur hara yang lain. Akan tetapi yang nyata adalah terlihat adalah timbulnya gangguan bahkan dapat mematikan jaringan meristem pada tanaman jika terdapat defisiensi boron. Disamping itu juga boron berfungsi untuk mengaktifkan kegunaan kalsium.

Tembaga dan seng merupakan unsur penyusun enzim dalam tanaman. Keduanya juga penting dalam memperlancarkan pertumbuhan tanaman. Selanjutnya unsur molibdenum berfungsi pada reduksi nitrat dalam tanaman. Kekurangan molibdenum dapat menyebabkan tertimbunnya nitrat dan dapat mengganggu sintesa protein. Fiksasi nitrogen pada leguminosa tergantung kepada tersedianya molibdenum.

8.8 Gejala-Gejala Kekurangan Hara

Tumbuhan dalam perkembangan dan pertumbuhannya membutuhkan cukup unsur hara. Bila terdapat kekurangan unsur hara yang esensial, maka akan terjadi gejala defisiensi pada tanaman.

Akan tetapi, perlu dicatat bahwa gejala defisiensi yang terdapat/ terlihat pada tanaman tidak selalu mudah ditentukan. Oleh karena gejala ini dapat pula terjadi sebagai serangan penyakit ataupun gejala-gejala gangguan pada pertumbuhan, yang gejalanya hampir sama bahkan sama. Selanjutnya gejala defisiensi baru terlihat pada keadaan yang lebih lanjut. Hal ini akan dapat dilihat lebih jelas bila dilakukan analisis/ uji tanah dan uji tanaman.

Nitrogen, fosfor dan belerang

Gejala kekurangan nitrogen akan terlihat pada seluruh tanaman yang dicirikan oleh perubahan warna dari hijau pucat kekuning-kuningan, terutama pada daun. Bila tampak pada sebelah bawah dari daun tua yang berubah warna menjadi kuning terutama pada ujungnya, itu pertanda kekuarangan atau defisiensi Nierogen

Pada tanaman padi-padian , warna kuning ini dimulai dari ujung dan terus menjalar ke tulang dan daun ditengah, kulit biji mengerut dan berat biji rendah. Pada tanaman buah-buahan akan terlihat daun kuning mengerut, tunas-tunas mati, buah berkurang dengan warna tidak normal.

Kekurangan fosfor akan menampilkan gejala pertumbuhan yang terhambat karena terjadi gangguan pada pembelahan sel. Daun tanaman menjadi berwarna hijau tua yang kemudian berubah menjadi ungu., juga terjadi pada batang dan tanaman muda. Gejala kekurangan fosfor juga menunjukkan terlambatnya masa pemasakan buah dan biji. Gejala yang umumnya adalah terhambatnya pertumbuhan , tanaman kerdil serta perakaran miskin dan produksi yang merosot.

Gejala kekurangan unsur belerang hampir sama dengan gejala kekurangan nitrogen. Gejala yang umum adalah terlihatnya perubahan warna pada daun tanaman yang muda menjadi hijau muda hingga kuning. Selanjutnya pertumbuhan tanaman kerdil.

Kalium, kalsium dan magnesium

Gejala kekurangan kalium umumnya terlihat seperti gejala daun terbakar. Pada tanaman padi-padian gejala ini dimulai dari pucuk terus ke bawah dari pinggir daun. Pada tanaman jagung akan terdapat pada daun yang menguning mulai dari ujung daun terus ke sisi daun sebelah bawah. Pada tanaman kentang gejala defisiensi ini terlihat pada daun yang tampaknya seperti terbakar pada sebelah bawah. Sering terjadi pada daerah diantara urat daun yang kemudian daun mengerut.

Secara umum dapat dikatakan symptom kekurangan kalium adalah daun bawah chlorosis dengan bintik-bintik. Bintik-bintik jaringan mati biasanya pada pucuk dan diantara urat-urat daun, lebih jelas pada pinggir daun, sehingga tampak seperti terbakar.

Defisiensi kalsium dicirikan dengan matinya kuncup, ujung-ujung akar mati sehingga matinya kuncup, ujung-ujung akar mati sehingga pertumbuhan terganggu. Unsur kalsium tidak mobil dalam tanaman. Sehingga bila terjadi defisiensi unsur ini tidak diangkut dari bagian tua ke bagian muda dari tanaman.

Gejala kekurangan magnesium akan memperlihatkan khlorosis pada daun , tanpa adanya bintik-bintik jaringan mati. Pada daun terdapat warna merah kadang –kadang dengan bintik-bintik jaringan mati. Pucuk

dan pinggir daun membelok ke atas seperti mangkok. Pada tanaman kapas gejala ini tampak pada daun yang berwarna ungu merah dengan urat daun bergaris-garis, urat daun tetap hijau, tetapi daerah diantara urat daun berwarna ungu pada sorgum dan kuning pada jagung.

Unsur hara lainnya

Unsur boron relatif inmobil di dalam tanaman, sehingga segala defisiensi pertama-tama terlihat pada pucuk-pucuk muda yang selanjutnya diikuti oleh kematian daun-daun muda. Daun yang termuda akan menjadi pucat, terutama pada bagian dasarnya. Jaringan pada pangkal daun pecah, sehingga bila daun itu tumbuh terus maka ia akan terpilin-pilin. Pada tanaman umbi-umbian sering terjadi umbinya pecah/ retak yang memberikan warna hitam, yang kadang-kadang dapat pula menyebabkan pecahnya jaringan akar.

Kekurangan tembaga sering dijumpai pada tanah-tanah organik. Pada tanaman jagung daun yang termuda berwarna kuning. Dan bila kekurangan ini telah berat maka daun muda menjadi berwarna putih pucat sedangkan yang tua mati. Pada jenis padi-padian gejala kekurangan tembaga mula-mula berwarna pucat dari daun-daun muda dan ujungnya mati, kemudian khlorotik. Daun tembakau muda yang mengalami defisiensi tembaga tidak mampu tegak tapi layu, walaupun cukup diberikan air ke dalam tanah.

Kekurangan besi sering terdapat pada tanaman yang tumbuh pada kapur atau alkali. Tanaman yang kekurangan besi menunjukkan gejala warna daun kuning/ muda pucat terutama daun-daun muda. Khlorosis terjadi pada daerah diantara urat daun sedangkan urat daun tetap berwarna gelap.

Mangan merupakan unsur yang tidak mobil dalam tanaman, sehingga symptom kekurangan unsur ini tampak pada daun muda. Tanaman yang kekurangan mangan tumbuhnya kerdil dan warna daun khlorosis, sedangkan tulang/ urat daun tetap hijau. Pada tanaman bawang yang tumbuh pada tanah alkalin, daunnya kerdil dan keriting sedangkan umbinya lambat tua.

Gejala kekurangan seng mula-mula terlihat pada daun muda yang dimulai dengan chlorosis diantara tulang-tulang daun yang diikuti dengan terhambatnya lajunya pertumbuhan tunas dan dapat memberikan gejala roset pada beberapa tanaman. Pada tanaman jagung dan sorgum terdapat pita putih dari jaringan sebelah- menyebelah tulang daun tengah dan

biasanya dimulai dari pangkal daun. Pada tanaman tembakau gejala ini terlihat adanya bintik-bintik pada daun tua yang bila kekurangan berat maka kemungkinan terjadi kehancuran total jaringan daun.

Kekurangan molibdenum biasanya terlihat adanya khlorosis pada antara tulang-tulang daun. Pada tanaman polongan daunnya biasanya menjadi kuning pucat seperti gejala kekurangan nitrogen. Hal ini disebabkan unsur ini dibutuhkan untuk fiksasi nitrogen dari udara. Daun tanaman yang mengalami defisiensi unsur ini umumnya cenderung menjadi lebih panjang dan ramping.

8.9 Prinsip Serapan Hara

Pengambilan unsur hara oleh tanaman dapat dilakukan tidak hanya oleh akar tetapi juga oleh daun dan batang. CO₂ misalnya dapat masuk melalui daun yang kemudian merupakan sumber utama dari karbon. Selanjutnya akan dibicarakan hanya serapan hara oleh akar tanaman.

8.9.1 Pergerakan unsur hara ke permukaan akar

Sebelum tanaman dapat mengadsorpsi unsur hara, maka syaratnya adalah unsur tersebut terdapat pada permukaan akar. Pergerakan unsur hara ke permukaan akar terjadi melalui tiga cara yaitu: (1) intersepsi (penyergapan) akar, (2) aliran massa (mass flow) dan (3) difusi.

Mekanisme intersepsi sebenarnya merupakan pertukaran langsung antara hara dan akar. Dengan demikian semakin banyak akar yang bersentuhan dengan hara semakin banyak hara yang dapat diserap akar. Mekanisme kedua yaitu aliran massa, yang dalam hal ini air akan bergerak ke akar tanaman akibat transpirasi. Pada saat yang bersamaan ikut terangkut bersama-sama ion yang larut dari daerah yang jauh ke daerah yang terjangkau akar. Mekanisme ketiga terjadi sebagai akibat selisih konsentrasi yang terjadi di sekitar akar. Selanjutnya hara yang disekitarnya akan berdifusi ke daerah ini. Difusi akan berlangsung melalui selaput air yang ada dan oleh karena itu kecepatan berdifusi akan sangat tergantung kepada kadar air dalam tanah.

8.9.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi serapan hara

Semua faktor yang mempengaruhi metabolisme tanaman, akan secara langsung turut mempengaruhi serapan hara, karena ada hubungan dengan energi yang dihasilkan. Dalam hal ini semua faktor turut menunjang

pernafasan. Temperature dan persediaan oksigen dapat diperbaiki dengan pengelolaan tanah yang baik. Tanah yang padat dapat menyebabkan berkurangnya serapan hara oleh akar tanaman, karena energi yang dihasilkan oleh respirasi akar rendah, disebabkan berkurangnya persediaan oksigen.

Kandungan air tanah dapat juga menentukan jumlah hara yang dapat diserap akar. Air mempunyai peranan untuk diffuse dan pergerakan ion ke dalam outer space dari sel akar. Sebagai contoh yaitu pada keadaan tanah yang kering pengambilan fosfor berkurang. Air disini berfungsi dapat lebih melarutkan dan lebih memobilkan fosfor dalam tanah.

Kerapatan dan distribusi akar juga turut memegang peranan yang menentukan. Kerapatan akar akan cenderung lebih banyak pula akar yang bersentuhan dengan larutan tanah dan permukaan koloid dan dengan sendirinya akan lebih baik hara yang dapat diserap. Demikian juga akar-akar tanaman yang dapat menembus lebih dalam ke dalam tanah akan lebih banyak dapat mengabsorpsi hara jika dibandingkan dengan akar yang dangkal.

8.9.3 Proses serapan hara

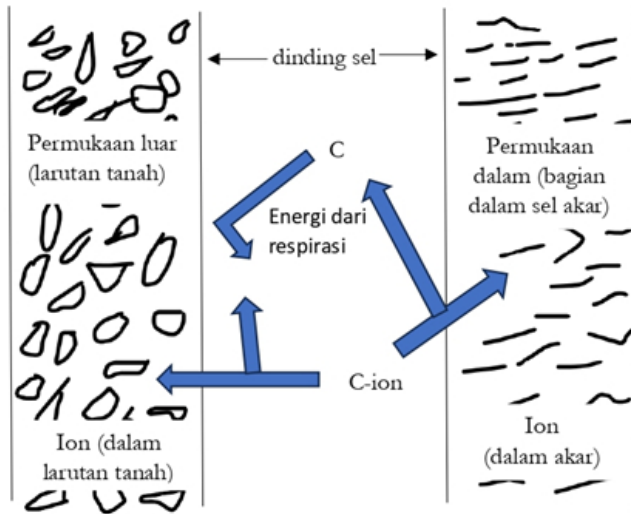
Akar rambut dari tanaman dikelilingi oleh larutan tanah dan selalu mempunyai kontak dengan permukaan koloid tanah. Selanjutnya akar rambut tersebut akan mengabsorpsi unsur hara yang berada disekitarnya. Dalam proses serapan hara ini diperlukan suatu carrier, yaitu suatu usaha untuk membawa ion dari luar ke dalam sel akar tanaman. Sistem ini yang kemudian dikenal dengan carrier teori.

Dalam sistem carrier ini diperlukan adanya syarat-syarat sebagai berikut yaitu: (1) membran sel tidak permeabel terhadap ion-ion bebas, (2) perlu adanya transpor elektron dan (3) respirasi akar harus berjalan lancar. Dengan demikian pengambilan ion-ion tidaklah dengan mudah masuk saja ke dalam sel, tetapi berhubungan dengan metabolisme tanaman.

Carrier teori ini dapat diterangkan sebagai berikut:

Sel akar mempunyai ruang yang disebut ruang luar (outer sel), dimana kedalamnya ion dari larutan tanah dan dari kompleks pertukaran dapat berdifusi. Difusi dari ion-ion dalam ruang tersebut dapat berjalan bolak balik dan terjadi tidak dipengaruhi oleh aktivitas metabolisme tanaman. Di dalam outer sel ini terdapat suatu senyawa disebut carrier. Carrier tadi

kan berkombinasi dengan ion-ion yang masuk yang kemudian bersama-sama pindah ke bagian dalam dari sel akar melalui dinding semipermeabel (impermeabel). Dinding ini hanya impermeable untuk ion-ion saja. Sewaktu menembus selaput /dinding semipermeabel tersebut carrier akan membebaskan ion ke bagian dalam dari sel interior of root cell) dan carrier kembali bebas dan dapat berjalan terus secara simultan. Transportasi dari ion-ion ini oleh carrier memerlukan energi yang diperoleh dari proses pernapasan akar. Gambaran mengenai carrier teori dapat disajikan dalam Gambar 8-2.



Gambar 8.2 Diagram yang menggambarkan carrier teori dari serapan hara. Anorganik carrier C, berkombinasi dengan ion dari larutan tanah pada permukaan luar dari sel akar. Ion diangkut menembus dinding sel dan dilepaskan ke bagian dalam sel dalam akar tanaman.

Dari carrier teori ini ternyata bahwa setiap grup mempunyai carrier tersendiri. Nitrat dan fosfat adalah anion-anion yang memerlukan carrier yang berbeda. Pada kenyataannya fosfat pun mempunyai carrier yang berbeda antara bentuk H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} . Demikian juga kalsium dan magnesium mempunyai carrier yang berbeda.

8.10 Nitrogen Tanah

Ditinjau dari berbagai hara nitrogen merupakan yang paling banyak mendapat perhatian. Hal ini disebabkan jumlah nitrogen yang terdapat di dalam tanah sedikit sedangkan yang diangkut tanaman berupa panen setiap musim cukup banyak. Disamping itu senyawa nitrogen anorganik sangat larut dan mudah hilang dalam air drainase atau alang ke atmosfer. Selanjutnya efek nitrogen terhadap pertumbuhan akan jelas dan cepat. Dengan demikian dari banyak segi jelas bahwa unsur nitrogen ini merupakan unsur yang berdaya besar yang tidak saja harus diawetkan juga harus dikendalikan pemakaiannya.

Unik jelas permasalahan nitrogen tanah ini hal-hal yang berkaitan dengan tingkah lakunya akan disajikan dalam pembicaraan selanjutnya.

8.10.1 Peredaran nitrogen

Sumber utama nitrogen dalam tanaman adalah gas nitrogen bebas di udara, yang menempati 78% dari volume atmosfer. Dalam bentuk unsur ia tidak dapat digunakan oleh tanaman. Nitrogen gas harus diubah menjadi bentuk nitrat ataupun amonium melalui proses-proses tertentu agar dapat digunakan oleh tanaman.

Cara utama nitrogen masuk ke dalam tanah adalah akibat kegiatan jasad renik, baik yang hidup bebas maupun yang bersimbiosis dengan tanaman. Dalam hal yang terakhir nitrogen yang diikat digunakan dalam sintesa asam amino dan protein dalam tanaman inang. Jika tanaman atau jasad renik pengikat nitrogen bebas mati, bakteri pembusuk membebaskan asam amino dari protein, bakteri amonifikasi membebaskan amonium dari grup amino, yang kemudian dilarutkan dalam larutan tanah. Amonium diserap tanaman atau diserap setelah dikonversikan menjadi nitrat oleh bakteri nitrifikasi.

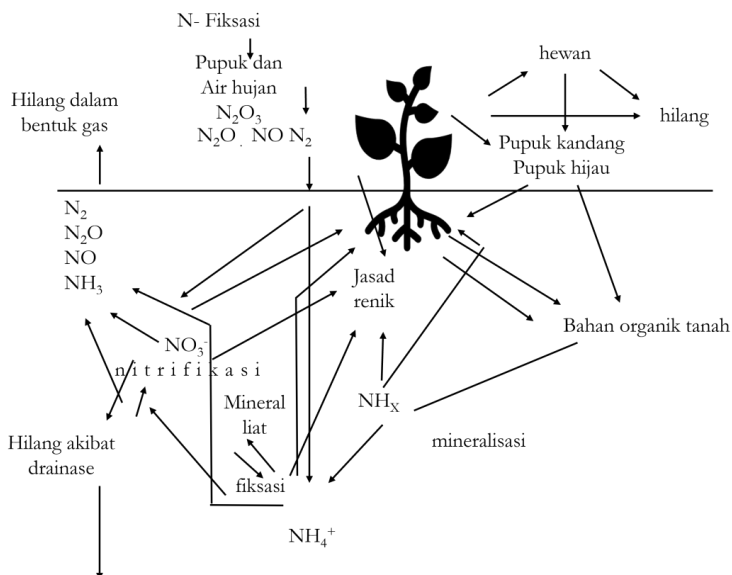
Pertambahan lain dari nitrogen tanah akibat loncatan suatu listrik di udara. Nitrogen dapat masuk melalui air hujan dan dalam bentuk nitrat. Jumlah ini sangat tergantung kepada tempat dan iklim.

Peredaran nitrogen dapat dilukiskan seperti pada Gambar 8-3. sebenarnya nitrogen dapat beredar dimulai dari nitrat melalui serangkaian transformasi menjadi nitrat tanah tanpa mengalami bentuk nitrogen bebas. Namun demikian bila nitrogen protein dari bakteri tanaman dan hewan dibebaskan ke dalam larutan tanah dalam bentuk amonium, proses ini merupakan keluarnya nitrogen dari biosfer.

Sebagian besar tanaman pertanian bukan merupakan tanaman inang bagi bakteri pengikat nitrogen. Dengan demikian mereka tidak menggunakan nitrogen bebas dari udara. Akibatnya sebagian besar tanaman tergantung sepenuhnya dari nitrogen terikat baik direduksi ataupun dioksidasi yang terdapat dalam larutan tanah sebagai hasil dari proses-proses fiksasi nitrogen, pelapukan dan nitrifikasi selanjutnya mereka juga memerlukan tambahan nitrogen dari pupuk, baik pupuk buatan, pupuk kandang maupun pupuk hijau.

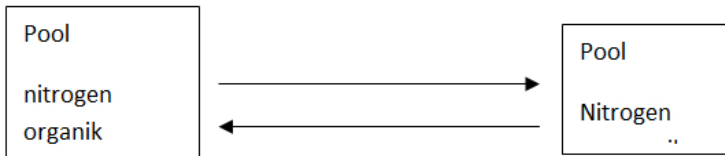
Kehilangan nitrogen ke udara dapat disebabkan oleh proses denitrifikasi. Kehilangan lain dapat juga berupa panen, tercuci bersama air drainase dan terfiksasi oleh mineral-mineral. besarnya kehilangan nitrogen-nitrogen akibat proses yang telah disebutkan di atas sangat tergantung kepada banyak hal. Misalnya saja kehilangan bersama panen. Kehilangan akan dapat diperbesar bila dilakukan panen beberapa kali dalam satu tahun, demikian juga bila dipanen seluruh bagian dari tanaman(rumput makanan ternak). Selanjutnya besar kecil dari kehilangan nitrogen tanah sedikit banyak dapat dikontrol oleh manusia melalui berbagai-bagai cara.

Pada proses peredaran nitrogen tanah terdapat dua hal yang saling berhubungan yaitu (1) proses imobilisasi dan (2) proses mineralisasi.



Gambar 8.3 Siklus Nitrogen

Immobilisasi . Pada saat dekomposisi bahan organik baik sisa-sisa tanaman maupun hewan, terutama yang mengandung kadar nitrogen rendah, kebanyakan dari bentuk nitrogen anorganik akan diubah menjadi nitrogen organik. Nitrogen tersebut digunakan untuk menyusun jaringan-jaringan dari jasad renik. Bila sisa-sisa tanaman atau hewan tersebut tidak cukup banyak mengandung nitrogen organik sehingga tidak tersedia bagi tanaman disebut immobilisasi. Perubahan bentuk anorganik menjadi nitrogen organik dapat dilukiskan pada Gambar 8-4 sebagai berikut:

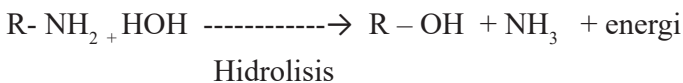


Gambar 8.4 Perubahan bentuk N-anorganik ke N-organik dan sebaliknya

Mineralisasi . Perubahan dari nitrogen organik menjadi nitrogen anorganik dan dapat digunakan tanaman umumnya hanya mencapai 2 hingga 3%. Perubahan ini dapat merupakan sumber nitrogen tanah dalam waktu relatif lama untuk tanaman. Bila terdapat gangguan lain yang mempercepat proses mineralisasi itu.

Mineralisasi juga mencakup pelapukan bahan organik tanah yang melibatkan kerja enzim-enzim yang menghidrolisis kompleks protein. Seperti reaksi berikut ini:

enzim



<-----

Mineralisasi akan dipercepat bila keadaan tanah berdrainase dan aerasi baik dan banyak kation basa.

Transformasi Nitrogen. Nitrogen tanah secara umum dapat dibagi dalam dua bentuk yaitu bentuk organik dan anorganik. Bentuk organik merupakan yang terbesar. Bentuk anorganik terdapat sebagai bentuk amonium, nitrit, nitrat, N_2O , NO dan gas N_2 yang hanya dapat digunakan oleh Rhizobium. Bentuk N_2O dan NO merupakan bentuk-bentuk yang hilang dari tanah dalam bentuk gas, akibat proses denitrifikasi.

Proses amonifikasi dapat berlangsung hampir dalam setiap keadaan, disebabkan organisme yang mampu melakukannya sangat banyak dan heterogen. amonium yang dihasilkan dengan cara demikian akan mengalami beberapa perubahan yaitu: (1) dipakai langsung oleh bakteri dalam melanjutkan proses dekomposisi, (2) diambil langsung oleh tanaman, (3) dikonversikan ke nitrit dan nitrat dan (4) difiksasi oleh mineral klei tertentu dari tipe 2:1.

Dalam hal pertama, sejumlah nitrogen dipakai oleh organisme amonifikasi atau organisme lain yang dapat menggunakan senyawa yang demikian. Fungsi mikoriza misalnya, dapat mengabsorbsi nitrogen amonium dan sebagian diteruskan atau diberikannya kepada tanaman inang.

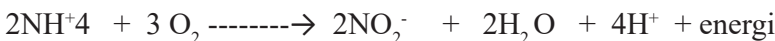
Hal kedua, tanaman dapat menggunakan bentuk ini dengan mudah, terutama tanaman muda. Hampir semua tanaman muda dapat mempergunakannya, walaupun mereka akan tumbuh lebih baik bila diberikan juga bentuk nitrogen-nitrat. Tanaman padi lebih menyukai nitrogen –amonium daripada nitrogen-nitrat.

Hal ketiga, terjadi bila nitrogen amonium dioksidasikan oleh bakteri-bakteri tertentu menjadi suatu bentuk baru yaitu nitrat. Proses biokimia ini terkenal dengan nitrifikasi.

Perubahan keempat, yaitu ion amonium dapat diikat oleh beberapa mineral klei dari tipe 2:1. ion ini mempunyai ukuran yang hampir yang sama dengan K^+ . Ikat dan mineral klei serupa mempunyai kemampuan mengikat NH_4^+ , tidak menjadi dioksidasikan, walaupun lambat laun ia akhirnya menjadi tersedia juga.

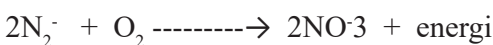
Nitrifikasi. Nitrifikasi merupakan oksidasi enzimatik yang dilakukan oleh bakteri-bakteri tertentu. Proses ini berlangsung dalam dua tahap yang dikoordinasikan dan masing-masing tanah dilakukan oleh grup bakteri yang berbeda. Proses pertama yang terjadi adalah pembentukan nitrit, yang segera diikuti oleh proses oksidasi sehingga terbentuk nitrat. Secara sederhana perubahan enzimatik tersebut dapat dilukiskan sebagai berikut:

oksidasi



enzimatik

oksidasi



enzimatik

Dalam keadaan yang menguntungkan berlangsungnya kedua reaksi tersebut, transformasi kedua berlangsung begitu cepat berlangsung menyusul reaksi pertama, sehingga penimbunan nitrit tidak terjadi. Keadaan ini sangat menguntungkan, karena ion nitrit sangat beracun bagi tanaman, sehingga bentuk nitrat cenderung diakumulasikan di dalam tanah.

Perubahan amonium menjadi nitrit dilakukan oleh bakteri nitrosomonas yang tergolong kedalam bakteri obligat autotrofik yang lain yaitu nitrobacter. Schubungan dengan ini perlu dicatat bahwa mungkin ada organisme tanah lainnya yang mampu menghasilkan nitrat sebagai hasil sampingan. Disamping itu terdapat juga kemungkinan bahwa oksidasi foto-kimia seperti yang terjadi pada tanah-tanah tropika dapat menghasilkan nitrat.

Bakteri nitrifikasi sangat peka terhadap lingkungan, karenanya nitrifikasi merupakan hubungan lemah dalam peredaran nitrogen. Faktor-faktor tanah yang mempengaruhi proses nitrifikasi dapat disebutkan yaitu (1) aerasi, (2) suhu, (3) kelembaban, (4) kapur aktif, (5) pupuk dan (6) nisbah karbon- nitrogen.

Pengaruh Aerasi. Oleh karena bakteri nitrobacter adalah autotrof, maka proses nitrifikasi hanya berlangsung bila ada oksigen. Dari percobaan ternyata bahwa bentuk N-nitrat yang dihasilkan berbanding lurus dengan dengan jumlah oksigen yang terdapat dalam tanah. Hubungan ini menunjukkan pentingnya untuk mengusahakan keadaan agar diffuse gas/ udara ke dalam dan keluar tanah berlangsung lancar sehingga persediaan oksigen cukup. Pembajakan dan penyiangan, terutama bila granulasi tidak rusak, merupakan cara untuk meningkatkan nitrifikasi.

Pengaruh Temperatur. Temperatur sangat menunjang proses nitrifikasi. Proses ini akan berjalan baik antara 27 hingga 32°C. pada suhu 52°C nitrifikasi secara praktis berhenti dan pada titik beku nitrifikasi tidak terjadi, tetapi pada suhu 2-5°C nitrifikasi mulai berlangsung. Hal ini menyebabkan pemberian pupuk pada daerah yang beriklim dingin pada saat suhu rendah, merupakan tabungan waktu dan uang bagi petani karena tidak terjadi nitrifikasi yang dapat menyebabkan tercucinya nitrat dari lapisan tanah.

Pengaruh Kelembaban Tanah. Kelembaban tanah sangat mempengaruhi tingkat nitrifikasi, dimana kelembaban tinggi lebih baik dari kelembaban rendah. Dalam praktek kelembaban yang optimum bagi tanaman merupakan optimum bagi bakteri nitrifikasi masih berlangsung pada kelembaban sedikit dibawah titik layu permanen.

Pengaruh Kapur aktif. Bakteri nitrifikasi memerlukan kapur untuk melakukan proses nitrifikasi. Disamping itu proses oksidasi memerlukan banyak basa yang dapat diperlukan. Proses nitrifikasi biasanya berlangsung pada pH antara 5,5 hingga 10, dengan pH optimum adalah 8,5. Akan tetapi, juga diketahui bahwa nitrat dapat dihasilkan pada tanah yang ber pH 4,5. Sebenarnya hingga batas tertentu kemasaman mempengaruhi proses nitrifikasi, bila terdapat cukup basa-basa. Pada pH dibawah 5, tanah organik menunjukkan akumulasi nitrat yang cukup banyak.

Pengaruh Pupuk . Pupuk yang diberikan ke dalam tanah, walaupun dalam jumlah sedikit dapat menstimulir nitrifikasi. Keadaan ini mungkin disebabkan oleh tersedianya bahan dasar sebagai sumber untuk proses nitrifikasi dan sebagai sumber energi dari bakteri nitrifikasi. Suatu keseimbangan antara N,P dan K ternyata sangat menolong nitrifikasi.

Pemberian pupuk yang mengandung amonium adalah sangat menstimulir proses nitrifikasi, karena untuk terjadinya nitrifikasi harus ada amonium (NH_4^+). Disamping itu sebagai sumber amonium ini dapat pula dari bahan organik yang telah mengalami dekomposisi. Tetapi patut dicatat bahwa pemberian amonium yang terlalu banyak pada tanah-tanah sangat basa dapat menekan proses perubahan nitrit ke nitrat. Dalam hal ini amonium menjadi racun untuk nitrobacter, tetapi tidak untuk nitrosomonas. Akibatnya terjadi penimbunan nitrit dan akan menjadi racun tanaman.

Pengaruh Nisbah karbon-nitrogen. Sebagai pegangan umum dapat dikatakan bahwa apabila bahan organik yang akan dihancurkan mempunyai C/N rasio lebih besar dari 30, maka akan terjadi imobilisasi nitrogen tanah. Hal ini dapat diterangkan karena semua nitrogen anorganik yang tersedia dalam tanah akan dikonversikan ke dalam tubuh organisme dalam bentuk organik. Pada saat ini nitrifikasi dapat dikatakan terhenti, karena kurangnya amonium tersedia. Bentuk amonium juga digunakan oleh tanaman. Jadi, terjadi kompetisi terhadap nitrogen antara tanaman inang dengan bakteri.

Pada saat nisbah C/N lebih kecil dari 20, maka ini berarti telah terjadi pelepasan nitrogen dari bahan organik akibat dekomposisi ke dalam tanah. Dalam keadaan yang demikian sebagian bahan organik telah lapuk, dimana bahan berenergi sudah berkurang dan asimilasi nitrogen oleh bakteri juga telah berkurang. Keadaan ini akan menunjang terjadinya proses nitrifikasi dan nitrat mulai lagi menimbun. Jadi nisbah karbon-nitrogen, melalui pengaruh selektifnya terhadap organisme tanah, dapat mengendalikan nitrifikasi dan adanya nitrat dalam tanah.

8.10.2 Penambatan nitrogen

Hingga sekarang telah dikenal dua cara penambatan nitrogen pada tanah yaitu: (1) penambatan/ fiksasi oleh bakteri legum dan (2) penambatan /fiksasi bebas atau azofikasi.

Penambatan N oleh bakteri legum. Penambatan nitrogen dari udara dilakukan oleh bakteri *Rhizobium* yang bersimbiosis dengan tanaman legum. Keadaan ini dapat dilihat dengan adanya bintil pada akar tanaman tersebut. Bintil ternyata merupakan hasil suatu iritasi pada permukaan akar, kurang lebih mirip dengan benjol-benjol pada daun atau batang yang disebabkan oleh insekta. Biasanya organisme masuk melalui akar rambut. Tabung infeksi tumbuh sepanjang akar rambut sehingga akhirnya mencapai konteks dengan akar halus, dimana bintil kemudian dibentuk dan pada mana penambatan (fiksasi) nitrogen berlangsung. Bagaimana tanaman mengabsorbsi nitrogen ini setelah difiksasi bakteri tidak begitu dipahami dan juga dalam bentuk apa pertama nitrogen diikat.

Energi untuk kehidupan organisme tadi, diambil dari tanaman inang. Setiap jenis *Rhizobium* melewati untuk alfalfa dan sweet clover, *Rhizobium trifolii* untuk kedelai dan sebagainya. tetapi beberapa inokulasi silang juga terdapat di alam. Misalnya organisme clover dan beans dapat ber inokulasi silang.

Suatu kenyataan yang juga terdapat bahwa beberapa tanaman bukan leguminosa dapat pula bersimbiosis dengan *Rhizobium* seperti vanili Betulaceae, Myricaceae, coriaceae, Rhamnaceae dan Casuarinaceae.

Penambatan maksimum akan terjadi bila kadar nitrogen dalam tanah rendah. Tetapi dalam praktek selalu disarankan untuk memberi sedikit pupuk nitrogen bagi tanaman kacang-kacangan sekedar untuk menjamin pertumbuhannya sebelum bakteri itu dapat membentuk bintil-bintil pada akar. Pemberian nitrogen yang terlalu banyak akan menekan aktivitas *Rhizobium*, karena itu tidak ekonomis.

Jumlah gas nitrogen yang dapat ditambat oleh bakteri *Rhizobium* adalah tergantung dari strain *Rhizobium*, tanaman inang dan keadaan lingkungan misalnya pH tanah, aerasi, drainase, kelembaban tanah dan kapur aktif. Tabel 8-6 berikut ini menunjukkan jumlah tambatan nitrogen oleh beberapa tanaman kacang-kacangan.

Unsur molibdenum telah diketahui sangat esensial untuk proses penambatan nitrogen, walaupun diperlukan dalam jumlah yang sedikit sekali. Unsur mikro ini diperlukan dalam reaksi enzimatik dengan cara mana nitrogen diikat dari udara. Para peneliti percaya bahwa pengaruh pengapuran terhadap legum mungkin disebabkan pengaruh tidak langsung terhadap ketersediaan molibdenum yang mengikat.

Nitrogen yang diikat oleh bakteri nodul akan mengalami beberapa perubahan yaitu (a) digunakan untuk tanaman inang, (b) masuk ke dalam tanah dan (c) untuk digunakan tanaman berikutnya. Nitrogen yang dihasilkan oleh bakteri yang bersimbiosis dengan tanaman inang, dapat digunakan oleh tanaman inang tersebut. Kedua nitrogen dapat masuk ke dalam tanah, baik melalui ekskresi atau matinya bagian-bagian tanaman terutama bintilnya. Jika jerami legum ditanam sebagian dari nitrogennya menjadi tersedia bagi tanaman berikutnya. Hal ini disebabkan karena nisbah C/N yang rendah, menyebabkan nitrogen cepat muncul sebagai amonium dan nitrat.

Tabel 8.6 Jumlah Tambatan Nitrogen Rata-Rata Oleh Tanaman Kacang - Kacangan

Legum	Nitrogen yang ditambat	Legume	Nitrogen yang ditambat (kg/ha)
Alfala	194	Lespedeza	85
Ladino clover	179	Vetch	80
Sweet clover	119	Peas	72
Red clover	114	Soybeans	58
Kudzu	107	Winter peas	50
White clover	103	Peanuts	42
Cowpeas	90	Beans	40

Akan tetapi, dapat pula diingat bahwa legum mungkin dapat menurunkan kadar nitrogen tanah. Hal ini terjadi bila kadar nitrogen total tanah tinggi dan semua bagian tanaman legum diangkut dari tanah. Walaupun demikian bila ditinjau dari pengambilan nitrogen secara netto dari tanah oleh legum lebih sedikit dari non legum. Oleh karena itu penggunaan tanah legum lebih sedikit dari non legum. Oleh karena itu penggunaan tanaman legum terutama pada rotasi adalah tetap dianjurkan.

Penambatan N Bebas. Biasanya penambatan bebas atau azofikasi dilakukan oleh bakteri-bakteri yang dapat menggunakan energi dari bahan organik. Nitrogen ini diinkorporasikan ke dalam tubuhnya dan kan tinggal

dalam bentuk protein dan senyawa serupa bila mereka mati. Jenis bakteri yang dapat melakukan ini adalah jenis *Azotobacter*, sehingga proses ini sering disebut sebagai azofikasi. *Azotobacter* adalah bakteri yang bersifat aerobik dan menggunakan bahan organik sebagai sumber energi. Bakteri-bakteri ini tidak berasosiasi dengan tanaman legum atau non legum, sehingga transformasi yang demikian disebut dengan non simbiotik atau penambatan bebas.

Selanjutnya jenis lain yang anaerobik atau mungkin fakultatif yang dapat mengikat nitrogen secara bebas dari udara adalah bakteri *Clostridium* sp. tetapi perlu juga diingat bahwa bakteri tadi kadang-kadang menggunakan juga bentuk amonium ataupun nitrat yang terdapat dalam tanah sebagai sumber energi.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi azofikasi yaitu (1) bahan organik yang berkadar karbon tinggi dan (2) pH tanah. Kadar karbon (C) yang tinggi terdapat pada padang rumput. Hal ini menyebabkan nisbah nitrogen karbon tinggi yang merupakan daerah yang ideal untuk azofikasi. *Azotobacter* ternyata peka terhadap kapur aktif dan kalau tidak terdapat banyak basa-basa, pengikatan N agak lambat. Demikian juga pH tanah berpengaruh terhadap penambatan bebas ini, dimana pada pH tanah 5,6 penambatan nitrogen lambat, sedangkan pada pH dibawah 5 praktis berhenti. pH optimum adalah sekitar 6-6,5.

Jumlah nitrogen yang masuk ke dalam tanah melalui proses azofikasi ini sukar ditentukan, karena sangat tergantung kepada kegiatan dari bakteri itu sendiri, keadaan tanah dan faktor lingkungan yang menunjang. Dapat dikatakan secara umum jumlah penambatan nitrogen secara ini rata-rata mencapai 25 kg nitrogen per hektar per tahun.

8.10.3 Neraca nitrogen

Bagian dari peredaran nitrogen yang perlu mendapat perhatian yang serius adalah penambahan dan kehilangan nitrogen dari tanah. Keadaan ini dikenal dengan neraca nitrogen tanah. Ada beberapa cara yang dikenal mengenai penambahan nitrogen ke dalam tanah-tanah pertanian, yaitu (1) pengikatan oleh bakteri legum, (2) pengikatan bebas atau azofikasi, (3) melalui air hujan dan (4) dari pupuk. Penambahan nitrogen ke dalam tanah oleh penambatan telah dibicarakan terdahulu.

Penambahan N dari air hujan . Nitrogen dalam air hujan pada umumnya berbentuk nitrat dan amonium. Nitrat dapat terjadi di udara akibat oksidasi N_2 , dan kemudian larut dalam air hujan. Disamping itu senyawa-senyawa nitrogen di udara dalam bentuk NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- sampai ke

permukaan bumi juga melalui presipitasi. Amonium umumnya berasal atau dihasilkan oleh industri-industri ataupun berasal dari penguapan tanah.

Jumlah nitrogen yang masuk ke tanah adalah sangat bervariasi dan tergantung kepada tempat dan musim. Secara umum dapat dikatakan bahwa penambahan akan lebih banyak pada daerah tropis dari pada iklim lainnya. Sebagai suatu ilustrasi tentang jumlah nitrogen yang jatuh bersama air hujan dapat dilihat pada Tabel 8-7.

Tabel 8.7 Jumlah Nitrogen yang Jatuh Bersama Air Hujan

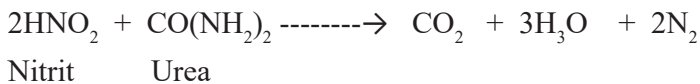
Tempat	Lama pen- gamatan	Curah hujan	Kg N per hektar per tahun	
			N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
Harpenden, Inggris	28	720	2.64	1.35
Garford, Inggris	3	670	6.43	1.93
Flahult, Sweden	1	810	3.32	1.30
Groningen, Belanda	-	690	4.54	1.46
Eloemfonten dan Durban Afrika Selatan	2	-	4.02	1.39
Ottawa, Canada	10	590	4.42	2.16
Itacha, New York	11	790	3.65	0.69
Muara, Bogor	1	4.936	10.99	2.16

Bentuk amonium yang masuk ke dalam tanah melalui presipitasi lebih besar dari bentuk nitrat. Tetapi Tabel diatas memperlihatkan bahwa angka N-NH₄⁺ adalah sangat bervariasi, sedangkan N-NO₃⁻ hampir sama untuk seluruh tempat terkecuali Muara Bogor. Secara menyeluruh dapat dikatakan bahwa daerah beriklim sedang dan humid rata-rata pertumbuhan nitrogen mencapai 4,5 kg N-NH₄⁺ dan 1% kg-NO₃⁻ tiap tahunnya. Dengan memperhitungkan kehilangan karena run off sebesar 20% maka 80% dari jumlah itu masuk ke dalam tanah setiap tahunnya.

Penambahan N melalui pupuk. Nitrogen yang ditambahkan sebagai pupuk akan mengalami reaksi-reaksi sama seperti nitrogen yang dibebaskan oleh proses biokimia dari sisa tanaman. Sebagian besar dari pupuk nitrogen dijumpai dalam bentuk nitrat, amonia dan urea. Bentuk urea mudah dimodifikasikan, nitrifikasi dan dipakai oleh jasad renik dan tanaman. Pupuk amonium dapat dioksidasikan menjadi nitrat atau dapat langsung digunakan dalam bentuk amonium. Pupuk garam nitrat dapat langsung digunakan oleh tanaman ataupun hilang karena penguapan dan pencucian oleh air.

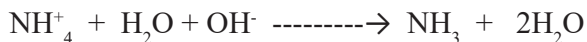
Ternyata pada hampir semua keadaan tanah, oksida nitrous (N_2O) merupakan yang paling banyak hilang ke udara. Selanjutnya pH tanah ikut menentukan bentuk nitrogen yang hilang. Pada pH di atas 7 kehilangan nitrogen adalah bentuk elemennya sedangkan pada pH dibawah 6 bentuk yang hilang adalah nitrit.

Reaksi-reaksi kimia. Kehilangan nitrogen dari tanah masam telah diketahui merupakan salah satu cara kehilangan nitrogen dalam bentuk gas. Umpamanya nitrit dalam larutan sedikit masam akan menguap sebagai gas bila dicampur dengan garam amonium tertentu, seperti urea. Reaksi dapat digambarkan sebagai berikut yaitu:



Pada tanah-tanah darat yang berdrainase baik dengan pH 5,5-7,0 kehilangan ini mungkin juga tidak terlalu besar, walaupun tergenang. Dalam praktek kehilangan ini dapat ditekan dengan mengusahakan agar drainasenya baik dan mengatur pH tanah sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Akan tetapi, walaupun demikian perlu juga ditambahkan bahwa tipe volatilisasi yang demikian adalah bersifat kimia dan tidak memerlukan keadaan tanah yang jelek.

Penguapan amoniak. Garam-garam amonium dalam tanah bereaksi agak basa dengan reaksi sebagai berikut:



Begitu juga bila pupuk NH_4^+ yang ditempatkan dipermukaan tanah alkali, akan terjadi penguapan NH_3 . Kehilangan nitrogen dalam bentuk gas adalah lebih besar dari kehilangan yang disebabkan pencucian. Kehilangan ini akan diperbesar lagi bila jumlah pupuk N yang ditambahkan ke dalam tanah cukup besar dengan keadaan tanah yang reduksi. Nitrat dapat direduksi walaupun drainase tanah cukup baik. Volatilisasi merupakan konsekuensi yang penting dari cara-cara pemupukan. Dari keadaan ini dapat dibayangkan berapa banyak kehilangan nitrogen dari urea yang diberikan ke sawah yang keadaan airnya macam-macam. Untuk ini disarankan dalam penggunaannya agar dibanamkan kedalam tanah.

Dari penelitian dengan lysimeter ternyata bahwa 10 hingga 20% dari nitrogen yang ditambahkan dalam pupuk hilang menguap. Hasil-hasil penelitian dengan lysimeter 15 tahun di Cornell menunjukkan bahwa sebanyak 40-45 kg N per hektar hilang akibat penguapan.

Kehilangan N akibat pencucian. Kehilangan nitrogen akibat pencucian tidaklah sebesar kehilangan oleh penguapan. Kehilangan ini akan diperkecil lagi bila tanah ditumbuhi tanaman. Pada tanah-tanah bera dan gundul kehilangan dalam bentuk pencucian mungkin lebih besar. Walaupun nitrogen termasuk unsur yang mobil di dalam tanah, tetapi kehilangan dalam bentuk pencucian ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan bentuk kehilangan lain. Pada daerah humid dengan jumlah curah hujan tinggi kehilangan ini dapat diperbesar. Rata-rata kehilangan nitrogen oleh pencucian pada daerah humid adalah antara 5-6 kg per hektar per tahun.

Kehilangan N bersama panen. Kehilangan nitrogen bersama panen adalah cukup besar. Apalagi bahan tanaman yang dipanen tidak dikembalikan kedalam tanah dalam bentuk bahan organik. Mungkin kehilangan ini agak kecil, bila sebagian dari tanaman ataupun seluruh bagian tanaman yang bukan hasil produksi dikembalikan lagi ke tanah dalam bentuk bahan organik (misalnya jerami padi, jerami jagung dll).

Besarnya kecilnya kehilangan nitrogen bersama panen ini sangat tergantung dari jenis, umur serta tujuan penggunaan dari tanaman tersebut. Kehilangan ini akan lebih besar bila seluruh bagian tanaman ikut dipanen. Misalnya padi sawah akan akan mengangkut banyak N bila dipanen seluruhnya bersama jerami. Pengangkutan N dapat diperkecil bila yang dibawa keluar sawah hanya gabah saja. Sebagai contoh misalnya kacang tanah yang mempunyai produksi 1,5 ton/ha akan mengangkut nitrogen sebesar 45 kg. Akan tetapi bila dipanen bersama batangnya maka kehilangan nitrogen dapat mencapai 65 kg/ha. Tebu dengan produksi 67,2 ton/ha mengangkut nitrogen sebesar 150 kg/ha. Sebagai angka rata-rata dapat dikatakan bahwa tanaman mengangkut nitrogen sebesar 60-100 kg/ha/tahun.

8.11 Fosfor Tanah

Seperti juga unsur nitrogen maka fosfor merupakan hara makro dan esensial bagi pertumbuhan tanaman. Persoalan yang umum dihadapi oleh fosfor dalam tanah adalah tidak semua fosfor tanah dapat segera tersedia untuk tanaman. Dalam hal ini sangat tergantung kepada sifat dan ciri tanah serta pengelolaan tanah itu sendiri oleh manusia. Disamping itu penambahan fosfor ke dalam tanah tidak terjadi dengan pengikatan biokimia seperti halnya nitrogen, tetapi hanya bersumber dari deposit atau batuan dan mineral yang mengandung fosfor di dalam tanah. Oleh karena itu kadar fosfor tanah juga ditentukan oleh banyak atau sedikitnya cadangan mineral yang mengandung fosfor dan tingkat pelapukannya.

Permasalahan fosfor tanah akan dibahas selanjutnya yang meliputi: (1) peredaran fosfor tanah, (2) bentuk fosfor tanah (3) ketersediaan fosfor tanah.

8.11.1 Peredaran fosfor tanah

Sebagai sumber utama fosfor tanah adalah kerak bumi, yang diduga mengandung kurang lebih 0,12% fosfor. Demikian pula semua air di bumi mengandung fosfat yang kadarnya amat rendah. Cadangan endapan fosfat yang telah diketahui hingga sekarang dan mempunyai nilai ekonomi, terutama adalah di: (1) Amerika Serikat (43,3%), (2) Rusia(17,5%), (3) Maroko(17%) dan Tunisia (3%). Disamping itu juga terdapat di Algeria, Brazilia, kepulauan Pasifik dan Mesir. Di Indonesia endapan ini terdapat di sekitar Cirebon, tetapi dalam jumlah relatif sedikit.

Sumber fosfat alam yang dikenal maupun kadar P-nya adalah batuan beku dan batuan endapan (sedimen), dimana bahan mineralnya mengandung apatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})_2$). Mineral ini merupakan senyawa karbonat, fluor, chlor atau hidroksil apatit yang mempunyai kadar P_2O_5 berkisar 15-30%. Mineral ini sangat sukar larut dalam air dan tidak tersedia bagi tanaman. Dengan adanya proses pelapukan apatit akan mengalami perubahan yang kemudian akan membebaskan fosfat dalam ikatan Ca-fosfat.. Selain apatit dikenal pula senyawa fosfat lain yang bersenyawa dalam bentuk aluminium-fosfat dan besi-fosfat yang juga sukar larut dan kurang tersedia bagi tanaman.

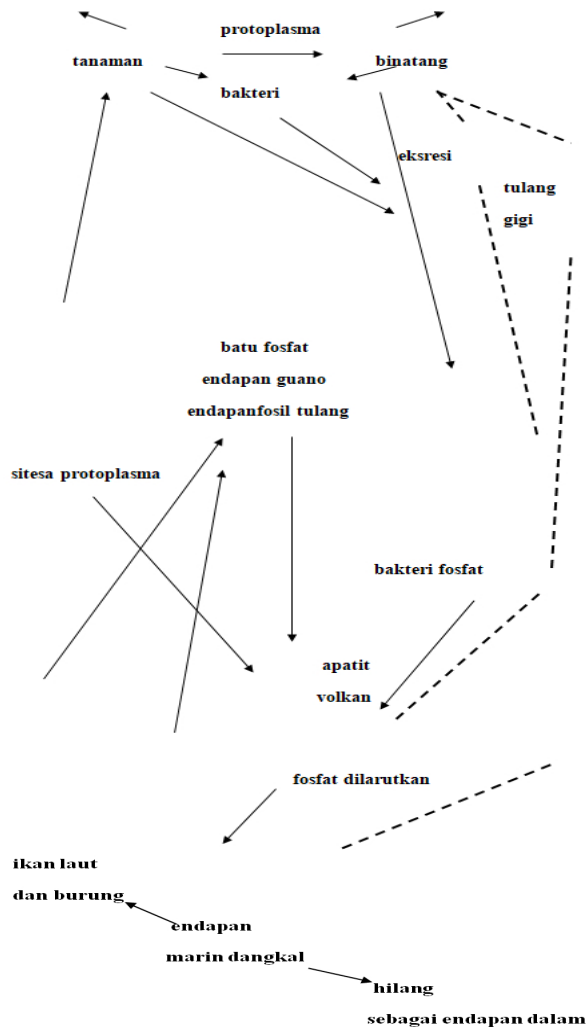
Fosfat juga dapat diikat sebagai anion yang dapat dipertukarkan dan dapat terikat dalam bentuk-bentuk yang tidak dapat diabsorpsi tanaman. Sebagai akibat dari sifat kimia fosfat, konsentrasi fosfat dalam larutan tanah adalah rendah. Fosfat masuk ke dalam biosfir melalui proses absorpsi oleh tanaman dan jasad renik. Dengan melalui proses dekomposisi bahan tanaman dan jasad renik, fosfat larut dan masuk kembali ke dalam tanah.

Pembebasan fosfat dari bentuk tidak larut seperti batuan fosfat atau fosfat lain yang terfiksasi adalah sangat rendah , tetapi jumlah fosfat yang diangkut air sungai dan berakhir di laut sangat besar. Diperkirakan 3,5 juta ton hilang ke dalam laut tiap tahun, yang mengendap sebagai Ca-fosfat yang sukar larut. Hanya sebagian kecil bentuk fosfat ini kembali ke tanah melalui bentuk guano yang dihasilkan burung-burung laut dan oleh manusia dalam bentuk ikan yang ditangkap di laut.

Manusia ikut mempercepat proses penurunan cadangan fosfat tanah dengan memproduksi pupuk fosfat. Batuan fosfat yang sukar larut diubah menjadi bentuk-bentuk yang lebih larut dalam air melalui reaksi-reaksi dengan asam mineral. Bahan ini kemudian disebar di atas tanah pertanian

dan sekarang menjadi lebih peka terhadap gaya-gaya erosi dibandingkan bentuk batuan fosfat semula. Sekarang sebagian besar dari fosfat itu dipercepat penguburannya di dasar laut.

Selanjutnya kehilangan fosfor dalam bentuk dibawa bersama panen juga tidak boleh diabaikan. Kehilangan P ini dapat semakin diperbesar bila tanaman yang dipanen, seluruh bagiannya tidak dikembalikan lagi ke dalam tanah. Demikian juga kehilangan bersama hewan ternak yang dikonsumsi. Sebagai Gambaran dari peredaran fosfor tanah dapat dilihat pada Gambar 8-6 .



Gambar 8.6 Peredaran fosfor tanah

8.11.2 Bentuk-bentuk fosfor tanah

Secara garis besar fosfor tanah dibedakan atas fosfor anorganik dan organik. Dalam bentuk anorganik, satu hingga tiga atom hidrogen dari asam fosfat digantikan oleh kation logam. Sebagai bentuk anorganik, satu mungkin lebih atom hidrogen dari asam fosfat hilang karena ikatan ester. Sisa dari atom hidrogen, seluruhnya atau sebagian digantikan kation logam. Kedua bentuk fosfor ini merupakan sumber P yang penting untuk tanaman. Keterangan mengenai kadar fosfor dari berbagai jenis tanah di berbagai negara sangat terbatas. Dari data Oregon, Iowa, Arizona dan Jawa memberikan Gambaran relatif dari kedua bentuk tersebut seperti tertera pada Tabel 8-8 .

Tabel 8.8 Kadar Fosfor Total Tanah dari 3 Negara Bagian Amerika Serikat dan Beberapa Tempat di Jawa

Tanah	Jumlah contoh	P-total (ppm)	Fraksi organik (%)
Tanah Oregon berat			
Tanah pegunungan	4	357	65,9
Tanah lembah tua	4	1.479	29,4
Tanah lembah muda	3	848	25,6
Tanah Iowa			
Tanah prairie		613	41,6
Tanah coklat kelabu	2	574	37,3
Planosol		495	52,7
Tanah Arizona	2		
Lapisan atas	2	703	36,0
Lapisan bawah		125	34,0
Tanah Jawa			
Bogor	19	970	-
Ragunan	5	430	-
	1		
	1		

Fosfat Anorganik Tanah. Sebagai sumber utama fosfat anorganik tanah adalah mineralisasi mineral apatit, penambahan sewaktu pemupukan dan mineralisasi fosfat organik. Sebagian besar fosfat anorganik tanah berada pada persenyawaan kalsium, aluminium dan besi fosfat, yang kesemuanya sukar larut dalam air. Senyawa kalsium fosfat banyak dijumpai pada tanah-tanah yang banyak mengandung kalsium, dan ini penting dalam pemupukan. Jenis-jenis senyawa kalsium fosfat disajikan dalam Tabel 8-9.

Tabel 8.9 Senyawa Anorganik Kalsium Fosfat yang Sering Dijumpai Dalam Tanah

Senyawa	Rumus	Kelarutan
Manokalsium fosfat	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$	Naik
Dikalsium fosfat	Ca_2HPO_4	
Trikalsium fosfat	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)$	
Oksi-apatit	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaO}$	
Hidroksi-apatit	$3\text{Ca}_3(\text{P})_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$	
Karbonat-apatit	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$	
Fluer-apatit	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$	

Ditinjau dari kelarutannya maka fluorapatit adalah yang paling tidak larut dan tidak tersedia bagi tanaman, karena masih merupakan mineral. Senyawa kalsium fosfat yang lebih sederhana seperti monokalsium fosfat dan dikalsium fosfat mudah tersedia bagi tanaman. Kecuali pada tanah-tanah yang baru dipupuk, senyawa-senyawa ini umumnya dijumpai dalam jumlah sedikit, sehingga mereka mudah berubah menjadi bentuk yang tidak larut.

Aluminium fosfat adalah fosfat yang difiksasi pada lapisan permukaan hidrat dari mineral aluminium yang sukar larut dan tidak tersedia bagi tanaman. Senyawa aluminium fosfat dominan dijumpai dan lebih stabil pada tanah masam. Pada keadaan drainase baik, senyawa variscite ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang dominan dijumpai. Akan tetapi pada drainase tanah jelek dan tergenang bentuk wavellite $\text{Al}_3(\text{OH})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dominan dijumpai. Dalam tanah juga ditemui bentuk lain dari aluminium fosfat yaitu struretite $3\text{Al}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

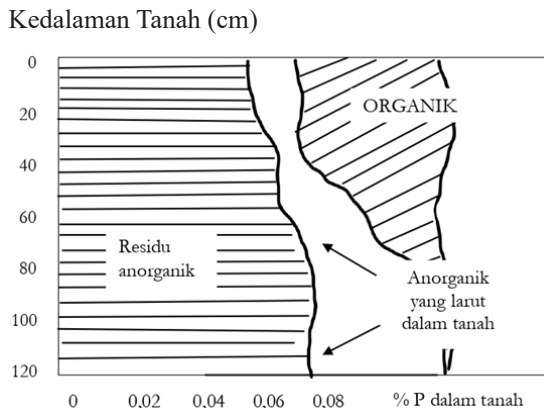
Selanjutnya, di samping bentuk kalsium dan aluminium fosfat, juga ditemui bentuk besi fosfat didalam tanah. Bentuk fosfat ini dijumpai pada tanah-tanah masam. Besi-besi fosfat lebih stabil pada tanah masam dan bila berdrainase baik, bentuk strengite ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang dijumpai, sedangkan pada tanah yang berdrainase jelek bentuk vivianite $\text{Fe}_3(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ yang banyak dijumpai.

Bentuk fosfat yang mana yang lebih dominan terdapat pada suatu jenis tanah, tergantung kepada tingkat hancuran iklim dari jenis tanah. Dari penelitian –penelitian ternyata bahwa tanah dengan hancuran iklim pada tingkat permulaan bentuk Ca-P lebih dominan dijumpai, dimana urutannya adalah $\text{Ca-P} > \text{Al-P} > \text{Fe-P}$. Tanah-tanah demikian meliputi tanah Regosol dan Aluvial yang berasal dari bahan induk vulkanik dan batuan beku. Pada tanah-tanah yang telah mengalami kehancuran yang lebih

lanjut bentuk Fe-P yang lebih dominan dijumpai, dimana urutannya adalah Fe-P>Al-P-Ca-P. Kedalam golongan ini termasuk jenis tanah Podsolik Merah Kuning, Mediteran, Latosol dan Grumosol. Disamping itu terdapat juga jenis tanah yang termasuk kedalam golongan Andosol. Pada tanah ini bentuk Al-P yang dominan, dengan urutannya Al-P>Ca-P>Fe-P

Fosfat Organik Tanah. Penelitian mengenai fosfat tanah masih sangat sedikit, walaupun senyawa ini merupakan fraksi yang melebihi setengah dari seluruh fosfat dalam tanah. Salah satu alasan mengapa keterangan yang ada begitu sedikit, adalah karena bentuknya kompleks. Walaupun demikian dari data yang sedikit itu ternyata terdapat tiga grup senyawa fosfat organik tanah yaitu: (1) fitin dan derivatnya, (2) asam nukleat dan (3) fosfolipida. Mungkin masih ada beberapa bentuk fosfat organik lain, karena beberapa peneliti meragukan bahwa hanya tiga bentuk senyawa tersebut ada.

Kandungan fosfat organik pada lapisan tanah atas (topsoil) lebih banyak dibandingkan sub soil. Hal ini disebabkan adsorpsi/ dibandingkan sub soil. Hal ini disebabkan adsorpsi akar tanaman sampai ke subsoil, sedangkan pada top soil terdapat akumulasi dari sisa-sisa tanaman dari satu generasi ke generasi berikutnya. Distribusi fosfat ini didalam tanah seperti pada Gambar 8-7



Gambar 8.7 Distribusi fosfat anorganik dan organik pada tanah di Iowa

8.11.3 Ketersediaan fosfor tanah

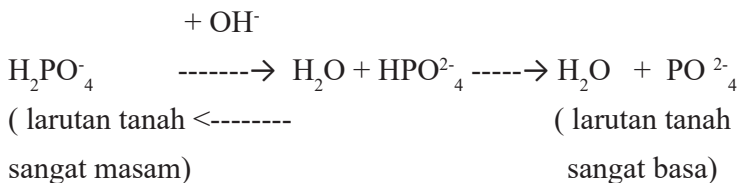
Fosfat tanah pada umumnya berada dalam bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman. Tanaman akan menyerap fosfor dalam bentuk ortofosfat $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ dan PO_4^{2-} . Jumlah masing-masing bentuk tergantung kepada pH tanah, tetapi umumnya bentuk H_2PO_4^- terbanyak dijumpai pada pH tanah berkisar antara 5,0-7,2.

Fosfor tersedia dalam tanah dapat diartikan sebagai P- tanah yang dapat diekstraksikan atau larut dalam air dan asam sitrat. Dengan demikian berdasarkan kelarutannya dan ketersediaannya dalam tanah maka bentuk P tanah dapat pula dibedakan kedalam : (1) fosfor yang dapat larut dalam air dan merupakan bentuk P yang segera dapat diserap tanaman, (2) bentuk Al-P yang dapat diekstraksi kan dengan NH F, (3) bentuk Fe-P yang dapat diekstraksikan oleh NaOH dan (4)

Ca-P yang dapat diekskresikan oleh campuran Na-sitrat dengan Na-ditionat.

Ketersedian fosfat anorganik tanah sangat ditentukan oleh faktor-faktor yaitu (1) pH tanah, (2) ion Fe, Al dan Mn larut, adanya mineral yang mengandung Fe, Al dan Mn, (4) tersedianya Ca, (5) jumlah dan tingkat dekomposisi bahan organik dan (6) kegiatan jasad renik. Empat faktor pertama berhubungan satu sama lain, karena kesemuanya tergantung dari kemasaman tanah.

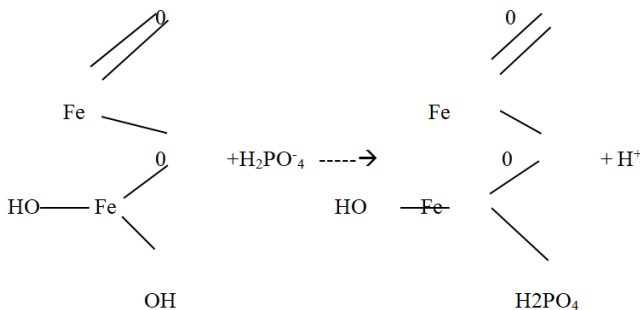
Ketersedian fosfat dan kemasaman tanah (pH). Suatu kenyataan bahwa pH tanah yang berbeda akan dijumpai bentuk ortofosfat yang berbeda pula. Pada tanah yang masam bentuk $H_2PO_4^-$ yang lebih dominan dan terus ke bentuk HPO_4^{2-} dan PO_4^{3-} dijumpai pada tanah basa. Keadaan ini dapat diperlihatkan melalui persamaan berikut:



Pada umumnya bentuk $H_2PO_4^-$ lebih tersedia bagi tanaman dari pada bentuk lain. Dalam tanah hubungan ini makin dipersulit dengan adanya kation-kation yang dapat memfikasasi bentuk fosfor tersebut.

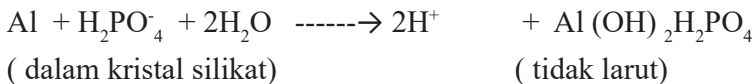
Pada tanah-tanah masam umumnya ketersediaan unsur Al, Fe dan Mn larut lebih besar sehingga mereka cenderung mengikat ion fosfat. Reaksi kimia antara ion fosfat dan Fe dan Al larut mungkin menghasilkan hidroksi fosfat. Selanjutnya penambatan/ fiksasi fosfat pada tanah yang tidak seberapa masam akan dilakukan oleh mineral kaolinit, montmorilonit dan ilit, walaupun pengikatan ini yang sebenarnya terjadi adalah akibat adanya

ion-ion Al maupun Fe yang terdapat pada permukaan klei tersebut. Dalam hal ini ion fosfat menggantikan kedudukan ion OH dari koloid tanah atau mineral, dengan reaksi sebagai berikut :



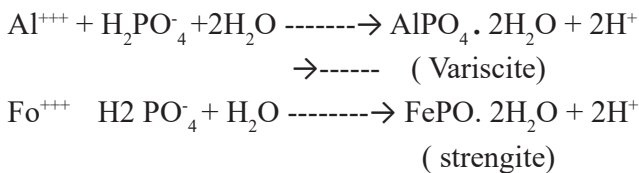
Akan tetapi, ada juga pendapat yang menyatakan bahwa pengikatan itu disebabkan oleh adanya pembebasan ion-ion Al dan Fe dari pinggiran kristal yang membentuk hidroksi fosfat.

Reaksinya adalah:

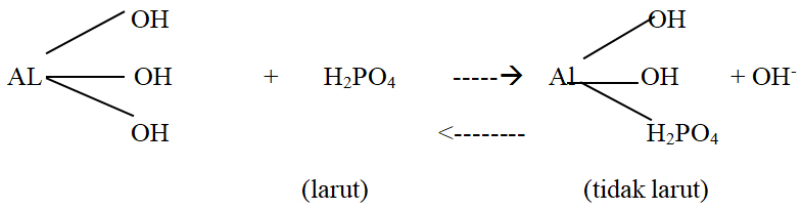


Ketersediaan fosfat dan Adanya Al, Fe, dan Ca larut. Dalam tanah sangat masam konsentrasi ion Al dan Fe jauh melebihi ion H_2PO_4^- . Konsentrasinya reaksi yang akan terjadi selalu membentuk lebih banyak fosfat tidak larut. Akibatnya hanya sebagian kecil ion H_2PO_4^- yang tinggal tersedia untuk pertumbuhan tanaman .

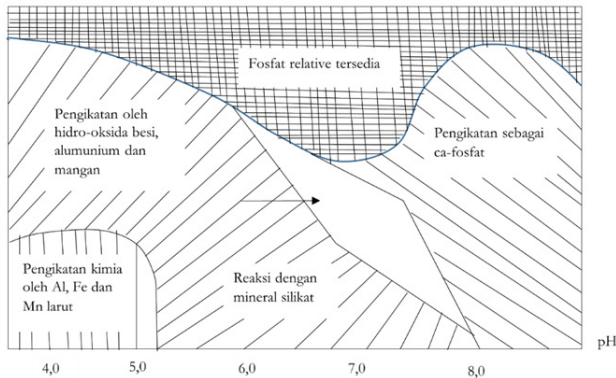
Reaksi kimia yang berlangsung antara ion-ion fosfat dengan ion-ion aluminium dan besi yang bebas dan menghasilkan bentuk hidroksi fosfat yang tidak larut . Reaksi yang terjadi dapat ditulis sebagai berikut :



Selanjutnya perlu juga ditambahkan bahwa ion-ion fosfat tidak saja bereaksi dengan ion Al, Fe dan Mn yang larut ,tetapi juga dengan oksida hidrous dari unsur-unsur tersebut, seperti liominit dan goetit. Reaksi yang terjadi sama saja dengan reaksi yang telah dikemukakan yaitu:

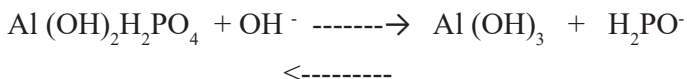


Dengan cara dan reaksi yang sama, pembentukan mineral fosfat yang mengandung besi aluminium ataupun kedua-duanya dianggap dapat terjadi di alam . Fiksasi fosfat menurut cara ini dapat terjadi pada kisaran pH yang lebar. Juga dengan adanya oksida hidrous besi dan aluminium yang banyak dalam tanah memungkinkan terjadinya pengikatan fosfat secara besar –besaran . Gambaran antara fiksasi fosfat pada berbagai keadaan pH tanah dapat dilihat dalam Gambar 8.8



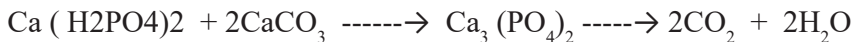
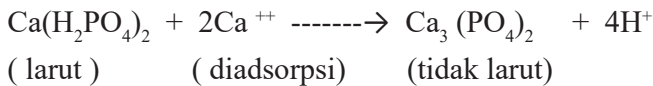
Gambar 8.8 Diagram fiksasi fosfat anorganik tanah pada berbagai pH tanah

Adsorpsi fosfat oleh ion Al dan Fe yang umum terdapat didalam tanah merupakan proses pertukaran anion secara fisikokimia ,dimana ion fosfat menggantikan kedudukan ion OH dari koloid tanah atau mineral , dengan reaksi yang dilukiskan adalah :



Satu anion (OH) di tukar dengan ion lain (H_2PO_4) , reaksi ini memperlihatkan pertukaran anion berlangsung dan menggambarkan pentingnya pengapuran untuk membantu mempertahankan tingkat fosfat tersedia yang lebih tinggi.

Pada tanah –tanah yang bereaksi basa unsur fosfat yang larut akan menjadi tidak larut disebabkan diikat oleh ion kalsium. Pada tanah demikian banyak dijumpai ion kalsium bebas dari bentuk CaCO_3 , yang mengendapkan fosfat dalam bentuk kalsium-fosfat. Sebagai ilustrasi berikut ini akan diberikan perubahan yang terjadi bila pada tanah-tanah yang ber pH tinggi dan banyak mengandung kapur ditambah pupuk fosfat. Reaksi yang akan terjadi adalah sebagai berikut:

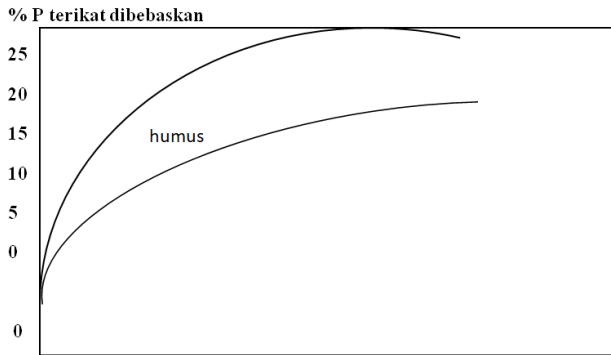


Reaksi ini akan memberikan bentuk akhir $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ yang sukar larut, dan masih dapat dikonversikan lagi menjadi bentuk yang lebih sukar lagi untuk larut. Akibat waktu yang lama dan keadaan yang memungkinkan perubahan senyawa-senyawa tersebut akan menjadi bentuk hidroksi oksi-, karbonat-, dan mungkin flourapatit. Tipe reaksi pengapuran berat. Keadaannya akan menjadi lebih serius bila di dalam tanah banyak dijumpai kalsium karbonat bebas.

Dari pembicaraan-pembicaraan terdahulu, ternyata terdapat hubungan yang erat antara bentuk fosfat tanah dengan reaksi kimia. Besi dan aluminium fosfat mempunyai kelarutan minimum pada pH sekitar 3 hingga 4. Pada pH yang mendekati normal sebagian fosfat akan dibebaskan dan kelarutan Fe dan Al rendah. Oleh karena terbentuk hidroksida oleh OH. Akan tetapi pada pH yang mendekati 6, telah mulai difiksasi oleh kalsium dan pada pH 6,5 pembentukan senyawa Ca-fosfat akan menurunkan fosfat yang tersedia, dan pada pH itu juga sebagian fosfat masih berada dalam kombinasi dengan besi dan aluminium. Jadi untuk sementara dapat diambil kesimpulan bahwa ketersediaan fosfat akan lebih banyak pada kisaran pH tanah antara 6 -7. Pada kisaran inipun perlu ditekankan bahwa ketersediaan dari fosfat mungkin masih rendah dan fosfat yang ditambahkan dapat segera difiksasi oleh tanah. Pengikatan yang demikian ini merupakan penyebab rekoveri yang rendah (sekitar 10-30%) dari fosfat yang ditambahkan.

Ketersediaan fosfat dari bahan organik. Bahan organik tanah telah dapat mempengaruhi ketersediaan fosfat melalui hasil dekomposisinya yang menghasilkan asam-asam organik dan CO_2 . Asam-asam organik seperti asam malonat, asam oxalat, asam tartarat akan menghasilkan anion

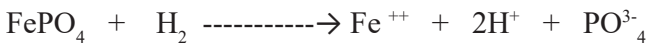
organik. Anion organik mempunyai sifat dapat mengikat ion Al, Fe dan Ca dari dalam larutan tanah, kemudian membentuk senyawa kompleks yang sukar larut. Dengan demikian konsentrasi ion-ion Al, Fe dan Ca yang bebas dalam larutan akan berkurang dan diharapkan fosfat tersedia akan lebih banyak. Sebagai contoh adalah kemampuan dari humus dan lignin dalam pembebasan fosfat disajikan dalam Gambar 8-9 berikut.



Gambar 8.9 Pengaruh penambahan bahan organik terhadap pembebasan fosfat terikat

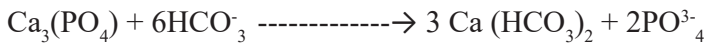
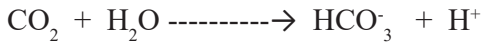
Kecepatan ketersediaan fosfat anorganik. Kecepatan pelepasan fosfat dari bentuk yang tidak tersedia ke bentuk tersedia adalah berbeda, dan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: (1) sifat tanah, (2) luas permukaan dari senyawa fosfat dan (3) waktu.

Jika fosfat larut ditambahkan kedalam tanah, dua senyawa akan segera terbentuk yaitu endapan Fe dan Al ataupun Ca-Fosfat dan senyawa serupa yang dibentuk pada permukaan partikel Fe dan Al oksida ataupun CaCO_3 . Hubungan ketersediaan ini dengan pH tanah telah banyak dibicarakan sebelumnya. Akan tetapi terdapat hal lain yang ikut mempercepat pelepasan P ini yaitu adanya pelepasan gas H_2 , CO_2 , H_2S dan CH_4 . gas-gas tersebut berasal dari proses reduksi dan dekomposisi bahan organik tanah. Reaksinya dapat terjadi adalah sebagai berikut (reduktif):



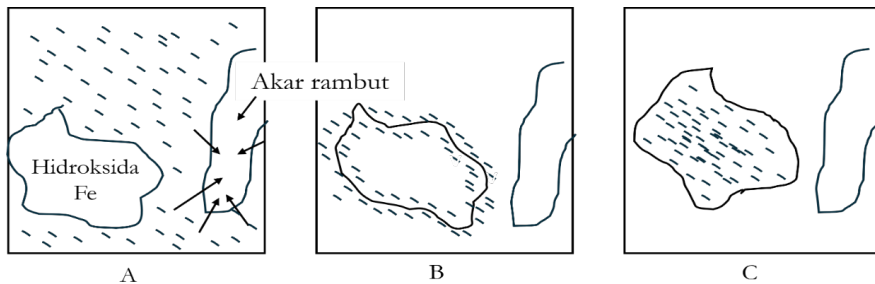
Oleh karena itu, maka fosfat pada tanah sawah tidak menjadi masalah meskipun pada tanah sawah terdapat besi.

Adanya pelepasan CO_2 (oksidatif) juga turut mempercepat pelepasan fosfat ke tanah, yang reaksinya dapat ditulis berikut ini:



Dalam kebanyakan kasus, luas permukaan total fosfat adalah besar dan akibatnya ketersediaan fosfat pun tinggi. Jadi walaupun fosfat larut dalam air diendapkan dalam tanah dan menjadi sukar larut, akan tetapi endapan fosfat yang baru akan dibebaskan kembali ke dalam tanah dan dapat diserap tanaman.

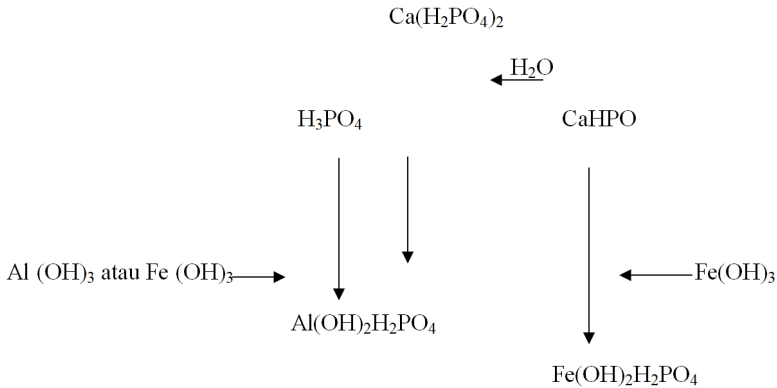
Akibat waktu juga akan terjadi perubahan fosfat didalam tanah. Perubahan –perubahan fosfat didalam tanah. Perubahan- perubahan ini umumnya menurunkan luas permukaan fosfat yang diikuti oleh menurunnya ketersediaan fosfat. Demikian juga ukuran kristal fosfat akan membesar dan ini akan memperkecil luas permukaannya. Selanjutnya akibat waktu juga akan terjadi perubahan kelarutan fosfat.



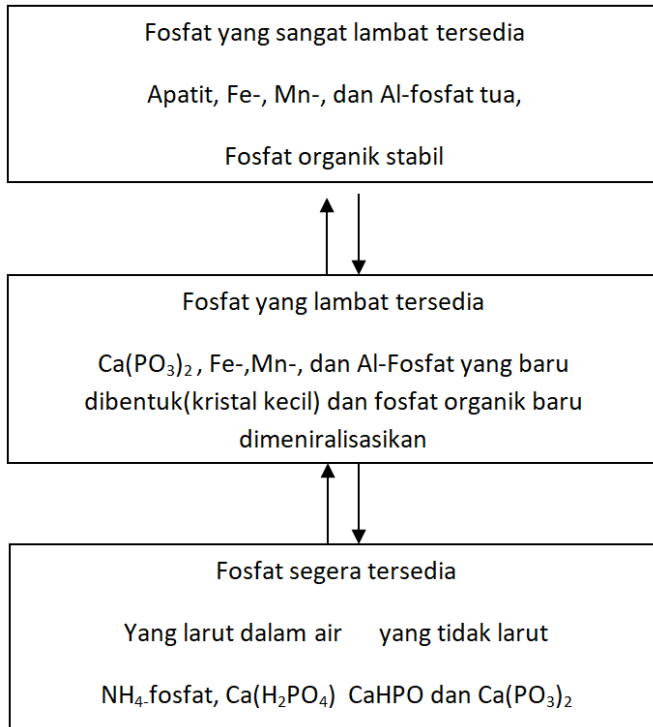
Gambar 8.10 Diagram yang memperlihatkan fosfat yang relatif larut menjadi tidak larut .(A) keadaan baru dipupuk ,akar (B) sebagai P larut bereaksi dengan permukaan kristal ,fosfat masih agak tersedia.(C) dengan waktu fosfat menyusup kedalam kristal , sehingga fosfat tersedia berkurang.

Penyusupan fosfat ke dalam partikel Ca,Al dan Fe menjadi bentuk fosfat yang tidak larut seperti terlihat pada Gambar 8-10:

Bentuk Al- fosfat dengan waktu juga akan berubah menjadi bentuk Fe-fosfat yang lebih sukar larut misalnya pada penambahan pupuk monokalsium fosfat akan ditemui bentuk Fe-fosfat pada akhirnya reaksi.Reaksinya dapat disajikan sebagai berikut:



Selanjutnya bila ditinjau dari kecepatan ketersediaan maka dapat dibedakan klasifikasi fosfat yaitu seperti pada Gambar 8-11.



Gambar 8.11 Diagram yang menunjukan klasifikasi kelarutan fosfat ketersediaan fosfat organik tanah

Ketersediaan fosfat organik tanah. Fitin dan asam nukleat merupakan sumber utama fosfat organik tanah, sedangkan bentuk fosfolipida relatif lebih sedikit. Keterangan- keterangan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan bagi tanaman sangat terbatas. Dari penelitian-penelitian didapatkan bahwa fitin dapat langsung diserap tanaman, walaupun sebenarnya penyerapan ini efektif bila fitin telah mengalami dekomposisi, sehingga menjadi bentuk fosfat anorganik. Dekomposisi ini dilakukan oleh bakteri dan fungi dengan bantuan enzim phytase menyebabkan fosfat organik berubah menjadi fosfat anorganik.

Ketersediaan fitin juga sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Fiksasi fitin lebih besar pada tanah daripada tanah netral maupun alkali. Hal ini disebabkan karena fitin bersenyawa dengan ion-ion Al dan Fe yang banyak terdapat membentuk senyawa yang tidak larut. Akan tetapi pada tanah yang agak masam dan agak basa fitin bersenyawa dengan kalsium dan magnesium dan ini mudah larut. Mekanisme pengikatan asam nukleat berbeda dengan fitin, tetapi hasilnya sama yaitu fosfat tidak tersedia. Asam nukleat secara kuat difiksasi oleh klei, terutama montmorillonit.

Bentuk lain dari fosfat organik pada umumnya diserap dalam bentuk sesudah dekomposisi. Akan tetapi ada juga sebagian kecil yang dapat diserap langsung oleh tanaman. Walaupun tanaman dapat menyerap bentuk organik ini, namun biasanya tanaman menunjukkan gejala kekurangan fosfat, meskipun bentuk P organik relatif banyak terdapat di dalam tanah.

8.12 Kalium Tanah

Kalium merupakan unsur hara utama ketiga setelah nitrogen dan fosfor. Ia diserap dalam jumlah mendekati atau bahkan kadang-kadang melebihi jumlah nitrogen, seperti halnya pada tanaman umbi-umbian, walaupun kalium tersedia dalam tanah terdapat dalam jumlah terbatas. Oleh karena itu, kalium di dalam tanah tidak mencukupi untuk pertumbuhan, maka tanaman akan menderita kekurangan dan produksinya akan rendah.

Akan tetapi pada saat sekarang, permasalahan kalium tanah belum mendapat perhatian yang serius, terutama di Indonesia. Ini mungkin karena penelitian-penelitian tentang pemupukan kalium, terutama pada padi sawah kurang memberikan respon yang tinggi terhadap pemupukan kalium. Diduga hal ini karena pada sawah-sawah terdapat penambahan kalium yang berasal dari pembakaran jerami yang tidak ikut dipanen atau tidak dibawa ke luar sawah. Pada pertanian tanah kering hal ini sudah

jelas tampak respon dari permukaan kalium yang menunjukkan hasil yang bertambah bila pemberian pupuk nitrogen dan fosfor, disertai dengan pemupukan kalium.

Walaupun keadaan kalium tanah kurang mendapat perhatian yang serius, kemungkinan terjadinya kekurangan unsur K dapat terjadi sewaktu-waktu. Dengan meningkatnya pemakaian pupuk N dan P, maka keperluan K akan meningkat pula seiring dengan meningkatnya produksi. Akibatnya serapan kalium tanah akan meningkat. Bersamaan dengan itu juga terjadi kehilangan karena pencucian, sehingga penambahan kalium ke tanah makin terasa kebutuhannya.

8.12.1 Peredaran kalium

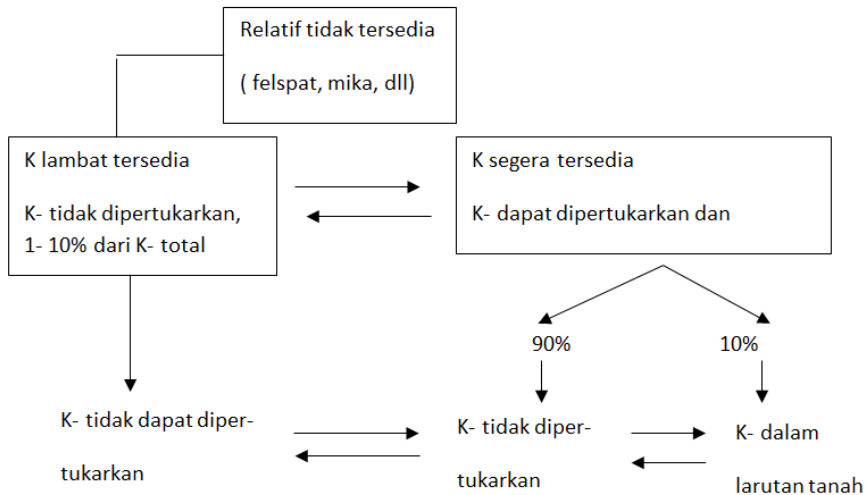
Sumber utama kalium tanah adalah kerak bumi yang mengandung asam dan mineral kalium. Sebagai unsur utama, kalium tidak dapat berdiri sendiri. Akan tetapi selalu terdapat sebagai persenyawaan di dalam berbagai batuan, mineral dan larutan garam. Secara umum diperkirakan bahwa kerak bumi mengandung lebih kurang 3,11 % K_2O , sedangkan air laut mengandung lebih kurang 0,04 % K_2O . Kalium yang terdapat pada batuan dan mineral dengan melalui proses pemupukan akan membebaskan kalium ke dalam larutan tanah dimana sebagian besar bentuk ini akan hilang akibat pencucian yang akhirnya akan berakhir di laut.

Kalium tidak dapat masuk ke tanah melalui sumber lain, sehingga proses peredaran kalium adalah lebih banyak cenderung banyak hilang. Tanaman akan mempercepat proses kehilangan kalium tanah. Mereka menyerap unsur ini dari tanah yang secara relatif terlindung dari erosi. Melalui daun-daun dan tangkai yang jatuh dan akhirnya matinya tanaman tersebut. Unsur mineral yang dipompa tanaman dari tanah menyebar rata diatas permukaan tanah dan membuat bagian-bagian tersebut peka terhadap pengaruh erosi air dan angin yang akhirnya mengendap di laut.

Kalium masuk ke dalam biosfer melalui proses absorpsi oleh tanaman, jasad renik serta hewan-hewan yang mengkonsumsi bahan tanaman tadi. Dengan didekomposisikan bahan tanaman atau bahan organik unsur K akan dibebaskan kembali. Bangkai dan jasad renik, kalium larut masuk kembali ke dalam tanah. Selanjutnya terdapat juga penambahan kalium ini dari air irigasi walaupun dalam jumlah sangat sedikit. Akan tetapi baik kalium bebas dalam tanah, yang berasal dari dekomposisi ataupun yang berasal dari air irigasi ke semuanya akan berakhir di laut. Dengan demikian peredaran kalium sifatnya lebih searah, yaitu ke arah penimbunan di laut.

8.12.2 Bentuk-bentuk kalium tanah

Berdasarkan ketersediaannya bagi tanaman, maka kalium dalam tanah dapat digolongkan kedalam beberapa bentuk yaitu: (1) bentuk relatif tidak tersedia, (2) bentuk lambat tersedia dan (3) bentuk segera tersedia. Walaupun sebagian besar kalium termasuk yang tidak tersedia, tetapi dari segi praktisnya, bentuk yang kedua dan yang ketiga lebih penting. Hubungan antara ketiga bentuk ini disajikan secara bagan sebagai Gambar 8-12.



Gambar 8.12 Diagram perbandingan relatif dari kalium tidak segera dan lambat tersedia

Tendensi keseimbangan yang dikemukakan dalam bagan ini sangat penting, terutama bila menghadapi bentuk-bentuk tersedia. Dari persamaan diatas terlihat bahwa setiap kali tanaman menyerap kalium larutan tanah atau kalium dapat dipertukarkan, maka kekurangannya akan segera diimbangi oleh bentuk-bentuk yang lambat tersedia. Demikian pula jika diberikan pupuk kalium kedalam tanah, hal sebaliknya dapat terjadi.

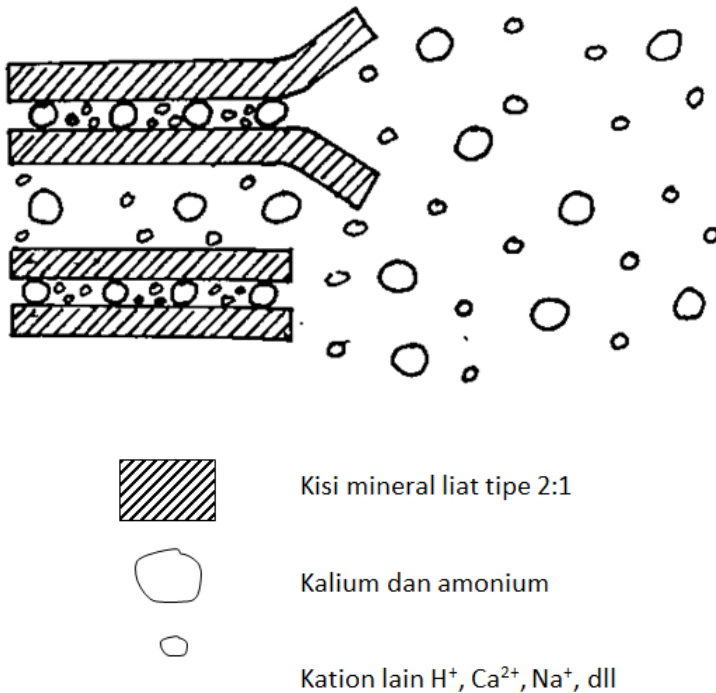
Bentuk kalium relatif tidak tersedia. Sebagian besar dari kalium tanah mineral adalah dalam bentuk kalium relatif tidak tersedia. Umumnya bentuk yang demikian ini masih berada dalam mineral-mineral tanah seperti felspart dan mika, mineral-mineral ini agak resisten terhadap hancuran iklim dan mungkin mensuplai kalium selama satu musim. Untuk mendapatkan Gambaran yang jelas tentang mineral-mineral yang mengandung kalium maka disajikan dalam Tabel 8-10

Tabel 8.10 Beberapa Mineral yang Mengandung Kalium

Mineral	Rumus Kimia	% K
Felspart		
Ortoklas	$KAlSi_3O_8$	12,30
Sanidin	$KAlSi_3O_8$	9,64
Mika		
Biotit	$K_2(Mg_4Fe)Al(Al_3Si_5O_{20})$	5,82
Muskovit	(OH)	7,48
	$KA1(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	
Felspatoid		
Luesit	$K_2(Al_2Si_2)O_8$	16,17

Pada kenyataannya hanya luesit dan biotit yang merupakan sumber langsung kalium tanaman. Walaupun demikian kontribusi kumulatif dari tahun ke tahun terhadap K-tersedia secara menyeluruh sangat penting. Kalium secara gradual menjadi tersedia karena pengaruh air yang mengandung karbonat. Demikian juga dengan adanya klei masam akan turut membantu penghancuran/pelapukan mineral kalium yang kemudian dapat membebaskan kalium dan basa-basa lainnya ke dalam tanah.

Bentuk kalium segera tersedia. Bila dalam tanah terdapat mineral-mineral tipe 2:1, seperti montmorillonit ataupun vermikulit, maka kalium yang berasal dari pupuk akan difiksasi antara kisi-kisi mineral tersebut sehingga menjadi kurang tersedia bagi tanaman. Kalium, demikian juga amonium akan terjepit diantara kisi-kisi kristal yang mudah mengembang dan mengerut seperti pada Gambar 8-13



Gambar 8.13 Mineral klei tipe 2:1 yang memfiksasi kalium dan amonium.

Seluruh keseimbangan dapat disingkatkan sebagai berikut:

K- tidak dapat -----→ K- dapat di -----→ K – larutan tanah
dipertukarkan <----- pertukarkan <-----

Pada Gambar itu terlihat bahwa kalium dan amonium dapat terjepit diantara kisi-kisi yang mudah mengembang. Sedangkan ion-ion lain yang mempunyai radius lebih kecil seperti natrium, hidrogen dan kalsium akan dibebaskan ke dalam larutan tanah. Kalium dalam bentuk demikian tidak dapat digantikan oleh cara pertukaran hara dan konsekuensinya tidak tersedia, dan selanjutnya dibentuk dalam larutan tanah. Sebagai contoh yang dikemukakan oleh Bray dan De Turk, bahwa pembebasan kalium dari tanah illinois dapat berjumlah 288 kg untuk setiap hektar selama 6 bulan. Keadaan yang serupa bukan tidak mungkin ditemukan pada daerah-daerah yang lain. Sebagai ilustrasi mengenai kemungkinan itu dapat dilihat data-data pada Tabel 8-11.

Tabel 8.11 Kehilangan Kalium karena Penanaman Intensif dan Kalium yang Berasal dari Bentuk tidak dapat Di-Pertukarkan

Tanah	K- dalam tanaman (kg/ha)	% K berasal dari bentuk tidak dapat dipertukarkan
Tanah Wisconsin		
Carrington lempung Berdebu	119	75
Spenser lempung Berdebu	59	80
Plainfield pasir	88	25
Tanah Mississippi		
Robinsolvillelempung berdebu halus	108	
Houston klei	57	33
Houston lempung berpasir	42	47
		24

Data tersebut menggambarkan besaran-besaran pembebasan kalium tidak dapat dipertukarkan dari tanah-tanah tertentu di Amerika serikat. Jumlah kalium yang terangkut tanaman sebagian besar disuplai dari bentuk tidak dapat dipertukarkan. Tetapi perlu juga diingat bahwa serapan kalium tidak hanya terjadi pada kalium yang terdapat dalam larutan tanah. Serapan langsung pun dari permukaan koloid dan dalam bentuk yang tidak dapat dipertukarkan masih dapat terjadi.

8.12.3 Ketersediaan kalium tanah

Berlawanan dengan fosfor, sebagian besar dari tanah-tanah mineral mempunyai kadar kalium tinggi. Sebenarnya jumlah ini lebih banyak dibandingkan dengan unsur hara utama lainnya. Kadang-kadang jumlah ini dapat mencapai 40 hingga 60 ribu kg/K₂O/Ha pada lapisan bajak. Namun demikian kalium yang dapat dipertukarkan tetap sedikit. Sebagian besar kalium berada dalam mineral primer yang sukar larut, sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Disamping itu terdapat juga sejumlah kalium yang difiksasi oleh mineral tipe 2:1 sehingga untuk sementara kurang tersedia.

Ketersediaan kalium diartikan adalah kalium yang dapat dipertukarkan dan dapat diserap tanaman. Dengan demikian ketersediaan kalium dalam tanah sangat tergantung kepada adanya penambahan dari kaliumnya sendiri.

Penambahan dari luar. Ketersediaan kalium dalam tanah dapat bertambah oleh adanya penambahan dari luar, yang dalam hal ini dimaksud penambahan dari air irigasi. Sedangkan penambahan dari pupuk tidak akan dibicarakan. Kadar kalium dalam air irigasi sangat ditentukan oleh sumber air irigasi dan daerah-daerah yang dilaluinya. Adanya kalium ini dalam air irigasi disebabkan oleh lumpur yang ikut terbawa bersama air. Oleh karena itu kadar kalium yang terdapat dalam air irigasi adalah berbeda-beda. Penelitian di Jawa Barat menunjukkan bahwa rata-rata air irigasi dapat memperkaya tanah sebesar 16-38 kg K_2O /Ha/tahun.

Fiksasi kalium. Umumnya fiksasi kalium akan terjadi jika didalam tanah banyak terdapat mineral klei tipe 2:1 yang dapat menyebabkan kalium terjepit di antara kedua sisinya. Akan tetapi walaupun mekanisme fiksasi dan pembebasan ini yang sebenarnya tidak diketahui dengan pasti. Faktor-faktor tanah yang mempengaruhi fiksasi kalium adalah (1) sifat koloid tanah dan (2) adanya kalsium berlebihan.

Pengaruh koloid tanah. Kemampuan dari berbagai-bagai koloid tanah dalam memfiksasi kalium adalah berbeda, dan ini sangat tergantung kepada jenis dan sifat dari koloid itu sendiri. Misalnya kaolinit, akan lebih sedikit dapat mengikat kalium jika dibandingkan dengan mineral klei tipe 2:1 seperti montmorillonit dan illit.

Mekanisme pengikat kalium adalah mineral tipe 2:1 dapat terjadi oleh karena sifat dari klei itu sendiri yang mudah mengembang dan mengerut menurut kondisi tanah. Pengikatan terjadi, yaitu pada saat keadaan basah/ lembab mineral tersebut mengembang dan kalium akan masuk diantara unit kristal tersebut. Kemudian bila tanah kembali menjadi kering/ mengering, maka kalium akan terjepit di antara unit-unit kristal tersebut. Dengan demikian bila terjadi proses pembebasan kembali maka kalium tersebut akan dibebaskan kembali ke dalam larutan tanah. Jadi proses pembebasan dan pengeringan akan menstimulir pengikatan dan pembebasan kalium tanah.

Dalam keadaan lembab fiksasi kalium terjadi, terutama jika tanah mengandung illit. Mekanisme pengikatan kalium ini tidak diketahui dengan pasti. Diduga kemungkinan kalium bergerak sebagian dalam dari kristal dan disitu menjadi bagian integral dari struktur kristal/kisinya. Jadi dalam keadaan kering maupun basah/lembab tetap akan terjadi fiksasi kalium tanah, walaupun oleh mineral yang berbeda.

Pengaruh kapur. Pengaruh pemberian kapur kedalam tanah dapat menyebabkan kalium tanah menjadi tidak tersedia. Hal ini penting artinya dalam membatasi kehilangan kalium akibat pencucian. Pemberian kapur pada tanah-tanah masam juga mempunyai efek sampingan kalium akibat pencucian lebih besar. Data-data dalam Tabel 8-12 menunjukkan keadaan ini.

Tanah lempung berpasir dalam Tabel di 8-12 jika dicampur akan menaikkan kejenuhan basa dari 28 ke 72%. Jika air diperkolasikan pada kedua persentase kejenuhan basa maka akan tampak kehilangan kalium akan lebih besar pada tanah yang ber pH rendah dan demikian dapat dikatakan bahwa pengaruh kapur dapat mengurangi kalium tercuci. Akan tetapi dipihak lain pun ternyata ketersediaan kalium tanah juga sangat rendah akibat pengapuran yang tinggi. Tentunya ketidaktersediaan kalium ini disebabkan oleh fiksasi, yang disebabkan oleh pengapuran.

Tabel 8.12 Pengaruh dari Kejenuhan Basa Terhadap Kehilangan Kalium dapat Dipertukarkan Oleh Pencucian Dari Tanah Creedmore Lempung Berpasir Kuarsa

pH tanah	Kejenuhan basa	Kehilangan K dapat dipertukarkan (% dari total)
4,83	28	70
5,30	40	49
5,63	50	26
7,03	72	16

8.12.4 Kehilangan kalium

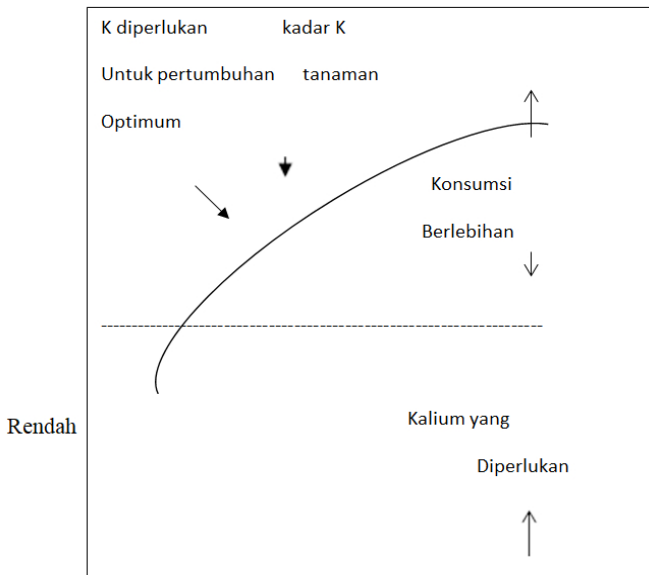
Besar kecilnya ketersediaan kalium tanah untuk tanaman juga dipengaruhi pula oleh besar kecilnya kalium yang hilang dari tanah. Kehilangan yang terbesar dari kalium tanah adalah disebabkan pencucian. Jika air drainase dari tanah yang dipupuk kalium berat diteliti maka akan ternyata terdapat kadar kaliumnya yang tinggi. Dalam keadaan yang ekstrim jumlah kehilangan ini dapat menyamai kehilangan kalium akibat panen. Apalagi pada tanah-tanah ringan dan mengandung pasir, kehilangan kalium akan lebih besar akibat drainase. Kehilangan kalium dari tanah humid dapat mencapai 20 kg untuk setiap hektar.

Kehilangan kalium akibat terangkut tanaman adalah besar , kadang-kadang tiga atau empat kali lebih besar dari fosfor dan dapat menyamai nitrogen. Hal ini tentunya akan turut mempengaruhi jumlah ketersediaan kalium dalam tanah untuk diserap tanaman.

Kehilangan kalium dapat diperbesar lagi oleh tanaman, karena kalium dalam tanaman dapat bersifat sebagai konsumsi berlebihan. Yang dimaksud dengan konsumsi berlebihan adalah dengan naiknya serapan kalium tidak lagi diikuti oleh bertambahnya produksi, seperti dapat terlihat pada Gambar 8-14.

Prinsip konsumsi berlebihan ini dapat diterangkan sebagai berikut. Untuk semua tanaman terdapat hubungan kalium yang tersedia dengan jumlah yang terangkut tanaman. Sejumlah tertentu diperlukan untuk pertumbuhan optimum, dan ini dinamakan kalium yang dibutuhkan. Akan tetapi bila pupuk kalium diberikan pada tanah dalam jumlah yang berlebihan pula, melebihi dari apa yang diperlukannya untuk mencapai hasil optimum, maka hal tersebut tidak bermanfaat. Sedangkan produksinya tetap juga tidak bertambah. Konsumsi berlebihan ini merupakan pemborosan, terutama bila seluruh bagian tanaman diangkut dari lapangan. Konsumsi berlebihan ini cukup mengkhawatirkan, karena sebagian besar kalium diberikan telah diserap oleh tanaman pertama secara berlebihan. Sehingga kalium yang tersedia untuk tanaman berikutnya menjadi sedikit. Dengan demikian ketersediaan kalium tanah akan terus diperbaiki karena adanya pemborosan yang demikian.

Kadar K tanaman Tinggi



Gambar 8.14 Diagram yang memperlihatkan hubungan umum antara kadar K tanaman dan K-tersedia

8.13 Kalsium, Magnesium, Dan Belerang

Kalsium, Magnesium dan Belerang masih merupakan unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman sesudah nitrogen, fosfor dan kalium. Unsur-unsur hara ini mempunyai problema tersendiri, terutama dalam hubungannya dengan tanaman. Untuk lebih jelas maka kesemua unsur tersebut akan dibicarakan secara terpisah.

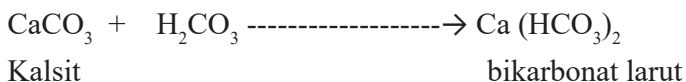
8.13.1 Kalsium tanah

Kalsium merupakan kation yang sering dihubungkan dengan kemasaman tanah, disebabkan ia dapat mengurangi efek kemasaman tanah, disebabkan ia dapat mengurangi efek kemasaman. Disamping itu ia juga memberikan efek yang menguntungkan terhadap sifat dari tanah. Pada ion hidrogen merupakan kation-kation yang dominan pada kompleks adsorpsi.

8.13.2 Sumber dan bentuk kalsium

Sebagai sumber utama kalsium tanah adalah kerak bumi yang didalamnya mengandung 3,6% kalsium. Mineral utama yang banyak mengandung kalsium adalah kalsit (CaCO_3) dan dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, yang merupakan penyusun batuan sedimen limestone dan dolomit. Untuk lebih jelasnya, Tabel 8-13 memperlihatkan mineral-mineral yang mengandung kalsium.

Dengan melalui proses pelapukan mineral-mineral ini akan membebaskan kalsium ke dalam larutan tanah, dan bentuk ini akan dapat diserap tanaman atau hilang tercuci. Contoh dari proses pelapukan dapat dilukiskan sebagai berikut:

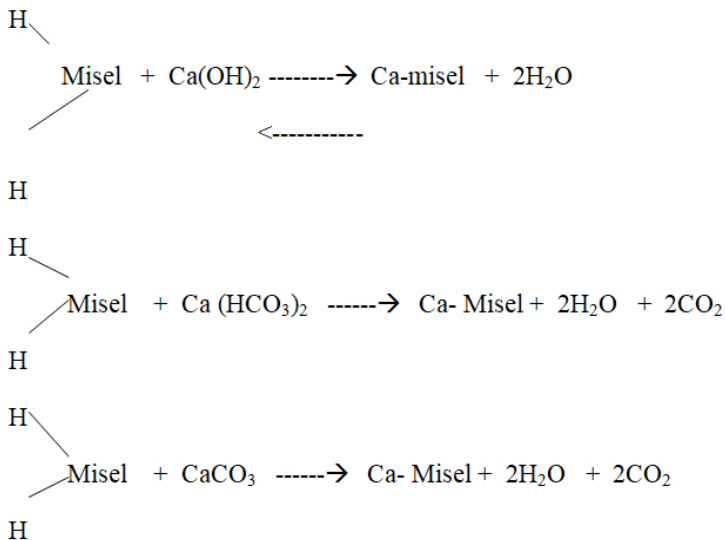


Kadar kalsium tanah mineral rata-rata adalah 0,40% pada lapisan tanah atas, sedangkan pada tanah-tanah organik kadarnya lebih tinggi yaitu dapat mencapai 2,80%. Tingginya kadar kalsium pada tanah organik mudah dimengerti, karena berasal dari air yang mengalir yang banyak membawa kapur larut didalamnya.

Secara kimiawi yang dimaksud dengan kapur adalah bentuk CaO , tetapi sekarang yang dimaksud dengan kapur adalah bahan-bahan yang dapat digunakan untuk mengontrol pH tanah, sehingga batu kapur pun sudah termasuk kapur. Di Dalam perdagangan bentuk bahan kapur yang dikenal sekarang adalah (1) kapur oksida, (2) kapur hidroksida dan (3) kapur karbonat.

Bahan kapur oksida pada umumnya disebut sebagai kapur sirih dan banyak diperdagangkan dalam kaleng. Bentuk ini sangat kaustik dan kurang menyenangkan dalam pemakaiannya. Kemurniannya berkisar antara 85-95%. Kapur dihidroksida dalam perdagangan bisa dikenal sebagai kapur tembok. Bahan ini sangat kaustik, dengan kemurnian berkisar antara 95-96 %. Sedangkan kapur karbonat adalah batu kapur yang langsung digiling dan dijual dalam bentuk kapur halus tanpa mengalami proses pembakaran. Sebagai bahan dari kapur karbonat adalah kalsium karbonat atau dolomit. Kemurniannya dapat mencapai 94%.

Selanjutnya, bila kalsium ditambahkan ke dalam tanah ia akan mengalami reaksi-reaksi dengan koloid tanah, walaupun sebenarnya keadaan ini tidaklah sederhana. Hal ini disebabkan oleh karena bahan koloid tanah akan terus menerus menghalangi reaksi-reaksi keseimbangan dengan mengadsorpsi ion kalsium. Reaksinya dapat digambarkan sebagai berikut:



Akibat dari adanya adsorpsi kalsium tersebut, maka persentase kejenuhan basa dari kompleks adsorpsi akan naik. Dengan demikian pH larutan tanah juga akan meningkat.

8.13.3 Ketersediaan kalsium

Ketersediaan kalsium dalam tanah sangat dipengaruhi oleh faktor kehilangan kalsium itu sendiri dalam tanah dan adanya mineral atau batuan yang mengandung kalsium. Semakin besar kehilangan kalsium dari tanah, semakin berkurang pula kalsium yang tersedia untuk tanaman.

Kalsium akan hilang dari tanah adalah sebagai akibat (1) hilang melalui erosi, (2) pencucian dan (3) diangkut tanaman. Kehilangan kalsium yang lebih besar adalah diakibatkan oleh erosi dan pencucian, terutama pada daerah daerah humid dengan curah hujan tinggi. Hal ini dapat menyebabkan pada daerah humid banyak dijumpai tanah-tanah yang masam. Perbandingan kehilangan kalsium akibat tererosi pencucian dan diangkut tanaman, disajikan pada Tabel 8-14.

Tabel 8.13 kehilangan Kalsium dan Magnesium dari Tanah

Cara kehilangan	Kalsium		Magnesium	
	CaO	CaCO ₃	MgO	MgCO ₃
	kg/ha.....		kg/ha.....	
Oleh erosi(missori)4% lereng	120	214	48	100
Oleh tanaman, rotasi biasa	35	62	25	52
Oleh pencucian dari tanah lempung berdebu	125	223	30	63
Total	499		215	

Dari Tabel 8-14 ternyata kehilangan kalsium lebih besar/tinggi daripada kehilangan magnesium. Hal ini dapat diterangkan karena (a) kompleks koloid lebih banyak mengandung kalsium dan (b) penambahan kapur ke dalam tanah selalu mengandung lebih banyak kalsium daripada magnesium. Selanjutnya penelitian di Cornell, Amerika Serikat menunjukkan jumlah kehilangan kalsium dan magnesium yang cukup besar seperti dapat dilihat pada Tabel 8-14.

Tabel 8.14 Kehilangan Kalsium, Magnesium dan belerang Melalui air perkolasi di Cornell

Keadaan tanah	Kalsium(kg/ha)	Magnesium(kg/ha)	Belerang(kg/ha)
	<u>Dunkirk lempung klei berdebu</u>		
Gundul	398	63	53
Rotasi	230	44	43
Rumput	260	50	44
	<u>Volusia lempung berdebu</u>		
Gundul	323	41	35
Rotasi	250	28	33

Dengan demikian, maka dapat diperkirakan bahwa kehilangan kalsium adalah cukup besar terutama pada daerah yang mempunyai angka curah hujan yang cukup tinggi seperti Indonesia (diperkirakan rata-rata curah hujan di Cornell adalah 2000 mm/tahun). Dari angka-angka yang telah disajikan tersebut dapat dikatakan bahwa perlu penambahan kalsium sebanyak 500-600 kg/ha/tahun untuk mengimbangi kehilangannya agar kalsium cukup tersedia dalam tanah bagi tanaman.

8.13.4 Magnesium

Seperti halnya kalsium, maka magnesium selalu dihubungkan dengan kemasaman tanah, karena ionnya dapat mengurangi efek kemasaman tanah. Dalam hal ini magnesium berperan dalam menggantikan kedudukan ion hidrogen dari kompleks adsorpsi. Tetapi jika dibandingkan dengan kalsium, maka untuk menaikkan pH tanah kalsium masih lebih banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena kalsium (kapur) adalah jauh lebih murah harganya.

8.13.5 Sumber dan bentuk magnesium

Sumber utama magnesium tanah adalah hancuran mineral-mineral primer yang mengandung magnesium, misalnya biotit, dolomit, ohlorit, serpentin, olivin dan lain-lain. Kadar rata-rata magnesium tanah adalah berkisar antara 1.93 - 2.1 % dari total berat tanah.

Seperti juga kalsium maka magnesium, terdapat juga pada tanah organik, tetapi kadarnya sama dengan kadarnya pada tanah mineral. Kadar magnesium pada top soil dari tanah-tanah mineral adalah rata-rata 0,30% dari total berat tanah. Bentuk magnesium di dalam tanah yang dapat diabsorpsi tanaman adalah bentuk yang dapat dipertukarkan atau bentuk

yang larut dalam air. Kadar magnesium ini di dalam tanah hampir sama dengan kalsium. Penyerapannya oleh tanaman sangat tergantung kepada jumlah yang tersedia dan jumlah yang dapat dipertukarkan. Bentuk-bentuk magnesium dalam tanah adalah (1) larut dalam air, (2) dapat dipertukarkan, (3) dalam kisi mineral tipe 2:1 dan (4) dalam mineral primer.

Sama seperti kalsium, magnesium di dalam tanah dapat berada pada bentuk yang agak lambat tersedia, dimana keadaan ini dapat menjadikan keseimbangan dengan magnesium yang berada dalam larutan dan yang dapat dipertukarkan.

8.13.6 Ketersediaan magnesium

Ketersediaan magnesium dapat terjadi akibat proses pelapukan dari mineral-mineral yang mengandung magnesium. Selanjutnya, akibat proses tadi maka magnesium akan terdapat bebas di dalam larutan tanah. Keadaan ini dapat menyebabkan (a) magnesium hilang bersama air perkolasi, (b) magnesium diserap oleh tanaman atau berbagai organisme lainnya, (c) diabsorpsi oleh partikel klei dan (d) diendapkan menjadi mineral sekunder. Ketersediaan magnesium bagi tanaman akan berkurang pada tanah-tanah yang mempunyai kemasaman tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya dalam jumlah yang besar mineral klei tipe 2:1. dengan adanya mineral klei ini maka magnesium akan terjatoh diantara kisi-kisinya.

Selanjutnya ketersediaan magnesium tanah juga akan berkurang karena hilang dari tanah. Kehilangan magnesium, seperti juga kalsium adalah disebabkan oleh (1) erosi, (2) akibat pencucian dan dapat dilihat pada Tabel 8-14. Demikian juga kehilangan ini semakin besar bila daerah tersebut mempunyai curah hujan tinggi.

8.13.7 Belerang tanah

Belerang adalah merupakan hara yang esensial bagi pertumbuhan tanaman. Tetapi fungsi dari unsur hara ini masih banyak yang harus dipelajari dan telah diketahui, belerang sangat diperlukan untuk berbagai reaksi dalam sel hidup. Ia merupakan penyusun dari asam amino metionin dan sistin. Sifat-sifat tertentu enzim protein diketahui tergantung dari ikatan belerang yang terdapat dalam protein. Seperti halnya dengan unsur hara esensial lainnya. Belerang memainkan peranan yang unik dalam metabolisme tanaman.

Persoalan belerang kurang mendapat perhatian yang serius pada masa lalu. Hal ini disebabkan karena ada penambahan belerang melalui penambahan pupuk lain. Misalnya pemakaian pupuk ZA yang mengandung sulfat, pupuk superfosfat yang juga mengandung belerang, telah membantu menyuplai kebutuhan akan unsur tersebut dalam tanah. Disamping itu adanya dioksida belerang dari atmosfer, karena hasil sampingan pembakaran batubara kaya belerang, bensin dan minyak residu, telah banyak menyuplai unsur ini bagi tanaman dan tanah.

8.13.8 Sumber dan bentuk belerang

Ada tiga sumber alam dari mana tanaman dapat disuplai dengan belerang tersedia, yaitu (1) mineral tanah (2) gas belerang dalam atmosfer dan (3) belerang yang terikat secara organik.

Mineral tanah . Mineral sulfat banyak dijumpai pada tanah dengan curah hujan rendah. Hal ini dapat dilihat misalnya pada tanah Mollisol dan Aridisol yaitu terdapat penimbunan gips pada horizon bawah. Penimbunan garam laut, termasuk sulfat pada lapisan atas tanah merupakan ciri khas tanah salin di daerah arid dan semi arid. Umumnya sulfat lebih banyak untuk semua jenis tanah, kecuali pada tanah arid.

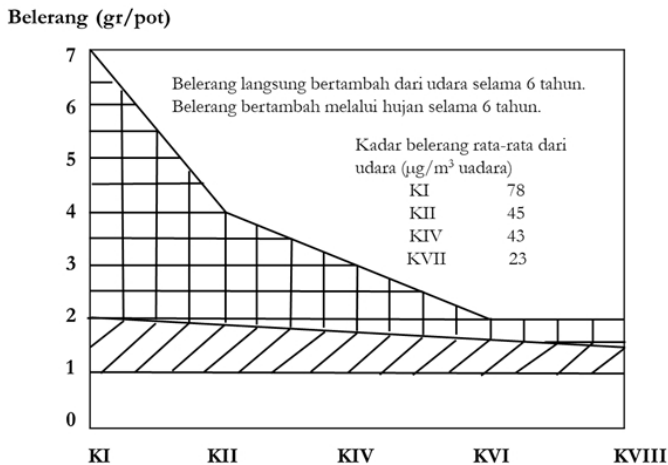
Disamping itu sulfida-sulfida besi, nikel dan tembaga merupakan sumber belerang tanah yang banyak di berbagai tanah. Demikian juga endapan belerang elemen adalah merupakan sumber utama dari belerang dan sering digunakan untuk pembuatan pupuk belerang. Deposit ini terutama banyak dijumpai di Amerika Serikat, Jepang, Italia, Turki, Meksiko, Argentina, Peru dan Indonesia. Selanjutnya, belerang juga banyak dijumpai pada tanah-tanah rawa pasang surut. Bila dioksidasikan, belerang ini berubah menjadi sulfat yang segera tersedia bagi tanaman.

Belerang atmosfer .Belerang atmosfer menjadi bagian dari sistem tanah dan tanaman. Sebagian daripadanya diserap langsung dari atmosfer oleh tanaman. Sejumlah tertentu diserap langsung tanah dari atmosfer dan sejumlah tertentu pula dapat masuk ke tanah bersama air hujan.

Jumlah belerang yang bertambah melalui air hujan atau langsung diserap tanah berbeda dan tergantung dari kadar unsur ini dalam atmosfer. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun tanaman memperoleh cukup sulfat dari tanah, ia juga dapat mengabsorpsi 25 hingga 35% kebutuhan belerangnya dari atmosfer . tanaman tersebut

akan menyerap belerang dari atmosfer. Tanaman tersebut akan menyerap belerang dalam bentuk SO_2 melalui difusi gas tersebut ke dalam daun. Dengan cara gas belerang berdifusi ke dalam tanah yang kemudian membentuk asam sulfit atau asam sulfat.

Jumlah belerang yang bertambah melalui melalui air hujan, juga bervariasi antara 1 hingga 100 kg/ha/ tahun. Jumlah ini semakin banyak bila areal tersebut deka dengan kegiatan industri, sedangkan daerah pedesaan jumlah ini adalah sangat kecil. Hubungan antara kadar belerang atmosfer dengan areal yang dekat daerah industri diperlihatkan oleh Gambar 8-15.

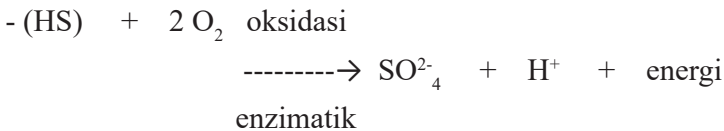


Gambar 8.15 pengaruh jarak antara tempat industri yang membakar minyak, dengan tanah pertanian terhadap jumlah belerang yang bertambah di Swedia.

Dari Gambar 8-15 terlihat bahwa terdapat kecenderungan serapan langsung dari belerang oleh tanah agak lebih besar dari yang disuplai oleh air hujan. Tingginya kadar belerang gas dalam atmosfer yang dekat dengan lokasi industri disebabkan karena pembakaran bahan bakar, terutama batu bara yang membebaskan sulfur dioksida (SO_2) dan senyawa-senyawa belerang lainnya ke atmosfer. Demikian juga pada daerah dekat pantai dimana semburan air laut akan menambah sejumlah belerang. pada daerah dekat rawa sumber ini dapat berupa gas hidrogen sulfida (H_2S).

Belering yang terikat secara organik

Hampir di semua tanah daerah humid, sebagian besar dari belering dijumpai dalam bentuk ikatan organik. Belering ini berasal dari sisa-sisa tanaman yang sebagian berupa protein, yang biasanya mudah sekali didekomposisi oleh mikroorganisme. Suatu contoh dari dekomposisi oleh mikroorganisme bahan organik yang mengandung belering yang kemudian melepaskan sulfat kedalam tanah adalah sebagai reaksi berikut ini:



Selanjutnya dekomposisi bahan organik juga akan menghasilkan humus, dimana belering akan menjadi bentuk yang lebih mantap selama pembentukan humus. Hal ini menyebabkan ia kurang dapat hilang akibat pencucian.

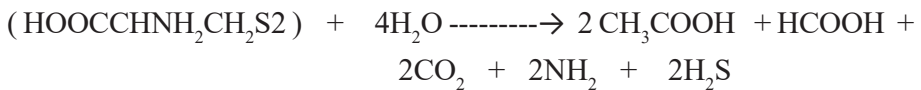
Bentuk belering tanah. Hingga sekarang dikenal empat macam bentuk belering yang terdapat dalam tanah, yaitu (1) bentuk belering organik, (2) bentuk belering sulfida, (3) bentuk sulfat dan (4) bentuk elemen belering. Keempat bentuk belering tersebut adalah saling berkaitan sehingga dalam membicarakannya tidak dipisahkan.

Bentuk-bentuk belering sulfida maupun sulfat adalah berasal dari bentuk belering organik yang telah mengalami dekomposisi. Belering organik ini berada dalam dua bentuk utama yaitu belering yang terdapat dalam cairan sel yaitu berbentuk SO_4^{2-} dan yang terikat pada protein yaitu dengan ikatan -S-H atau S-S .

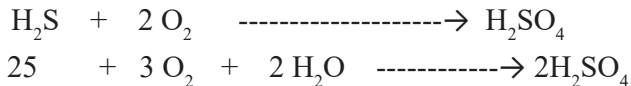
Jika bahan organik didekomposisikan maka sulfat yang terdapat dalam cairan sel akan segera dibebaskan ke dalam larutan tanah. Pada keadaan yang aerobik sulfat tersebut tidak segera mengalami perubahan, tetapi kemungkinan akan hilang oleh air perkolasi atau diserap organisme hidup. Belering yang terdapat pada protein, dalam keadaan aerobik akan dioksidasikan menjadi bentuk sulfat.

Tetapi walaupun demikian akan terjadi juga proses oksidasi dan reduksi terhadap bentuk belering organik tanah. Pada saat dekomposisi belering organik oleh jasad renik tertentu, maka akan terjadi pembebasan sulfida bersama senyawa-senyawa lain yang belum sempurna dioksidasikan, seperti belering elemen, tiosulfat dan politionat. Sebagai

contoh dari perubahan belerang organik menjadi sulfida dilukiskan dalam reaksi penguraian molekul cystine yaitu:



Selanjutnya dalam kondisi aerobik H_2S ini kemudian dioksidasikan menjadi sulfat, demikian juga bentuk belerang elemen. Reaksinya adalah sebagai berikut:

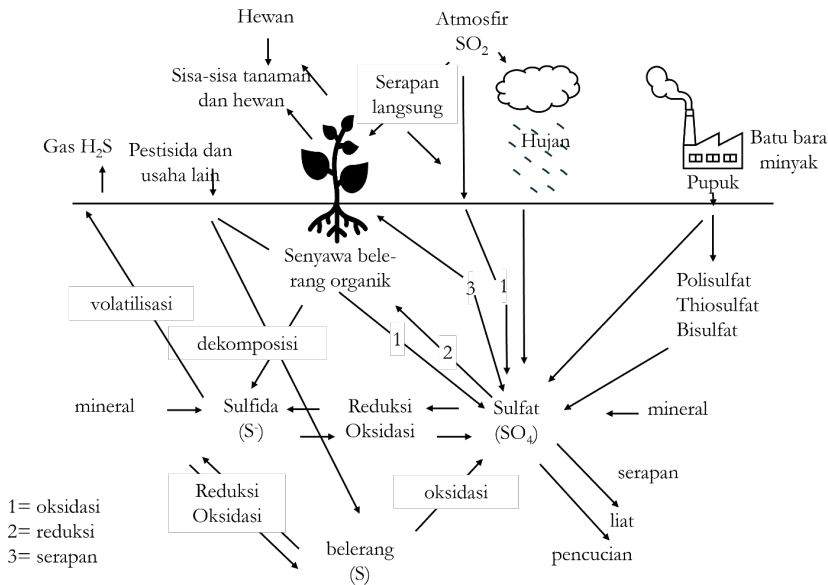


Ketersediaan belerang. Sebagai sumber utama belerang tanah adalah dari pelapukan mineral yang mengandung belerang, dari atmosfer dan sebagian dari komposisi bahan organik. Dalam hal ini peranan jasad renik ikut menentukan besarnya belerang yang dapat ditransformasikan ke dalam tanah. Selanjutnya, pada banyak kasus transformasi belerang dari udara ke tanah adalah cukup besar terutama pada lokasi yang dekat dengan atau yang berdekatan dengan industri.

Di dalam tanah dengan berbagai kondisi maka akan terjadi proses reduksi dan oksidasi dari belerang, yang hal ini akan mempengaruhi ketersediaan belerang tanah untuk tanaman. Dalam keadaan reduksi belerang akan diubah menjadi bentuk sulfida yang besar kemungkinannya akan hilang ke udara. Disamping itu dalam keadaan oksidasi pun belerang dapat hilang akibat pencucian atau difiksasi oleh klei. Untuk lebih jelasnya transformasi belerang ke dalam tanah serta kehilangan dari tanah dalam hubungannya dengan ketersediaan untuk tanaman maka dapat dilihat dalam diagram/ Gambar 8-16.

Dari diagram yang terlihat pada Gambar 8-16 ternyata bahwa belerang tanah mengalami beberapa perubahan, yang hal ini akan turut mempengaruhi ketersediaan belerang dalam tanah. Perubahan ini dapat disebutkan sebagai (1) mineralisasi belerang, (2) immobilisasi, (3) oksidasi dan reduksi, (4) retensi sulfat dan (5) kehilangan belerang tanah.

Mineralisasi belerang. Perubahan-perubahan bentuk belerang organik menjadi bentuk anorganik disebut mineralisasi. Perubahan ini dapat mempengaruhi sumber belerang tanah, yang kemudian dapat diserap tanaman. Jika kondisi lingkungan cocok untuk kegiatan umum dari bakteri, maka proses mineralisasi akan berlangsung. Reaksi mineralisasi atau peredaran belerang disajikan pada Gambar 8.16.



Gambar 8.16 Peredaran belerang yang memperlihatkan transformasi-transformasi yang terjadi ke dalam tanah, dalam hubungannya dengan ketersediaan belerang di dalam tanah.

Belerang organik

Protein dan kombinasi -----→ hasil dekomposisi -----→ sulfat

Organik lain H₂S dan sulfida lain

Adalah contoh sederhana

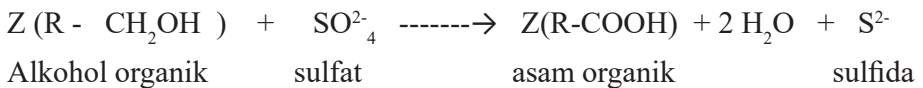
Mineralisasi akan dipercepat bila faktor lingkungan ikut menunjang, misalnya kelembaban tanah, aerasi, suhu dan pH tanah.

Immobilisasi belerang. Keadaannya hampir sama dengan nitrogen tanah, yaitu bentuk-bentuk belerang anorganik, sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut. Bila keadaan tanah ditambahkan bahan organik yang kaya energi tetapi miskin belerang, maka keadaan ini akan merangsang perkembangan bakteri. Sebagai akibatnya bentuk belerang anorganik yang berada dalam tanah akan segera disintesis ke dalam jaringan jasad renik. Peristiwa perubahan bentuk dari belerang yang tersedia menjadi tidak tersedia akibat proses kegiatan jasad renik tersebut dikenal dengan proses immobilisasi. Tetapi kemungkinan pelepasan belerang anorganik ini ketah kan terjadi.

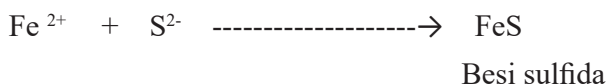
Oksidasi dan reduksi Belerang. Senyawa belerang hasil dekomposisi jasad renik, kemudian direduksi ataupun dioksidasi, dimana keadaan ini sangat tergantung kepada kondisi lingkungan. Dalam keadaan aerobik reaksi oksidasi sulfida ataupun belerang elemen akan menghasilkan sulfat. Sangat tergantung kepada kondisi lingkungan. Dalam keadaan aerobik reaksi oksidasi sulfida ataupun belerang elemen akan menghasilkan sulfat.

Pada kondisi yang sama pula akan terjadi oksidasi sulfit (SO_3^{2-}) dan sulfida (S^{2-}) menjadi sulfat. Oksidasi yang demikian dilakukan bakteri ototrofik dari jenis *Thiobacillus*. Tetapi patut diingat bahwa oksidasi ini dapat berlangsung pada pH mulai dari rendah yaitu dibawah dua, hingga diatas sembilan. Hal ini disebabkan oleh banyak oleh banyaknya spesies dari *Thiobacillus* yang dapat melakukan hal itu, yang mempunyai pula toleransi yang berbeda-beda terhadap kemasaman tanah.

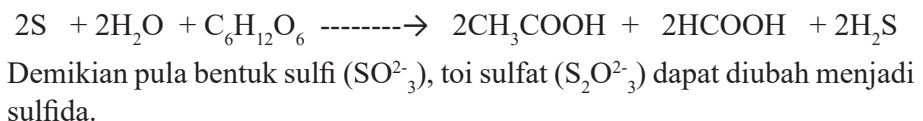
Dalam suasana anaerob sulfat bertendensi direduksi menjadi bentuk sulfida oleh bakteri-bakteri tertentu. Bakteri yang melakukannya adalah dari golongan heterotropik dari jenis *Desulfovibro* sp dan *desulfotomaculum* sp. Reaksinya dapat diGambarkan sebagai berikut:



Organisme ini menggunakan oksigen dari gugusan sulfat untuk mengoksidasikan bahan organik. Disamping itu juga, sulfida yang terbentuk akan segera bereaksi dengan besi membentuk sulfida, dengan reaksi sebagai berikut:



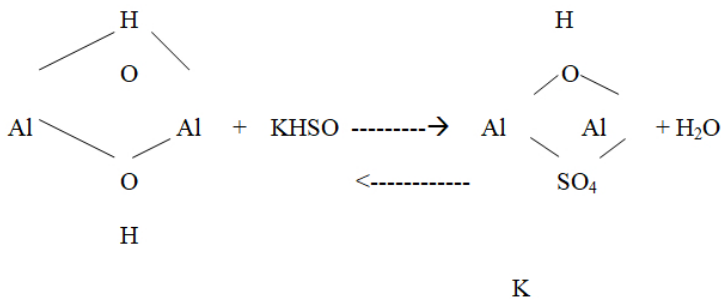
Selanjutnya, belerang elemen akan direduksikan menjadi bentuk sulfida. Transformasi ini akan terjadi pada tanah-tanah yang tergenang, karena kekurangan oksigen. Sebagai contoh dari reduksi belerang elemen menjadi bentuk sulfida, adalah perubahan disebabkan adanya gula. Perubahan ini dapat dituliskan kedalam suatu persamaan reaksi, yaitu:



Peristiwa oksidasi dan reduksi dari belerang dalam tanah sangat penting artinya dalam hubungan dengan pertumbuhan tanaman. Pertama, reaksi-reaksi ini hingga batas tertentu menentukan jumlah belerang yang tersedia dan terdapat dalam tanah. Kedua, tingkat oksidasi belerang menentukan hingga batas tertentu kemasaman tanah.

Pengaruh oksidasi belerang terhadap penurunan kemasaman tanah nyata dapat dilihat pada tanah alkalin. Setiap oksidasi dari sulfida menjadi sulfat selalu akan menghasilkan dua atom hidrogen. Hal yang sama dapat terjadi pada tanah payau dimana pada keadaan yang normal mereka mempunyai bentuk-bentuk sulfida dan yang dominan adalah besi-sulfida. Setelah daerah tersebut direklamasikan (didrainase kan), maka sulfida-sulfida tersebut akan dioksidasikan menjadi bentuk sulfat. Keadaan demikian akan dapat menghasilkan ion-ion hidrogen dan dapat menurunkan pH tanah menjadi lebih rendah.

Retensi sulfat. Di dalam tanah, sulfat diretensi oleh klei tertentu misalnya kaolinit dengan bantuan oksida besi, hidroksida-hidroksida besi dan aluminium. Keadaan ini biasanya dijumpai pada horizon B-C dari tanah daerah humid. Mekanisme retensi diduga akibat gejala adanya gugusan OH pada hidrat aluminium dan besi yang mampu menyerap belerang. Persamaan berikut ini mengGambarkan mekanisme retensi terjadi



Penambahan ion hidroksil (menaikkan pH) akan bertendensi mendorong reaksi tersebut bergeser ke kiri, dan membebaskan sulfat. Karena alasan ini retensi sulfat umumnya menurun bila tanah dikapur.

Sebagai tambahan, tanaman yang berakar dalam seperti kacang tanah dapat memanfaatkan sulfat yang terjerap ini. Tetapi bila tanah miskin sulfat, maka tanah itu perlu dipupuk sulfat/ belerang agar tanaman dapat memanfaatkan belerang yang terdapat di lapisan tanah yang lebih dalam.

Kehilangan belerang. Belerang tanah akan hilang menurut beberapa cara, yaitu melalui penguapan berupa gas ke udara, akibat erosi, pencucian dan diserap tanaman. Kehilangan melalui erosi dapat terjadi bila kemiringan tanah memungkinkan. Kehilangan belerang akibat pencucian dapat terjadi pada setiap jenis tanah. Kehilangan akan semakin besar bila tanah bertekstur pasir dan berada pada daerah dengan curah hujan tinggi.

Kehilangan belerang melalui pencucian/ perkolasi telah diteliti di Amerika Serikat. Kehilangan ini dapat mencapai 53 kg/ ha/tahun seperti yang dapat dilihat pada Tabel 8-15. kehilangan akibat erosi dan diangkut panen telah diteliti dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8-16.

Tabel 8.15 Kehilangan Belerang Akibat Erosi (Percobaan Di Missouri) dan yang Diangkut Tanaman

Kedadaan	Kehilangan belerang (kg/ha)
Kehilangan karena erosi	
Jagung terus menerus	17
Rotasi; jagung, gandum dan clover	6
Diangkut tanaman	
Rata-rata untuk rotasi standart	20

Perlu ditambahkan bahwa data dalam Tabel di atas (8-16) tidaklah bersifat umum, tetapi ada hal-hal yang dapat disimpulkan yaitu rotasi tanaman dapat menekan kehilangan karena pengaruh erosi. Sebaiknya untuk mengimbangi kehilangan belerang karena pencucian, maka perlu diberikan pupuk yang mengandung belerang.

8.14 Unsur Mikro

Perhatian terhadap unsur mikro belum berapa serius, walaupun kadang-kadang timbul akibat yang tidak diinginkan dari kekurangan unsur ini. Salah satu sebabnya yaitu adanya penambahan unsur ini kedalam pupuk makro lainnya. Tetapi walaupun demikian akibat kemajuan teknologi pertanian akan merupakan hal yang dapat mempercepat munculnya keperluan penambahan unsur mikro ke dalam tanah. Kadan ini ditunjang oleh (1) terangkutnya unsur mikro dalam tanaman menyebabkan persediaannya dalam tanah mencapai titik yang tidak dapat menunjang pertumbuhan tanaman, (2) pemakaian varietas unggul dan pupuk makro beranalisis tinggi mempertajam turunnya unsur ini dari tanah melalui angkutan yang meningkat, menurunnya ikutan unsur mikro ini dalam pupuk, (3) kemampuan manusia mengenal gejala kekurangan unsur

mikro telah meningkat dibandingkan dengan masa lalu, dan (4) desakan meningkatkan efisiensi berproduksi demi memenuhi kebutuhan pangan manusia.

Salah satu sifat unsur mikro adalah mereka diperlukan dalam jumlah sedikit, tetapi dalam jumlah banyak dapat pula merusak atau meracuni tanaman. Dengan perkataan lain, kisaran konsentrasi unsur mikro didalam tanah untuk pertumbuhan tanaman tidaklah lebar. Misalnya unsur Mo, jika diberikan ke dalam tanah sebanyak 15-30g/ ha akan menguntungkan, tetapi pada pemberian 4 kg/ ha dapat meracuni tanaman.

8.14.1 Sumber dan bentuk unsur mikro

Bahan induk mempengaruhi kadar unsur mikro tanah, dimana pengaruhnya mungkin lebih besar daripada terhadap unsur makro. Kekurangan unsur mikro sering dihubungkan dengan kadar unsur mikro yang rendah dari batuan induk atau bahan induk yang terangkut. Dengan demikian, jumlah keracunan biasanya dihubungkan dengan jumlah abnormal yang diperbolehkan dari batuan dan mineral pembentuk tanah.

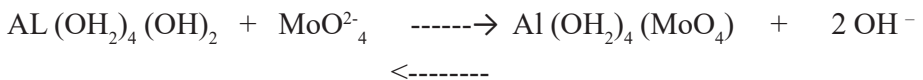
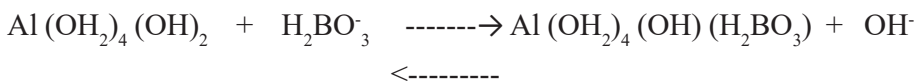
Hingga sekarang diketahui bahwa unsur mikro besi yang paling banyak dijumpai dalam tanah. Akan tetapi walaupun demikian defisiensi besi juga akan terdapat terutama pada tanah-tanah basa. Setelah besi menyusul mangan (Mn), seng (Zn), chlor (Cl), tembaga (Cu), boron (B) dan molibdenum (Mo) yang paling sedikit dijumpai dalam batuan beku atau endapan seperti tertera pada Tabel 8-17.

Dari Tabel (8-17) terlihat bahwa pengaruh batuan induk jelas terhadap kadar unsur ini dalam tanah. Dua diantara unsur mikro tersebut yaitu tersebut yaitu Fe dan Mn menempati posisi struktural dalam mineral silikat tertentu sedangkan yang lainnya mungkin menempati posisi serupa sebagai pengganti dari penyusun utama mineral silikat, tetapi jumlahnya lebih sedikit dari besi dan mangan.

Tabel 8.16 Sumber Utama Dari Unsur Mikro Dalam Tanah

Unsur	Bentuk utama	Kerak bumi	Batuan beku batuan endapan					tanah
			Granit	basalt	Bt. Kapur	bt. Pasir	shale	
Fe	Oksida Sulfida Silikat	56000	27000 100000	86000	3800	9800	47000	10000- 100000
Mn	Oksida Sulfida Silikat	950	400	1000	1100	10- 100	850	20- 3000
Zn	Sulfida Oksida Silikat	70	40	100	20	16	95	10- 300
Cu	Sulfida Oksida Silikat	55	10	100	4	30	45	10- 80
S	Sulfida	10	15		5	20	35	100
Mo	Molibdat	1.5	2		1	0.4	0.2	2.6
Cl	Chlorida	-	-		-	-	-	-

Dengan berlangsungnya pelapukan dan pemupukan tanah, mineral-mineral yang mengandung unsur mikro mengalami perubahan dan akan membentuk (1) oksida atau sulfida dari besi, mangan, tembaga dan seng, (2) silikat sekunder yang mengandung besi, mangan dan (3) anion-anion dalam bentuk borat dan molibdat. Unsur-unsur yang dibebaskan akan diabsorpsi koloid tanah. Bentuk borat dan molibdat dapat diabsorpsi tanah seperti halnya fosfat, yaitu:



Khlor merupakan unsur mikro yang paling larut dan masuk ke tanah melalui air hujan dalam jumlah yang cukup besar. Penambahan insidental dalam pupuk dan cara lain, dapat menghindarkan terjadinya defisiensi khlor dalam tanah. Disamping itu bahan organik dapat juga merupakan sumber dari unsur mikro tanah. Kadar unsur mikro dalam lapisan atas tanah yang belum digarap lebih banyak dari lapisan bawah. Hal ini disebabkan karena banyak unsur mikro yang terdapat dalam bahan organik mengalami dekomposisi, kemudian unsur-unsur mikro tersebut tersedia bagi tanaman.

8.14.2 Ketersediaan unsur mikro

Keadaan tanah dimana unsur mikro menjadi problema dan dapat membatasi pertumbuhan tanaman adalah (1) tanah pasir bereaksi masam dan telah mengalami pencucian berat, (2) tanah berkadar bahan organik tinggi (3) tanah ber- pH tinggi, (4) tanah berdrainase buruk dan terus menerus tergenang dan (5) tanah yang terus menerus ditanami dan dipupuk berat.

Umumnya jumlah unsur hara mikro dalam tanah organik adalah rendah. Hal ini telah dilaporkan oleh Polak dan Soeprattohardjo tahun 1951 pada tanah organik di Kalimantan Barat. Ternyata dengan pemupukan tembaga (Cu) pada tanah tersebut dapat menaikkan hasil jagung. Defisiensi Zn juga telah dilaporkan terdapat di Ngale Jawa Timur dan pada Delta Upang. Ternyata dengan pemupukan Cu dan Zn pada tanah organik dapat menaikkan hasil gabah.

Hingga sekarang belum ada laporan mengenai kekurangan / defisiensi unsur Fe, Mn, B, Mo dan Cl. Hanya dapat diduga bahwa pada tanah-tanah yang ber- pH tinggi kemungkinan kekurangan Fe dan Mn mudah dijumpai. Selanjutnya pada kondisi pH yang sangat rendah kemungkinan defisiensi Mo mudah terjadi. Pengapuran yang berlebihan dapat menyebabkan ketersediaan unsur mikro berkurang seperti Fe, Mn, Zn, Cu dan B. Keadaan ini dapat terjadi pada daerah berkapur.

Ketidaktersediaan unsur mikro secara umum dapat diatasi dengan menambah unsur tersebut pada waktu pembuatan pupuk unsur makro. Pupuk yang demikian dikenal sebagai fertiliser. Kekurangan Mo dapat diperbaiki melalui pengapuran. Ketidaktersediaan Fe dan Mn pada tanah ber- pH tinggi dapat diatasi dengan pemberian belerang yang kemudian pH tanah dapat diturunkan. Kekurangan Zn pada tanah sawah dapat ditiadakan dengan mencelup bibit padi sebelum ditanam dalam larutan 2 % ZnO atau

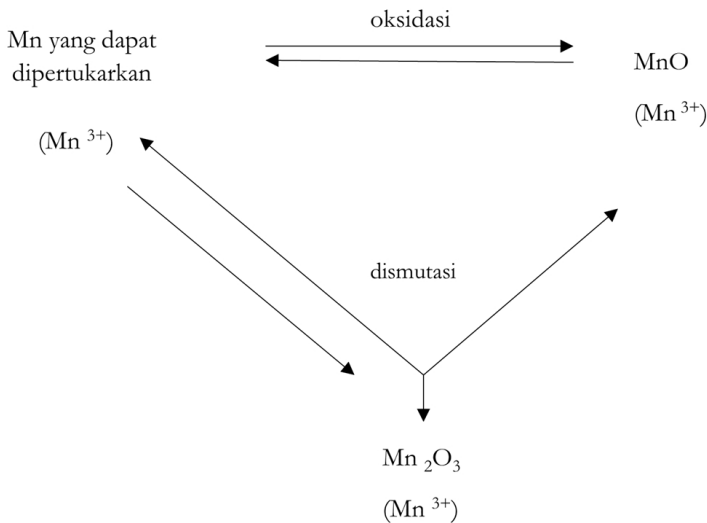
kalau tanaman sudah ditanam yaitu dengan mengeringkan petakan sawah beberapa saat , ataupun memupuk dengan ZnSO_4 .

Untuk membahas ketersediaan unsur mikro selanjutnya maka unsur ini digolongkan kedalam dua golongan yaitu (1) unsur mikro dari grup metal, dan (2) unsur mikro dari nonmetal.

8.14.3 Unsur mikro grup metal

Pengaruh keadaan tanah terhadap ketersediaan unsur hara mikro dari grup meal 9 Cu, Zn, Mn dan Fe) adalah (1) reaksi tanah, (2) proses oksidasi dan reduksi, (3) adanya unsur lain yang berlebihan dan (4) kandungan bahan organik.

Reaksi tanah. Kation unsur mikro dalam keadaan masam, sangat tersedia bagi tanaman. Dalam tanah masam relatif banyak dijumpai Fe, Mn, tanah. Perubahan Mn dalam tanah pada Gambar 8.17.



Gambar 8.17 Hubungan antara berbagai bentuk Mn dalam tanah.

Mangan, besi dan tembaga yang dioksidasikan umumnya kurang larut pada pH yang biasa dijumpai dalam tanah dibandingkan bentuk yang direduksi. Bentuk hidroksida dari kation bervalensi tinggi ini mengendap pada pH rendah dan sangat tidak larut. Misalnya feri- hidroksida mengendap pada pH 3, sedangkan fero-hidroksida baru mengendap pada pH 6 atau lebih.

Perlu ditambahkan bahwa terdapat hubungan antara kemasaman (reduktif) dan aerasi (oksidatif) terhadap ketersediaan unsur mikro. Ini berarti bahwa pada tanah-tanah sangat masam dan berdrainase jelek/ agak jelek sering mengandung Fe dan Mn dalam jumlah yang beracun bagi tanaman. Hal yang demikian tidak akan terjadi bila drainase tanah baik. Tetapi sebaliknya akan terjadi pada pH tinggi, walaupun drainase dan aerasi baik.

8.14.4 Adanya unsur lain yang berlebihan

Adanya interaksi yang berlebihan antara fosfor dan unsur mikro di dalam tanah, menyebabkan pemberian fosfor ke dalam tanah harus menjadi pertimbangan pula. Secara praktis serapan hara Fe dan Zn akan terganggu bila kadar fosfor dalam tanah terdapat banyak ion-ion bikarbonat (akibat pengapuran) maka serapan Fe juga akan terganggu. Keadaan ini nyata terlihat pada pohon-pohon buah-buahan yang menderita khlorosis akibat pengapuran (sejalan dengan kekurangan Fe).

Kandungan bahan organik. Senyawa-senyawa organik yang terdiri dari protein, asam amino dan penyusunan humus serta asam-asam seperti asam sitrat dan tartrat dapat bereaksi dengan kation unsur mikro membentuk senyawa organik kompleks. Komplek yang demikian melindungi kation unsur mikro dalam tanah untuk tanaman. Reaksi-reaksi yang terjadi antara bahan senyawa sintesis yang disebut khelat (chelates).

Pada tanah yang berkadar bahan organik tinggi (tanah organik) pembentukan kompleks tembaga diduga sebagai penyebab kekurangan unsur hara tersebut dalam tanah. Demikian juga halnya dengan Zn.

8.14.5 Unsur mikro grup non metal

Unsur mikro dari golongan non metal ini dibutuhkan oleh tanaman sangat bervariasi. Golongan ini di dalam larutan tanah dijumpai dalam bentuk anion dan secara kimia mereka (B, Mo dan Cl) sangat berbeda satu sama lain. Sehingga reaksi-reaksi yang terjadi di dalam tanah akan sangat berbeda pula.

Khlor. Pada kenyataannya unsur ini lebih banyak dibutuhkan tanaman jika dibandingkan dengan unsur mikro lain, kecuali dengan besi. Tetapi perhatian terhadap unsur ini agak kurang serius, karena adanya penambahan dari hujan pada setiap tahunnya dan khlor sebagai kontaminan dalam garam-garam yang dipakai.

Sebagian besar khlor yang dijumpai dalam tanah adalah dalam bentuk larut seperti KCL. Ion KCL tidak diabsorpsi oleh tanaman sehingga mudah tercuci, atau bergerak ke permukaan tanah pada tanah-tanah arid. Ketersediaan

khlor tanah lebih tinggi dijumpai pada daerah arid dan semi arid daripada daerah humid, bahkan dapat mencapai titik racun, terutama pada daerah salin dengan drainase buruk. Disamping itu tanah yang bertekstur ringan (pasir) ketersediaan khlor relatif rendah, demikian juga jarak dari laut akan turut mempengaruhi ketersediaan khlor tanah.

Penambahan khlor dari atmosfer diduga dapat mencukupi kebutuhan tanaman. Cipratan air laut sepanjang pantai dapat menyebabkan sebagian besar NaCl larut dalam air hujan dan akhirnya jatuh ke bumi yang akan menambah ketersediaan khlor tanah. Penambahan air dari atmosfer rata-rata adalah sekitar 20 kg/ ha/ NaCl/ tahun.

Boron. Ketersediaan unsur mikro boron sangat ditentukan oleh pH tanah. Boron sangat larut pada tanah masam. Selanjutnya ketersediaan boron juga tergantung kepada tekstur tanah dimana pada tanah yang demikian boron akan lebih mudah tercuci. Di dalam tanah masam ternyata sebagian boron dijumpai sebagai asam borat (H_2BO_3).

Pada tanah klei boron cenderung tidak mudah tercuci. Jumlah boron yang diserap oleh klei akan meningkat dengan naiknya pH tanah. Klei yang didominasi oleh campuran aluminium dan besi-hidroksida dapat aktif mengikat boron. Tanah –tanah yang sering kekurangan boron dicirikan oleh (1) bahan induk masam, (2) tanah sering tercuci, (3) bertekstur pasir, (4) mengandung bahan organik masam dan (5) tanah berkapur. Jumlah boron dalam tanah berkisar antara 7 hingga 200 ppm dan pada umumnya berada pada kisaran 7-80 ppm.

Molibdenum. Keadaan tanah sangat mempengaruhi ketersediaan unsur Mo ini. Ketersediaannya sangat dipengaruhi oleh pH tanah seperti unsur fosfor. Pada pH rendah hampir tidak ada molibdenum yang tersedia. Ternyata Mo bereaksi dengan mineral tanah seperti silikat dan senyawa besi dan aluminium. Walaupun sifat unsur ini dalam tanah hampir sama dengan fosfor, tetapi ia lebih mobil daripada fosfor di dalam tanah.

Jumlah molibdenum dalam tanah sangat sedikit yaitu berkisar antara 0,2 hingga 10 ppm dan umumnya antara 0,5 hingga 3,5 ppm. Jumlah ini relatif lebih banyak pada tanah klei daripada tanah pasir dan tanah organik. Tanah-tanah yang sering mengalami kekurangan Mo adalah dicirikan oleh (a) tanah pasir, (b) tanah yang mengalami podsolisasi, (c) tanah yang banyak mengandung sulfat.

Hubungan antara serapan Mo dengan ketersediaan sulfat adalah berkebalikan. Pada keadaan dimana menurunnya sulfat, maka ini berarti serapan Mo akan meningkat kadar Mo yang tinggi dalam tanaman akan mempengaruhi translokasi Fe dari akar ke bagian atas tanaman.

8.15 Ringkasan

Tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman melalui beberapa faktor yaitu (1) suhu, (2) air, (3) udara dan (4) unsur-unsur hara. Keempat faktor tersebut tidak berdiri sendiri, tetapi saling berkaitan sesamanya. Dengan demikian kekurangan salah satu faktor tersebut dapat menyebabkan terbatasnya produksi tanaman. Hal ini kemudian dikenal dengan prinsip faktor pembatas yaitu tingkat produksi tidak akan lebih tinggi dari apa yang dicapai oleh tanaman yang tumbuh dalam keadaan dengan faktor-faktor yang paling minimum.

Tanaman mengabsorpsi hara dari dalam tanah dalam bentuk-bentuk ion baik kation maupun anion yang terdapat disekitar akar dan berada dalam bentuk yang tersedia. Didalam tanah terdapat dua bentuk hara tanaman yang tersedia yaitu (a) hara yang diadsorpsi pada permukaan koloid dan (b) garam yang larut dalam larutan tanah. Disamping itu terdapat juga bentuk lain di dalam tanah yang tidak tersedia bagi tanaman yaitu bentuk kompleks dan bentuk organik. Melalui proses dekomposisi dan juga proses pelapukan, bentuk ini akan menjadi lebih sederhana dan tersedia bagi tanaman.

Berdasarkan kebutuhannya bagi tanaman maka unsur hara dapat digolongkan menjadi unsur hara makro dan unsur hara mikro. Hingga sekarang telah dikenal 6 jenis unsur hara makro yang berasal tanah yaitu N, P, K, Ca, Mg dan S; sedangkan unsur mikro adalah Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl dan Fe. Unsur hara makro yang berasal dari tanah sering terdapat dalam keadaan kritis di dalam tanah, karena disamping unsur ini banyak dibutuhkan tanaman, juga mudah hilang baik akibat pencucian, erosi dan penguapan ke udara. Selanjutnya unsur hara mikro juga sering kritis dalam tanah. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu (1) tanah berpasir, (2) tanah organik dan (3) tanah sangat alkalis.

Setiap unsur hara mempunyai peranan yang tertentu terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dengan demikian bila terdapat kekurangan salah satu unsur tersebut maka akan menyebabkan timbulnya kelainan-kelainan pada tanaman. Kelainan ini dapat berupa bentuk

tanaman. Kelainan ini dapat berupa bentuk tanaman yang abnormal, ataupun terhambatnya pertumbuhan, atau berubahnya warna daun tanaman

Tanaman dapat mengabsorpsi unsur hara baik melalui akar, batang ataupun daun. Serapan hara melalui akar tanaman akan berlangsung bila hara tersebut terdapat pada permukaan akar. Pergerakan hara ke permukaan akar terjadi melalui tiga cara yaitu (1) intersepsi akar, (2) aliran massa dan (3) difusi.

Dalam proses serapan hara oleh akar diperlukan adanya suatu carrier, yaitu suatu usaha untuk membawa ion dari luar ke dalam sel tanaman. Dalam sistem ini diperlukan adanya beberapa syarat yaitu (a) membrane sel tidak permeabel terhadap ion bebas, (b) perlu adanya transpor elektron dan (c) respirasi harus berjalan lancar.

Sebagian besar nitrogen tanah berasal dari nitrogen udara bebas dan sebagian kecil; berasal dari bahan organik. Nitrogen udara bebas dapat masuk ke dalam tanah melalui beberapa cara, yaitu (1) penambatan / fiksasi oleh jasad renik, baik bersimbiosis dengan tanaman maupun yang non simbiosis, (2) melalui air hujan dan (3) melalui pupuk.

Tanaman dapat menyerap nitrogen dalam bentuk ion NH_4^+ dan NO_3^- . Ion-ion ini dalam tanah berasal dari proses transformasi bentuk organik ataupun bentuk pupuk. Transformasi ini berlangsung melalui tiga tahap yaitu (1) aminisasi, (2) amonifikasi dan (3) nitrifikasi. Dari tiga proses ini, nitrifikasi merupakan yang penting. Proses nitrifikasi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu (i) aerasi tanah, (ii) suhu tanah, (iii) kapur aktif dan pupuk, (iv) kelembaban tanah dan (v) nisbah C/N.

Selanjutnya nitrogen udara bebas dapat difiksasi oleh bakteri tertentu baik secara simbiosis maupun non simbiosis. Penambatan secara simbiosis dilakukan oleh bakteri *Rhizobium* yang bekerjasama dengan tanaman jenis legume. Penambatan maksimum terjadi bila kadar nitrogen tanah rendah. Akan tetapi walaupun demikian masih terdapat beberapa tanaman non Legum yang dapat bersimbiosis dengan *Rhizobium* dalam penambatan nitrogen udara misalnya dari jenis/ famili *Betulaceae*, *Myricaceae*, *Coriariaceae* dan *Rhamnaceae*.

Penambatan bebas/ azofikasi dilakukan oleh bakteri *Azotobacter*, yang bersifat aerobik dan menggunakan bahan organik sebagai sumber energi. Disamping itu dapat juga dilakukan oleh bakteri jenis *Clostridium* sp. Proses ini akan dilakukan oleh (1) adanya bahan organik yang berkadar

karbon tinggi dan (2) pH tanah. Penambatan lain dapat pula dilakukan oleh ganggang biru dan ganggang hijau yang mempunyai khlorofil. Penambatan ini mempunyai peranan yang cukup besar bagi penambatan nitrogen ke tanah sawah.

Penambatan nitrogen ke dalam tanah berasal dari air hujan sangat bervariasi dan tergantung kepada tempat dan musim. Secara umum dapat dikatakan bahwa penambatan itu lebih banyak pada daerah tropis daripada daerah yang beriklim sedang. Selanjutnya nitrogen dapat hilang dari dalam tanah melalui beberapa cara yaitu (i) menguap ke udara, (ii) tercuci bersama air drainase, (iii) terfiksasi oleh mineral dan (iv) terangkut bersama panen. Kehilangan nitrogen akibat pencucian tidaklah seberapa besar. Sedangkan kehilangan nitrogen bersama panen sangat tergantung kepada banyaknya bagian tanaman yang ikut panen.

Sumber utama fosfat tanah berasal dari batuan sedimen/endapan yang mengandung mineral apatit. Mineral ini mengandung P dan merupakan senyawa karbonat, fluor, chlor ataupun hidroksi apatit. Fosfat masuk kedalam peredaran biosfer adalah melalui proses adsorpsi tanaman dan jasad renik di dalam tanah.

Di dalam tanah fosfat dijumpai dalam bentuk anorganik dan organik. Dalam bentuk anorganik, sebagian besar fosfat dijumpai dalam persenyawaan kalsium, aluminium dan besi fosfat, yang kesemuanya sukar larut dalam air. Bentuk yang mana yang lebih dominan dijumpai dalam tanah adalah sangat tergantung kepada tingkat hancuran iklim dan jenis tanah. Sedangkan fosfat organik tanah dijumpai dalam bentuk (1) fitin dan derivatnya, (2) asam nukleat dan (3) fosfolipida. Perlu ditambahkan bahwa kadar fosfat organik lebih tinggi dijumpai pada tanah lapisan atas (top soil).

Fosfat yang dapat diserap tanaman adalah dalam bentuk tersedia yaitu bentuk H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Unsur P-anorganik tanah sangat ditentukan oleh (a) pH tanah, (b) adanya ion Al, Fe dan Mn larut, (c) adanya mineral yang mengandung Al, Fe dan Mn, (d) tersedianya Ca, (e) jumlah dan tingkat dekomposisi bahan organik dan (f) kegiatan jasad renik. Ketersediaan fosfat organik yang diketahui adalah sangat terbatas, tetapi walaupun demikian telah diketahui bahwa ketersediaan fitin dipengaruhi pH tanah.

Selanjutnya kecepatan ketersediaan fosfat anorganik tanah sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu (i) sifat tanah, (ii) luas permukaan dan (iii) waktu.

Akibat waktu yang terlalu lama maka bentuk Fe-fosfat dominant di dalam tanah, dimana bentuk ini relatif lebih baik tidak larut jika dibandingkan dengan bentuk-bentuk lain.

Permasalahan kalium tanah masih kurang mendapat perhatian yang serius di Indonesia, karena penelitian kearah ini belum banyak dilakukan. Sumber utama kalium tanah adalah batuan dan mineral yang mengandung kalium yang terdapat di dalam kerak bumi/ tanah. Kalium hanya dapat masuk ke peredaran biosfer melalui adsorpsi tanaman dan kegiatan jasad renik.

Berdasarkan ketersediaannya bagi tanaman maka kalium dapat digolongkan kedalam (1) bentuk relatif tidak tersedia, (2) bentuk lambat tersedia dan (3) bentuk segera tersedia. Bentuk kalium relatif tidak tersedia umumnya berada pada mineral-mineral primer seperti mika dan feldspar. Bentuk kalium lambat tersedia umumnya terdapat pada atau terfiksasi pada mineral-mineral sekunder tanah. Sedangkan bentuk kalium yang segera tersedia adalah berada dalam larutan tanah dan yang diadsorpsi pada permukaan koloid dan dapat dipertukarkan.

Ketersediaan kalium diartikan sebagai kalium yang dapat dipertukarkan dan dapat diserap tanaman. Sehubungan dengan itu maka ketersediaan kalium sangat tergantung kepada (1) adanya penambahan dari luar, (2) fiksasi oleh tanah dan (3) adanya kehilangan dari tanah. Pertambahan kalium ke dalam tanah dapat berasal dari irigasi dan juga dari pupuk kalium. Selanjutnya fiksasi kalium dapat terjadi pada setiap jenis tanah. Tetapi walaupun demikian tanah juga dapat mempengaruhi fiksasi ini yaitu meliputi (a) sifat koloid tanah dan (2) adanya kalsium yang berlebihan.

Kehilangan kalium dari tanah dapat diartikan sebagai kalium yang tidak kembali ke tanah. Kehilangan kalium yang terbesar dari tanah adalah akibat pencucian terutama kehilangan akan lebih besar pada tanah-tanah ringan yang banyak mengandung pasir. Hal ini disebabkan karena kalium banyak berada dalam bentuk larut dalam tanah. Disamping itu juga kehilangan kalium akibat panen, juga cukup besar, terutama akibat adanya konsumsi yang berlebihan bila kadar kalium tanah cukup tinggi.

Selanjutnya permasalahan kalium dalam arti yang umum dapat dikelompokkan dalam (1) pada saat tertentu sebagian besar dari unsur ini tidak tersedia bagi tanaman, (2) karena sifat mudah larut, peka terhadap

pencucian dan (3) kalium akan diangkut berlebihan bila unsur ini diberikan secara berlebihan ke tanah.

Kalsium tanah berasal dari pelapukan mineral –mineral utama yang mengandung kalsium seperti kalsit dan dolomit. Kalsium sering dihubungkan dengan bahan kapur. Di dalam perdagangan bentuk kapur yang dikenal adalah (1) kalsium oksida, (2) kalsium karbonat dan (3) kalsium hidroksida. Ketersediaan kalsium tanah sangat dipengaruhi oleh penambahan dan kehilangan dari tanah. Kehilangan kalsium dari tanah dapat disebabkan oleh (1) pencucian (2) erosi, (3) diangkut tanaman. Kehilangan ini dapat semakin besar pada tanah-tanah yang mengalami curah hujan yang tinggi.

Magnesium tanah berasal dari pelapukan mineral magnesium seperti biotit, dolomite dan serpentin. Berdasarkan ketersediaannya bagi tanaman, maka magnesium dapat dibedakan menjadi bentuk-bentuk (1) larut dalam air, (2) dapat dipertukarkan, (3) dalam kisi mineral tipe 2:1 dan (4) dalam mineral primer.

Akibat proses pelapukan mineral-mineral magnesium, maka magnesium tersebut menjadi akan bebas dalam larutan tanah. Hal ini dapat menyebabkan magnesium (1) hilang bersama perkolasi, (2) diserap tanaman, (3) diadsorpsi klei dan (4) diendapkan menjadi mineral sekunder. Selanjutnya, magnesium dapat hilang dari tanah disebabkan oleh (i) erosi, (ii) pencucian dan (iii) diangkut oleh tanaman bersama panen.

Belarang di dalam tanah disuplai dari beberapa sumber yaitu (1) mineral tanah, (2) gas belarang atmosfer dan (3) belarang organik. Mineral-mineral sulfat banyak terdapat pada daerah-daerah yang bercurah hujan rendah. Selanjutnya konsentrasi gas belarang dalam udara semakin tinggi, bila semakin dekat dengan lokasi industri dan dekat pantai.

Secara umum bentuk belarang dapat dibagi ke dalam (a) belarang organik, (b) belarang sulfida, (c) belarang sulfat dan (d) belarang elemen. Di dalam tanah bentuk-bentuk belarang tersebut mengalami beberapa perubahan yaitu (i) mineralisasi, (ii) immobilisasi, (iii) oksidasi dan reduksi, (iv) retensi dan (v) hilang dari tanah.

Kehilangan belarang dalam tanah dapat disebabkan beberapa cara yaitu (1) melalui penguapan, (2) erosi, (3) pencucian dan (4) diabsorpsi tanaman. Kehilangan belarang lebih besar sebagai akibat pencucian, terutama pada tanah yang bertekstur pasir dengan curah hujan tinggi.

Unsur mikro tanah berasal dari batuan induk tanah. Salah satu sifat unsur mikro adalah ia diperlukan dalam jumlah sedikit, karena itu dalam jumlah yang banyak dapat meracuni tanaman.

Ketersediaan unsur mikro sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu (1) tanah pasir bereaksi masam dan telah mengalami pencucian berat, (2) tanah berkadar bahan organik tinggi, (3) tanah ber pH tinggi, (4) tanah berdrainase buruk dan terus menerus tergenang dan (5) tanah yang terus menerus ditanami dan dipupuk berat.

Secara umum unsur mikro dapat dibagi dalam dua golongan/ grup yaitu grup metal dan non metal. Faktor tanah yang dapat mempengaruhi ketersediaan unsur mikro grup metal adalah (a) reaksi tanah, (b) proses oksidasi dan reduksi, (c) adanya unsur lain yang berlebihan dan (d) kandungan bahan organik.

Ketersediaan unsur mikro Cl dipengaruhi oleh (i) iklim, (ii) tekstur tanah dan (iii) jarak dari laut. Selanjutnya kehilangan Boron sering terdapat pada tanah-tanah yang (1) bahan induknya masam, (2) sering tercuci, (3) bertekstur pasir, (4) mengandung bahan organik masam dan (5) tanah berkapur. Sedangkan tanah- tanah yang sering kekurangan Mo dicirikan oleh (a) tanah pasir, (b) tanah mengalami podsolisasi dan (3) tanah banyak mengandung sulfat.

Daftar Bacaan

- Brady, N.C, 1974. *The Nature and Properties of Soils* Macmillan, New York.
- Foth, H.D. 1978. *Fundamentals of Soils Science*. John Wiley & Sons, Inc.
- Russel, E.W, 1973. *Soils Conditions and Plant Growth*. Longman, New York.
- Tisdale, S.L and Nelson W.L, 1966. *Soil Fertility and Fertilizers*. Macmillan Company New York.

Contoh Soal Untuk Mendalami Materi

1. Terangkan bagaimana peranan tanah sebagai faktor tumbuh?
2. Terangkan prinsip faktor pembatas?
3. Sebutkan kriteria agar unsur hara dapat disebut sebagai unsur hara yang esensial ? Dimana letak kelemahannya?

4. Pada umumnya tanah-tanah di Sumatera ini miskin unsur hara esensial. Berikan pendapat anda mengapa demikian ? jelaskan jawaban anda !
5. Unsur hara mikro yang relatif tidak pernah defisiensi pada tanah-tanah mineral di Sumatera adalah Fe. Mengapa demikian? Jelaskan jawaban anda !
6. Mengapa pada tanah-tanah yang berpasir sering terjadi kekurangan unsur mikro ? Jelaskan jawaban anda!
7. Pada tanah-tanah mineral kadar bahan organik harus selalu dipertahankan? Apakah usaha yang dapat dilakukan untuk ini!
8. Di dalam tanah yang banyak terdapat unsur-unsur hara dalam bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman. Sebutkan usaha-usaha yang dapat dilakukan agar unsur itu segera tersedia bagi tanaman ?
9. Keadaan redok tanah sangat mempengaruhi bentuk hara, besi, mangan dan tembaga di dalam tanah. Jelaskan statement/ pernyataan tersebut ?
10. Jelaskan secara singkat peranan unsur hara makro terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman ?
11. Gejala kekurangan hara selalu lebih cepat terlihat pada daun tanaman dari pada bagian-bagian yang lain. Berikan penjelasan anda ?
12. Tanah organik sering mengalami kekurangan unsur mikro. Mengapa demikian? Jelaskan.
13. Apakah yang dimaksud carrier teori ? Berikan penjelasan secara singkat !
14. Terdapat hubungan yang erat antara kadar air dalam tanah dengan serapan hara. Terangkan hubungan tersebut !
15. Terangkan apa yang anda ketahui tentang peredaran nitrogen tanah?
16. Mineralisasi dan immobilisasi adalah dua proses mineralisasi lebih dominan? Jelaskan jawaban anda !
17. Terangkan satu persatu urutan proses transformasi nitrogen dalam tanah ?
18. Mengapa dari ketiga proses transformasi nitrogen dalam tanah, proses nitrifikasi relatif lebih penting ? Jelaskan !
19. Nitrogen yang dihasilkan dari salah satu proses transformasi dapat difiksasi klei. Bagaimana hal ini dapat terjadi?

20. Terangkan bagaimana tanah dapat mempengaruhi nitrifikasi ?
21. Mengapa penambatan maksimum dari nitrogen udara bebas oleh bakteri nodul, terjadi pada kadar nitrogen tanah rendah? Jelaskan jawaban anda !
22. Sebutkan beberapa famili dari tanaman non legum yang dapat bersimbiosis dengan *Rhizobium*?
23. Bagaimana tanah dapat mempengaruhi proses azofikasi? Terangkan!
24. Terangkan mengapa besarnya penambatan nitrogen melalui air hujan sangat tergantung kepada tempat dan musim ?
25. Penambatan pupuk nitrat ke dalam tanah yang banyak akan mempengaruhi azofikasi dan volatilisasi. Bagaimana hal ini dapat terjadi?
26. Pada tanah-tanah di daerah tropis kehilangan nitrogen dalam bentuk gas jauh lebih besar. Mengapa demikian?
27. Pada akhir-akhir ini kekurangan nitrogen pada tanah sawah semakin besar. Mengapa demikian. Jelaskan jawaban anda !
28. Apakah yang dimaksud dengan masuknya P ke dalam biosfer melalui proses adsorpsi tanaman dan jasad renik? Berikan penjelasan anda !
29. Melihat bentuk fosfat anorganik tanah, maka dapat disimpulkan umumnya fosfat tanah di Indonesia banyak berada dalam bentuk yang sukar larut. bagaimana usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi bentuk ini?
30. Bentuk fosfat yang dominan dalam tanah adalah tergantung kepada tingkat hancuran iklim dan jenis tanah. Jelaskan dengan singkat statement/ pernyataan ini.
31. Berdasarkan kelarutannya, ada beberapa macamkah bentuk fosfat?
32. Tanah dapat mempengaruhi ketersediaan fosfat tanah. Sebutkan dan jelaskan dengan singkat?
33. Bagaimana kesimpulan anda tentang hubungan fosfat tersedia dengan pH tanah? Jelaskan jawaban anda !
34. Bahan organik tanah dapat memperbesar ketersediaan fosfat tanah. Bagaimana hal ini terjadi? Terangkan !

35. Kecepatan ketersediaan fosfat tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. sebutkan dan jelaskan dengan singkat ?
36. Gambarkan diagram klasifikasi kelarutan fosfat tanah dan terangkan apa yang anda ketahui tentang diagram tersebut ?
37. Terangkan bagaimana ketersediaan fosfat organik tanah ?
38. Berikan pendapat anda, mengapa masalah kalium tanah berdasarkan ketersediaannya? Jelaskan jawaban anda !
39. Salah satu bentuk kalium tanah adalah terfiksasi oleh mineral sekunder dalam tanah? Bagaimana proses ini dapat terjadi ?
40. Terdapat keseimbangan antara ketiga bentuk kalium tanah. Jelaskan pentingnya keseimbangan ini secara praktis ?
41. Terdapat keseimbangan antara ketiga bentuk kalium tanah. Jelaskan pentingnya keseimbangan ini secara praktis ?
42. Bentuk kalium segera tersedia adalah kalium yang larut dalam larutan tanah dan yang dapat dipertukarkan. Apa yang terjadi bila bentuk ini diserap tanaman? Terangkan jawaban anda !
43. Terangkan apa yang dimaksud dengan ketersediaan kalium sangat tergantung kepada adanya tambahan dari luar, fiksasi oleh tanah dan hilang dari tanah ?
44. Bagaimana pengaruh tanah terhadap fiksasi kalium? Jelaskan jawaban anda !
45. Kehilangan kalium tanah yang relatif terbesar adalah akibat pencucian terutama bila tanah ringan dan bertekstur pasir. Berikan penjelasan anda secara singkat !
46. Apakah yang dimaksud dengan konsumsi yang berlebihan ? Terangkan dengan singkat !
47. Kadar kalsium tanah-tanah mineral di Sumatera pada umumnya rendah. Terangkan dengan singkat !
48. Dalam dunia perdagangan kalsium lebih dikenal sebagai bahan kapur. Mengapa demikian? Terangkan sifat-sifat dari bentuk-bentuk kalsium sebagai bahan kapur !
49. Sering disebutkan keadaan magnesium dalam tanah hampir sama dengan kalsium tanah. Terangkan beberapa alasan mengapa disebut

demikian !

50. Persoalan belerang tanah hingga sekarang ini masih kurang mendapatkan perhatian. Berikan pendapat anda mengenai hal ini !
51. Bentuk belerang-sulfat umum dijumpai pada tanah lapisan bawah, pada daerah tropis. Terangkan dengan singkat!
52. Jelaskan proses reduksi dan oksidasi dalam hubungannya dengan ketersediaan belerang dalam tanah bagi tanaman ?
53. Selanjutnya belerang tanah akan mengalami beberapa perubahan di dalam tanah. Sebutkan dan jelaskan secara singkat terhadap perubahan-perubahan yang terjadi pada belerang ?
54. Jelaskan sifat dan peranan bakteri *Thiobacillus* dan *Desulfotomaculum* sp terhadap perubahan-perubahan yang terjadi pada belerang ?
55. Terangkan apa yang anda ketahui tentang retensi sulfat dalam tanah.
56. Dari sekian banyak unsur mikro, unsur mikro Fe dan Mn merupakan yang terbanyak dijumpai. Mengapa demikian ? Jelaskan jawaban anda!
57. Sebutkan beberapa contoh dari usaha yang dapat dilakukan untuk mengatasi defisiensi unsur hara mikro ?
58. Bagaimana peranan reduksi dan oksidasi tanah terhadap unsur mikro dan grup metal ?
59. Mengapa pada tanah-tanah yang berpasir sering defisiensi unsur mikro? Jelaskan jawaban anda !
60. Berikan alasan yang jelas, mengapa unsur mikro boron tidak mudah tercuci pada tanah yang banyak mengandung klei.

BAB IX

PUPUK DAN PEMUPUKAN

9.1 Peranan Pupuk dalam Usaha Pertanian

Pupuk adalah suatu bahan yang mengandung unsur hara yang dibutuhkan tanaman, baik dalam bentuk bahan organik maupun bahan anorganik. Setiap kali panen usaha pertanian, akan membawa sejumlah unsur hara keluar dari lahan pertanian. Oleh karena itu, sejumlah unsur hara yang dibawa keluar lahan saat panen tersebut, harus dikembalikan lagi ke lahan yang dipanen dalam bentuk pupuk. Jika diinginkan hasil usaha pertanian yang tinggi, maka jumlah pupuk yang ditambahkan juga harus tinggi pula. Dengan kata lain peranan pupuk dalam usaha pertanian adalah untuk meningkatkan dan mempertahankan jumlah hara yang tersedia didalam tanah untuk memperoleh hasil pertanian tetap tinggi secara berkelanjutan.

Penggunaan pupuk pada tanah pertanian terutama pupuk kandang telah dimulai berabad-abad yang silam sesuai dengan sejarah pertanian. Penggunaan senyawa kimia sebagai pupuk untuk mendapatkan hasil yang lebih tinggi telah pula dikenal lebih kurang beratus tahun yang silam. Sekarang hal ini telah menjadi suatu keharusan untuk mempertahankan produksi yang konstan dan tinggi sepanjang masa.

Tanaman untuk hidupnya membutuhkan paling tidak 13 unsur macam hara esensial yang diperoleh dari tanah. Unsur kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) biasanya diberikan ke dalam tanah dalam bentuk kapur, pada tanah-tanah yang kekurangan kalsium dan magnesium. Belerang (S) dijumpai dalam berbagai pupuk, sehingga unsur ini kurang mendapat perhatian. Ketiga unsur di atas bila ditinjau dari hara secara umum tidaklah kritis di dalam tanah.

Hingga sekarang, yang selalu menjadi permasalahan adalah ketersediaan unsur nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K). Ketiga unsur ini sering sekali mengalami defisiensi di dalam tanah, sehingga harus sering ditambahkan ke dalam tanah melalui pemupukan yang mengandung unsur-unsur tersebut. Ketiga unsur tadi disebut sebagai unsur utama dalam pupuk. Disamping itu, kepentingan unsur hara mikro, tidak boleh diabaikan walaupun dibutuhkan dalam jumlah sedikit.

9.2 Klasifikasi Pupuk

Pengertian klasifikasi pupuk dapat dilihat dari beberapa segi, yaitu (1) atas dasar pembentukannya yang terdiri dari **pupuk alam** dan **pupuk buatan**, (2) atas dasar unsur hara yang dikandungnya yang terdiri dari **pupuk tunggal** dan **pupuk majemuk** dan (3) atas dasar susunan kimia yang mempunyai hubungan penting dengan perubahan-perubahan didalam tanah.

Pupuk alam diantaranya terdiri dari (a) pupuk kandang, (b) pupuk hijau, (c) kompos dan (d) guano. Sedangkan yang dimaksud dengan pupuk buatan atau pupuk sintetik, adalah pupuk yang dibuat atau disintetik di pabrik-pabrik yang mengandung unsur hara dalam jumlah dan jenis tertentu, yang pada umumnya mempunyai kadar unsur hara tinggi. Semua pupuk yang dibuat di pabrik mempunyai kebaikan dan kelemahan-kelemahan yang tersendiri.

Kebaikan pupuk buatan :

- 1) Lebih mudah menentukan jumlah pupuk yang diperlukan tanaman.
- 2) Hara yang diberikan, dalam bentuk yang cepat tersedia bagi tanaman
- 3) Dapat diberikan pada saat yang lebih tepat
- 4) Pemakaian dan pengangkutannya lebih murah dan mudah karena kadar hara tinggi

Kelemahan pupuk buatan :

- a) Bila tidak dengan perhitungan dalam pemakaiannya, maka penggunaannya akan merusak lingkungan
- b) Umumnya tidak atau sedikit mengandung unsur mikro dan hanya unsur tertentu saja yang mempunyai konsentrasi tinggi.

Berdasarkan kandungan unsur haranya, maka pupuk dapat dibagi ke dalam beberapa golongan, yaitu:

- 1) Pupuk tunggal yaitu, pupuk yang mengandung satu jenis hara tanaman
- 2) Pupuk majemuk, yakni pupuk yang mengandung lebih dari satu unsur hara tanaman, seperti gabungan antara N dan P atau P dan K, dst.
- 3) Pupuk kalsium dan magnesium yang biasanya penggunaannya dipakai sebagai bahan kapur, karena aspek praktisnya disamping sebagai pupuk sering digunakan dalam usaha pengapuran yaitu untuk meningkatkan pH tanah.

Berdasarkan susunan kimiawinya, pupuk dapat digolongkan ke dalam bentuk organis dan anorganis. Pupuk anorganik adalah pupuk yang dibuat di pabrik (pupuk buatan). Pupuk organik merupakan hasil akhir atau hasil-hasil antara dari perubahan atau penguraian bagian-bagian / sisa tumbuhan dan hewan.

9.2.1 Pupuk Buatan

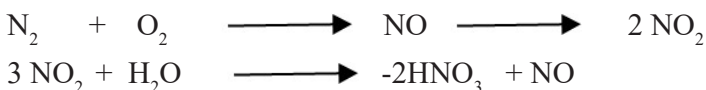
Pupuk buatan adalah pupuk yang sengaja dibuat di pabrik yang mengandung unsur hara tertentu pula. Di daerah tropis misalnya Indonesia penggunaan pupuk buatan sekarang ini lebih populer daripada pupuk alam karena (1) tidak cukup tersedianya pupuk alam untuk memenuhi kebutuhan akan pupuk, (2) pupuk buatan lebih ekonomis, karena dapat meringankan ongkos pengangkutan dan tenaga kerja serta dapat memberikan pengaruh yang nyata terhadap peningkatan produksi. Mengenai pupuk buatan ini untuk selanjutnya akan dibicarakan secara terpisah tentang (a) pembuatan pupuk dan (b) sifat dan ciri pupuk buatan.

9.2.1.1 Pembuatan Pupuk Nitrogen

Proses pembuatan pupuk berbeda-beda menurut jenis pupuknya. Selanjutnya akan diuraikan secara singkat pembuatan beberapa jenis pupuk. Sebenarnya cukup banyak terdapat nitrogen bebas (zat lemas) yaitu lebih kurang 79% terdapat dalam udara sebagai N_2 . Namun, unsur ini baru dapat digunakan oleh tanaman setelah mengalami perubahan ke bentuk yang terikat yang kemudian dalam bentuk pupuk. Sumber utama dari nitrogen terikat untuk pembuatan pupuk adalah nitrogen dalam bentuk amoniak (82%).

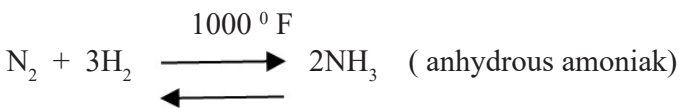
Hingga sekarang diketahui ada tiga cara pengikatan nitrogen bebas udara yang telah dikembangkan yaitu (1) cara electric arc, (2) cara pembuatan kalsium sianida, dan (3) cara mereaksikan hidrogen dengan nitrogen atmosfer dan membentuk amoniak.

Cara electric arc. Prinsip dari cara ini adalah akibat adanya perbedaan muatan listrik diantara dua sel yang kemudian terjadi loncatan api. Bersamaan dengan itu terjadi oksidasi nitrogen udara. Rekasinya adalah sebagai berikut:



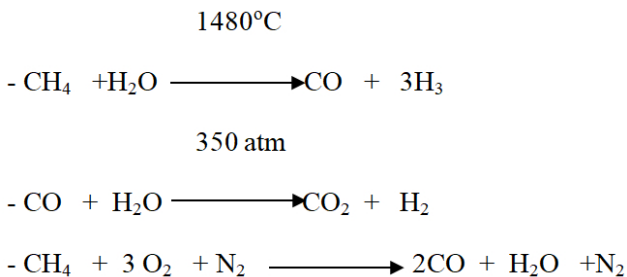
Pengikatan melalui pembuatan CaCN_2 . Cara ini dikembangkan oleh orang Jerman. Proses ini membutuhkan suhu tinggi, agar rekasi antara gas nitrogen dengan kalsium karbida untuk menghasilkan kalsium sianida. Akan tetapi cara ini kurang menguntungkan dan tidak efisien, maka tidak dikembangkan lagi sebagai dasar untuk pembuatan pupuk secara industri.

Cara fiksasi N udara dan membentuk amoniak. Amoniak yang dihasilkan dengan cara ini langsung dapat dipakai sebagai pupuk, baik dalam bentuk cairan maupun dalam bentuk anhydrous amonia. Pembuatan NH_3 tersebut dilakukan dengan mereaksikan gas H_2 dengan gas N_2 udara bebas, berdasarkan teori keseimbangan dinamik yang dikembangkan oleh Le Chatelier. Reaksi yang terjadi dapat ditulis:

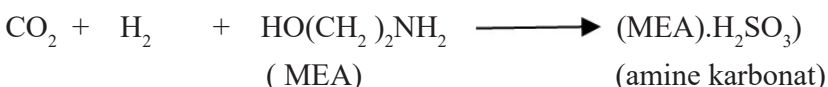


Amoniak yang dihasilkan ini mempunyai kadar nitrogen berkisar antara 82-82,5 % N. Bahan yang digunakan untuk pembuatan NH_3 tersebut adalah gas alam, uap air dan udara. Proses pembuatannya dilakukan dalam tiga tahap yaitu (1) sintesa gas, (2) proses pemurnian dan (3) sintesa amoniak.

Sintesa gas. Pada tahap pertama adalah pembentukan CO, kemudian gas CO diubah menjadi CO_2 dan terakhir pembentukan gas campuran yang mengandung N_2 . reaksinya adalah:



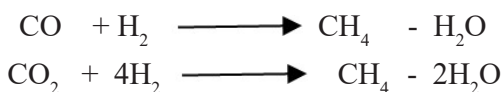
Pemurnian / purification. Tahap kedua adalah pemisahan gas CO_2 dengan menambahkan monoethanolamine (MEA) dengan reaksi sebagai berikut:



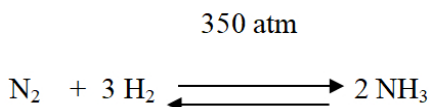
Pemisahan gas CO, biasanya dilakukan dengan menambahkan larutan cuprum asetat melalui pemanasan dengan reaksi berikut ini :



Untuk menghilangkan sisa CO dan CO₂ yang mungkin masih ada, maka bentuk-bentuk tadi dikembalikan ke dalam bentuk metan melalui proses metanasi yaitu:



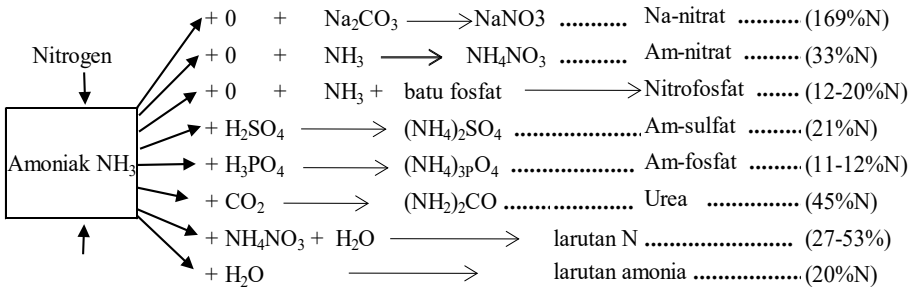
Sintesa amoniak .Setelah semua gas-gas yang dianggap dapat mengganggu pembuatan NH₃ dapat dipisahkan, maka sekarang diperoleh suatu campuran gas H dan N yang diharapkan. Kemudian kedua gas tersebut dimanfaatkan, dicampurkan dalam suatu compressor dengan tekanan 350 atm dan dialirkan ke converter amoniak. Reaksi yang terjadi adalah :



Dari amoniak yang dihasilkan dapat dibuat beberapa ikatan nitrogen lainnya ataupun dapat digunakan untuk tiga hal. Pertama gas tersebut di bawah tekanan tinggi dapat dicairkan menjadi amoniak cair. Senyawa ini digunakan dalam dalam pembuatan super-fosfat yang diamoniakkan dan pupuk majemuk lainnya. Disamping itu senyawa ini dapat dipakai langsung sebagai pupuk nitrogen.

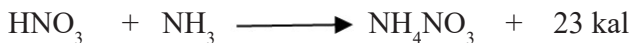
Kedua, gas amoniak dapat dilarutkan ke dalam air menghasilkan NH₄NO₃ dan urea yang dinamakan larutan nitrogen. Akhir-akhir ini NH₃, cairan dan larutan nitrogen makin banyak digunakan terutama di Amerika Serikat. Di Indonesia bahan tersebut belum dipakai karena penyebarannya memerlukan peralatan khusus serta sifat amoniak yang kurang menyenangkan.

Reaksi-reaksi yang mengGambarkan pembuatan berbagai pupuk N dari gas amoniak disajikan secara bagan berikut:



Gambar 9.1 Bagan yang mengGambarkan berbagai pupuk nitrogen dapat dibuat dari amoniak.

Pupuk amonium nitrat dapat dibuat melalui empat cara yaitu (1) cara prilling, (2) cara stengel, (3) cara kristalisasi dan (4) cara pembutiran. Secara umum pembuatannya adalah dengan mereaksikan asam nitrat dengan amoniak dan reaksinya sebagai berikut:



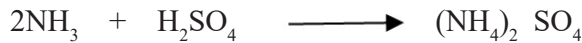
Bentuk amonium nitrat yang dibuat secara prilling berbentuk pellet bulat, yaitu dengan penyemprotan bahan-bahan tersebut dari atas menara dengan udara yang didinginkan cara stengel yaitu dengan pemanasan uap NH₃ dan HNO₃ direaksikan dan amonium yang dihasilkan dimasukkan ke dalam ruang hampa udara untuk dikristalisasikan dan disusul oleh sentrifugasi. Yang terakhir adalah pembutiran, yaitu amonium yang telah dihasilkan diupkan dan didinginkan sambil diaduk.

Pupuk natrium nitrat pada permulaannya adalah ditambang di Chili yang kemudian karena tidak dapat mengimbangi lagi akan permintaan yang terus meningkat, maka pupuk ini dibuat secara sintesis. Prinsip pembuatannya adalah melalui proses Solvay, dengan mereaksikan garam karbonat dengan asam nitrat yaitu:



Amonium sulfat sudah dikenal sebagai pupuk oleh petani sejak tahun 1946. pupuk ini dibuat dengan mereaksikan NH₃ dengan asam sulfat, yang reaksinya adalah:

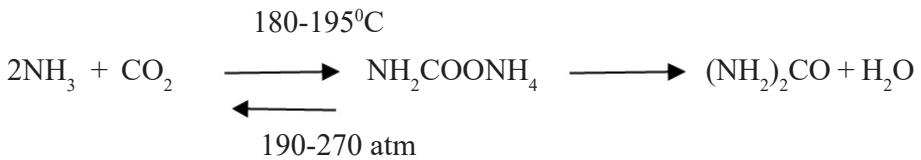
116-118°C



Akan tetapi di Eropa ZA dibuat juga dengan cara mereaksikan amonium karbonat dengan gipsum, reaksinya seperti berikut:



Urea dibuat secara komersil dari amoniak dan karbon dioksida melalui senyawa intermedier amonium karbamat. Reaksinya dapat ditulis seperti berikut:

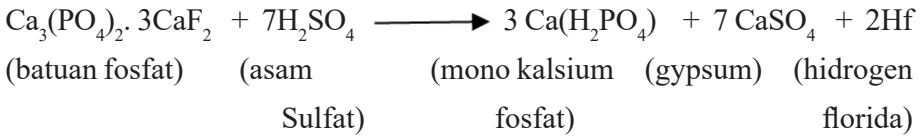


Reaksi tersebut akan berlangsung pada suhu dan tekanan yang tinggi. Karbon dioksida berkualitas cukup baik dapat diperoleh dari pabrik yang membuat amoniak cairan. Biasanya karbondioksida dilewatkan melalui suatu katalisator, untuk menghilangkan kelebihan karbondioksida yang sangat mengotori reactor urea.

Pembuatan urea di Indonesia mengikuti proses seperti yang sering di buat di Amerika Serikat. Oleh karena reaksi bersifat bolak-balik, maka pengaturan suhu dan tekanan serta konsentrasi harus menjadi pertimbangan pada waktu pembuatan urea. Suhu yang tinggi meningkatkan konversi, tetapi ini meminta tekanan yang lebih tinggi untuk mnghindarkan bahan-bahan yang sedang bereaksi berubah menjadi bentuk gas, yang dapat mengakibatkan dekomposisi amonium karbonat dan akhirnya menurunkan konversi.

9.2.1.2 Pembuatan Pupuk Fosfat

Penggunaan pupuk fosfat dalam bentuk superfosfat telah dimulai setelah adanya penemuan dan demonsentrasi yang dilakukan oleh Liebig di Jerman tahun 1840 dan Lawes di Inggris tahun 1842. Industri pupuk superfosfat bermula di Inggris dengan bahan baku berasal dari batuan fosfat yang ditambang. Prinsip dasar dari pembuatan pupuk superfosfat ini adalah dengan mereaksikan mineral fosfat dan asam sulfat yang kemudian menghasilkan superfosfat sebagai pupuk. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



Superfosfat yang dihasilkan dengan cara demikian mengandung sekitar 9% P atau 20 % P_2O_5 .

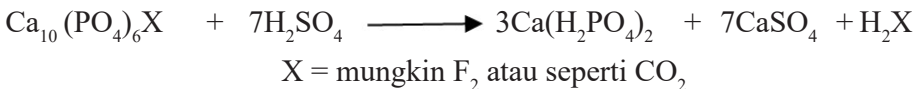
Pupuk superfosfat dapat dibuat melalui dua cara yaitu dengan cara pemanasan langsung batuan fosfat pada suhu 150-180°C. Cara ini kurang efisien bila dihitung dengan biaya pembuatan dan hasil yang diperoleh. Cara kedua yaitu dengan cara menambah H_2SO_4 (cara pengasaman) kepada batuan fosfat. Hasil yang pertama diperoleh adalah asam fosfat yang merupakan hasil intermedier. Hasil akhir dari cara ini adalah superfosfat dalam bentuk monokalsium fosfat.



Asam fosfat bebas akan bereaksi dengan sisa batuan fosfat yang diasamkan membentuk monokalsium fosfat.



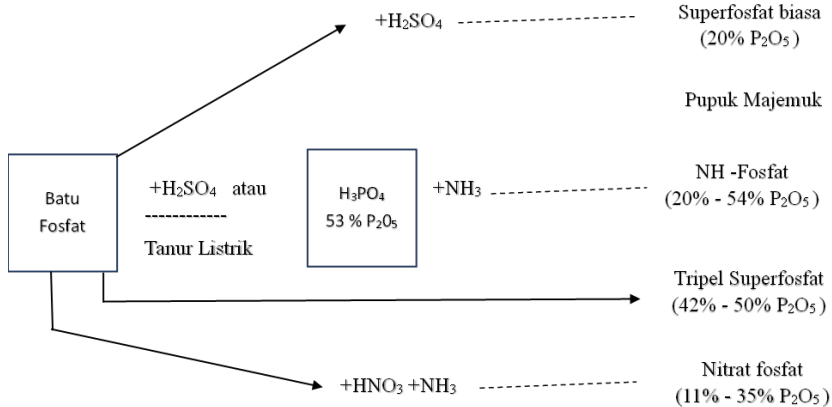
Reaksi keseluruhan adalah:



Pembuatan pupuk fosfat dari sumber fosfat seperti pada Gambar 9-2. Jika kepada biji-biji fosfat ditambahkan asam fosfat maka akan terbentuk double superfosfat (DS). Reaksi yang terjadi pada pembuatan pupuk ini adalah sebagai berikut :



Sekarang banyak pula beredar dan banyak digunakan terutama di Indonesia yaitu pupuk triple superfosfat (TSP). pembuatan dan rumus kimianya sama dengan DS.



Gambar 9.2 Bagian dari reaksi berbagai permbuatan pupuk Fosfat

Akan tetapi kadar P_2O_5 nya berbeda yaitu berkisar antara 40-47%. Perbedaannya dengan pupuk SS adalah tidak mengandung gips ($CaSO_4$). Dapat juga dibuat dari trikalsium fosfat dengan menambahkan asam fosfat dengan rekasi sebagai berikut:



9.2.1.3 Pembuatan Pupuk Kalium

Sebagai bahan baku dari pupuk kalium biasanya adalah deposit garam kalium yang larut dalam air dan umumnya berasosiasi dengan magnesium, sulfat dan chlor. Deposit atau mineral ini adalah Silvit (KCL), Karnalit ($KCL.MgCL_2.6H_2O$), Langbeinit ($K_2SO_4.2MgSO_4$) dan ($KCL.MgSO_4.3H_2O$) Kainit.

Pada pembuatan pupuk kalium dari bahan-bahan tersebut biasanya dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut yaitu: (1) ekstraksi bahan baku (deposit K) yang kemudian diteruskan dengan pemisahan bahan melalui penyulingan untuk menghasilkan pupuk KCL dan (2) transformasi dari susunana kimia bahan menjadi bentuk pupuk kalium lainnya, misalnya KCL menjadi K_2SO_4 dan bentuk lainnya. Pembuatan pupuk kalium dengan proses pemisahan bahan melalui ekstraksi telah umum dikenal dan dapat ditempuh melalui berbagai cara yaitu (1) fraksional crystallization, (2) froth flotation dan (3) pemisahan bahan kasar.

Fractional crystallization. Cara ini mempunyai prinsip pemisahan yang didasarkan kepada kelarutan kalium pada suatu garam, biasanya

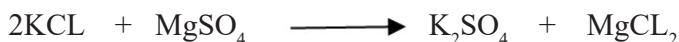
NaCl. Biji tambang yang mengandung deposit kalium dicampur/ dilarutkan dalam larutan garam (NaCl) yang dipanaskan / sampai seluruh bijih kalium bercampur dengan Chlor yang berasal dari NaCl. Kemudian melalui proses kristalisasi terbentuk KCL.

Froth flotation. Pada proses ini depositgaram kalium dicampur dengan larutan garam jenuh. Sebelum bijih kalium dicampur, diberi asam lemak. Kemudian udara dipompakan kedalam campuran tersebut hingga terbentuk busa. KCL yang terbentuk diantara busa tersebut selanjutnya baru dikristalisasi.

Pemisahan bahan kasar. Prinsip dasar dari cara ini adalah pemisahan bahan pupuk dengan cara dicampur. Deposit yang mengandung kalium dihaluskan dan diayak sehingga didapat ukuran deposit yang 10 mesh. Kemudian dicampur dengan larutan garam yang jenuh bersama-sama dengan memasukan logam magnit. Selanjutnya larutan tadi dipompa hingga cairan tersebut berputar. KCL yang terbentuk akan berada diatas cairan yang berputar, sedangkan NaCL berada dibawahnya. B e n t u k KCL yang dihasilkan dengan cara ini merupakan pupuk kalium yang paling penting. Oleh karena pupuk kalium yang diperoleh dengan metoda ini merupakan sumber kalium dari seluruh pupuk yang diproduksi kemudian ($\pm 95\%$ dari seluruh pupuk kalium yang digunakan).

Pupuk kalium yang telah lama dikenal di Indonesia adalah kalium sulfat (ZK). Pupuk ini dapat dibuat dengan berbagai cara yaitu:

Pertama dengan merekasikan KCL dengan $MgSO_4$, reaksinya:



Kedua dengan mereaksikan KCL dengan H_2SO_4 , reaksinya adalah:



Ketiga, dari kainit yang dilarutkan dalam air dengan melalui perubahan menjadi garam intermedier (schoenite).



Keempat mereaksikan antara KCL dengan $NaSO_4$ yaitu:



Terakhir dengan melarutkan lengbeinit ke dalam air dan menambahkan larutan KCl dengan reaksinya sebagai berikut:



Pupuk kalium yang lain, yaitu kalium magnesium-sulfat yang diproduksi dengan melarutkan kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ke dalam air panas kemudian ditambahkan KCl, reaksinya adalah berikut ini:



Selanjutnya pupuk kalium nitrat dibuat dengan merekasikan KCl dan HNO_3 dengan reaksinya adalah:



9.2.1.4 Pupuk belerang

Sumber utama belerang yang digunakan untuk pembuatan dalam industri pupuk adalah elemen belerang (brimstone) dari deposit vulkanik. Garam-garam sulfat dari Mg, K dan Ca juga dapat digunakan dalam industri pupuk belerang. Elemen belerang yang berbentuk deposit, berasosiasi dengan kalsium, gypsum dan anhyrit dan juga belerang dalam bentuk metal sulfat serta ada metal sulfide (FeS , CuS).

Elemen belerang didapatkan dengan cara mencairkan deposit belerang. Dengan pemanasan pada $250^\circ - 300^\circ\text{F}$ elemen belerang akan mencair dan dengan melalui proses pemurnian maka didapat belerang dengan kemurnian antara 99,5 – 99,8%.

Pada umumnya elemen belerang ini digunakan untuk pembungkus dari pupuk-pupuk yang lain. Misalnya pada pembungkus atau pada pembuatan pupuk constricted superfosfat-sulfur, yang dilakukan dua tahap. Pertama batuan fosfat direaksikan dengan asam sulfat. Kemudian sisa batuan tersebut direaksikan dengan asam fosfat (hasil reaksi tahap pertama) yang menghasilkan monokalsium fosfat. Tahap kedua, superfosfat diinkorporasikan dengan elemen belerang. Demikian juga halnya dengan pupuk urea-sulfur (SCU= sulfur coated urea), dibuat dengan cara sebagai berikut:

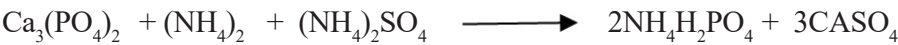
Urea yang belum dilakukan proses prilling (masih dalam bentuk cairan) disemprotkan kedalam belerang. Kemudian didinginkan sehingga membentuk butiran urea yang dibungkus belerang. Pupuk urea-amonium sulfat dibuat dengan mencampurkan amonium sulfat dengan urea dalam granulator amoniak. Campuran ini berbentuk cairan kental dan kemudian disemprotkan dari udara agar membentuk prill

9.2.1.5 Pupuk majemuk

Pembuatan pupuk majemuk umumnya dengan mencampurkan unsur-unsur bahan pupuk. Misalnya pada pembuatan amofos. Pupuk ini dibuat dari asam fosfat dengan amoniak dengan reaksinya adalah:



Pupuk majemuk lainnya yaitu amofos, di Eropa umumnya dibuat sebagai berikut:



9.2.2 Sifat dan Ciri Pupuk Buatan

Seperti telah dikemukakan sebelumnya bahwa semua pupuk yang dibuat oleh pabrik mempunyai kebaikan dan kelemahan masing-masing, tergantung kepada jenis dan bentuk dari pupuk itu sendiri. Sifat dan cirri dari masing-masing pupuk akan dibicarakan terpisah.

9.2.2.1 Sifat dan Ciri Pupuk Pupuk Nitrogen

Pupuk nitrogen dalam bentuk nitrat akan lebih mudah bergerak/ mobil daripada amonium. Dengan demikian lebih mudah tercuci. Oleh karena itu, harus diberikan beberapa kali, misalnya pupuk amonium nitrat, natrium nitrat. Tanaman yang cocok dipupuk dengan N-Nitrat adalah tanaman palawija. Komposisi dan persentase kandungan unsur hara dari berbagai bentuk pupuk nitrogen dapat dilihat pada Tabel 9.1 berikut:

Tabel 9.1 Rata-rata Persentase Nirogen serta Komposisi dari Pupuk – pupuk Nitrogen

Sumber pupuk nitrogen	persentase					
	N	K ₂ O	CaO	Mg	S	Cl
Amonium sulfat	20.5	-	-	-	23.4	-
Anhdymous amoniak	82.2	-	-	-	-	-
Amonium nitrat	33.5	-	-	-	-	-
Amonium chloride	28.0	-	-	-	-	0.2
Kalsium nitrat	15.5	-	27.0	2.5	-	0.6
Natrium nitrat	16.0	-	-	-	-	-
Urea	46.0	-	-	-	-	-
Urea-sulfur (SCU)	40.0	-	-	-	-	-
Amonium-sulfat-nitrat	26.0	-	-	-	10.0	-

Pupuk nitrogen dalam bentuk amonium biasanya lebih sesuai digunakan untuk tanaman padi dan untuk tanaman keras lainnya. Jika dibandingkan dengan nitrat bentuk amonium kurang mobil dalam tanah dan lebih cenderung untuk diikat pada kompleks adsorpsi. Akan tetapi walaupun demikian dalam keadaan lahan berdrainase baik ini segera diubah menjadi bentuk nitrat. Selanjutnya nitrat ini lebih peka terhadap pencucian dan bila kondisi kemudian berdrainase buruk bentuk ini direduksi dan dengan mudah hilang ke udara.

Pemberian pupuk amonium sulfat yang berlebihan kepada tanah dapat mengakibatkan tanah menjadi masam. Telah dihitung bahwa pemberian 100 kg amonium sulfat/ha akan memasamkan tanah senilai dengan kehilangan 130-140 kg kapur. Pada tanah ringan, miskin kapur atau basa rendah. Maka pemberian amonium sulfat akan mengakibatkan tanah lebih masam. Suatu ciri yang baik dari pupuk amonium adalah ia tidak berapa higroskopis dan baru mengisap air dari udara bila kelembaban udara lebih 80%. Pada umumnya penggunaan pupuk amonium sulfat pada daerah-daerah yang mempunyai irigasi tidak memberikan pengaruh jelek, karena basa yang dibawa oleh air irigasi dapat mengimbangi tambahan kemasaman tanah.

Nitrogen dalam bentuk amida pada umumnya terdapat pada pupuk urea dimana bentuk ini pun mudah larut dalam air. Dalam tanah umumnya amida segera berubah menjadi bentuk amonium karbonat dan kemudian ke amoniak. Karena konversi (perubahan) dari urea ke amoniak biasanya memerlukan waktu 2 sampai 3 hari, maka nitrogen mudah hilang tercuci. Oleh karena itu selalu disarankan sewaktu memupuk jangan terlalu banyak air (macak-macak pada tanah sawah). Konversi dari udara ke amonium berjalan cepat, maka penggunaan terlalu banyak sekali pakai dan terlalu dekat kepada tumbuhan biji atau akar tanaman mengakibatkan layu atau matinya tanaman karena plasmolisa.

9.2.2.2 Sifat dan Ciri Pupuk Pupuk Fosfat

Pupuk fosfat buatan umumnya diklasifikasikan berdasarkan kelarutannya atas tiga golongan yaitu: (1) pupuk fosfat yang larut dalam air. Pupuk ini mempunyai fraksi yang mudah larut dalam air, dimana P_2O_5 nya mudah tersedia untuk tanaman. (2) pupuk yang larut dalam asam sitrat. Umumnya terdiri dari dikalsium fosfat. Senyawa P_2O_5 nya mudah tersedia bagi tanaman. (3) Pupuk fosfat yang tidak larut dalam asam sitrat.

Fraksi ini terutama terdiri dari bentuk trikalsium fosfat dan dianggap tidak tersedia untuk tanaman. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam Tabel 9-2. Pupuk fosfat yang larut dalam asam sitrat baik digunakan untuk tanaman (tumbuhan lambat). Hara tanaman/ fosfat akan larut dalam tanah secara berangsur-angsur. Juga baik untuk tanaman buah-buahan misalnya mangga, jeruk, kelapa ataupun pisang.

Untuk pupuk fosfat yang sukar larut seperti fosfat alam, ukuran butirannya sangat menentukan. Oleh karena semakin halus ukuran butiran sangat menentukan, maka semakin halus ukuran butiran semakin cepat proses untuk menjadi larut. Sebagai tambahan patut juga dicatat bahwa pemberian pupuk amonium sulfat yang dicampur dengan pupuk fosfat yang larut dalam air ternyata dapat menaikkan serapan fosfat oleh tanaman.

Tabel 9.2 Beberapa Pupuk Fosfat yang Larut Dalam Air dan Asam Sulfat

Jenis pupuk	Total % P_2O_5	Larut dalam Asam sitrat % P_2O_5	Larut dalam air % P_2O_5
Super fosfat tunggal (mono kalsium fosfat)	16.5	16.5	16.0
Tripel superfosfat	45.0	40.0	40.0
Basie Slag	2.5-7.0	2.0-6.0	-
Dikalsium fosfat	34.0	34.0	-
Fosfat alam	27.0-35.0	-	-
Tepung tulang	25.0	8.0	-

9.2.2.3 Sifat dan Ciri Pupuk Pupuk Kalium

Semua garam kalium yang dipakai sebagai pupuk, larut dalam air dan dinilai segera tersedia. Tidak seperti pupuk nitrogen, pupuk kalium walaupun diberikan dalam jumlah yang banyak tidak mempengaruhi pH tanah. Umumnya, sebagai bahan pupuk kalium yang banyak digunakan adalah KCl. Hal ini disebabkan karena sifat KCl yang baik yaitu: (1) KCl relatif murah, (2) KCl seluruhnya dapat larut dalam air dan mudah tersedia, (3) anion yang mengikutinya (Cl) tidak berapa memberikan pengaruh negatif terhadap tanah dan tanaman. Sebagai bahan pertimbangan didalam Tabel 9-3 disajikan persentase K_2O dari pupuk kalsium.

Tabel 9.3 Kadar K₂O dari Masing-masing Pupuk Kalium

Jenis pupuk	Rumus kimia	% K ₂ O
Kalium chlorida (muriate)	KCL	50-62
Kalium sulfat	K ₂ SO ₄	48-50
Kalium-magnesium-sulfat	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄	22-23(18%MgO)
Kalium metafosfat	KPO ₃	35-37(55-58% P ₂ O ₅)
Kalium Nitrat	KNO ₃	44, (13%N)
Kainit	KCL.MgSO ₄ .3H ₂ O	14-20

Kalium klorida dan kalium sulfat banyak dipakai di Indonesia, terutama untuk tanaman tembakau dan dan tanaman perkebunan. Bentuk pupuk kalium- magnesium sulfat banyak dipakai pada daerah yang mempunyai kadar magnesium rendah.

9.2.2.4 Sifat dan Ciri Pupuk Pupuk Belerang

Seperti juga pupuk nitrogen, maka pada umumnya pupuk-pupuk belerang mudah larut dalam air. Pupuk ini dibedakan menjadi dua golongan berdasarkan bentuk belerang yaitu: (1) pupuk belerang yang mengandung elemen belerang dan (2) pupuk belerang yang mengandung sulfat. Pemberian berbagai bentuk belerang ke dalam tanah akan mempunyai pengaruh yang berbeda- beda kepada tanaman. Pemberian pupuk dalam bentuk elemen belerang misalnya dalam bentuk SCU tidak memberikan respon terhadap produksi. Hal ini disebabkan bentuk belerang elemen tidak dapat secara langsung diserap tanaman. Bentuk tersebut harus secara terlebih dahulu dioksidasikan menjadi bentuk sulfat.

Fungsi utama dari pupuk yang mengandung belerang elemen adalah untuk mengefisiensikan pupuk N dan K yang mudah tercuci. Disamping itu juga berfungsi untuk mengurangi pengaruh buruk khlor yang berlebihan. Pemakaian yang terus menerus pupuk belerang yang mengandung sulfat adalah cenderung dapat menurunkan pH tanah ketingkat yang membahayakan pertumbuhan tanaman. Hal ini karena belerang didalam tanah dioksidasikan menjadi sulfat yang dengan air membentuk asam keras yang selanjutnya akan melepaskan ion hydrogen ke dalam tanah.

Suatu hal yang perlu mendapat perhatian mengenai belerang ini adalah keracunan belerang. Keracunan dapat terjadi bila keadaan tanah yang dipupuk belerang berdarainase jelek dan bertekstur berat. Dalam keadaan yang demikian belerang akan direduksi menjadi sulfida yang merupakan racun bagi tanaman. Pada tanah-tanah dimana terjadi keracunan ini bau H₂S dapat dicitum.

9.2.2.5 Sifat dan Ciri Pupuk Unsur Mikro

Pada umumnya tanah-tanah yang ber-pH tinggi mengalami kekurangan unsur mikro kecuali unsur molibdenum yang cukup tersedia pada pH tanah tinggi. Penambahan unsur mikro pada pupuk harus dilakukan lebih teliti daripada penambahan unsur makro. Jumlah yang ditambahkan harus terkendalikan, karena kalau tidak dapat menyebabkan kerusakan-kerusakan pada tanaman. Biasanya yang dipakai untuk mengatasi kekurangan unsur mikro adalah garam-garam unsur mikro seperti tertera pada Tabel 9-4. Tembaga, mangan, besi dan seng pada umumnya diberikan sebagai garam sulfat. Sedangkan boron sebagai borak serta molybdenum sebagai molibdat.

Dalam beberapa hal unsur mikro seperti boron ditambahkan pada pupuk buatan dan adanya penambahan ini dicantumkan pada label pupuk. Caranya adalah pada pencampuran dasar bahan organik yang diamoniakkan ditambahkan sejumlah unsur mikro yang diperlukan.

Tabel 9.4 Garam-garam Unsur Mikro yang Biasanya Dipakai Sebagai Pupuk

Senyawa	Rumus	Kadar hara
Tembaga sulfat	CuSO_4	25-35Cu
Tembaga sulfat basa	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	13.53 Cu
Tembaga karbonat (basa)	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57 Cu
Seng sulfat	ZnSO_4	23.35 Zn
Seng sulfat basa	$\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$	55Zn
Mangan sulfat	MnSO_4	23 Mn
Mangan sulfat basa	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{MnO}$	40-49 Mn
Natrium borat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	34-44 B_2O_3
Fero sulfat	FeSO_4	20 Fe
Feri sulfat	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	17 Fe
Natrium molibdat	Na_2MoO_4	37-39 Mo

9.2.2.6 Sifat dan Ciri Pupuk Majemuk

Suatu sifat yang tidak menyenangkan dari pupuk manajemuk adalah sifat mudah menggumpal dan mengeras sebelum digunakan. Ada beberapa cara untuk menghindarkan sifat penggumpalan ini yaitu: (1) pupuk disimpan dalam kantong-kantong yang tahan kelembaban, (2) pupuk dapat dicampur dengan bahan yang menyerap kelembaban, misalnya dicampur dengan bahan yang menyerap kelembaban, misalnya dicampur batu kapur dolomitik. Campuran ini juga dimaksudkan untuk dapat mempertahankan

tidak terjadinya kemasaman dari pupuk dan untuk menjaga terjadinya penggumpalan, (3) dengan membuat pellet. Bahan-bahan seperti Na- dan NH_4NO_3 telah lama dipelletkan dengan tujuan menjaga penggumpalan. Selanjutnya granulasi memungkinkan pupuk terhindar dari tiupan angin dan mengurangi kecepatan bereaksi dengan tanah. Pemberian pupuk majemuk sering memberikan rekasi masam kepada tanah. Hal ini terutama disebabkan sifat nitrogen (pembawa nitrogen), terutama bentuk amoniak dalam pupuk majemuk tersebut. Bila senyawa amonium dioksidasikan, bertendensi menambah kemasaman tanah seperti diperlihatkan pada rekasi berikut:



Kemudian efek lain dari ion NH_4^+ akan menggantikan kedudukan kation-kation lain pada komplek adsorpsi. Bila kation metal yang digantikan maka ia peka terhadap pencucian yang akhirnya menekan pH tanah. Tetapi bila ion yang digantikan maka akan terbentuk asam sulfat dalam larutan.

9.3 Pupuk Alam

Seperti telah disinggung uraian sebelumnya bahwa pupuk alam terutama pupuk kandang telah cukup lama dikenal dan dipergunakan dalam usaha pertanian. Tetapi karena permintaan akan pupuk terus meningkat, sedangkan persediaan pupuk alam relatif terbatas maka orang akan beralih untuk menggunakan pupuk buatan. Yang termasuk kedalam kelas jenis pupuk alam adalah pupuk-pupuk berasal dari sisa-sisa organisme hidup, baik sisa tanaman maupun sisa hewan. Kedalam kelas ini termasuk: (1) pupuk kandang, (2) pupuk hijau, (3) kompos, dan (4) guano.

9.3.1 Pupuk Kandang

Pupuk kandang merupakan kotoran padat dan cair dari hewan ternak yang tercampur dengan sisa-sisa makanan ataupun alas kandang. Pupuk kandang dan pupuk buatan kedua-duanya menambah bahan makanan tanaman di dalam tanah. Tetapi pupuk kandang mempunyai kandungan unsur hara yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan pupuk buatan. Namun demikian pupuk kandang disamping dapat menambah unsur hara kedalam tanah juga dapat mempertinggi humus, memperbaiki struktur tanah dan mendorong kehidupan jasad renik tanah.

9.3.1.1 Kadar Hara Pupuk Kandang

Pupuk kandang terdiri dari dua komponen asli, yaitu padat dan cair dengan perbandingan rata-rata 3: 1. bagian padat rata-rata mengandung lebih 50% N, hampir semua P dan 1 lebih kurang 3/5. Tetapi karena ketersediaan hara dari bagian cair lebih cepat maka nilainya dari segi pertanian hampir sama. Secara umum kadar atau perbandingan hara dalam bagian padat dan cair tertera dalam Tabel 9-5

Tabel 9.5 Presentase Kadar Hara Dalam bagian Padat dan cair dari Pupuk Kandang

Bagian pupuk	N-total (%)	P-total (%)	K-total (%)
Kotoran padat	55	100	65
Kotoran cair/ urine	45	sedikit	35
Total	100	100	100

Walaupun demikian kadar rata-rata unsur hara yang terdapat dalam pupuk kandang sangatlah bervariasi. Keadaan keragaman ini adalah disebabkan beberapa faktor yaitu: (1) macam atau jenis hewan, (2) umur dan keadaan individu hewan, (3) makanan yang dimakan hewan / pemeliharaan hewan, (4) bahan amparanm dan (5) car handling / pengelolaan dan menyimpan pupuk kandang sebelum dipakai. Tabel berikut menunjukkan kadar unsur hara yang dikandung oleh beberapa jenis hewan secara rata-rata.

Dari Tabel 9-6 terlihat bahwa kadar hara yang terdapat didalam pupuk kandang sangat beragam. Oleh karena itu untuk keperluan perhitungan telah ditetapkan suatu kesimpulan bahwa hara yang terdapat di dalam pupuk kandang berkadar rata-rata 0,5% N, 0,25% P_2O_5 dan 0,5 K_2O . Disamping unsur-unsur tersebut pupuk kandang juga mengandung karbon, magnesium dan juga belerang, juga mungkin unsur mikro. Kelompok terakhir ini sangat penting dalam menjaga dan mempertahankan keseimbangan hara dari tanah yang mendapat pupuk ini.

9.3.1.2 Sifat dan Ciri Pupuk Kandang

Sifat dan ciri pupuk kandang bila dibandingkan dengan pupuk buatan adalah: (1) lebih lambat bereaksi, karena sebagian besar zat-zat makanan harus mengalami berbagai perubahan terlebih dahulu sebelum diserap tanaman, (2) mempunyai efek residu, yaitu haranya dapat secara

berangsur menjadi bebas dan tersedia bagi tanaman. Umumnya efek ini masih menguntungkan setelah 3 atau 4 tahun setelah perlakuan. Walaupun pada kenyataannya pengaruh cadangan tersebut tidak begitu nyata. Akan tetapi dapat dipastikan bahwa pemupukan dengan pupuk kandang secara teratur, lambat laun akan membentuk cadangan unsur hara didalam tanah tersebut dan (3) dapat memperbaiki sifat fisika tanah seperti struktur dan menambah bahan organik tanah.

Tabel 9.6 Kadar rata-rata unsur hara yang terdapat dalam pupuk kandang

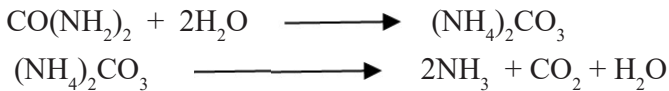
Jenis ternak	bentuk kotoran	H ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		-----	%	kotoran	
1. Kuda	Padat	75	0.55	0.30	0.40
	Cairan	90	1.35	sedikit	1.25
	Keseluruhan	78	0.70	0.25	0.55
2. Sapi	Padat	85	0.40	0.20	0.10
	Cairan	92	1.00	sedikit	1.35
	Keseluruhan	86	0.60	0.15	0.45
3. Domba	Padat	60	0.75	0.50	0.45
	Cairan	85	1.35	0.05	2.10
	Keseluruhan	68	0.95	0.35	1.00
4. Babi	Padat	80	0.55	0.50	0.40
	Cairan	97	0.40	0.10	0.40
	Keseluruhan	87	0.50	0.35	0.40
5. Ayam	keseluruhan	55	1.00	0.80	0.40

Walaupun demikian, harus pula diingat bahwa terdapat ketidak seimbangan perbandingan kadar unsur hara yang terdapat didalam pupuk kandang tersebut yaitu unsur hara fosfor. Fosfor yang diberikan kedalam tanah tidak semuanya akan segera dapat diserap tanaman. Oleh karena itu, selalu disarankan dalam penggunaan pupuk kandang harus diikuti dengan pemupukan TSP atau pupuk P buatan lainnya.

Selanjutnya pupuk kandang juga mempunyai permasalahan tersendiri yaitu kehilangan unsur hara terutama nitrogen adalah dalam bentuk NH₃, NO₃ dan N₂. Dari beberapa penelitian dapat disimpulkan bahwa walaupun penyimpanan dari pupuk kandang sedemikian rupa tetap akan hilang 50% nitrogen, kalium dan bahan organik dan 35% fosfor.

Adanya penguapan dalam bentuk NH_3 perlu mendapat perhatian yang serius. Berdasarkan pengalaman banyak kerugian bila pupuk kandang tidak segera dibenamkan ke dalam tanah. Penguapan NH_3 akan berlangsung cepat, bila udara sekelilingnya kering dan panas.

Perubahan/ fermentasi yang terjadi terdapat banyak jasad renik disebabkan karena didalam pupuk kandang terdapat banyak jasad renik anaerobic. Pertama sekali senyawa nitrogen sederhana akan mengalami perubahan, kemudian disusul oleh bahan-bahan lain yang lebih komplek. Karbondioksida dibebaskan dalam jumlah yang banyak. Urea dan urine mengalami hidrolisis. Amonium karbonat yang dihasilkan tidak stabil dan akhirnya membentuk amoniak dan bebas ke udara (bau yang sering tercium didalam kandang). Proses terjadinya reaksi dapat digambarkan secara sederhana yaitu:



Bila keadaan memungkinkan terjadinya nitrifikasi, nitrat akan terbentuk dalam jumlah yang banyak. Karena nitrat mudah larut dalam air, maka mudah hilang tercuci. Jadi pada taraf permulaan yang berlangsung suasana aerob dan pupuk kandang akan kehilangan nitrogen dalam bentuk amoniak dan nitrat. Selanjutnya akibat banyak sekali nitrogen yang digunakan pada proses tadi sedangkan pada waktu yang bersamaan dibebaskan karbondioksida cukup banyak pula, sehingga terjadi perubahan secara anaerobic, yang berlangsung agak lambat dan suhu menurun. Kehilangan nitrogen terus juga terjadi yaitu dalam bentuk kehilangan dalam suasana anaerobic.

Walaupun demikian ada beberapa cara yang dapat dipakai untuk mengurangi kehilangan hara dari pupuk kandang. Cara yang telah lama dipakai di Inggris adalah dengan membuat lantai kandang dari beton sehingga unsur hara tidak tercuci. Sehingga bahan amparan yang terus menerus mendapat tambahan ekresi dan diinjak-injak ternak membanu pengawetan pupuk. Kalau pupuk kandang hendak disimpan diluar, harus diusahakan supaya jangan penggenangan air pada tumpukan pupuk. Ada juga dengan cara membuat bak penyimpanan pupuk kandang yang dibuat dari beton yang diberi naungan untuk mencegah air hujan masuk kedalam simpanan pupuk tersebut.

9.3.2 Pupuk Hijau

Pupuk hijau adalah tanaman atau bagian-bagaian yang masih muda yang ditanamkan kedalam tanah dengan tujuan untuk menambahkan bahan organik dan unsur hara terutama nitrogen kedalam tanah. Biasanya untuk pupuk hijau sering digunakan jenis tanaman kekacangan (legium), karena kandungan nitrogennya relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanaman lainnya.

Pemilihan tanaman yang cocok untuk pupuk hijau harus dapat memenuhi beberapa syarat antara lain: (1)cepat tumbuh dan dapat menghasilkan banyak bahan organik (2) tidak banyak mngadung kayu (3) mudah busuk, (4) banyak mengandungn nitrogen dan (5)dapat tumbuh pada tanah yang kurus serta kurang subur dan relatif tahan kekeringan.

Melihat syarat-syarat yang demikian maka tanaman yang sesuai untuk pupuk hijau adalah dari jenis legium seperti *crotalaria juncea* (2-2,5 bulan), *crotalaria angyroides* (3-4 bulan) dan *crotalaria usaramunsis* (3-4 bulan).

Pupuk hijau (terutama legium) dapat dibagi ke dalam tiga golongan : (1) Pupuk Hijau yang berbentuk pohon, dipakai sebagai pohon pelindung. Misalnya *Leucena glauca* (lamtoro), *sesbania grandiflora*(turi putih) dan sebagainya. (2) Pupuk Hijau berbentuk perdu, biasanya dipakai untuk tanaman, misalnya *Crotalaria sp*, *Teprosia candida*, (3) Pupuk Hijau berbentuk semak yang lunak batangnya, misalnya *Calopogonium muconoides*, *Centrosema sp*, *Minosa invisa*. Beberapa jenis pupuk hijau baik dari jenis kacang-kacangan atau bukan dapat dilihat dalam Tabel 9-7.

Tabel 9.7 Beberapa Jenis Tanaman Pupuk Hijau

Jenis kacang-kacangan	Bukan kacang-kacangan
<i>Crotalaria sp</i>	Gandum
<i>Tephrosia candida</i>	Rumput sudan
<i>Leucena glauca</i>	Millet
<i>Centrocema pubescen</i>	Barley
<i>Mimosa invisa</i>	Oats
<i>Peuraria javanica</i>	Rye
<i>Calopogonium nucenoides</i>	Ryegrass
<i>Phaseolus</i> ; <i>Vigna</i> ; <i>Dilochos</i> ;	Rumputan
<i>Canavalia</i> , <i>Mucena</i> , Clover dan Kedele.	

Dari segi biokimia keuntungan dari pemakaian pupuk hijau dapat dikatakan bahwa dengan penambahan pupuk hijau berarti menambah persediaan bahan organik tanah. Bahan organik merupakan media bagi kehidupan jasad renik yang kemudian mengadakan reaksi biokimia dimana keadaan reaksi biokimia mempunyai arti penting dalam produksi CO_2 , NH_3 dan NH_4 dan mungkin pembentukan senyawa-senyawa lainnya. Respon dari flora tanah azotobakter terhadap bahan yang nirkarbon dan bernitrogen telah diketahui, juga pada tanah gambut yang kaya bahan organik. Organisme tanah akan dirangsang bila bahan organik berupa pupuk hijau ditanamkan.

Disamping itu, tanaman pupuk hijau yang tumbuh mempunyai pengaruh terhadap pengawetan hara tanah karena mengabsorpsi hara, yang kalau tidak hilang bersama air drainase atau erosi. Dalam hubungan tersebut tanaman pupuk hijau berfungsi sebagai tanaman penutup tanah (cover crop). Hal ini dapat dilihat pada perkebunan-perkebunan, terutama kebun kelapa sawit. Kebun kelapa sawit umumnya menggunakan tanaman pupuk hijau *centrosema sp*, *Peuraria Javanica* sebagai penutup tanah. Disamping menutup tanah menghindari erosi, tanaman tersebut menggugurkan daunnya yang dapat menghasilkan hara bagi tanaman yang diusahakan.

9.3.3 Kompos

Bahan yang berasal dari sisa-sisa bahan organik apa saja (sampah sisa hijauan dan lain-lain) yang ditumpuk akan mengalami perubahan sehingga dapat dipakai sebagai pupuk, disebut kompos. Alasan pembuatan kompos adalah (1) karena untuk memperoleh pupuk kandang dalam jumlah yang besar, lebih-lebih yang mudah dikomposisikan, sangatlah sukar, (2) penanaman pupuk hijau tidak selalu berhasil serta harus mengorbankan tanah untuk tidak ditanami tanaman yang menghasilkan bahan makanan selama penanaman pupuk hijau. Salah satu pilihan yang tersisa adalah kompos.

Pembuatan kompos merupakan suatu proses dekomposisi sisa-sisa tanaman. Sisa-sisa hasil pertanian, tanaman, kotoran ternak, urine ternak, sisa makan ternak, batang dan ranting, daun-daun yang jatuh, sampah kesemuanya dapat dijadikan kompos. Untuk mendapatkan kompos yang baik maka di dalam pembuatan kompos hendaknya diperhatikan hal-hal sebagai berikut: (1) Struktur bahan-bahan yang akan dibuat kompos hendaknya jangan terlalu kasar. Bahan-bahan seperti jerami, bahan pangkasan pupuk hijau, sebaiknya dipotong-potong lebih halus. (2) Bahan-bahan yang kurang mengandung nitrogen harus dicampur dahulu dengan

bahan-bahan yang banyak mengandung nitrogen, demikian juga dengan bahan-bahan banyak yang mengandung jasad renik, misalnya pupuk kandang, humus. Kadang-kadang diberi juga sedikit nitrogen buatan. (3) Bahan-bahan untuk kompos ditumpuk berlapis-lapis diatas tanah. Tiap-tiap lapisan setebal ± 30 cm, kira-kira merupakan tumpukan hasil penumpukan seluruhnya $\pm 1,5$ meter atau 5 lapis. Penumpukan seluruhnya haruslah selesai dalam waktu ± 10 hari. (4) Untuk mempercepat proses peruraian, pada tiap-tiap lapisan diberikan kapur atau abu. (5) Tumpukan kompos harus cukup basah dan diberi atap untuk mencegah panas/ sinar matahari dan hujan. (6) Setiap satu bulan tumpukan dibongkar untuk dibalikan dan ditumpukkan kembali. Dengan cara demikian perubahan didalam tumpukan dapat merata. Setelah 3 atau 4 kali dilakukan pembongkaran, pembalikan dan penumpukan kembali diperoleh kompos yang telah masak.

9.3.4 Pupuk Guano

Guano adalah deposit/ sedimen yang terdiri dari kotoran binatang, terutama kotoran burung laut dan kelelawar yang telah mengalami pengaruh alam dalam waktu relatif lama dan telah mengalami perubahan-perubahan bahan. Unsur hara yang terdapat didalamnya adalah N dan P dan ada juga guano yang mengandung kalium. Kandungan hara yang paling tinggi adalah fosfor yang berasosiasi dengan kalsium, yaitu dalam bentuk Ca-P, sehingga dengan adanya kandungan fosfor yang tinggi guano biasa disebut fosforit. Pupuk ini pertama kali diperdagangkan pada tahun 1824. Banyak terdapat di Peru, dengan kadar nitrogen adalah 4-6% dan asam fosfat 20-24 %. Guano yang diperdagangkan dipasaran mempunyai kadar hara yang beragam, tetapi biasanya mengandung 8-12% asam fosfat dan 11-16% nitrogen serta 2-3% kalium.

9.4 Penggunaan Pupuk

Pada umumnya terdapat tiga cara penggunaan pupuk, baik pupuk padat ataupun pupuk cair, yaitu: (1) ditaburkan secara merata diatas permukaan tanah, (2) ditempatkan di dalam lubang ataupun secara larian. Cara ini dibedakan pula kepada cara tunggal disamping tanaman, larian diantara barisan tanaman dan ditempatkan disekeliling tanaman, (3) diberikan melalui daun, dalam hal ini adalah dengan cara penyemprotan larutan hara melalui daun. Metoda mana yang lebih sesuai digunakan adalah sangat tergantung kepada: (1) jenis pupuk, (2) jenis tanaman yang akan dipupuk dan (3) tujuan penanaman.

9.4.1 Penggunaan Pupuk Nitrogen

Pupuk nitrogen secara intensif digunakan dalam produksi tanaman non Leguminose, seperti padi, jagung, kapas dan tanaman lain. Nitrogen relatif lebih mudah bergerak/ mobil dalam tanah. Oleh karena itu, ia mempunyai kesempatan mencapai permukaan akar dan ia juga mudah hilang baik akibat pencucian ataupun menguap ke udara. Sehingga perlu dipikirkan tingkat keefisienan dalam penggunaan pupuk.

Masalah penggunaan nitrogen, terutama di daerah tropis yang mempunyai suhu dan kelembaban tinggi serta iklim basah seperti Indonesia, mempunyai suhu dan kelembaban tinggi serta iklim basah seperti Indonesia, mempunyai keefisienan rendah. Hal ini disebabkan karena kehilangan nitrogen meningkat dengan makin banyaknya pemberian pupuk nitrogen ke tanah. Pupuk nitrogen yang ditambahkan kedalam tanah akan selalu berada di suatu tempat dan berkonsentrasi sangat tinggi dibandingkan dengan tanah yang tidak dipupuk. Penambahan nitrat yang banyak dapat mempengaruhi azofikasi dan volatilisasi. Umumnya azofikasi akan tertekan oleh adanya nitrogen mineral, sebaliknya volatilisasi akan meningkat karena adanya nitrat yang banyak. Pemupukan nitrat yang berat cenderung mengurangi jumlah nitrogen yang berada di dalam tanah karena kedua proses tadi.

Efisiensi yang tinggi dari nitrogen juga dipengaruhi oleh pH tanah. Amonium adalah tidak efisien pada pH tanah rendah, karena pembentukan nitrat terhambat. Akibatnya terdapat penumpukan nitrit dalam tanah dan ini berbahaya bagi pertumbuhan tanaman. Dari sudut tanaman ternyata bahwa nitrogen dibutuhkan sepanjang pertumbuhannya. Dengan demikian jumlah yang diambil berhubungan langsung dengan produksi berat keringnya. Selanjutnya unsur ini juga mudah hilang. Disebabkan hal-hal tersebut diatas maka sebaiknya pupuk nitrogen tidak diberikan sekaligus, tetapi diberikan bertingkat menurut fase pertumbuhan tanaman.

9.4.2 Penggunaan Pupuk Fosfat

Efektifitas yang tinggi dari pupuk fosfat sangat dipengaruhi oleh ukuran butir, cara dan waktu pemberian pupuk itu sendiri. Pupuk fosfat yang larut dalam air lebih respon bila pupuk itu diberikan dalam larikan terutama pada tanah-tanah yang miskin fosfat. Perlakuan ini dimaksudkan untuk mengurangi kontak P dengan tanah dan fiksasi fosfat oleh tanah dikurangi bila dibandingkan dengan cara pemupukan disebar. Oleh karena itu, pemberian dengan cara lubang dan jalur merupakan suatu cara yang terbaik.

Pupuk fosfat sangat dianjurkan sebagai pupuk dasar, yaitu digunakan pada saat tanam atau sebelum tanam. Hal ini disebabkan Karena pupuk ini merupakan pupuk yang unurnya tidak cepat/ segera tersedia dan sangat dibutuhkan pada stadia permulaan tumbuh. Pemberiannya sangat lebih baik bila ditempatkan pada daerah jangkauan akar. Keuntungan pemberian pupuk seawal mungkin dalam pertumbuhan tanaman akan mendorong pertumbuhan akar permulaan yang akan memberikan tanaman berdaya ambil / serap hara lebih baik. Pupuk fosfat yang diberikan sebagai susulan tidak efektif, kecuali untuk padi sawah. Keadaan padi sawah dikarenakan penggenangan. Akibat penggenangan terjadi proses reduksi dari feri-fosfat menjadi fero-fosfat yang lebih tersedia.

9.4.3 Penggunaan Pupuk Kalium

Dari segi praktis yang perlu diperhatikan dalam penggunaan pupuk kalium adalah: (1) dosis pupuk, (2) frekuensi penggunaan, (3) penempatan, (4) bentuk dari bahan-bahan pupuk dan (5) adanya pengaruh garam dari pupuk.

Beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan terhadap dosis pupuk adalah: (1) jenis tanaman dan hasil yang akan diperoleh, (2) ketersediaan kalium tanah dan tipe struktur tanah dan (3) urutan tanaman. yang dimaksud dengan frekuensi penggunaan adalah intensitas penggunaan. Dengan demikian dapat dianjurkan pemberian pupuk kalium sewaktu bertanam sebagai pupuk dasra. Tetapi pada tanah-tanah berpasir atau tanah miskin kalium, maka pemberian secara berkala mungkin lebih baik.

Banyak cara yang dikenal dalam penempatan pupuk kalium antara lain secara jalur yang dicampur dengan atau diantara biji, sebar pada permukaan tanah, kemudian boleh juga dicampur dengan tanah sewaktu pengolahan. Tetapi keefektifitasan cara-cara itu tergantung kepada jumlah kalium yang difiksasi dan keadaan perakaran tanaman. Sebagai bentuk pupuk kalium yang sering digunakan adalah kalium chlorida.

Adanya pengaruh garam dari pupuk kalium, misalnya dapat dilihat pada penempatan pupuk KCL yang bersamaan dengan biji, yang menyebabkan terjadinya luka-luka pada perkecambahan biji. Hal ini disebabkan karena pengaruh garam yang tinggi yang dapat men yebakkan plasmolisis.

9.4.4 Penggunaan Pupuk Belerang

Penggunaan pupuk belerang sangat erat hubungannya dengan jenis pupuk dan keadaan tanah. Penggunaan pupuk belerang tidak dianjurkan jika tanah dalam keadaan anaerob, karena ada kemungkinan terbentuknya sulfide yang dapat meracun tanaman.

Urea-sulfur (SCU) dapat digunakan langsung ataupun dapat digunakan beberapa bulan sejak dimulainya masa pertumbuhan. Bila digunakan untuk pupuk permulaan atau segera tanam maka belerang yang segera tersedia adalah sekitar 15-20% dari total belerang (bukan pada tanah sawah). Potassium sulfat bila digunakan secara langsung akan lebih fektif dan dapat juga digunakan pada setiap saat. Sulfat mudah hilang akibat pencucian. Bentuk gypsum sangat efektif bila langsung digunakan, tetapi dapat juga digunakan segera setelah tanam. Kehilangan belerang melalui pencucian sering terjadi dengan serius.

9.4.5 Penggunaan Pupuk Mikro

Penggunaan unsur mikro sebagai pupuk dapat dilakukan melalui tanah ataupun penyemprotan melalui daun. Melalui tanah dapat ditambahkan dalam kadar tertentu kedalam pupuk unsur makro sebagai unsur tambahan. Akan tetapi, umumnya diberikan berupa pupuk cairan yang disemprotkan melalui daun.

Penggunaan pupuk Mn yang dapat digunakan sebagi pupuk biasa dalam dosis tinggi 5 smpai 40 kg/ha, dimana dosis tinggi ini umumnya untuk tanah –tanah organik. Pemberian pupuk Mn melalui daun (folier application) adalah sangat dipengaruhi oleh: (1) konsentrasi Mn dalam larutan bahan, (2) lamanya kontak dengan daun dan (3) temperature setempat. Konsentrasi yang umum dipakai dari pupuk mikro yang disemprotkan melalui daun seperti padaTabel 9-8.

Tabel 9.8 Konsentrasi Umum Larutan Hara Mikro untuk Penyemprotan Daun

Senyawa hara tanaman	Konsenrasi (%)
Sifat seng (zinc sulphate)	0,2
Sifat tembaga (copper sulphate)	0,2
Sulfat mangan (manganese sulphate)	0,2
Sulfat fero (ferrous sulphate)	0,2
Borak	0,1
Asam molibdat	0,05

9.4.6 Penggunaan Pupuk Majemuk

Penggunaan pupuk majemuk pada umumnya sama saja dengan pupuk tunggal. Keuntungan dari penggunaan pupuk majemuk adalah bahwa dengan satu kali pemberian pemupukan, telah terpenuhi dua atau tiga macam unsur pupuk tanpa memperhatikan persoalan pencampuran lagi. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa penggunaan pupuk majemuk ataupun pupuk lengkap dapat menghemat tenaga kerja serta ongkos pengangkutan pemakaiannya.

Tetapi harus pula diingat bahwa kesukaran yang timbul dari penggunaan pupuk majemuk ini. Kesukarannya adalah tidak sesuai antara kebutuhan dari masing-masing unsur yang dikehendaki oleh kebutuhan dan tanaman dengan yang terkandung didalam pupuk.

9.4.7 Penggunaan Pupuk Melalui Daun

Untuk pemupukan yang disemprot melalui daun dipergunakan larutan pupuk yang sangat encer. Pada daerah rata dan luas penyemprotan dapat dilaksanakan dengan pesawat terbang, tetapi pada areal yang sempit dapat dilakukan sebagaimana biasa (semprotan biasa).

Tidak semua jenis pupuk dapat dipergunakan melalui daun. Umumnya yang sering digunakan adalah pupuk yang diperlukan dalam jumlah sedikit (seperti unsur mikro) dan pupuk yang tidak merusak daun tanaman. Urea pada dasarnya juga dipergunakan sebagai pupuk yang disemprotkan melalui daun.

9.4.8 Penggunaan Pupuk Kandang

Pupuk kandang hanya akan berguna bila ia mempergunakannya tidak terjadi kehilangan zat-zat makanan tanaman. Banyaknya pupuk yang diberikan sangat tergantung kepada: (1) macam tanah, (2) tanaman yang diusahakan, (3) untuk usaha tani dan banyaknya pupuk yang tersedia.

Dasar-dasar umum pemberian pupuk buatan, juga sama dengan pada pemberian pupuk kandang. Tetapi yang lebih penting pada pupuk kandang adalah kehalusan serta homogenitas pada pupuk. Efisiensi pupuk kandang meningkat dengan semakin halusnyanya dan seragamnya bahan tersebut. Selanjutnya faktor yang lain adalah jumlah pemberian. Pemberian sedikit tetapi sering, lebih daripada pemberian sekaligus banyak. Tidak saja diperoleh hasil lebih tinggi per ton pupuk kandang dari pemberian, tetapi

juga rekoveri unsur hara yang lebih besar akan terjadi. Jumlah pupuk kandang yang diberikan juga beragam. Di Indonesia pemberian sebanyak 20 ton/ha sudah termasuk pemupukan berat dibandingkan dengan Negara-negara yang beriklim sedang.

Pemberian pupuk kandang dapat dilakukan baik dengan cara sebar merata ataupun dengan cara dibenamkan kedalam tanah. Apakah pupuk kandang harus dibenamkan atau disebar diatas permukaan tanah, adalah sangat tergantung dari jenis tanaman dari jenis tanaman yang akan ditanam. Pada padang rumput dapat disebar pada permukaan tanah, tetapi untuk tanaman lainnya biasanya dibenamkan kedalam tanah. Jika pupuk kandang halus dan sempurna terlapuk, maka dapat dibenamkan dengan menggaru permukaan tanah seperti yang sering dilakukan untuk tanaman sereal. Pada pertanaman sayuran, seperti timun, kacang panjang dan lain-lain pupuk kandang diberikan dalam lobang dimana benih akan ditanamkan.

9.4.9 Penggunaan Pupuk Hijau

Penggunaan pupuk hijau dengan cara membenamkan ke dalam tanah sudah lama dikenal dalam praktek pertanian. Catatan-catatan menunjukkan bahwa kacang-kacangan (beans, vetches, lupines) telah digunakan sebagai pupuk hijau oleh bangsa Romawi.

Banyak keuntungan-keuntungan yang diperoleh dari pemberian pupuk hijau ke dalam tanah yaitu: (1) mensuplai bahan organik, (2) penambahan nitrogen, (3) memperbaiki kehidupan jasad renik tanah. Sisa-sisa tanaman yang ditambahkan berupa pupuk hijau akan mengalami dekomposisi dan seterusnya membentuk humus dan mempertinggi kadar bahan organik tanah. Kandungan bahan organik tentunya akan memperbaiki sifat fisika, kimia dan biologis tanah.

Penambahan pupuk hijau tidak saja menambah karbon organik kedalam tanah, tetapi juga mengembalikan nitrogen ke dalam tanah. Banyak atau sedikitnya jumlah nitrogen yang dikembalikan ke dalam tanah sangat dipengaruhi oleh bahan asal pupuk itu sendiri. Bila tanaman yang dipergunakan untuk bahan pupuk hijau adalah jenis Legium dengan bintil-bintil akar yang sedang aktif, tentu saja jumlah nitrogen yang dikembalikan ke dalam tanah lebih banyak.

Besar nitrogen yang dapat ditambahkan ke dalam tanah oleh pupuk hijau jenis legium adalah beragam dan tergantung kepada: (1) Kandungan

nitrogen tanaman, bila kandungan N-tanah tinggi penambatan N-udara (melalui fiksasi) kurang dan sebaliknya bila tanah kurang mengandung nitrogen, maka penambatan N-udara banyak dan (2) Jenis Leguminose yang digunakan

Banyak nitrogen yang diperoleh dari pupuk hijau juga beragam. Misalnya dari 1 ton red clover kering mengandung 20-25 kg nitrogen. Umur dari tanaman berpengaruh terhadap kandungan nitrogennya. Tabel 9-9 berikut memperlihatkan kandungan nitrogen menurut umur tanaman.

Penggunaan tanaman hijau untuk tujuan pemupukan biasanya dilakukan pada tanah-tanah yang kurus dan kekurangan bahan organik (humus). Disamping itu juga sering digunakan untuk tanaman-tanaman yang memerlukan lapisan olah gembur, misalnya tanaman kopi, yang penanamannya dapat dilakukan sebagai sela.

Tabel 9.9 Jumlah Nitrogen yang Dihasilkan pada Berbagai Umur Tanaman

Umur tana- man (bulan)	% N dalam bahan segar			N dalam kg/ha		
	Minimum	Maksi- mum	Rata-rata	Minimum	Maksi- mum	Rata-rata
3,5-5	0,18	1,14	0,14	11	135	74
>5	0,23	0,64	0,41	9	215	109

Pupuk hijau sebagai tanaman pokok pada umumnya ditanam untuk pemupukan tanaman semusim. Pupuk hijau ditanam setelah tanaman pokok ditanam. Misalnya sesudah tanaman palawija di panen, lalu ditanam pupuk hijau dibenamkan, dan selanjutnya ditanami padi. Akan tetapi hal yang sangat penting juga harus dipikirkan, apakah masih menguntungkan secara ekonomi dengan menanam pupuk hijau, atau dengan menanam tanaman yang lain yang dapat memperoleh hasil, misalnya menanam kacang tanah, atau kedelai, atau kacang lainnnya.

9.5 Evaluasi Kebutuhan Pupuk

Secara alamiah pertumbuhan tanaman, misalnya hutan-hutan lebat, padang-padang rumput yang luas pada iklim yang sesuai, merupakan bukti bahwa tanah dapat menyediakan seluruh unsur hara yang esensial bagi pertumbuhan dan kehidupan tanaman. Setelah adanya campur tangan manusia, untuk memanen hasil, maka akan terjadi gangguan

keseimbangan dari unsur-unsur hara di dalam tanah. Hal ini disebabkan dengan penanaman tanaman pertanian yang mempunyai hasil ekonomi.

Penamaan tanaman pertanian dapat menyebabkan hilangnya unsur hara esensial melalui panen, apalagi kalau diusahakan secara terus menerus. Oleh karena itu, untuk mempertahankan kesuburan tanah agar tetap mampu menyediakan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman, penambahan unsur hara melalui pemupukan menjadi bahan pertimbangan penting.

Didalam mempelajari masalah kebutuhan pupuk untuk tanaman dapat dicapai dengan berbagai cara/ pendekatan yaitu: (1) salah satu faktor yang membatasi produksi tanaman adalah hara yang terdapat relative kurang di dalam tanah dan (2) pupuk dapat digunakan untuk menempatkan hara tanaman yang seimbang dalam keperluan tumbuh tanaman sehingga dicapai produksi yang optimal. Dengan demikian dalam mempelajari masalah ini, faktor status hara yang terdapat di dalam tanah menjadi sangat vital. Oleh karena hal ini secara langsung berhubungan dengan pertumbuhan dan produksi tanaman.

Ada beberapa pendekatan yang telah dikenal dalam mempelajari status hara di dalam tanah yaitu: (1) mempelajari status hara didalam tanah yaitu: (1) melihat gejala-gejala kekurangan unsur hara pada tanaman, (2) analisis tanaman, (3) uji biologi dan (4) analisis/ uji tanah.

9.5.1 Gejala Kekurangan Hara

Pertumbuhan yang abnormal yang ditunjukkan oleh tanaman, kemungkinan yang disebabkan kekurangan hara ataupun beberapa faktor yang menunjang pertumbuhan tanaman. Kelainan pertumbuhan ini juga dapat disebabkan oleh kekurangan satu ataupun beberapa unsur hara yang terdapat dalam tanah. Akan tetapi dapat juga oleh akibat terdapatnya beberapa ataupun satu unsur lain yang terdapat berlebihan (keracunan). Gejala-gejala yang tampak itu dapat diamati secara visual dan tidak memerlukan suatu alat khusus dan dapat dilakukan dengan cepat.

Gejala-gejala defisiensi yang dapat dilihat adalah berupa: (1) terhambatnya pertumbuhan tanaman, tentunya hal ini tidak spesifik karena terhambatnya pertumbuhan dapat disebabkan oleh banyak sebab lain, (2) kelainan dalam warna yang biasa tampak pada daun, misalnya warna kuning berupa gejala kekurangan nitrogen (3) nekrosis atau matinya jaringan, misalnya keringnya pinggiran daun pada tanaman kedele akibat

kekurangan kalium dan (4) bentuk yang abnormal dari bagian-bagian tanaman.

Banyak kesukaran-kesukaran yang timbul dalam mengidentifikasi status hara tanah bila hanya dari gejala kekurangan hara. Setiap simpton yang timbul ada hubungannya dengan fungsi dari setiap unsur tersebut dalam tanaman. Kadang-kadang simpton yang sama dapat ditimbulkan oleh kekurangan unsur yang berbeda, karena unsur tersebut mempunyai fungsi yang sama dalam tanaman. Ataupun gejala yang tampak merupakan resultan yang timbul kemudian. Misalnya gejala kekurangan nitrogen yang hampir sama dengan gejala kekurangan magnesium, karena kedua unsur tersebut sama-sama mempunyai fungsi dalam pembentukan klorofil pada daun tanaman.

Selanjutnya gejala defisiensi ini baru dapat diketahui setelah tanaman benar-benar menderita. Sehingga kadang-kadang timbul pengaruh kedua (secondary affect) dari akibat kekurangan hara dalam tanaman. Misalnya ada akibat kekurangan hara dalam tanaman. Misalnya ada akumulasi gula anthocyanin yang bewarna ungu, merah bahkan dapat kuning. Akumulasi gula didalam tanaman dapat merupakan akibat dari beberapa faktor, seperti tidak cukupnya suplai fosfor atau karena udara dingin atau terlalu panas atau kerusakan-kerusakan pada akar oleh serangga atau kekurangan nitrogen dan sebagainya.

Pada kondisi lapangan kesukaran lain juga sering timbul antara gejala kekurangan hara dengan akibat lain, misalnya akibat serangan hama atau penyakit. Sebagai contoh yaitu gejala defisiensi boron hampir sama dengan gejala serangan hama pengisap daun terdapat pada tanaman alfalfa.

9.5.2 Melalui Analisis Tanaman

Analisis tanaman adalah didasarkan kepada asumsi bahwa jumlah unsur hara yang terdapat didalam tanaman mempunyai hubungan dengan keadaan hara tanaman yang terdapat dalam tanah. Dari hasil analisis tanaman akan didapatkan suatu kadar dari unsur tertentu dalam tanaman. Kadar tersebut kemungkinan akan berbeda pada suatu titik yang kritis, dimana telah diperlukan tambahan unsur tersebut melalui pupuk. Tetapi timbul pula kesukaran lain yaitu adanya suatu unsur dalam tanaman yang dapat menyebarkan unsur lain menjadi kritis. Misalnya unsur boron menjadi kritis dalam tanaman bila terdapat banyak unsur kalium. Dengan demikian, analisis tanaman akan berkurang nilainya ataupun kurang menyakinkan tentang status hara yang terdapat di dalam tanah.

Selanjutnya untuk setiap jenis tanaman berbeda pula bagian yang diambil untuk keperluan analisis, serta berbeda juga untuk pengambilan contoh untuk keperluan analisis. Secara umum dapat dikatakan bahwa untuk keperluan analisis tanaman yang diambil adalah contoh daun pada masa pembungaan ataupun pada masa permulaan pembungaan. Akan tetapi, walaupun demikian analisis tanaman terutama analisis daun banyak membantu dalam rekomendasi pemupukan untuk tanaman pepohonan yang berakar dalam. Akar dari tanaman ini akan menyebar keseluruh bagian tanah sampai ke bagian yang lebih dalam dari lapisan olah. Selanjutnya akar tanaman mengabsorpsi hara-hara yang terdapat pada bagian yang lebih dalam dari tanah dan hara tersebut akan didistribusikan keseluruh bagian tanaman, termasuk daun. Dengan demikian analisis daun turut membantu analisis tanah dalam menentukan rekomendasi pemupukan.

9.5.3 Uji Biologi

Uji biologi dalam menentukan rekomendasi pemupukan meliputi: (1) percobaan lapangan, (2) percobaan green house atau rumah kaca, dan percobaan mikrobiologi.

Percobaan lapangan. Percobaan lapangan adalah cara yang telah lama sekali dikenal. Sejumlah treatment pemupukan dilakukan dengan beberapa ulangan, dengan menggunakan suatu tanaman tertentu sebagai indikator. Percobaan lapangan tentunya menggunakan lapangan tentunya menggunakan metode pengujian yang tentunya pula sesuai dengan pola yang digunakan untuk mencapai tujuan. Pada percobaan yang dilakukan berulang-ulang pada suatu wilayah tertentu dapat diformulasikan untuk rekomendasi pemupukan. Akan tetapi, suatu kelemahan dari percobaan lapangan yaitu ia selalu dipengaruhi oleh keadaan iklim pada setiap percobaan, sehingga ada kemungkinan terdapatnya hasil yang selalu berbeda-beda pada setiap kali diulang. Disamping itu percobaan lapangan meminta pembiayaan yang lebih besar, waktu yang lama dan juga membutuhkan tenaga yang banyak.

Percobaan rumah kaca. Percobaan rumah kaca relatif lebih cepat dan lebih sederhana, karena menggunakan jumlah tanah yang lebih sedikit. Percobaan menggunakan sejumlah tertentu tanah dalam pot dengan menggunakan tanaman tertentu sebagai indikator. Keuntungan percobaan rumah kaca adalah relatif lebih cepat mengetahui status hara yang terdapat di dalam tanah, mudah pengulangan dan relatif lebih murah. Kelemahannya

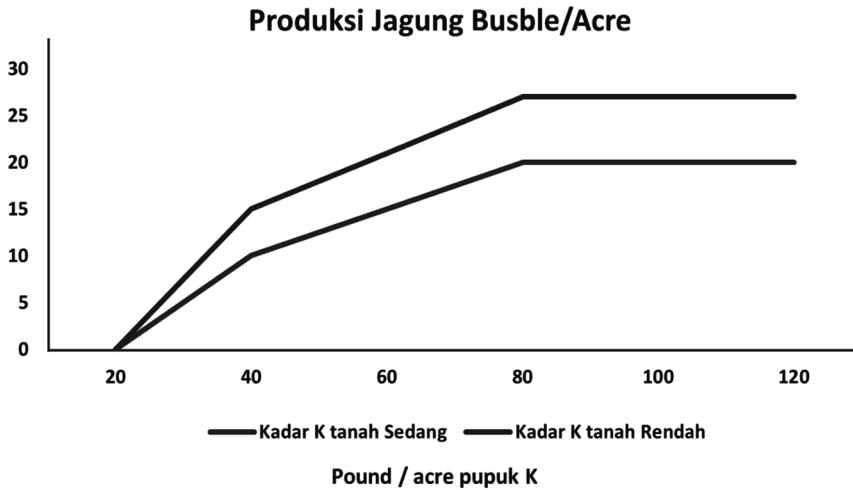
adalah terletak pada kondisi percobaan yang keadaan lingkungannya terkontrol, sehingga dapat mengakibatkan pertumbuhan tanaman indikator lebih baik.

Percobaan mikrobiologi. Percobaan ini dimulai dari penelitian dan pengamatan yang dilakukan oleh Winogradsky. Ia telah membuktikan bahwa ada beberapa jenis mikroorganisme yang mempunyai kelakuan hampir sama dengan tumbuhan tingkat tinggi. Selanjutnya mikroorganisme tersebut sensitif terhadap kekurangan sesuatu unsur hara tertentu pada media tempat ia hidup. Misalnya pertumbuhan dan perkembangan dari *azotobacter* akan terhambat dan terganggu bila didalam tanah terdapat kekurangan unsur-unsur hara tertentu terutama unsur kalsium, fosfor dan kalium. Perlu ditambahkan bahwa setiap mikroorganisme akan sensitif terhadap unsur hara tertentu saja sesuai dengan kebutuhannya. Jika dibandingkan dengan percobaan lain, maka metode ini jauh lebih sederhana, relatif cepat dan hanya memerlukan sedikit tempat/ ruangan dan biayanya relatif murah.

9.5.4 Analisis Tanah

Penentuan status hara tanah melalui analisis tanah merupakan suatu cara yang lebih akurat dan cepat. Selanjutnya analisis/ uji tanah mempunyai banyak kebaikan antara lain adalah: (1) lebih mudah diulang, (2) biayanya relatif lebih murah, (3) ruangan yang mudah dipakai dapat sempit dan (4) jangkauannya lebih jauh daripada metoda lain. Akan tetapi, walaupun demikian penentuan status hara tanah melalui analisis kimia tanah mempunyai juga beberapa kelemahan yaitu: (1) metoda-metodanya tidak dapat untuk semua jenis tanah, (2) pengambilan contoh tanah untuk analisis harus benar-benar tepat dapat mewakili daerah yang sebenarnya. Dengan demikian dalam pelaksanaan uji tanah dibutuhkan fasilitas laboratorium yang memungkinkan untuk dapat dilaksanakan analisis tanah.

Analisis tanah adalah berdasarkan konsep bahwa tanaman akan respon terhadap pemupukan, bila kadar hara tersebut kurang atau jumlah yang tersedia tidak cukup untuk pertumbuhan yang optimum. Sebagai contoh adalah jumlah kalium tersedia untuk tanaman. Semakin tinggi jumlah dari kalium yang dapat dipertukarkan dalam tanah, semakin berkurang respon tanaman tersebut terhadap pemupukan kalium. Keadaan ini dapat dilihat pada Gambar 9.3.



Gambar 9.3 Pengaruh dari dosis penggunaan pupuk kalium terhadap produksi jagung pada tanah yang mempunyai kadar K tanah sedang dan rendah.

Walaupun demikian, dalam menentukan rekomendasi pemupukan, harus diperhatikan mengenai kebutuhan hara yang tidak sama untuk setiap jenis tanaman, jenis tanah dan keadaan iklim yang berbeda. Penentuan suatu rekomendasi kebutuhan pupuk tidak pernah ada batasnya. Hal ini disebabkan adanya varietas baru yang respon pemupukan, adanya pengembangan metoda analisis yang lebih baru dan hasil/produksi tanaman selalu diharapkan agar lebih tinggi. Dengan demikian, maka diharapkan adanya analisis secara periodik, adanya research yang terus menerus, yang hasilnya dapat diintegrasikan dengan pengalaman-pengalaman untuk dapat digunakan dalam penyusunan suatu Tabel rencana rekomendasi pemupukan.

Suatu contoh rekomendasi pemupukan telah disusun untuk daerah Michigan Amerika Serikat, seperti yang tertulis pada Tabel 9-10. Pada Tabel tersebut dapat diperhatikan misalnya untuk anjuran pemupukan gula bit dengan hasil yang diharapkan adalah 24 hingga 28 ton/acre yang ditanam pada tanah lempung dengan ekstur halus, yang mempunyai kadar kalium tersedia adalah 120 pound, dianjurkan untuk pupuk sebanyak 100 pound K_2O atau 83 pound K/acre. Dalam menyusun Tabel ini sekurang-

kurangnya lima faktor ikut terlibat yaitu : (1) hasil analisis tanah (dalam hal ini kadar K yang tersedia), (2) jenis tanaman, (3) hasil yang diharapkan, (4) tipe struktur tanah dan (5) iklim.

Ada dua jenis analisis tanah yang sering dikembangkan sehubungan dengan status unsur hara dalam tanah yaitu: (1) analisis total dan (2) analisis parsial. Yang dimaksud dengan analisis total adalah analisis yang mengetahui total unsur yang terdapat dalam tanah, dengan tidak memandang bentuk dan tingkat ketersediaannya untuk tanaman. Sedangkan analisis parsial adalah analisis yang memberikan keterangan mengenai tingkat ketersediaan sesuatu unsur hara untuk pertumbuhan tanaman. Sesuatu hambatan mungkin yang paling besar adalah dalam menginterpretasikan hasil analisis tanah dari data-data yang diperoleh dari laboratorium. Dengan demikian sangat diperlukan seorang yang benar-benar ahli dan berpengalaman serta terlatih secara teknis dan sepenuhnya mengerti prinsip-prinsip ilmiah yang mendasari prosedur lapangan yang umum. Selanjutnya evaluasi kebutuhan pokok tidak pula terlepas dari faktor-faktor lain yang mempengaruhi macam dan jumlah pupuk yang diberikan keadaan tanah.

Nilai pertanian dari suatu pupuk tidak menentu, karena bahan ini mudah berubah bila ditempatkan dalam suatu keadaan yang mempunyai variabel tidak terbatas, seperti tanah dan tanaman. Keadaan tanah yang berubah terus menerus, tidak hanya dari tahun-tahun bahkan dalam suatu keadaan yang mempunyai variabel yang tidak terbatas. Seperti tanah dan tanaman. Keadaan tanah yang berubah terus menerus, tidak hanya dari tahun ke tahun bahkan dalam satu musim, mengakibatkan macam dan jumlah pupuk yang harus diberikan harus dapat mengikuti perubahan ini. Juga antara tanah dan pupuk terjadi reaksi kimia dan biologis yang hebat, dapat menaikkan ataupun menurunkan efektivitas dari pupuk. Kemungkinan ini perlu diperhatikan dalam menentukan jumlah dan macam pupuk yang harus diberikan.

Selanjutnya keadaan iklimpun harus diperhitungkan dalam menentukan/ mengevaluasi kebutuhan pupuk. Dalam hubungan ini misalnya pengaruh kelebihan ataupun kekurangan air dapat mempengaruhi efisiensi pemupukan. Oleh karena yang sebenarnya setiap faktor yang dapat membatasi pertumbuhan tanaman, akan menekan efisiensi pemupukan dan akibatnya respon dari tanaman juga menurun.

Tabel 9.10 Rekomendasi Pemupukan Kalium untuk Tanaman yang Ditanam pada Tanah-tanah Lempung, Lempung Berliat dan Liat di Michigan, USA

Kalium tanah yang tersedia - pound/acre						Kebutuhan tahunan yang dianjurkan (Pound/acre)	
						K ₂ O	K
						60 ..	250 .. 208
						60 .. 60-100 ..	200 .. 166
						60 .. 60-99 .. 110-159 ..	150 .. 125
						60 .. 60-99 .. 100-139 .. 160-209 ..	100 .. 83
60	..	60-99	..	100-139	.. 140-179 .. 210-249 ..	75 ..	62
60-99	..	100-149	..	140-179	.. 180-219 .. 250-299 ..	50 ..	42
100-139	..	150-199	..	180-219	.. 220-239 .. - ..	25 ..	21
140-179	..	-	..	-	.. - .. - ..	15 ..	12,5
180+	..	200+	..	220+	.. 240+ .. 300+ ..	0 ..	0
barley	Alfalfa		Alfalfa		Kentang		
40-60 Bu	3 ton		4 ton		250-350 cwt		
Buckwheat	Barley		Jagung		Gulabit		
Jagung	70-100Bu		120-140Bu		24-28 ton		
60-79 Bu	Jagung		Gulabit				
Penutup tanah	Clover		18-23 ton				
Kacangan	Kacangan		50-70 Bu				
15-29 Bu	30-50 Bu						
Oats	Oats						
50-79 Bu	80-120 Bu						
Pengemba- laan	Rumput- sudan						
Rye	Wheat						
Kedele	40-49 Bu						
30-50Bu							

Jenis tanaman yang akan dipupuk harus menjadi bahan pertimbangan pula dalam menentukan kebutuhan pupuk. Sudah tentu tanaman yang mempunyai nilai ekonomi tinggi, seperti sayur-sayuran memerlukan jumlah pupuk yang relatif lebih banyak/ satuan berat jika dibandingkan dengan tanaman yang bernilai ekonomi rendah. Disamping itu angkutan dari berbagai tanaman terhadap unsur hara juga berbeda, misalnya tanaman yang amat banyak mengabsorpsi sesuatu unsur hara berbeda. Misalnya tanaman kacang tanah masih dapat mengabsorpsi kalium tanah dengan cukup, walaupun kalium tanah rendah.

9.6 Ringkasan

Pupuk dapat diklasifikasikan berdasarkan pembentukannya, (2) atas dasar kandungan unsur haranya dan (3) atas dasar kandungan unsur pupuk-pupuk yang dibuat oleh pabrik mempunyai kebaikan dan keburukannya. Kebaikannya adalah: (1) mudah menentukan jumlah yang diberikan, (3) dapat diberikan pada waktunya dan (4) lebih ekonomis. Keburukannya adalah: (1) bila kurang perhitungan dalam penggunaannya dapat merusak lingkungan dan (2) sedikit unsur hara mikro.

Banyak jenis pupuk yang telah dibuat didalam pabrik sesuai dengan Kebutuhan untuk pertumbuhan tanaman. Pupuk nitrogen dibuat dengan beberapa cara yaitu (1) cara electric arc, (2) cara pembuatan kalsium sianida dan (3) cara mereaksikan hydrogen dan nitrogen udara dan membentuk amoniak. Cara yang terakhir ini yang sekarang banyak digunakan sebagai dasar untuk pembuatan pupuk nitrogen. Pupuk amonium nitrat dibuat dengan berbagai cara yaitu: (1) cara prilling (2) cara stengel, (3) kristalisasi, (4) pembutiran. Sedangkan urea dibuat dengan dengan cara mereaksikan amoniak dengan karbondioksida pada tekanan dan temperatur tinggi.

Prinsip dasar dari pembuatan pupuk-pupuk fosfat adalah dengan mereaksikan mineral fosfat. Seperti pada pembuatan pupuk superfosfat dapat dibuat melalui; (1) menambahkan asam sulfat kepada mineral fosfat/biji fosfat dan (2) pemanasan langsung batuan fosfat.

Selanjutnya pupuk-pupuk kalium dapat dihasilkan dengan cara: (1) fractional crystallization, (2) froth flotation dan (3) pemisahan bahan kasar. Cara yang terakhir ini merupakan cara yang terbanyak dipakai dalam menghasilkan KCI sebagai bahan untuk pembuatan pupuk kalium lainnya.

Disebabkan adanya perbedaan didalam persenyawaan kimianya, maka akan terjadi pula perbedaan kelakuan dari masing-masing jenis

pupuk didalam tanah. Hal ini dapat terlihat misalnya pada pupuk N-nitrat yang lebih mobil sifatnya dari pupuk N-amonium. Demikian juga dengan pupuk fosfat, yang berdasarkan kelarutannya dapat dibedakan kedalam asam sitrat. Selanjutnya pupuk kalium yang mempunyai sifat dan ciri tersendiri pula, misalnya pupuk KCL mempunyai ciri dan sifat yaitu: (1) relatif mudah larut, (2) relatif lebih murah dan (3) anionnya (Cl) tidak memberikan pengaruh negatif terhadap tanaman.

Pupuk mikro yang mempunyai sifat yang dapat meracun tanaman bila diberikan berlebihan kedalam tanah. Oleh karena itu jangan sampai berlebihan pemakanannya. Selanjutnya pupuk majemuk mempunyai suatu kelemahan yaitu sifatnya yang mudah menggumpal dan mengeras sebelum digunakan. Keadaan ini dapat diiadakan dengan cara: (1) pupuk harus disimpan dalam kandungan air yang rendah. dan (2) pupuk dapat dicampur dengan bahan yang menyerap kelembaban.

Pupuk alam adalah pupuk yang bersal dari sisa organisme hidup, yang dapat dibagi menjadi: (1) pupuk kandang, (2) pupuk hijau, (3) pupuk kompos dan (4) guano.

Pupuk kandang adalah terdiri dari dua komponen pokok yaitu komponen padat dan cair, dengan kadar hara yang dikandungnya adalah bervariasi. Keragaman kadar hara dari setiap pupuk kandang itu adalah disebabkan oleh; (1) jenis hewan, (2) umur dan keadaan individu hewan, (3) pemeliharaan, (4) bahan amparan dan (5) cara pengelolaan pupuknya. Secara umum dapat dikatakan bahwa kadar rata-raa unsur hara dari pupuk kandang adalah, 0,5% N, 0,25% P_2O_5 dan 0,5 % K_2O .

Sifat dan ciri pupuk kandang antara lain : (1) lambat bereaksi, (2) mempunyai efek residu dan (3) dapat memperbaiki struktur tanah dan menambah bahan organik tanah. Walaupun demikian pupuk kandang mempunyai problema yang serius tentang kehilangan nitrogen selama penyimpanannya.

Tanaman yang sesuai untuk tanaman pupuk hijau adalah tanaman yang dapat: (1) cepat tumbuh dan menghasilkan bahan organik yang banyak, (2) tidak banyak mengandung kayu, (3) mudah busuk, (4) banyak mengandung nitrogen dan (5) dapat tumbuh pada tanah kurus. Oleh karena itu tanaman yang cocok adalah tanaman dari jenis Leguminosa dapat dibagi kedalam: (1) berbentuk pohon, (2) berbenuk perdu dan (3) berbentuk semak.

Selanjutnya yang termasuk pupuk alam lain adalah kompos, yang merupakan sisa-sisa organik yang telah mengalami perubahan sehingga dapat dipakai sebagai pupuk. Sedangkan guano adalah pupuk alam yang merupakan deposit yang terdiri dari kotoran dan bangkai, terutama kotoran dan bangkai burung laut yang telah mengalami perubahan-perubahan secara alamiah. Pupuk ini mempunyai kandungan fosfor yang tinggi terutama dalam bentuk Ca-P.

Hingga sekarang telah dikenal tiga cara penggunaan pupuk yaitu: (1) ditaburkan merata pada permukaan tanah, (2) ditempatkan dalam lubang atau larikan dan (3) tujuan penanaman. Pupuk nitrogen diberikan kedalam tanah secara bertingkat, yaitu diberikan tidak sekaligus. Hal ini disebabkan karena pupuk nitrogen; (1) mudah hilang dan (2) diperlukan sepanjang pertumbuhan tanaman. Selanjutnya pupuk fosfat diberikan ada saat bertanam, karena unsur fosfat relatif tidak segera tersedia dan relative tidak mudah hilang dari tanah. Sedangkan dalam penggunaan pupuk kalium terdapat beberapa faktor yang harus dipertimbangkan yaitu: (1) dosis pupuk, (2) frekuensi pemupukan, (3) penempatan, (4) bentuk bahan pupuk dan (5) adanya pengaruh garam lain.

Pada umumnya pupuk unsur mikro digunakan dengan menyemprot melalui daun tanaman. Penyemprotan melalui daun ini hanya dapat dilakukan untuk pupuk yang mempunyai unsur yang tidak merusak daun tanaman.

Dasar-dasar umum penggunaan pupuk buatan juga berlaku untuk pupuk kandang. Banyaknya penggunaan pupuk kandang adalah tergantung: (1) macam tanah, (2) tanaman yang diusahakan dan (3) bentuk usaha tani dan banyaknya persediaan pupuk. Selanjutnya penggunaan pupuk hijau kepada tanah mempunyai bahan keuntungan antara lain (1) mensuplai bahan organik, (2) penambahan nitrogen dan (3) memperbaiki struktur tanah dan memperbaiki kehidupan jasad renik tanah.

Status hara tanaman dalam tanah dapat dipelajari dengan berbagai pendekatan yaitu: (1) melihat gejala-gejala kekurangan hara pada tanaman, (2) analisis tanaman, (3) uji biologi dan (4) uji tanah. Banyak kesukaran yang timbul dalam menduga status hara melalui gejala defisiensi, karena: (1) gejala yang timbul mungkin disebabkan oleh banyak faktor lain, (2) gejala baru tampak bila keadaan telah sangat gawat dan (3) timbulnya gejala lain akibat defisiensi. Sedangkan pendugaan status hara melalui analisis tanaman juga mempunyai beberapa kelemahan yaitu: (1) adanya

unsur kritis dalam tanaman sebagai akibat unsur lain yang berlebihan, (2) untuk tiap jenis tanaman adalah berbeda cara, waktu dan bagian dari tanaman untuk analisis.

Pendekatan melalui uji biologi dalam kaitannya dengan status hara tanah dapat ditempuh dengan: (1) percobaan lapangan, (2) analisis partial. Penentuan status hara tanah melalui analisis tanah mempunyai beberapa keuntungan yaitu: (1) mudah diulang, (2) relatif murah, (3) ruangan dapat sempit dan (4) jangkauannya lebih jauh. Walaupun demikian terdapat juga hambatan yang jauh serius yaitu diperlukan orang yang benar-benar ahli dan berpengalaman serta terlatih secara baik yang sepenuhnya menguasai prinsip-prinsip ilmiah dalam mengidentifikasi hasil analisis.

Dalam menyusun suatu rekomendasi pemupukan sekurang-kurangnya terlibat lima faktor yaitu: (1) hasil analisis tanah, (2) jenis tanaman yang akan dipupuk, (3) hasil yang diharapkan, (4) tipe tekstur tanah dan (5) tipe iklim.

Daftar Bacaan

- Brady, N.C, 1974. The nature and properties of soil Macmillan publishing Co, Inc.new york.
- Foth H.D. 1978. Fundamentals of Soils Science. John wiley& sons, inc. New York
- Tisdale, S.L and Nelson W.L, 1966. Soil fertility and fertilizers. The Macmillan co, New York

Contoh Soal Untuk Mendalam Materi

1. Pupuk kandang telah lama dipakai oleh para petani di Indonesia. Tetapi mengapa sekarang pupuk buatan yang lebih populer? Berikan penjelasan anda.
2. Bagaimana proses pembuatan pupuk nitrogen secara fiksasi N-udara? Terangkan dengan singkat.
3. Dari beberapa cara pembuatan pupuk amonium nitrat, cara yang mana yang lebih baik menurut anda. Jelaskan.
4. Dari beberapa pembuatan pupuk amonium nitrat, cara yang mana yang lebih baik menurut anda. Jelaskan.
5. Pupuk fosfat juga dapat dibuat dengan berbagai cara. Cara yang mana

yang lebih efektif menurut anda. Jelaskan.

6. Pembuatan pupuk kalium secara pemisahan bahan kasar sekarang sering digunakan sebagai dasar pembuatan KCL. Bagaimanakah cara kerjanya?
7. Sebutkan dan jelaskan beberapa cara macam cara pembuatan pupuk ZK?
8. Apakah gunanya pembuatan pupuk-pupuk yang dilapisi oleh elemen belerang? Terangkan dengan singkat.
9. Berikan perbandingan antara pupuk N- Nitrat dan amonium. N-amonium pada penggunaan dalam tanah dan tanaman. Jelaskan jawaban anda dengan singkat.
10. Mengapa penggunaan N- amida pada tanah banyak diberikan air (harus macam-macam) jelaskan.
11. Jelaskan penggunaan pupuk fosfat kepada tanah, berdasarkan kelarutannya.
12. Terangkan mengapa penambahan pupuk belerang dalam bentuk elemen kurang segera memberikan respon pada tanaman?
13. Berikan alasannya mengapa pupuk unsur mikro pada umumnya ditambahkan ke tanah dengan cara menambahkan kepada pupuk buatan. Jelaskan jawaban anda.
14. Sebutkan dan jelaskan kebaikan dan keburukan penggunaan pupuk majemuk.
15. Terangkan mengapa kadar hara dari pupuk kandang sangat bervariasi?
16. Mengapa sering disarankan dalam penggunaan pupuk kandang selalu harus diikuti oleh penambahan pupuk fosfat? Jelaskan jawaban anda.
17. Bagaimana pengelolaan pupuk kandang agar kehilangan nitrogennya dapat dikurangi. Jelaskan jawaban anda.
18. Sebutkan dan terangkan mengapa tanaman Leguminosa sesuai sebagai pupuk hijau?
19. Manaman pupuk hijau juga dapat berperan untuk pengawetan tanah. Jelaskan bagaimana peranan tersebut.
20. Bagaimana cara pembuatan pupuk kompos? Apakah mungkin untuk mendirikan industri pupuk kompos pada setiap kota besar di Sumatera?

Berikan alasannya anda!

21. Mengapa pupuk guano sering juga disebut sebagai fosforit? Jelaskan.
22. Mengapa guano yang diperdagangkan mempunyai kadar hara yang berbeda. Jelaskan jawaban anda.
23. Jelaskan mengapa pada penggunaan pupuk nitrogen pada daerah tropis, mempunyai tingkat keefisienan yang rendah.
24. Penggunaan pupuk fosfat disarankan dengan cara lubang dan jalur. Apakah tujuannya? Jelaskan jawaban anda.
25. Selanjutnya pupuk fosfat tidak efektif bila diberikan sebagai pupuk susulan. Mengapa demikian? Jelaskan jawaban anda.
26. Dalam penggunaan pupuk kalium harus dipertimbangkan beberapa syarat yang turut memengaruhinya. Sebutkan dan terangkan pengaruh syarat-syarat tersebut.
27. Belerang pada umumnya digunakan sebagai pembungkus pupuk-pupuk makro lainnya. Terangkan apakah gunanya?
28. Jelaskan mengapa pada umumnya pupuk-pupuk unsur mikro digunakan dengan dengan cara penyemprotan melalui daun tanaman.
29. Jelaskan bagaimana penggunaan pupuk kandang supaya terdapat keefisienan yang tinggi.
30. Banyak faktor tanah yang mempengaruhi jumlah nitrogen yang dikembalikan oleh tanaman pupuk hijau. Terangkan dengan singkat pengaruh faktor-faktor itu.
31. Jelaskan kekurangan dan kelebihan dari pendekatan untuk mempelajari status hara melalui defisiensi.
32. Berikan alasan anda mengapa setiap tanaman mempunyai bagian berbeda untuk untuk analisis?
33. Dalam uji biologi kita mengenal bermacam-macam cara yang dapat ditempuh. Jelaskan cara-cara tersebut.
34. Analisis tanah adalah merupakan cara yang terbaik untuk menentukan status hara dalam tanah. Terangkan kebaikan dan kelemahannya.
35. Hambatan yang cukup serius dalam mengidentifikasi hasil analisis tanah adalah untuk mendapatkan orang yang benar-benar ahli dan menguasai permasalahan. Jelaskan .

BAB X

PENGAWETAN TANAH DAN AIR

10.1 Tanah Sebagai Sumberdaya

Sebagaimana diketahui, bahan-bahan untuk pangan, sandang dan perumahan sebagian besar merupakan produk, secara langsung maupun tidak langsung dari tanah. Oleh karena itu, tidaklah berlebihan bila dikatakan tanah sebagai sumber daya alam paling vital bagi suatu Negara. Negara yang hanya mempunyai tanah produktif yang terbatas, kebutuhan pangannya akan tergantung dari import. Keadaan demikian pasti akan melemahkan posisi ekonomi Negara yang bersangkutan, karena bila terjadi guncangan dalam perdagangan dunia, negara tersebut akan mengalami kekacauan ekonomi.

10.2 Kepentingan Sumberdaya Tanah dalam Produksi Pangan

Kemampuan suatu negara dalam memproduksi pangan ditentukan oleh sejumlah faktor yang saling berkaitan, yang meliputi faktor social, ekonomi dan politik. Akan tetapi, pengaruh yang paling menentukan adalah faktor-faktor fisika, kimia, dan biologi sebagai berikut:

- 1) Sumberdaya alam yang tersedia, terutama tanah dan air.
- 2) Teknologi yang tersedia, yaitu tingkat pengetahuan dan teknologi pengelolaan tanah, tanaman dan ternak.
- 3) Tersedianya fasilitas tanaman dan ternak unggul yang responsif terhadap penerapan teknologi baru.
- 4) Tersedianya sarana produksi seperti pupuk, pestisida dan air irigasi..

Masing-masing faktor tersebut sebenarnya sangat tergantung pada jumlah dan kualitas tanah yang tersedia, baik produktifitas maupun responsnya terhadap pengelolaan. Ini merupakan alasan utama mengapa tanah merupakan sumber daya alam terpenting bagi suatu negara dalam menghasilkan pangan.

10.3 Sumberdaya Tanah Di Dunia

Luas daratan di dunia meliputi 32,5 milyar acre. Sebagian besar tidak sesuai untuk bercocok tanam, hampir setengahnya sama sekali tidak dapat digarap untuk pertanian, karena bergunung-gunung, terlalu dingin, berawa-rawa, padang pasir atau terlalu kering. Potensi pertanian tanah-tanah di dunia berdasarkan zone iklimnya tertera pada Tabel 10.1

Tabel 10.2 menunjukkan peranan tanah/lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan pangan dunia. Di Eropa dan Asia sebagian besar lahan telah digarap, sebaliknya baru sebagian kecil potensi lahan di Australia/ Selandia Baru, amerika Latin dan Afrika yang telah diusahakan. Distribusi lahan garapan per kapita ternyata menunjukkan pola yang tidak menguntungkan. Di Amerika Utara, uni svyet, Australia dan selandia Baru, luasan lahan er kapita cukup tinggi, sedangkan di Eropa, Asia, Amerika Latin dan Afrika, luasan lahan per kapita rata-rata rendah. Ini tidak menjadi problem bagi penduduk Eropa karena daya belinya tinggi, tetapi bagi penduduk Asia, amerika Latin dan afrika keadaannya menjadi kritis.

Tabel 10.1 Luas Lahan di Berbagai Zone Iklim di Dunia

Climatic zone	Potentially	Grazing	Non arable	Total Arable
.....(milyar acre)				
Polar and subpolar	0	0	1.38	1.38
Cold temper-ate boreal	0.12	0.47	4.28	4.87
Cool temper-ate	2.24	2.46	2.48	7.18
Warm-temper-ate subtropical	1.37	2.08	3.38	6.83
Tropical	4.13	4.02	4.08	12.23
Total	7.86	9.02	15.60	32.50

Sumber : the world food problem (2) vol.11.p.23

Tabel 10.2 Populasi Penduduk dan Lahan Garapan pada setiap Benua dibandingkan dengan Potensi Lahan yang dapat digarap

Continent	Area (billions of acrea)			Culti- vated	Acress of culti- vated land per person	Ratio of cultivated to po- tentially arable land (%)
	Population in 1965 (millions)	Total	Poten- tially arable			
Africa	310	7,46	1,81	0,39	1,3	22
Asia	1855	6,76	1,55	1,28	0,7	83
Australia and New Zealand	14	2,03	0,38	0,04	2,9	2
Europe	445	1,18	0,43	0,38	0,9	88
North Ameria	255	5,21	1,15	0,59	2,3	51
South Amreica	197	4,33	1,68	0,19	1,0	11
U.S.S.R	234	5,52	0,88	0,56	2,4	64
Total	3310	32,49	7,88	3,43	1,0	44

Dalam rangka meningkatkan produksi pangan terdapat dua jalan yang dapat ditempuh oleh setiap negara , yaitu (1) memperluas lahan garapan (ekstensifikasi) dengan jalan membuka lahan yang secara potensial dapat digarap dan (2) meningkatkan produksi persatuan luas lahan yang ada (intensifikasi). Beberapa Negara dapat melakukan kedua jalan tersebut, tetapi sementara Negara tertentu hanya mungkin melaksanakan intensifikasi.

10.3.1 Potensi Jenis-Jenis Tanah Utama

Potensi jenis-jenis anah utama di dunia yang dapat digarap untuk pertanian (arable) sebagai padang rumput (grazing) dan yang dapat digarap (non arable) disajikan pada Tabel 10.3.

Tabel 10.3 Luas jenis-jenis tanah utama dan persentasenya yang dapat digarap, sesuai untuk pada rumput dan yang tidak dapat digarap

Broad Soil Grouping	Total Acres (billions)	Approximate percentage of area		
		Potentially Arable	Grazing	Non Arable
Light colored, base-rich desert (Aridisols)	5,26	20,3	43,0	36,7
Dark colored, base-rich Chernozem, Brunizem (Mollisols)	2,03	56,7	34,5	8,8
Grumusol, Terra Rosa	0,81	53,1	33,3	13,6
Brown Forest, Rendzina	0,25	24,0	52,0	24,0
Moderately Weathered, leached				
Noncalcareous Brown (Alfisol)	0,72	38,0	47,9	14,4
Ando (Inceptisols)	0,06	28,6	42,8	28,6
Highly weathered, leached				
Podzol (Spodosol)	4,85	16,3	25,6	58,1
Red-yellow podzolic (Ultisol)	0,96	33,0	50,5	16,5
Latosols (Oxisols)	6,18	42,4	28,5	29,1
Shallow soils and sands				
Lithosols (Inceptisols)	6,73	2,8	15,2	82,0
Regosols	1,90	7,9	18,9	73,2
Alluvial (mostly Inceptisols)	1,47	53,7	29,3	17,0
Tundra (varies)	1,28	0	0	100,0
TOTAL	32,50	24,2	27,8	48,0

10.3.2 Potensi Tanah di Daerah Tropika

Seseorang mungkin heran mengapa tanah-tanah di daerah tropika belum dieksploitasi secara intensif, padahal terdapat banyak faktor penunjang yang menguntungkan, antara lain:

- Masa pertanaman dapat berlangsung selama setahun,
- Air umumnya tersedia sepanjang tahun,
- Beberapa jenis tanahnya mempunyai sifat-sifat fisika yang lebih baik dibandingkan dengan tanah-tanah di daerah temperate.
- Umumnya tanah tropik mengandung kaolinit dan hidroksi-oksida yang memungkinkan budidaya tanaman pada kondisi curah hujan yang tinggi.

10.3.3 Faktor Pembatas dan Problema Pengembangan Pertanian

Banyak hambatan dan masalah pengembangan pertanian di daerah tropic antara lain:

- (1) Lingkungan tropika dengan curah hujan dan suhu yang tinggi sebenarnya kurang cocok bagi pengelolaan tanaman budidaya dan ternak. Bukan karena hawanya yang panas, tetapi karena suburnya perkembangan hama dan penyakit, cepatnya perombakan bahan organik, ancaman erosi yang tinggi dan cepat aus/ rusaknya alat-alat pertanian, sehingga resikonya kegagalan tinggi dan biaya produksi tetap umumnya tinggi.
- (2) Sifat dan perilaku tanah tropika masih sedikit yang diketahui, misalnya tinggi nya kandungan hidrousoksida yang menjerap P sangat besar, kapasitas tukar kation yang rendah, pencucian unsur hara yang tingginya akibatcurah hujan dan sebagainya. Hal ini semua menuntut pengelolaan
- (3) Sistem pertanian di daerah tropik, yang dikenal sebagai perladangan berpindah (shifting cultivation), meskipun semula merupakan cara pertanian subsistem yang sustainable, tetapi dengan makin meningkatnya populasi manusia, sistem ini justru merusak tanah/ lahan. Pengembangan pola pertanian di daerah tropika belum memadai.
- (4) Kurangnya fasilitas transpor yang umum di negara-negara tropik agak menyulitkan pengembangan pertanian di daerah tersebut.
- (5) Langkanya sarana produksi seperti pupuk, pestisida dan sebagainya juga merupakan faktor penghambat penting dalam pengembangan pertanian di daerah tropik

Meskipun dijumpai banyak faktor penghambat, para ahli tetap optimis tentang pengembangan pertanian di daerah tropic. Ini didasarkan kenyataan bahwa sumber energi dalam proses fotosintesis di daerah tropic tidak ada bandingannya di tempat lain. Disamping itu masih terdapat cukup las tanah yang belum dimanfaatkan di daerah tropic (Tabel 10.4).

Tabel 10.4 Dugaan luas potensi lahan yang dapat digarap dari berbagai jenis tanah di tropik

Soil Groups	Africa	Asia	Latin America	Australia and New Zealand	Total
	 (In millions of acres).....				
Light colored, base-rich soils	160	80	50	40	330
Dash colored, base-rich soils	267	60	125	20	345
Moderately weathered and leached soils	20	135	15	20	190
Highly weathered and leached soils	1200	270	1135	40	2645
Shallow soils ad sands	90	30	40	30	190
Aluvial soils	105	285	40	-	430
TOTAL	1175	260	1405	150	4130

From The World Problem (2), vol.11.p.483 Assumes Application of irrigation water

10.3.4 Potensi Tanah di Indonesia

Luas daraan Indonesia seluruhnya 200 juta hektar. Sekitar 168 juta hektar atau 81 persen tersebar di empat pulau besar, yaitu Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya. Dari 168 juta hektar lahan tersebut, 123 juta hektar berupa lahan/ tanah kering dan sisanya 39 juta hektar berupa lahan/ tanah basah, baik berupa rawa pasang surut maupun rawa lebak (Tabel 10-5)

Tabel 10.5 Luas Daratan Di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya (x 1000 ha)1/

Pulau	Daerah rawa	Datara kering berdasarkan lereng (%) 2/				Jumlah
		0 - 3	3 - 8	- 15	>15	
Sumatera	13.211	0.491	4.102	1.844	19.712	47.360
Kalimantan	12.764	3.693	4.779	3.308	29.402	53.946
Sulawesi	939	955	606	927	15.747	18.904
Irian Jaya	12.920	3.608	1.287	944	23.477	42.195
JUMLAH	39.434	16.745	10.974	6.923	88.338	162.405

1/ Muljadi, 1977,2/ 0-3% datar,3-8% datar berombak ,8-15% berombak berbukit >15% berbukit bergunung

Tabel 10.6 Angka koreksi luas penggunaan lahan dengan berbagai kemiringan untuk budidaya pertanian (x1000), Muljadi, 1977
2/ tidak dapat diukur karena areanya kecil dan tersebar

Kemiringan	Sawah pengairan/ tadah hujan	Pertanian tanah kering	Kebun campuran	Perkebunan	Jumlah
<u>Sumatera</u>					
0 – 3%	389	189	300	1.596	2.545
3 – 8%	90	54	342	302	788
8 – 15%	40	30	142	174	386
Jumlah					3.628
<u>Kalimantan</u>					
0 – 3%	288	209	14	118	550
3 – 8%	-	117	6	7	130
8 – 15%	-	127	1		128
Jumlah					808
<u>Sulawesi</u>					
0 – 3%	376	84	95	57	622
3 – 8%	127	187	91	30	435
8 – 15%	-	68	96	140	304
Jumlah					1.361
<u>Irian Jaya 2/</u>					

Jika lahan dengan kemiringan 0-15% diperkirakan potensial dapat dikembangkan untuk pertanian secara ekonomis layak, maka di Indonesia (luar Jawa) masih terdapat areal seluas 34,6 juta hektar, yang secara potensial dapat dimanfaatkan untuk usaha pertanian. Dari jumlah tersebut sekarang telah terpakai untuk pertanian rakyat, perkebunan, sawah tadah hujan dan sebagainya seluas 5,8 juta hektar, ditambahkan dengan daerah rawa yang juga dapat direklamasikan menjadi lahan pertanian yang produktif (lihat Tabel 10.5 dan Tabel 10.7). Meskipun arealnya luas, namun daya-guna sumber daya tanah tersebut mungkin sangat bervariasi ditentukan oleh keadaan fisik lingkungan, pembatas sifat tanah, kesesuaian wilayah, teknologi dan faktor sosial budaya.

Dari segi tanah, potensial lahan tersebut sangat terganung dari jenis-jenis tanah. Dari Tabel 10.5 dapat dilihat bahwa sebagian besar tanah kering di empat pulau besar di luar Jawa tersebut terdiri dari jenis Podsolik dan sebagian besar tanah rawa terdiri dari jenis organosol. Dari segi sifat tanah, kedua kelompok besar tanah tersebut tergolong marginal, yang memerlukan cara pengelolaan yang hati-hai dan intensif.

Tabel 10.7 Perkiraan lahan dengan kemiringan 0 hingga 15 yang dapat dijadikan areal pemukiman baru di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya (x1000), Muljadi, 1977

Pulau	Lahan dengan kemiringan (%)			Jumlah
	0 - 3	3 - 8	8 - 15	
Sumatera	6.037	3.314	1.458	10.809
Kalimantan	3.143	4.649	3.180	10.972
Sulawesi	333	371	623	1.327
Irian Jaya	3.606,25	1.287,5	843,75	5.737,5
JUMLAH	13.119,25	9.621,5	6.104,75	28.845,5

Tabel 10.8 Perkiraan luas dan penyebaran jenis tanah di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya (x1000)1/

Jenis Tanah	Sumatera	Kaliman- tan	Sulawesi	Irian Jaya	Jumlah
Organosol (Histosol)	6.781	6.469	-	10.875	24.128
Aluvial (Entisol)	6.230	5.644	1.363	2.575	15.280
Regonosol (Entisol/ Inceptisol)	831	150	194	-	1.275
Rensina (Mullisol)	394	-	138	369	901
Grumosol (Vertisol)	-	-	56	-	56
Andosol (Inceptisol)	2.725	1.225	156	-	4.106
Mediteran (Alfisol)	-	-	2.930	106	3.044
Latosol (Inceptisol/ Oxisol)	6.788	4.459	2.856	356	14.469
Podzolik Merah Kuning (Ultisol)	15.950	14.525	1.494	12.001	43.970
Podsol (Spodosol)	931	4.081	-	-	5.012
Kompleks (bagian terbe- sar podsolik)	6.725	17.437	9.800	15.313	49.275
Lain-lain	-	-	-	850	850
JUMLAH	47.303	54.000	19.095	42.200	162.658

Muljadi dan Soeprahardjo, 1975

10.4 Erosi dan Pengendaliannya

Erosi adalah proses hilangnya atau terangkutnya tanah di permukaan. Erosi merupakan kejadian alami yang berlangsung sejak bumi ini terbentuk. Banyak agen penyebab erosi, tetapi yang utama adalah air dan angin. Pengaruh buruk erosi di daerah pegunungan maupun hasil pendangkalannya di daerah lembah semula dianggap tidak penting dan baru akhir-akhir ini diperhatikan. Hal ini karena orang beranggapan bahwa erosi tidak dapat dikendalikan, suatu pendirian yang salah. Disesuaikan dengan kondisi Indonesia, pembahasan selanjutnya khusus membahas erosi air.

10.4.1 Erosi Geologi dan Erosi Tanah

Erosi yang terjadi pada kondisi alami, yaitu lahan yang tertutup oleh vegetasi asli tanpa campur tangan manusia, disebut erosi alami (erosi geologi atau erosi normal). Prosesnya berlangsung lambat dan tidak henti-hentinya. Tetapi ketika vegetasi dibabat dan padang rumput dibakar, erosi dipercepat. Erosi yang melampaui kecepatan normal, akibat ulah manusia sehingga merusak karena menghilangkan lapisan atas tanah, prosesnya disebut erosi tanah.

Erosi geologi berlangsung lambat sehingga laju pembentukan tanah masih mampu mengimbangi besarnya kehilangan lapisan atas tanah. Sebaliknya, erosi tanah berlangsung cepat terutama pada kondisi lingkungan yang menunjang berlangsungnya erosi tersebut. Contohnya, erosi pada tanah dengan pertanaman kapas dapat mencapai 31 ton per acre per tahun, sedangkan pada tanah yang sama dalam kondisi vegetasi alami yang mencapai 0.002 ton per acre per tahun.

10.4.2 Tipe Erosi Tanah

Erosi oleh air dapat dibagi kedalam empat tipe yaitu erosi percikan (splash), erosi lembar (sheet), erosi alur (riil) dan erosi lembah (gully). **Erosi percikan** adalah pemindahan percikan butir-butir hujan. Semula tidak dianggap penting, tetapi mengingat potensinya dalam melepaskan dan memindahkan partikel tanah sangat besar, sekarang telah banyak mendapatkan perhatian dari para ahli. **Erosi lembar** adalah hilangnya tanah secara merata dalam lapisan tipis dari permukaan lahan. Erosi lembar umumnya tidak terjadi sendiri, karena permukaan lahan tidak pernah ada yang benar-benar rata. Permukaan lahan kecil yang memungkinkan air

terakumulasi. Dari sini mulailah terjadi aliran air dalam alur-alur kecil ke lereng-lereng bagian bawah. Penghanyutan tanah melalui proses ini disebut erosi alur.

Jadi, pada umumnya erosi lembar dan erosi alur terjadi bersama-sama, yang secara keseluruhan disebut erosi lembar. Hal ini jelas untuk membedakan bentukan-bentukan akibat erosi parit/ lembah (gully).

Pembentukan lahan di permukaan lahan umumnya dapat terjadi oleh tiga proses, yaitu: (1) erosi air terjun, (2) erosi parit (channel) dan (3) erosi akibat pembekuan dan pencairan. Umumnya lebih dari proses terjadi pembentukan lembah. Lembah berbentuk U umumnya terbentuk akibat air terjun, terutama bila tanah lapisan bawah lebih lunak dari lapisan atas, sedangkan lembah berbentuk V terjadi akibat erosi parit (channel erosion). Terutama bila tanah lapisan bawah lebih tahan.

10.4.3 Akibat-Akibat Erosi

Akibat erosi dapat berupa kerusakan lahan pertanian, banjir dan sedimentasi, serta polusi lingkungan.

Kerusakan pada lahan pertanian, akibat erosi yang paling nyata adalah terangkutnya lapisan tanah bagian atas, yang sangat penting artinya dalam budidaya tanaman. Hal itu disebabkan oleh lapisan tersebut menyediakan unsur hara dalam jumlah banyak. Bagian yang terkikis biasanya dalam bentuk klei dan debu yang aktif dalam reaksi –reaksi pertukaran kation dalam tanah. Akibat penghanyutan tanah lapisan atas terus menerus, maka yang tertinggal adalah tanah lapisan bawah yang kurang subur dan sifat fisiknya kurang baik. Demikian pula halnya hara yang ditambahkan melalui pupuk akan hanyut terbawa erosi. Jika erosi parit terjadi, permukaan lahan akan terpotong-potong atau teriris oleh parit-parit, sehingga tidak menguntungkan atau menyulitkan penggunaan alat-alat mekanis. Semua hal itu, di satu pihak akan memerankan pertumbuhan tanaman dan di lain pihak meningkatkan biaya produksi.

Banjir dan sedimentasi. Tanah yang dierosikan terangkut ke dalam sungai-sungai yang akhirnya mengendap baik di sungai-sungai tersebut, danau, waduk, maupun di pantai-pantai. Sedimentasi dalam alur sungai mengakibatkan pendangkalan sungai tersebut sehingga kapasitas penyaluran airnya terbatas. Demikian halnya fungsi bangunan dan jaringan irigasi berkurang akibat pendangkalan. Padahal bangunan-bangunan tersebut merupakan investasi yang sangat mahal.

Polusi lingkungan. Tanah yang terangkut oleh erosi umumnya mengandung unsur-unsur atau senyawa kimia dan sisa-sisa pestisida dalam jumlah banyak. Bahan-bahan kimia tersebut akan melarut dalam air sungai, air danau, air waduk dan air laut di tepi pantai. Disamping itu sediment dari larutan tersebut akan mengakibatkan kekeruhan yang tinggi, menurunnya oksigen terlarut sehingga berakibat buruk bagi kehidupan ikan, menyuburkan pertumbuhan gulma air, disamping beberapa unsur yang terlarut bersifat meracun (nitrit dan bahan aktif pestisida).

10.4.4 Proses Erosi Air

Erosi air merupakan kegiatan disperse dan pengangkutan tanah oleh air yang mengalir di permukaan. Aliran air dipermukaan ini disebut run-off atau aliran permukaan, yang merupakan bagian dari hujan yang tidak dapat diserap oleh tanah. Jadi ada dua kegiatan utama dalam proses erosi, yaitu (1) pelepasan (dispersi) butir-butir tanah, dan (2) pengangkutan buiran tanah yang telah terdispersi.

Pukulan butir-butir hujan dan air mengalir di permukaan merupakan gaya-gaya pelepasan utama, sedangkan butir-butir hujan memercik dan aliran permukaan merupakan agen yang mengangkut butir-butir tanah yang sudah lepas. Pukulan butir-butir hujan memperlihatkan tiga pengaruh, yaitu (1) melepas atau memecah tanah, (2) pukulan bertendensi merusak granulasi dan (3) percikannya membantu transportasi tanah.

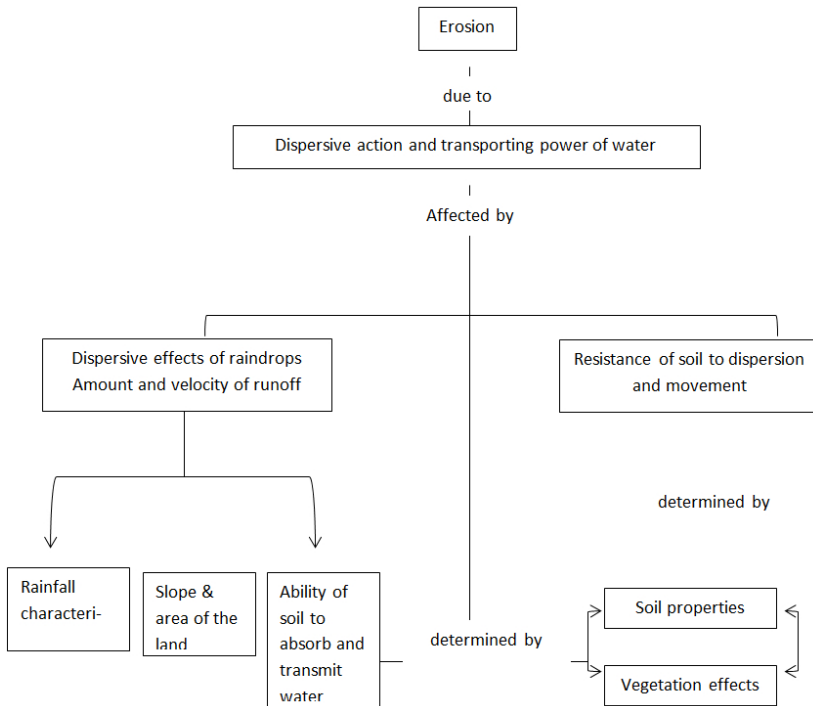
Kekuatan pukulan butir-butir hujan begitu besar, sehingga bukan saja agregat/ granul dilepas dan dipecah, tetapi juga dihancurkan. Tanah yang telah didispersikan mudah terangkut oleh run-off atau kalau tidak akan menyumbat pori tanah dan bila mengering akan menjadi kerak (crust). Lapisan demikian tidak menguntungkan bagi perkecambahan benih. Pukulan butir-butir hujan dapat diabsorpsikan oleh penutup permukaan tanah, seperti vegetasi alami (hutan dan padang rumput), tajuk tanaman dan mulsa. Ini merupakan tameng yang melindungi penghancuran agregat oleh butir-butir hujan.

Transportasi tanah oleh aliran air di permukaan tidak dapat disangkal, mengingat kemampuan pengangkutan dan merusak dari aliran air. Demikian halnya transportasi oleh percikan tidak dapat diabaikan. Dapat dibayangkan bahwa hujan yang lebat dapat memercikan 220 ton tanah per hektar dan percikan tanah dapat mencapai ketinggian 60 cm dan mental sejauh 1 hingga 1,5 meter.

10.4.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Erosi

Kekuatan disperse dan kemampuan pengangkutan tanah oleh air ditentukan oleh (1) kekuatan dispersi dari pukulan butir-butir hujan, jumlah dan kecepatan aliran permukaan tergantung pada (1) sifat-sifat hujan, (2) lereng dan luas areal, serta (3) kemampuan tanah menyerap air ke dalam profil tanah. Hubungan antara erosi dan faktor yang mempengaruhi tertera pada Tabel 10-9. Secara umum faktor-faktor yang menentukan erosi dapat diringkas dalam rumus deskriptif sebagai berikut: $E = F(C, T, V, S, H)$. Dalam hal ini C adalah faktor iklim, T = faktor topografi, V= faktor vegetasi, S= faktor tanah dan H = faktor manusia.

Factors Affecting Soil Erosion Due to Water



Dalam rumus deskriptif tersebut terdapat dua macam variable, yaitu (1) faktor yang dapat dikendalikan oleh manusia yaitu vegetasi dan (2) faktor-faktor yang sulit dikendalikan oleh manusia secara langsung yaitu iklim, topografi dan sifat tanah tertentu tetapi pengaruhnya secara tidak langsung dapat dimodifikasikan oleh manusia seperti pembuatan teras untuk memperpendek panjang lereng.

10.4.6 Pengaruh Faktor Iklim

Faktor iklim terpenting yang berpengaruh terhadap erosi air adalah besarnya curah hujan. Sifat-sifat hujan yang menentukan kekuatan disperse tanah, adalah jumlah dan kecepatan aliran permukaan dan erosi yang terjadi adalah jumlah, intensitas dan distribusi musiman hujan, jika jumlah yang terjadi rendah, demikian halnya bila hujan dengan intensitas tinggi jauh dalam waktu singkat. Sebaliknya jika jumlah dan intensitas hujan tinggi, run-off dan erosi 1,8 kali. Pengaruh lereng ini masih ditentukan oleh luas wilayah (darinase basin) dan ada tidaknya saluran-saluran.

10.4.7 Pengaruh Faktor Tanah

Pengaruh sifat-sifat tanah terhadap erosi dapat dimanifestasikan ke dalam dua hal yaitu sifat-sifat tanah yang menentukan kapasitas infiltrasi dan sifat-sifat tanah yang menentukan ketahanannya terhadap dispersi dan pengangkutan. Jika intensitas hujan melebihi kapasitas infiltrasi, maka aliran permukaan (runoff) terjadi lebih besar. Selama hujan kapasitas infiltrasi berubah dari maksimum ke minimum. Kapasitas infiltrasi minimum ini sama dengan perkolasi. Kapasitas infiltrasi ditentukan oleh sifat permukaan tanah seperti kestabilan dan porositas, tekstur dan tipe klei, permeabilitas air dan kandungan air tanah. Permeabilitas adalah laju pergerakan air jenuh (non-kapiler) yang ditentukan oleh porositas tanah. Sifat tanah yang paling menentukan ketahanan terhadap disperse dan pengangkutan adalah ukuran dan kestabilan agregat.

10.4.8 Prediksi Erosi pada Lahan Pertanian

Sejak tahun 1930 telah dilakukan studi intensif tentang faktor-faktor yang mempengaruhi erosi. Dari data yang pernah diperoleh, Wischmeier dan Smith membuat rumus dugaan besarnya erosi sebagai berikut:

$$A = R K L S C P$$

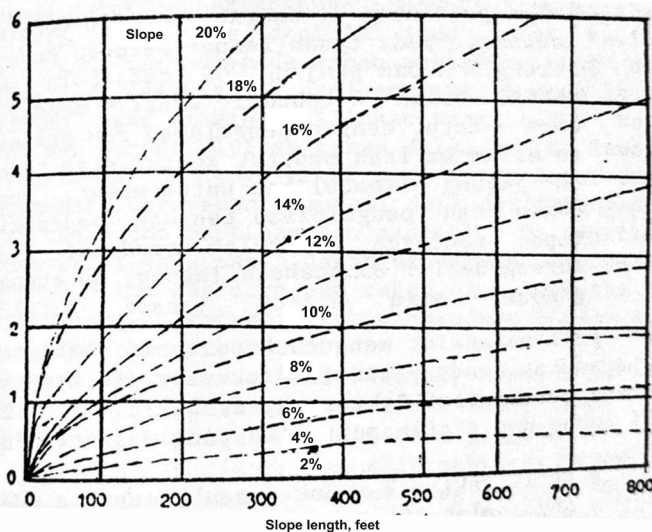
Dalam hal ini **A** adalah besarnya dugaan erosi, **R** adalah faktor curah hujan, **K** adalah faktor erosibilitas tanah, **L** adalah faktor panjang lereng, **S** adalah faktor kemiringan lereng, **C** adalah faktor pengelolaan tanaman dan **P** adalah faktor tingkat konservasi tanah.

Faktor curah hujan. Faktor curah hujan adalah besarnya erosivitas hujan tertentu, yang berhubungan dengan jumlah dan intensitas hujan. Faktor **R** dinyatakan dalam jumlah indek erosi hujan selama musim hujan normal. Indeks erosi hujan adalah ukuran erosivitas hujan, misalnya indeks erosi hujan Wischmeier (E_{130}) merupakan perkalian antara energi kinetik

dengan intensitas hujan maksimum selama 30 menit. Sifat-sifat hujan ini dapat dianalisis dari grafik curah hujan.

Faktor Kepekaan/ Erodibilitas Tanah. Faktor erodibilitas tanah besarnya erosi per unit indeks erosi hujan pada tanah tertentu yang diberikan (fallow) dengan kemiringan lereng 9 % dan panjang lereng 72,6 feet. Sifat-sifat tanah yang menentukan erodibilitas tanah mencakup: (1) sifat-sifat yang menentukan kapasitas infiltrasi, permeabilitas dan daya menahan air dan (2) sifat-sifat yang menentukan ketahanan terhadap disperse dan pengangkutan tanah.

Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng. Faktor panjang lereng adalah nisbah antara erosi pada panjang lereng tertentu terhadap erosi yang terjadi pada tipe tanah dan kemiringan lereng yang sama dengan panjang lereng 72,6 cm. Sedangkan faktor kemiringan lereng adalah nisbah antara erosi yang terjadi pada kemiringan tertentu terhadap erosi yang terjadi pada tipe tanah dan panjang lereng yang sama dengan kemiringan lereng 9%. Kombinasi kedua faktor tersebut, yang dipergunakan dalam rumus prediksi erosi, digambarkan pada diagram berikut:



Faktor Pengelolaan Tanaman. Faktor pengelolaan tanaman adalah nisbah antara besarnya erosi pada lahan dengan tanaman dan pengelolaan tertentu terhadap erosi dari tanah terbuka. Faktor C mencakup seluruh kombinasi pengaruh yang berhubungan dari tanaman dan tindakan pengelolannya, seperti tipe pengelolaan tanah, pengelolaan limbah pertanian, pola tanam dan waktu tanam dan sebagainya.

Faktor Tindakan Konservasi Tanah. Faktor tindakan konservasi tanah adalah nisbah antara erosi pada tanah dengan tindakan konservasi tertentu terhadap erosi pada tanah tanpa tindakan konservasi. Tindakan konservasi antara lain pengelolaan dan penanaman menurut kontur, penanaman menuru strip, teras dan sebagainya yang akan dibahas tersendiri.

10.4.9 Penerapan Rumus Pendugaan Erosi

Cara menghitung besarnya erosi yang mungkin akan terjadi setiap tahun dari lahan pertanian di bawah sistem pertanian tertentu di-ilustrasikan seperti dibawah ini yang merupakan hasil studi kasus .

Asumsi: Lahan pertanian di daerah Fountain Country, Indiana, pada tanah lembab berdebu Russel, lereng 8% dan panjang 200 feet, pola tanam rotasi dalam 4 tahun: wheat-meadow-corn-corn, dengan pengelohan dan penanaman dalam barisan menurut kontur, sisa tanaman jagung dikembalikan untuk wheat. Pemupukan dan pengelolaan tanaman sedemikian rupa sehingga diperoleh produksi tidak kurang dari: 85 bushels jagung, 40 bushels gandum atau 4 ton jerami alfalfa.

Langkah pertama adalah mengacu ke diagram dan Tabel –Tabel persamaan penduga erosi Wischmeier dan menentukan beberapa besar nilai faktor R, K,LS,C,P, untuk kondisi lahan dan sistem pertanian yang disebut terdahulu.

nilai faktor R untuk daerah Fountain Country adalah 185,

nilai faktor K untuk tanah di daerah itu 0,38.

nilai faktor LS = 1.41

nilai faktor pengelolaan tanaman = 0,119

nilai tindakan konservasi = 0,6

nilai besar erosi yang diduga terjadi $A = 185 \times 0,38 \times 1,41 \times 0,119 \times 0,6 = 7,1$ ton
Per acre per tahun

bila tanaman ditanam se-arrah lereng, nilai faktor tindakan konservasi = 1
maka, dugaan erosi = $185 \times 0,38 \times 1,41 \times 0,119 \times 1.0 = 11.8$ ton per acre per tahun.

bila tanaman ditanam dengan pengelolaan minimum tillage dan countour farming, nilai faktor P = 0,75

Maka, dugaan erosi A = $185 \times 0,38 \times 1,41 \times 0,119 \times 0,075 = 4,5$ ton per acre per tahun.

10.4.10 Erosi yang Dapat Diijinkan pada Lahan Pertanian

Tanah-tanah di daerah upland yang datar dan tidak ada erosi menjadi tidak subur karena mengalami hancuran iklim dan pencucian yang intensif, sebaillknya tanah berlereng mengalami erosi berat menjadi tipis dan tidak subur juga. Idealnya, terdapat laju erosi yang optimum untuk mempertahankan produktivitas tanah. Tetapi laju erosi yang ideal ini jauh lebih kecil dari erosi yang terjadi pada lahan pertanian yang dikelola dengan baik sekalipun. Jadi soalnya, berapa laju erosi maksimum yang masih diijinkan yang tidak berakibat buruk bagi produktivitas tanah dalam jangka lama.

Penetapan besarnya erosi yang masih dapat diijinkan semata-mata merupakan kompromi dari pertimbangan sifat-sifat tanah dan pertimbangan ekonomi. Di Amerika, besarnya erosi yang masih dapat dibiarkan berkisar antara 1 hingga 5 ton per acre per tahun. Di Indonesia penelitian sedang diarahkan untuk menetapkan besarnya erosi dapat dibiarkan tersebut.

Dengan berpatokan pada besarnya erosi dapat dibiarkan dan hasil pendugaan besarnya erosi terjadi pada lahan pertanian dengan sistem pengelolaan tertentu, maka dapat ditetapkan alternatif-alternatif perbaikan pengelolaan agar erosi yang terjadi dapat ditekan sampai batas yang masih dapat dibiarkan.

10.4.11 Metoda Pengendalian Erosi

Terdapat tiga cara pendekatan dalam pengendalian dalam pengendalian erosi di lahan pertanian, yaitu (1) memperbaiki dan menjaga keadaan tanah agar tahan terhadap penghacuran agregat dan pengangkutan, (2) menutup tanah dengan tanaman dan sisa-sisa tanaman agar terlindung dari daya tanaman dan sisa-sisa tanaman agar terlindung dari daya perusak butir-butir hujan yang jatuh dan (3) memperlambat aliran permukaan sehingga mengalir dengan kekuatan yang tidak merusak. Berdasarkan ketiga cara pendekatan tersebut, maka metoda pengendalian erosi dapat dibagi kedalam tiga golongan, yaitu : **(1) metoda vegetatif, (2) metoda mekanik dan (3) metoda kimia.**

Metoda vegetatif

Pada prinsipnya metoda vegetatif berfungsi untuk melindungi tanah terhadap daya perusak butir-butir hujan yang jatuh, melindungi tanah dari daya perusak aliran permukaan tanah. Metoda vegetatif ini meliputi:

- penghutanan dan penghijauan
- penanaman rumput
- penanaman tumbuhan penutup tanah permanen
- penanaman dalam strip menurut kontur
- pemberian mulsa dari sisa-sisa tanaman
- pergiliran tanaman dengan tanaman pupuk hijau dan penutup tanah.
- Penanaman rumput pada saluran pembuang dan saluran lainnya.

Metoda mekanik

Pada prinsipnya metoda mekanik berfungsi memperlambat aliran permukaan dan menampung serta menyalurkan aliran air dengan kekuatan yang tidak merusak. Metoda mekanik ini mencakup:

- Pengolahan tanah minimum
- Pengolahan tanah menurut kontur
- Galengan dan saluran menurut kontur
- Teras
- Rorak
- Jalur-jalur aliran air di tempat-tempat tertentu dan sebagainya.

Metoda kimia

Metoda kimia bertujuan memperbaiki sifat fisik tanah, karena dengan bahan kimia yang mampu memantapkan agregat-agregat tanah menjadi struktur tanah mantap dan pori tanah dapat terjaga dengan baik. Bahan-bahan kimia ini disebut soil conditioner, yang umum dipakai adalah

- PAM (Polyakrilamide)
- PVA (Polyvinil Alcohol)
- Bitumen
- Krilium
- Dan lainnya.

10.5 Metode Pengolahan Tanah

Sejak beribu tahun yang lalu metoda pengolahan tanah hampir tidak berubah. Sebagian karena kebiasaan, tetapi lebih sering karena keterbatasan peralatan, teknologi, biaya dan lingkungan. Di Negara maju, sekarang ini pengolahan tanah menjadi proses yang sophisticated dan seluruhnya mekanis. Saat ini semakin jelas dirasakan adanya kekurangan dari cara-cara pengolahan tanah yang selama ini diterapkan oleh petani-petani di masa lampau, antara lain:

Pembabatan dan pembakaran sisa tanaman diikuti oleh pengolahan tanah yang bersih telah melenyapkan bahan organik yang berguna bagi tanah,

Terlalu seringnya tanah diolah dengan alat berat meninggalkan lapisan kedap air (impermeable)

Penyiangan yang berlebihan dengan koret dalam ganggang antara barisan, megakibatkan tanah peka terhadap erosi.

Meningkatnya biaya untuk tenaga, pupuk, obat-obatan dalam pengelolaan pertanian saat ini, termasuk biaya pengolahan tanah, pengendalian gulma, serta adanya polusi lingkungan, diperlukan evaluasi mendalam tentang cara-cara pengolahan tanah yang dilakukan di masa lampau.

Tujuan Pengolahan Tanah. Pengolahan tanah merupakan tindakan mekanik terhadap tanah yang ditujukan untuk menyiapkan tempat persemaian (seed bed), memberantas gulma, memperbaiki kondisi tanah dan penetrasi akar, infiltrasi air dan peredaran udara (aerasi), dan atau menyiapkan tanah untuk irigasi permukaan. Pengolahan tanah juga ditujukan secara khusus, untuk pengendalian hama, menghilangkan sisa-sisa tanaman yang mengganggu permukaan tanah, pengendalian erosi, serta untuk penyampuran pupuk, kapur, dan pestisida ke dalam tanah.

10.5.1 Pengolahan Tanah untuk Menyiapkan Tempat Persemaian (Seedbed)

Benih akan berkecambah bila diletakan secara baik pada tanah lembab dengan suhu dan aerasi yang memadai. Kecambah akan muncul dari tanah bila tanah yang menutupinya cukup gembur sehingga memudahkan kecambah untuk menembusnya. Kondisi tersebut dapat dicapai dengan pengolahan tanah. Pengolahan tanah demikian sangat diperlukan terutama bagi benih-benih berukuran kecil dan sangat mahal, seperti tomat, gula bit dan sebagainya dan agak kurang diperlukan bagi benih yang berukuran besar, seperti jagung, kedele dan sebagainya.

Bila pengolahan tanah dilakukan pada tanah lembab, perkecambahan umumnya lebih mudah, dibandingkan dengan tanah kering yang diolah kemudian diairi sehingga terbentuk lapisan kerak (crust) di permukaan tanah yang menghambat perkecambahan. Agregat-agregat tanah mantap air (water- stable aggregates)

10.5.2 Pengolahan Tanah untuk Pemberantasan Gulma

Sampai dengan tahun 1940-an saat diketemukan herbisida, pengolahan tanah untuk pemberantasan gulma merupakan bagian integral dari budidaya tanaman. Gulma dibenamkan pada saat pengolahan tanah dan setiap kali penyiangan. Penyiangan umumnya kurang efektif, karena banyak gulma berada disekitar tanaman, kecuali bila penyiangan dilakukan dengan tangan. Umumnya penyiangan memutuskan akar-akar tanaman yang dangkal. Herbisida dalam membunuh gulma lebih efektif tanpa efek sampingan seperti ditimbulkan oleh pengolahan tanah, penggunaan herbisida juga menghemat pemekaaian tenaga dan bahan bakar.

10.5.3 Pengolahan Tanah dan Kondisi Tanah Olah

Pengolahan tanah dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman melalui perbaikan aerasi, serta pergerakan air dan penetrasi akar dalam profil tanah. Tanah harus cukup mengandung air dan udara serta cukup gembur agar akar dapat tumbuh dan menyerap unsur hara yang cukup bagi pertumbuhan tanaman.

Tanah bertekstur kasar umumnya mempunyai kapasitas penyediaan hara dan air yang tinggi tetapi aerasinya buruk. Pengolahan tanah pada tanah-tanah berpasir tidak banyak berarti dalam memperbaiki kondisi fisika tanah, tetapi sebaliknya pada tanah bertekstur halus, pengolahan tanah berpengaruh nyata dalam perbaikan aerasi tanah.

10.5.4 Pengolahan Tanah dan Ketersediaan Air Tanah

Pengolahan tanah menghancurkan lapisan kerak dipermukaan tanah, menggemburkan tanah yang memungkinkan air lebih banyak meresap ke dalam tanah. Tetapi hendaknya pengolahan tanah dilakukan seperlunya saja agar masih terdapat kekasaran tanah yang baik bagi seedling establishment.

Pembenaman sisa tanaman sewaktu pengolahan tanah juga memungkinkan tanah tetap sarang sehingga meningkatkan laju infiltrasi. Pengolahan tanah yang dalam sesekali diperlukan untuk (1) meningkatkan

kapasitas penyimpanan air di daerah perakaran, (2) memecahkan lapisan padat yang terbentuk secara alami atau akibat penggunaan alat-alat berat dan (3) memperbaiki permeabilitas tanah.

10.5.5 Pengaruh Buruk Pengolahan Tanah

Pengolahan tanah secara temporer dapat memperbaiki sifat fisik tanah seperti disebut dimuka, tetapi pengelolaan tanah yang dilakukan berulang-kali dalam setahun dalam jangka panjang dapat menimbulkan masalah kerusakan tanah, karena berbagai hal berikut:

- * Struktur tanah terbentuk secara alami oleh penetrasi akar, pelapukan bahan organik dan aktivitas fauna tanah menjadi rusak akibat pengolahan tanah yang terlalu sering.
- * Pengolahan tanah yang terlalu sering dapat mempercepat menurunnya kandungan bahan organik tanah, karena aerasi yang berlebihan mempercepat perombakan bahan organik.
- * Pengolahan tanah sewaktu penyiangan banyak memutuskan akar-akar tanaman yang dangkal.
- * Meningkatkan kepadatan tanah pada kedalaman 15 hingga 25cm akibat pengolahan tanah dengan alat-alat berat berlebihan dapat menghambat perkembangan akar tanaman serta menurunkan laju infiltrasi.
- * Seringnya dilakukan pengolahan tanah menyebabkan tanah sering terbuka sehingga lebih memungkinkan terjadinya erosi dan pengkerakan tanah dipermukaan tanah.

Untuk memperkecil pengaruh yang merugikan dari tindakan pengolahan tanah menyebabkan tanah, sebaiknya tanah diolah seperlunya saja. Kepadatan tanah dan tingkat aerasi dapat dijadikan pedoman perlunya tindakan pengolahan tanah.

10.5.6 Metoda Pengolahan Tanah

Metoda pengolahan tanah sangat bervariasi dari yang konvensional (dari pembajakan sampai penggaruan) sampai pada teknik-teknik pengolahan tanah khusus (pengolahan tanah dalam strip, vertikal mulching dan sebagainya).

Ada tendensi sekarang ini untuk mengurangi pengolahan tanah, yang dikenal dengan beberapa istilah seperti pengolahan tanah minimum, pengolahan tanah konservasi dan bahkan tanpa pengolahan tanah.

***Pengolahan tanah minimum** atau seperlunya merupakan cara pengolahan tanah yang lebih sedikit dibandingkan dengan pengolahan tanah konvensional.

***Pengolahan tanah konservasi** merupakan cara pengolahan tanah seperlunya untuk membantu konservasi tanah dan air, misalnya pengolahan tanah dalam strip.

***Tanpa pengolahan tanah** merupakan cara pertanian tanpa dilakukan pengolahan tanah kecuali penugalan/ pencangkulan untuk pembenaman benih. Tanah tidak /dibajak atau digaru.

10.5.7 Keuntungan Mengurangi Pengolahan Tanah

Cara-cara pengolahan tanah seperlunya dan bahkan tanpa pengolahan tanah sekarang ini banyak dikembangkan, dengan alasan :

- 1) Menghemat waktu, tenaga dan biaya sehingga produksi lebih efisien dan masa tanaman dapat diperpanjang.
- 2) Sisa-sisa tanaman yang tetap terhampar di permukaan tanah melindungi tanah dari pukulan butir-butir hujan dan daya perusak aliran permukaan sehingga tanah menurunkan erosi.
- 3) Lebih banyak air tersimpan dalam daerah perakaran karena infiltrasi meningkat sedangkan penguapan menurun
- 4) Sangat sesuai bagi sistem pertanian lahan kering.

10.5.8 Kerugian Mengurangi Pengolahan Tanah

Meskipun metoda-metoda pengolahan tanah telah minimum memberikan beberapa keuntungan, tetapi perlu diperhatikan keterbatasan dan kondisi ideal untuk penerapannya, karena adanya kerugian-kerugian yang dapat ditimbulkan, seperti berikut ini :

1. Penyiapan persemaian yang minimal hanya dapat ditolerir oleh benih-benih berukuran besar seperti jagung, kedele dan lain-lain, tetapi sangat merugikan bagi benih-benih yang berukuran kecil, seperti tomat, alfalfa dan lain-lain.

2. Meskipun sisa tanaman yang tidak benamkan dapat menjadi humus, tetapi laju perombakan bahan organik pada cara tanpa pengolahan tanah berjalan sangat lambat.
3. Residu pupuk hanya terkumpul dalam lapisan yang dangkal dibandingkan jika dilakukan pengolahan tanah biasa.
4. Gulma dapat merajalela karena tersedia cukup air dan hara sehingga benih-benih gulma dengan mudah dapat berkembang, kecuali jika dilakukan penyemprotan dengan herbisida.
5. Menekan perkembangan akar tanaman sehingga akar tanaman umumnya lebih dangkal.
6. Daya kecambah benih tanaman lebih rendah sehingga diperlukan jumlah benih lebih banyak.
7. Gangguan insekta (hama) dan cendawan (penyakit) meningkat karena banyaknya serasah di permukaan tanah.

10.5.9 Metoda-metoda pengolahan Tanah Khusus Lainnya

***Pengolahan dalam** dan penyampuran tanah berlapis yang dimaksudkan terutama untuk memperbaiki permeabilitas tanah.

***Vertical mulching**, yaitu pencincangan sisa –sisa tanaman dalam potongan kecil-kecil dan ditanamkan secara vertikal dalam tanah, yang dimaksudkan untuk memperbaiki infiltrasi pada tanah yang impermeable.

10.6 Ringkasan

Tanah merupakan sumberdaya alam terpenting bagi suatu Negara dalam produksi pangan. Faktor yang menentukan adalah luas dan kualitas tanah baik produktivitas maupun responsnya terhadap pengelolaan. Dari seluruh luas tanah di dunia, hampir setengahnya sama sekali tidak dapat digarap karena bergunung-bergunung, terlalu dingin, berawa-berawa, berupa padang pasir atau terlalu kering.

Sebenarnya di daerah tropika terdapat beberapa faktor penunjang bagi pengembangan pertanian, antara lain masa tanam sepanjang tahun dan air yang cukup tersedia, tetapi masih terdapat banyak faktor pembatas dan problema pengembangan pertanian di daerah ini, antara lain sifat dan perilaku tanah tropika yang masih sedikit diketahui, mudah berkembang biaknya hama penyakit, fasilitas transport dan saprodi yang tidak memadai di banyak negara tropika.

Potensi tanah di Indonesia kira-kira 200 juta hektar, dimana sekitar 168 juta hektar (81%) berada diluar jawa berupa lahan/ tanah kering seluas 123 juta hektar dan 39 juta hektar berupa tanah rawa. Jika lahan dengan kemiringan 0-15% dianggap potensial untuk dikembangkan menjadi tanah pertanian maka kira-kira 34,6 juta hektar tanah kering dan 39 juta hektar tanah rawa di Indonesia (di Luar Jawa) dapat dikembangkan/ direklamasikan menjadi tanah pertanian.

Erosi oleh air yang terjadi pada kondisi alamia disebut normal (geologi,alami), yang berlangsung lambat, sedangkan bila erosi telah melampaui kecepatan normal akibat ulah manusia disebut erosi dipercepat (erosi tanah), yang dapat terjadi melalui erosi percikan (plash), erosi lamner (sheet), erosi alur (rill) dan erosi lembah (gully).

Akibat-akibat erosi tanah terhadap kerusakan pada lahan pertanian adalah karena terangkutnya lapisan lapisan olah tanah yang subur dan sifat fisiknya baik, serta banjir dan sedimentasi, kekeringan pada musim kemarau dan polusi lingkungan. Faktor-faktor yang mempengaruhi erosi adalah iklim, topografi, vegetasi, tanah dan manusia. Diantara faktor-faktor tersebut, faktor vegetasi dapatdikendalikan dimodifikasikan oleh manusia. Pendugaan besarnya erosi yang akan terjadi pada sebidang tanah dibawah kondisi iklim dan tanah tertentu dapat dipergunakan untuk menentukan cara-cara pengelolaan tanah dan tanaman serta tindakan konservasi agar dapat diperoleh erosi yang serendah-rendahnya.

Pendekatan dalam pengendalian erosi di lahan pertanian adalah memperbaiki dan menjaga agar tahan terhadap penghancuran agregat dan pengangkutan, menutup tanah agar terlindung dari daya perusak butir-butir hujan dan memperlambat aliran permukaan agar tidak merusak. Cara pengendalian erosi dapat dibedakan ke dalam (1) metoda vegetatif antara lain, reboisasi, pemberian mulsa, penanaman dalam strip menurut kontur, antara lain pengolahan tanah dan menurut kontur, galengan menurut kontur, teras,rorak dan sebagainya, (3) soil comditioner (PAM, PVA, Bitumen, Kriliium, dan sebagainya) untuk memperbaiki sifat fisika dan memantapkan agregat tanah.

Kelemahan dari cara-cara pengolahan tanah di masa lampau antara lain mengakibatkan lenyapnya bahan organik yang berguna bagi tanah, mengakibatkan terbentuknya lapisan kedap air dan tanah menjadi peka terhadap erosi.Tujuan utama pengolahan tanah adalah untuk menyiapkan tempat persemaian (seed bed), memberantas gulma, memperbaiki kondisi tanah untuk penetrasi akar, infiltrasi air dan aerasi dana atau untuk

pelumpuran tanah, sedangkan secara khusus pengolahan tanah dapat ditujukan untuk mengendalikan hama, membuang sisa-sisa tanaman di permukaan tanah yang mengganggu, pengendalian erosi dan penyampuran pupuk, kapur, pestisida ke dalam tanah.

Pengaruh buruk dari pengelolaan tanah yang berlebihan antara lain ruisaknya struktur tanah, menurunkan kandungan bahan organik secara cepat, pengelolaan tanah sewaktu penyiangan dapat memutuskan akar-akar tanaman, meningkatkan kepadatan tanah akibat penggunaan lat-lat berat.

Metoda pengolahan tanah konvensional adalah dengan mengolah tanah (dengan cangkul, bajak, traktor dan sebagainya) pada setiap akan tanam, sedangkan metoda pengolahan tanah yang lebih up to date dikenal dengan pengolahan tanah minimum, pengolahan tanah konservasi dan pengolahan tanah zero/ nihil atau tanpa pengolahan tanah.

Keuntungan mengurangi pengolahan tanah adalah menghemat waktu, tenaga dan biaya, luas areal dapat digarap lebih banyak dalam waktu yang singkat, mengkonservasikan air dan sisa-sisa tanaman yang tetap terhampar di permukaan tanah melindungi tanah dari erosi. Sebaiknya kerugian-kerugian mengurangi pengolahan tanah/ menghambat perkecambahan benih, hama dan penyakit meraja-lela, pupuk hanya tersebar pada lapisan yang dangkal dan laju perombakan bahan organik terhambat.

Daftar Bacaan

- Baver, L.D, 1961, soil Physics, 3rd. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Brady, N.C. 1974. the nature and properties of soils, 8th Ed. MacMillan Pub. Co.Inc, New York.
- Donahue, R.L.,R.W Miller and J.C Shickluna, 1977. soils, an introduction to soils and plant Growth. Prentice Hall Inc, New York
- Foth, H.D.1978.Fundamentals of soils science, 6th ed. John Wiley & Sons, New York.
- Mulyadi,D dan M, Soeprotophardjo.1975.masalah data luas, penyebaran tanah-tanah kritis. Kerja pada symposium pencegahan pencegahan dan pemulihan tanah-tanah kritis dalam rangka pengembangan wilayah. Jakarta.
- Mulyadi, D.1977. sumber daya tanah kering, penyebaran dan potensialnya untuk kemungkinan budidaya pertanian. Kongres Agronomi, Jakarta.

Contoh Soal Untuk Mendalami Materi

1. Bagaimana kepentingan sumberdaya tanah dalam produksi pangan suatu Negara?
2. Mengapa tidak semua tanah dapat didaya-gunakan?
3. Sebutkan keuntungan dan kelemahan daerah tropika (termasuk jenis tanahnya) bagi usaha pertanian.
4. Menurut pendapat anda sumberdata tanah di Indonesia yang masih tersedia lebih baik dikembangkan untuk pertanian tanaman pangan, perkebunan, peternakan atau perkebunan?
5. Bagaimana mekanisme erosi tanah (erosi dipercepat) dan akibat-akibatnya bagi lingkungan?
6. Erosi tanah merupakan resultante suatu fungsi sejumlah faktor. Terangkan kegiatan dan perilaku faktor-faktor. Terangkan kegiatan dan perilaku faktor-faktor tersebut sehingga terjadi erosi rendah maupun erosi besar.
7. Bagaimana memanipulasi faktor-faktor dalam rumus penduga erosi Wischmeier agar didapat erosi dugaan yang lebih rendah dari erosi yang dapat dibiarkan disuatu daerah?
8. Sebutkan pendekatan dalam pengendalian erosi tanah dan implikasinya pada metoda-metoda/ teknik-teknik penegndalian erosi tersebut.
9. Evaluasi tujuan pengolahan tanah untuk penyiapan persemaian, pemberantasan gulma dan pengelolaan sisa tanaman.
10. Terangkan akibat pengolahan tanah terhadap air tanah
11. Jelaskan tentang keuntungan dan kerugian dari notill farming (pertanian tanpa pengolahan, pengolahan tanah zero/ nihil) dan pengelohan tanah konservsasi.
12. Jelaskan tentang hubungan pengolahan dalam lapisan tanah kedap air (soil pan)
13. Pengolahan tanah atau tanpa pengolahan tanah jawaban mana yang benar? Pada kondisi mana tanah harus diolah?

BAB XI

PENGELOLAAN TANAH

11.1 Pengelolaan Tanah untuk Pertanian

Faktor fisika dan biologi lahan merupakan faktor utama yang akan mempengaruhi petani untuk berproduksi. Selain itu terdapat pula faktor lain berupa faktor yang menyangkut sosial, ekonomi dan politik. Faktor fisika dan biologi akan menyangkut masalah sumber-sumber daya alam tersedia, teknologi pengelolaan, dan varietas yang sesuai dengan sarana produksi. Pengelolaan tanah memegang peranan penting dalam peningkatan produksi dan mempertahankan produksi pada tingkat optimal berkelanjutan.

11.2 Kelas Kesesuaian Lahan

Untuk berhasilnya suatu usaha pertanian amat tergantung dari perencanaan penggunaan lahan setempat. Perencanaan penggunaan lahan yang baik harus disesuaikan dengan kemampuan lahan yang ada, mengingat besar kecilnya faktor-faktor penghambat, maka dapat dibedakan kelas-kelas kesesuaian lahan yang sesuai untuk tanaman semusim dan tanaman keras serta untuk maksud diluar keperluan di atas. Kelas-kelas tersebut dibedakan oleh faktor-faktor penghambat pengelolaan lahan yang ada. Faktor-faktor yang dapat membedakan kelas tersebut yaitu perbedaan lereng efektif, tekstur, permeabilitas dan drainase.

Menurut klasifikasi kesesuaian lahan Arsyad,(1982), terdapat sebanyak 8 kelas. Empat kelas (kelas 1 sampai IV) sesuai untuk usaha pertanian tanaman pangan, dan kelas V sampai VI sesuai untuk tanaman keras (tanaman tahunan). Uraian masing-masing kelas kesesuaian lahan yang sesuai untuk tanaman semusim dan tahunan disajikan pada uraian berikut ini.

Lahan Kelas I

Lahan ini tergolong sangat baik dengan permukaan datar dan lereng 0-3 persen. Tanah tidak peka terhadap erosi. Tekstur lempung dan mudah diolah. Permeabilitas tanah sedang dan drainase baik sampai sedang. Tanah ini hampir tidak ada faktor pembatas dalam penggunaannya

Lahan kelas I amat sesuai untuk tanaman semusim. Tindakan pemupukan dan usaha-usaha memelihara struktur yang baik diperlukan untuk menjaga kesuburannya dan mempertinggi produktifitas.

Lahan Kelas II

Lahan kelas II sesuai untuk segala jenis penggunaan pertanian dengan sedikit hambatan dan ancaman kerusakan. Tanahnya berlereng landai, kedalaman dalam dan bertekstur halus sampai agak halus. Untuk pertanian tanaman semusim diperlukan tindakan pengawetan tanah yang ringan seperti pengolahan menurut kontur, pergiliran tanaman, tanaman penutup tanah dan tindakan ringan lainnya.

Lahan Kelas III

Lahan kelas III sesuai dengan segala penggunaan pertanian dengan hambatan dan kerusakan lebih besar daripada lahan kelas II. Tanah ini sering dengan lereng agak miring atau berdrainase buruk, kedalaman sedang atau permeabilitas cepat. Tindakan yang diperlukan antara lain penanam strip, pembuatan teras, pergiliran tanaman, serta penutup tanah dan pemupukan.

Lahan Kelas IV

Lahan kelas IV sesuai untuk penggunaan pertanian dengan hambatan dan ancaman kerusakan yang lebih besar daripada tanah kelas III, sehingga perlu tindakan khusus pengawetan tanah yang lebih berat dan terbatas penggunaannya untuk tanaman semusim. Lahan kelas IV terletak pada lereng yang miring (15-30%) drainase buruk atau kedalaman dangkal. Untuk tanaman semusim diperlukan teras atau drainase, pergiliran tanaman dengan penutup tanah / makanan ternak / pupuk hijau selama 3,5 tahun, dan pemupukan.

Lahan Kelas V

Lahan kelas V tidak sesuai untuk digarap bagi tanaman semusim, lebih sesuai untuk ditanami tanaman makanan ternak secara permanent atau dihutankan. Lahan kelas V terletak pada daerah agak cekung sehingga selalu tergenang air atau banyak batu atau terdapat lapisan klei masam. Lahan kelas V ini sedikit yang dapat diusahakan sebagai tanaman tahunan, terutama untuk daerah-daerah yang miring. Usaha-usaha penanggulangan erosi harus dilakukan.

Lahan Kelas VI

Lahan kelas VI tidak sesuai untuk digarap bagi usaha tani tanaman semusim, karena terletak pada lereng yang 30-40 persen sehingga mudah tererosi atau kedalaman yang sangat dangkal atau telah tererosi berat. Penggunaan tanah ini untuk tanaman tahunan perlu pembuatan teras tangga/ teras bangku serta tidak menghendaki penyiangan intensif. Penggunaan untuk padang rumput perlu pemeliharaan yang intensif.

Lahan Kelas VII

Lahan kelas VII tidak sesuai untuk tanaman semusim dan tahunan, dianjurkan untuk vegetasi hutan yang permanent. Lahan ini terletak pada lereng 45-65 persen, dangkal dan telah tererosi berat.

Lahan Kelas VIII

Lahan kelas VIII tidak sesuai untuk usaha produksi pertanian dan harus dibiarkan pada keadaan alami dibawah vegetasi hutan alami. Tanah ini berlereng lebih 90 persen atau tertutup batuan lepas, batuan ungkapan atau tanah bertekstur kasar.

11.3 Pengelolaan Lahan untuk Produksi Tanaman Semusim

Seperti telah dijelaskan bahwa lahan yang diperuntukan bagi tanaman semusim adalah lahan yang tergolong dalam kelas kesesuaian I sampai dengan IV. Pada umumnya pengusahaan tanaman semusim menghendaki beberapa ciri antara lain:

- a. Pengolahan tanah intensif dilakukan hampir setiap awal penanaman
- b. Penyiangan yang terus menerus selama pertumbuhan.
- c. Kedalaman lapisan perakaran sekitar 20-40 cm
- d. Penyediaan sarana produksi dan irigasi yang sesuai.
- e. Lama pengusahaan satu musim tanam
- f. Jarak tanam yang sempit.

Sehubungan dengan beberapa ciri di atas, maka pengusahaan tanaman semusim nampak lebih intensif bila kita bandingkan dengan pengusahaan tanaman tahunan. Berdasarkan klasifikasi kesesuaian lahan, maka tanaman semusim nampak menghendaki kelas kesesuaian relatif lebih baik. Tanah-tanah dengan kelas I dan II merupakan kelas kesesuaian yang dikehendaki dalam pengusahaan tanaman semusim ini, walaupun demikian tanah

dengan kelas kesesuaian III dan IV masih dapat diusahakan untuk tanaman semusim dengan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi pula.

Mengingat keadaan lahan maka pengusahaan tanah kelas III dan IV perlu disertai dengan usaha konservasi tanah dalam bentuk penterasan atau drainase, pergiliran tanaman dan pemilihan lokasi yang terbatas. Tanaman-tanaman semusim merupakan bahan pangan pokok yaitu padi dan jagung, selain itu sebagai bahan pangan pengganti beras yaitu tanaman ubi-ubian meliputi ubi-kayu, ubi-ranbat, keladi (talas) dan lain-lain. Di samping itu, juga bahan makanan berupa kacang-kacang seperti kedelai, kacang tanah, kacang hijau dan lain-lain.

Penguasaan tanaman semusim ini hampir merata disemua daerah di Indonesia, kecuali daerah-daerah yang karena keadaan alamnya tidak memungkinkan, misalnya daerah pasang surut. Di daerah demikian macam tanaman mutasi saja yang dapat diusahakan.

Tanaman semusim menghendaki pengolahan tanah yang baik terutama untuk tanaman-tanaman berumbi seperti ubi kayu, ubi jalar, keladi dan lain-lain. Jarak tanam yang sempit menyebabkan pengolahan tanah secara keseluruhan areal pertanaman perlu dilakukan. Walaupun demikian pengolahan tanah minimum (minimum tillage) telah mulai pula diteliti kemungkinan pengembangannya di Indonesia terutama untuk kacang-kacangan sebagai tanaman kedua segera setelah padi dan jagung. Di negara-negara maju pengolahan tanah minimum untuk tanaman semusim dengan bantuan mesin-mesin pertanian telah berkembang dengan pesat.

Jarak tanam yang relatif sempit terutama untuk padi, jagung dan kacang-kacangan menyebabkan perakaran akan menyentuh lapisan bawah dengan sempurna. Bila panen tiba lahan akan terbuka beberapa saat. Keadaan demikian menghendaki pemilihan areal tanaman semusim yang sesuai dengan maksud konservasi tanah.

Sebagian dari hasil panen tanaman semusim diangkut ke luar areal penanaman misalnya jerami hijauan untuk ternak, jerami dan lain-lain. Oleh karena itu penurunan tingkat kesuburan tanah pada areal ini menjadi lebih cepat. Keadaan ini menghendaki adanya usaha pergiliran tanaman, pemupukan yang selain unsur makro, juga unsur mikro. Untuk mengurangi kegagalan panen diakibatkan pertumbuhan yang terganggu karena defisiensi, maka perlu mengetahui keadaan unsur hara sehubungan dengan penafsiran dosis pupuk yang dikehendaki. Penambahan unsur hara yang

telah menampilkan gejala kekurangan pada tanaman-anaman semusim, akan menyebabkan usha sesuai dalam penanggulangan kekurangan unsur hara untuk tanaman semusim.

Produksi berbagai tanaman pangan di Indonesia sangat bervariasi, hal ini disebabkan oleh (1) faktor pembatas tanah, (2) tingkat kesuburan yang bervariasi, (3) teknologi yang dipergunakan masih sederhana dan bervariasi, (4) varietas yang digunakan bermacam-macam dan (5) faktor-faktor lain yang menyangkut kebutuhan air, curah hujan, sinar matahari dan musim yang tidak seragam.

Produksi rata-rata berbagai tanaman semusim nampak masih jauh di bawah produksi yang dicapai oleh lembaga-lembaga penelitian, kecuali tanaman padi sawah yang akhir-akhir ini banyak dilaporkan terjadi peningkatan yang mengejutkan. Beberapa daerah melaporkan bahwa padi varietas unggul dapat berproduksi sekitar 8-10 ton per hektar. Perbandingan produksi rata-rata nasional dengan potensi produksi masing-masing tanaman disajikan pada Tabel 11.1.

Tabel 11.1 Perbandingan Produksi Rata-Rata Nasional Dengan Potensi Produksi Berbagai Tanaman Semusim

Macam tanaman	Produksi	
	Rata-rata nasional	Potensi produksi
Padi sawah	4-6 (ton/ha)	8-10 (ton/ha)
Padi ladang	1,5- 2,5 (ton/ ha)	3-4 (ton/ha)
Kedelai	8 (kw/ha)	15-20(kw/ha)
Kacang hijau	8 (kw/.ha)	12-15(kw/ha)
Jagung (pipilan kering)	25-32 (kw/ha)	40-50(kw.ha)

Jenis-jenis tanaman semusim lain yang penting adalah kapas dan rosella.

11.4 Pengelolaan Lahan untuk Produksi Tanaman Keras (tahunan)

Lahan yang diperuntukan bagi tanaman keras adalah tanah dengan kelas kesesuaian I sampai dengan IV walaupun demikian tanah-tanah dengan kelas kesesuaian V sampai dengan VI masih sering diusahakan untuk tanaman keras dengan persyaratan-persyaratan tertentu sehubungan dengan konservasi tanah dan air. Beberapa ciri khusus dalam pengusahaan tanaman keras yaitu:

- 1) Pengolahan tanah dilakukan tidak sepanjang tahun
- 2) Penyiangan setempat

- 3) Jarak tanam lebar
- 4) Lama pengusahaan yang lebih dari setahun.
- 5) Perakaran yang dalam

Sehubungan dengan beberapa ciri tersebut, maka pengusahaan tanaman tahunan dapat lebih luas sehingga menempati areal yang dapat relatif lebih miring sehingga diharapkan dapat pula berfungsi sebagai fungsi hutan dalam konservasi tanah dan air.

Tanah-tanah yang tidak sesuai untuk penanaman tanaman semusim memberikan pilihan yang tepat untuk tanaman keras dengan pertimbangan yang perlu diperhatikan yaitu:

- 1) Teknik pengawetan tanah yang sesuai untuk metoda pengawetan secara vegetatif, misalnya penanaman dalam strip atau garis kontur dan lain-lain
- 2) Penanaman tanaman-tanaman keras dengan sistem pengawetan secara mekanis misalnya penanaman dalam baris yang mengikuti kontur dan pembuatan teras-teras.

Atas dasar beberapa ciri khusus dan pertimbangan-pertimbangan yang perlu diperhatikan maka pengusahaan tanaman keras memberikan berbagai keuntungan sampingan selain produksi, yaitu:

- a) Tanah tetap tertutup oleh tajuk tanaman keras sepanjang tahun
- b) Memungkinkan tanaman penutup tanah yang mantap
- c) Poduksi yang relative mantap sepanjang tahun
- d) Transportasi unsur hara dari lapisan bawah ke lapisan atas kembali melalui guguran daun
- e) Mempertahankan hidro-orologis daerah-daerah yang miring.

Jenis-jenis tanaman keras yang diusahakan yaitu: (a) pada daerah dataran rendah; karet, lada, kelapa, cengkeh dan kelapa sawit (b) pada dataran tinggi yaitu: kopi, cengkeh, coklat, teh, kayu manis dan kina.

11.5 Pengelolaan Lahan untuk Perladangan

Ladang (Shifting Agriculture) adalah jenis pertanian yang tidak dilakukan oleh petani kecil pada tanah-tanah yang tidak dapat atau belum dijadikan sawah. Ciri-ciri khas dari pengusahaan ladang ini adalah: sebidang tanah di sekitar kampung, belukar atau hutan primer dekat jalan besar,

dibuka dengan menebang pohon-pohon besar dan kecil lalu dibiarkan kering dan dibakar. Pohon-pohon besar ditebang dengan ketinggian 2-3 meter di atas tanah. Penyiangan ini dilakukan pada musim kemarau sekitar bulan Juni sampai Agustus.

Setelah pembakaran, masih terlihat kayu-kayu besar, tunggul dan dahan-dahan berserakan sebagai sisa pembakaran, penanaman dengan sistem tugal yaitu benih padi, jagung dimasukkan ke dalam lobang yang dibuat dengan kayu yang diruncingkan. Jarak tanam tidak teratur, pencegahan erosi tidak dilakukan, sedangkan pemupukan tidak dilakukan. Usaha demikian dilakukan berulang kali sampai hasil yang diperoleh tidak menguntungkan, yang disebabkan menurunnya tingkat kesuburan tanah atau adanya tanaman pengganggu yang tidak bisa diatasi.

Biasanya ladang ini dapat ditanami dua sampai tiga kali musim tanam. Setelah itu tanah ditinggalkan begitu saja dan petani pindah untuk membuka daerah yang baru. Di beberapa daerah seperti di Sumatera Selatan, Lampung dan Jambi, petani mengusahakan tanaman keras seperti karet, kopi dan lada dan tanaman buah-buahan terutama nenas sebagai tanaman akhir setelah padi atau jagung.

Bekas ladang yang ditinggalkan sebagian besar menjadi padang alang-alang, hal ini disebabkan karena kesuburan yang telah merosot akibat adanya erosi. Keadaan ini ditambah lagi dengan adanya padang alang alang yang sering terbakar sehingga mematikan tunas dan kecambah pohon-pohon lainnya. Partumbuhan akar alang-alang demikian rapatnya, sehingga sukar untuk dibersihkan dengan alat-alat seperti cangkul, sabit dan sebagainya.

11.6 Pengelolaan Tanah Sawah Di Indonesia

Hampir sebagian besar daratan Indonesia mendapat curah hujan lebih dari 2.000 mm/ tahun. Bila diperkirakan kebutuhan air untuk sekali musim tanam padi 1000 mm, maka curah hujan yang rendah di Indonesia di bagian timur yaitu Nusa Tenggara sekitar 1.200-1.500 mm/ tahun, masih memungkinkan penanaman padi pada musim penghujan.

Hanya saja tidak lepas dari faktor-faktor lain misalnya kesuburan tanah, topografi dan faktor lingkungan lainnya. Adanya berbagai ekosistem yang dapat diusahakan untuk tanaman padi, maka terdapat bermacam-macam sistem pengusahaan padi di Indonesia yaitu padi sawah irigasi,

sawah pasang surut, sawah rawa lebak, air tawar dan perladangan. Sistem perladangan sudah dikemukakan pada bagian terdahulu.

Di dalam beberapa pustaka istilah “paddy soils” sering digunakan untuk menunjukkan tanah-tanah yang ditanami padi secara pertanian basah atau padi sawah penulis-penulis lain ada yang menekankan istilah khusus untuk menunjukkan tanah-tanah yang mempunyai horizon akumulasi besi dan mangan.

11.6.1 Jenis Pengusahaan Sawah

Menurut Soeprattohardjo dan Suhardjo (1978) luas areal persawahan di Indonesia tahun 1978 sekitar 5,3 juta hektar dengan areal panen setiap tahun bertambah karena adanya pembukaan areal transmigrasi yang membuka areal persawahan dan pembangunan prasarana irigasi untuk pencetakan sawah baru. Selain itu perbaikan dan peningkatan bangunan irigasi yang ada akan memperluas areal panen akibat penanaman lebih dari sekali dalam setahun. Pusat-pusat areal persawahan di Indonesia yaitu Jawa, Bali, Lombok, Sumatera Barat dan Utara, Aceh dan Sulawesi Selatan. Selain itu terdapat pula tempat-tempat di Sumatera Selatan, Lampung, Bengkulu, Kalimantan Selatan dan Barat.

Bila dilihat sebaran penanaman padi di negara-negara lain nampak padi sawah masih ditanam sejauh 49 Lintang Utara (L.U) yaitu sekitar Cekoslowakia dan sampai 35 Lintang Selatan (L.S) di Australia. Dengan demikian, padi dapat digolongkan sebagai tanaman daerah tropik dan subtropik.

Di Indonesia padi masih memproduksi cukup baik di daerah pegunungan dengan ketinggian lebih dari 1.000 meter di atas permukaan laut. Penyebaran padi dapat dilihat pada Tabel 11-2 sebagai berikut ini. Sebagian besar areal persawahan merupakan daerah dataran rendah, tepian sungai besar dan muara-muara.

Tabel 11.2 Luas Penanaman Padi di Beberapa Negara Penghasil Beras

Negara	Luas (kali 10 ⁶ ha)
RRC	31,5
Jepang	3,3
Pakistan	9,9
India	34,8
Indonesia	7,3
Thailand	6,2
Vietnam	4,7
Birma	4,7
Filipina	3,2
Eropah	0,4
Kamboja	2,8
Brazilia	3,7
Columbia	0,3
Madagaskar	0,8
UAR	0,3
Italia	0,1
Oceania	0,04
Asia	114,1
Amerika Serikat	4,5

Sungai seperti yang terdapat di RRC, India, Amerika Selatan, Thailand, Birma merupakan sumber air irigasi untuk padi di negara tersebut. Di daerah pegunungan yang berbukit dengan kemiringan sampai 45 derajat masih dapat diusahakan dengan membangun teras-teras bertingkat seperti yang kita temui di daerah Pariangan (Bandung) dan Pariangan di Sumatera Barat, serta di Bali di Indonesia dan pegunungan-pegunungan Filipina. Macam-macam pengusahaan sawah di Indonesai ditampilkan pada uraian –uraian dibawah ini:

11.6.2 Sawah Irigasi

Sawah irigasi terdapat di daerah –daerah datar sampai pegunungan. Lembah-lembah dan dataran rendah di Jawa, Bali, Lampung, Sumatera Barat, Sumatera Utara, Sumatera Selatan. Sumber air berasal dari bangunan irigasi yang dibangun pada sungai-sungai yang ada. Air dialirkan ke petak-petak persawahan melalui saluran-saluran primer, sekunder, tertier atau quarter yang langsung ke petak-petak persawahan.

Menurut Soeprtohardjo dan Suhardjo (1978) luas sawah irigasi di Indonesia sekitar 3,6 juta hektar (perhatikan Tabel 11.3).

Tabel 11.3 Perkiraan luas areala sawah berdasarkan musim di Indonesia

Daerah	Sawah irigasi (juta ha)			tanpa irigasi* (juta ha)		
	MH	MK	TOTAL	MH	MK	TOTAL
Jawa	2,45	0,98	3,43	0,30	0,20	0,32
Luar Jawa	1,19	0,69	1,88	1,32	0,40	1,72
Indonesia	3,64	1,67	5,31	1,62	0,42	2,04

Sumber : Bimas, 1977

Keterangan : MH = Musim Hujan

MK = Musim Kemarau

(*) = tadah hujan, rawa/lebak, pasang surut, polder

Adanya suber air dari air irigasi menyebabkan penanaman padi dapat lebih dari sekali setahun. Penanaman varietas padi umur pendek menyebabkan areal dapat ditanami lebih dari dua kali setahun. Dengan pemupukan, rata-rata produksi padi sawah irigasi sekitar 3.5 sampai 5.0 ton/ha. Pada tempat tempat tertentu ditemukan hasil padi mencapai 8 – 10 ton/ha.

11.6.3 Sawah Rawa Lebak

Tanah rawa lebak terdapat di dataran rendah sekitar sungai-sungai besar, umumnya terjadi karena luapan air sungai dan genangan air hujan karena daya tampung sungai mampu mngalirkan air. Genangan ini terjadi secara periodik yaitu selama musim pemghujan.

Di musim kemarau tinggi air genangan semakin menurun dan akan kering akhir musim kemarau. Gerakan penurunan air ini dimanfaatkan oleh petani untuk mengusahakan padi sawah lebak secara tradisional.

Pada saat genangan mulai turun petani menyiapkan areal pertanaman dan penanaman dilakukan pada saat tinggi genangan rendah atau kering sama sekali. Penanaman cara ini amat tergantung dengan keadaan alami yang belum dapat dikuasai. Datangnya musim cepat dari biasanya akan menyebabkan kegagalan panen pertanian rawa lebak.

Usaha-usaha intensifikasi yang terutama yaitu penguasaan tata air yang ada di daerah lebak. Usaha ini yaitu pembuatan polder, pintu-pintu air serta saluran-saluran drainase. Terdapat sekitar 1,4 juta hektar tanah rawa lebak di Indonesia yang tersebar di daerah Sumatera Selatan, Lampung dan Jambi.

Pengusahaan padi lebak varietas lokal yang berumur panjang secara tradisional dapat berproduksi 2,0 sampai 2,5 ton/ha. Adanya saluran drainase dan penggunaan pupuk N, P dan K dapat berproduksi sapai 4,0 ton/ha.

11.6.4 Sawah Pasang Surut

Tanah pasang surut terdapat di pantai Sumatera bagian Timur, Kalimantan Selatan dan Barat serta Irian Jaya. Luas tanah pasang surut seluas 39,5 juta hektar. Sebagian dari tanah ini telah diusahakan untuk hasil pertanian terutama padi sawah dan kelapa dengan hasil sedang sampai baik. Sebaliknya, beberapa daerah terdapat pula pengusahaan pertanian yang kurang berhasil. Hal ini menunjukkan adanya hambatan dalam pertumbuhan padi yang menuntut para ahli tanah untuk mengetahui dan mengatasi faktor penghambat tersebut.

Nampaknya sejak berpuluh tahun yang lalu rakyat telah membuka daerah pasang surut menjadi sawah dan kebun kelapa. Petani asal Bugis merupakan pionir pengusaha padi pasang surut di Sumatera dan Kalimantan. Selain itu dari suku Banjar juga telah melakukan usaha yang sama.

Petani tradisional suku Bugis dan Banjar membuka daerah tepian sungai-sungai besar seperti Kapuas Murung, Musi, Batanghari, Inderagiri dan Mahakam. Petani membuat saluran-saluran tegak lurus dengan sungai sepanjang kurang dari 3 km atau 5 km dengan maksud saluran dapat berfungsi sebagai saluran drainase dan pemasukan air ke daerah sawah. Dari saluran-saluran yang dengan lebar sekitar 2 meter ini air asuk pada waktu pasang dan mencuci daerah persawahan pada waktu surut sekitar 1-2 km.

Areal pertanaman pada umumnya sekitar 300-500 meter dari saluran utama ini dan tergantung dengan debit pasang air sungai. Petani menanam padi sekali dalam setahun dan diusahakan pada musim hujan. Produksi yang dicapai sekitar 2-3 ton/ha tanpa penggunaan pupuk dan pengolahan tanah. Petani hanya membat rumput/semak dan menumpuk-numpuk sisa gulma ini.

Adanya usaha pemerintah membuka areal pasang surut menjadi daerah persawahan/ taransmigrasi melibatkan adanya perhatian para ahli tanah dan tata air pada usaha reklamasi tanah pasang surut. Sistem drainase wilayah dikembangkan di daerah ini dengan membuat aluran pembawa, saluran primer, sekunder, tersier.

Saluran pembawa /primer menghubungkan permukaan dua sungai besar yang ada pada jarak yang bervariasi sampai dengan 25 km, saluran-saluran sekunder dibuat tegak lurus. Saluran primer dan saluran sekunder/tersier masuk ke petak sawah petani. Air pasang yang berkualitas lebih baik akan masuk melalui saluran-saluran yang ada dan pada saat surut membawa air genangan yang ada beserta bahan-bahan yang terlarut di dalamnya. Keadaan demikian yang berlangsung lama dengan harapan kualitas tanah akan menjadi lebih baik. Beberapa sistem saluran yang lain yaitu sistem garpu dan polder yang dikembangkan di sebahagian daerah pasang surut Kalimantan Selatan dan Barat.

11.6.5 Sawah Tadah Hujan

Sawah tadah hujan adalah dataran rendah yang bukan daeah pasang surut, merupakan arela cekungan, tepi sungai, pesisir pantai dan dataran rendah lainnya yang tidak mempunyai sumber irigasi lain. Daerah ini tergenang pada musim hujan dengan genangan yang rendah dan memungkinkan untuk menanam padi.

Areal demikian banyak terdapat di pesisir Kalimantan barat bagian Utara, dataran tepian sungai-sungai besar di pedalaman Sumatera. Penanaman dilakukan sekali setahun untuk padi di musim hujan, slebihnya diusahakan tanaman palawija atau berokan. Produksi padi tadah hujan berkisar antara 3-4 ton per hektar. Sebagian telah menggunakan pupuk dan obat-obatan pemberantas hama.

11.7 Pengelolaan Tanah untuk Sawah di Indonesia

Tanah-tanah sawah di Indonesia sebagian besar merupakan tanah-tanah Aluvial, Regosol, Grumosol dan Latosol, sebagian lagi merupakan tanah-tanah Andosol dan mediteran. Sebagian besar tanah-tanah tersebut di atas pada ketinggian kurang dari 500 meter di atas permukaan laut.

Adanya penggenangan yang menyebabkan suasana reduktif terus menerus pada lapisan bajak dan alluvial oksidatif dari besi dan oksida-oksida mangan di subsoil, maka berkembanglah suatu benuk profil tanah. Secara morfologi mempunyai bentuk kompak tipis, lapisan memadas di bawah lapisan bajak dan horizon subsurface dijumpai pada tanah-tanah Latosol, Mediteran, tanah-tanah Gley dan Regosol, tetapi penciri demikian kadang-kadang kurang jelas terlihat pada tanah Andosol, Grumosol dan Aluvial.

Pada tanah-tanah Organosol yang berbahan organik yang tebal penanaman padi sering kurang menampakkan keberhasilan, tetapi pada tanah Aluvial dengan ketebalan bahan organik 10-50 cm nampak lebih menghasilkan. Menurut Soeprattohardjo dan Suhardjo (1978) taksiran penyebaran tanah-tanah sawah di Indonesia seperti pada Tabel 11-4.

Tabel 11.4 Sebaran Luas Tanah Sawah Berdasarkan Jenis Tanah di Indonesia

Jenis tanah	Luas (km ²)	Persen
Aluvial dan tanah Gley	29.000	55,2
Regosol	4.000	7,6
Grumosol	3.500	6,7
Mediteran	2.000	3,8
Latosol	9.000	17,1
Podzolik	3.000	5,7

11.7.1 Tanah Alluvial (Entisol, Inceptional)

Tanah Aluvial adalah jenis tanah terluas yang diusahakan untuk padi sawah di Indonesia. Tanah ini bervariasi dari satu daerah ke daerah lainnya. Tanah Aluvial sering dijumpai dari dataran rendah di sepanjang aliran sungai, rawa air tawar, pasang surut, teras sungai, sampai ke daerah dengan ketinggian mencapai 1000 meter di atas permukaan laut, sepanjang lembah-lembah aliran sungai di pegunungan. Bahan –bahan endapan yang berbeda akan memperlihatkan tanah Aluvial berbeda pula. Beberapa bahan endapan dapat berupa batu kapur, marl, batuan metamorfik, subrecent

marine atau deposit danau, dapat pula berupa abu gunung berapi yang bercampur bahan organik.

Penguasaan padi pada tanah Aluvial biasanya secara padi sawah yang menggunakan air irigasi teknis dan setengah teknis. Sebagian areal lagi diusahakan pada daerah berair genangan yang dalam dan ada pula dengan penggenangan semusim. Adanya sistem irigasi teknis menjadi areal sawah dapat ditanami lebih dari satu kali dalam setahun dengan produksi mencapai 5,0 ton/ha. Penguasaan secara tradisional yang ditandai dengan sederhanya sistem irigasi dan drainase serta cara bercocok tanam yang tradisional produksi berkisar sekitar 2,0 ton per hektar. Luas areal persawahan di tanah Alluvial di Indonesia sekitar 2,9 juta hektar.

Tanah Gley (Aquepts). Tanah Gley juga meliputi tanah Aluvial yang berupa subrecent deposit yang telah mengalami perkembangan profil yang lanjut dibandingkan dengan tanah Aluvial biasa yang ditandai dengan adanya Gley Phenomenon, pada lapisan subsurface. Di dalam gambar diklasifikasikan sebagai Gley Humik rendah, Hidromorfik Kelabu dan Planosol (Jawa Barat, Jawa Tengah, Lampung, Sumatera Utara dan Sulawesi Selatan). Pada daerah-daerah yang mempunyai irigasi yang cukup, maka sebagian besar tanah Gley ini sesuai untuk padi sawah.

Tanah bertekstur ringan bagian atas dan berat bagian bawah, terdapat becak besi dan mangan serta warn gley. Lapisan subsurface berkonsistensi teguh, kadar air pada lapisan bagian bawah lapisan bajak yang terbentuk pada profil padi sawah. Persentase kuarsa lebih tinggi pada lapisan bajak. Tanah gley ini di Indonesia terdapat sekitar 200.000 hektar dengan produksi rata-rata 2-3 ton per hektar.

11.7.2 Tanah Regosol (Entisols, Inceptisols)

Adanya sumber air yang cukup dan keadaan lapangan yang memungkinkan, padi sawah dapat diusahakan pada jenis tanah ini. Tanah Regosol yang bertekstur pasir, jumlah air yang lebih besar dibandingkan tanah-tanah lain untuk penguasaan tanah sawah. Jenis tanah ini terdapat mulai di daerah pegunungan terutama berapi, kipas, Aluvial Gunung berapi muda seperti yang terdapat di Jawa, Bali, Sumatera dan Sulawesi. Tanah Regosol yang berasal dari gunung berapi muda di daerah bercurah hujan tinggi memperlihatkan pH dan kejenuhan basa meningkatkan yang diikuti dengan kandungan N dan K. Kandungan P dan K sangat dipengaruhi oleh tekstur.

Perkembangan profil padi sawah dipengaruhi oleh tekstur, kedudukan lapisan pembajakan, iklim setempat dan dramsi profil bidang tanah. Tanah Regosol yang bertekstur lebih kasar biasanya memperlihatkan suatu padas yang jelas sedang tanah Regosol yang bertekstur halus akan memperlihatkan lapisan bajak seperti fragipan. Kedalaman pembentukan lapisan ini amat tergantung dengan kedalaman pembajakan.

Problem yang sering dihadapi dalam mengadakan irigasi tanah Regosol yaitu besarnya kehilangan air akibat infiltrasi, sehingga membutuhkan jumlah air yang besar. Di musim kemarau sering kali sumber air menjadi tidak mencukupi. Luas tanah Regosol yang diusahakan untuk tanah sawah sekitar 400.000 hektar, dengan rata-rata produksi sekitar 4-5 ton per hektar.

Tanah Grumosol (vertisols). Sebaran bahan induk tanah Grumosol di Indonesia ditemui pada tiga daerah yaitu:

- 1) Dataran rendah kaki bukit yang berbatasan dengan gunung berapi
- 2) Dataran rendah yang berbatasan dengan cekungan dan bukit-bukit kapur.
- 3) Dataran alluvial dengan subrecent deposit dari campuran gunung berapi dan kadang-kadang dari bahan batu pasir dari pantai.

Profil tanah Grumosol berkembang dengan berbagai variasi antara daerah-daerah beriklim agak basah dan daerah-daerah kering. Perbedaan ini dalam hal warna, kedalaman retakan, shickkensides dan konkresi kapur. Bagaimanapun juga semua profil mempunyai gley phenomenon pada lapisan bajak dengan perkembangan profil yang kurang atau tidak jelas. Status kesuburan tanah amat tergantung dengan bahan induk dan iklim. Suatu kecenderungan memperlihatkan bahwa di daerah yang beriklim basah P dan K relatif rendah dan pH lebih rendah dari 6,5. Daerah-daerah yang dengan curah hujan rendah didapati kandungan P dan K lebih tinggi dan netral. Nilai KTK dan kejenuhan basa biasanya diatas 50 m/100 g tanah dan 90 persen. Permeabilitas lambat, keretakan mencapai 50 cm pada musim panas. Kandungan Na dan Mg pada umumnya tinggi.

Penggunaan areal ini amat tergantung dengan ketersediaan sumber air, terutama pada musim panas. Padi banyak diusahakan untuk daerah yang mempunyai sumber air meliputi luas sekitar 310.000 hektar dengan produksi yang bervariasi rata-rata sekitar 3-4 ton per hektar.

11.7.3 Tanah-Tanah Mediteran (Alfisos, Luvisols)

Tanah-tanah miditeran yang diusahakan untuk padi sawah sangat terbatas seperti ditemui di pulau Jawa, Sulawesi dan Nusa Tenggara. Tanah-tanah ini terdapat di kaki bukit dan dataran berombak pada gunung berap[Itua, batu kapur dan bukit-bukit biasanya berasosiasi Gromol sebagai suatu peralihan dari tanah Latosol Coklat Kemerahan ke Grumosol.

Tanah-tanah Grumosol yang diusahakan untuk padi sawah umumnya memperlihatkan sifat-sifat fisika dan kimia yang sama dengan tanah-tanah asal. Bentukan dari tuff vulkan biasanya mempunyai tekstur yang ringan, gumpalan membulat, teguh (kering) atau agak gembur (lembab), mempunyai becak-bacak dari besi dan mangan yang biasanya terdapat konkresi di bawah pada bajak dan mempunyai selaput klei padaped surfaces. pH bervariasi sekitar 6,5-7,0, KTK 25-35 me/ 100 g tanah, kejenuhan basa lebih dari 50 persen.

Kandungan P dan K sangat tergantung dengan umur dan macam tuff. Tanah-tanah yang berkembang dari batuan kapur, tidak memperlihatkan becak-becak besi dan mangan, tekstur berat dengan becak-becak gley, pH dan kejenuhan basa yang tinggi serta kandungan P dan K yang rendah.

Luas areal tanah-tanah Mediteran ini meliputi luas 350.000 hektar dengan produksi sekitar 3-4 ton per hektar di daerah-daerah beririgasi.

11.7.4 Tanah Latosol (Inceptisols dan Ultisols)

Tanah –tanah Ultisols mempunyai variasi yang besar sesuai dengan pengertian tanah Latosol oleh Lembaga Penelitian Tanah (1957). Areal bervariasi dari latosol Coklat Muda (oxic Dystrardepts) ke lebih tua yaitu Latosol merah gelap (tropudults/ Paleudults, USDA 1975). Belum tersedia data tentang penggunaan Oxisols untuk padi sawah. Barangkali karena tanah-tanah Oxisol lebih porous dan rendah kandungan hara.

Sebagian besar tanah-tanah padi ini meliputi Latosol Coklat dan Coklat Kemerahan di Jawa, yang mempunyai curah hujan dan topografi yang melandai serta iklim yang baik. Tanah ini relatif agak subur, mudah diolah dan permeable. Perkembangan profil tanah sawah pada tanah-tanah ini dianggap khusus untuk tanah-tanah padi seperti oleh Koenings (1950) di daerah Bogor dan kemudian oleh Tan (1968) dan Ktuma dan Furukawa (1970). Kecendrungan perubahan dari Latosol Coklat di dataran tinggi menjadi Latosol merah gelap pada dataran yang berkembang dan

lapisan mangan menjadi lebih jelas, membulat, di seluruh profil dengan kemampuan clayskin pada lapisan atas bagian bawah.

Oleh karena jumlah air yang banyak pada Latosol Coklat, pada umumnya diusahakan 3 kali dalam setahun. Sistem irigasi sederhana telah dikembangkan oleh petani dengan produksi sekitar 4 ton per hektar. Latosol Merah Gelap terdapat pada dataran yang umumnya air kurang tersedia penanaman padi dilakukan sekali setahun dengan produksi sekitar 3 ton per hektar. Tanah-tanah latosol di Indonesia diusahakan untuk padi sawah meliputi luas 900.000 hektar.

11.7.5 Tanah-tanah Andosol (Inceptisols, Tropohumuls)

Tanah-tanah Andosol biasanya ditemui pada ketinggian lebih dari 1.000 meter di atas permukaan laut. Keadaan ini sebenarnya sudah amat menyulitkan pertumbuhan padi karena suhu yang rendah dan kurangnya sinar matahari. Keadaan ini mengakibatkan umur tanaman menjadi lebih panjang 6-7 bulan. Lembah-lembah Andosol ini sangat bergelombang dan padi ditanam dengan pematang-pematang/ teras-teras yang sempit seolah-olah sistem anak tangga pada jurang-jurang yang dalam. Hal ini dapat dilihat pada sawah-sawah pegunungan di Jawa Barat, Bali dan Sumatera Utara dan Sumatera Barat. Tidak terlihat profil tanah sawah yang ringan, struktur berbentuk segumpal menyudut, konsistensi gembur, permeabilitas baik dan suhu rendah mengakibatkan proses pelapukan terhambat. Tingkat kesuburan sedang sampai rendah, unsur hara yang rendah. Tanah-tanah ini terdapat seluas 50.000 hektar dengan produksi sekitar 1,5 ton per hektar.

11.7.6 Tanah- tanah Podzolik (Ultisols, Acridisols)

Tanah- tanah Podzolik terdapat pada dataran-dataran di Banten, Lampung, Sumatera Timur, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Aceh dan Sulawesi Tenggara. Bahan induk dari tuff masam atau endapan tertier. Daerah ini dengan topografi berombak sampai rata. Tanah- tanah Podzolik bertekstur pasir dengan pasir kuarsa. Hal ini memperlihatkan suatu perbedaan dengan profil tanah-tanah padi biasa. Hampir tidak terlihat becak-becak dan tidak terdapat padas bajak. Becak-becak gley dan benang-benang merah umum terlihat dengan warna merah kekuningan dan sedikit bintik-bintik besi. pH, KTK dan kejenuhan basa biasanya rendah. Penggenangan sedikit sekali meningkatkan pH tanah. Penggunaan pupuk lengkap amat dibutuhkan untuk tanah-tanah demikian. Luas tanah

ini untuk padi sawah sekitar 300 hektar dengan produksi encapai 3,5 ton hektar dengan produksi mencapai 3,5 ton per hektar pada sawah-sawah beririgasi teknis.

11.8 Beberapa Problema Tanah Sawah (Tanah- tanah masam dan basa)

Derajat kemasaman yang dikehendaki untuk pertumbuhan tanaman padi pada umumnya berkisar dari 4,5 sampai 8,5. Besarnya perbedaan pH ini disebabkan Karena banyaknya varietas yang ditanam oleh petani serta mempunyai respons yang berbeda terhadap pH tanah . Mislanya varietas lokal Bugis dapat tumbuh baik pada PH 4,5

Dalam suasana masam atau sangat masam pertumbuhan tanaman padi akan tertekan, hal ini disebabkan oleh :

- (1) Pengaruh langsung yang merupakan akibat ion H^+ ,
- (2) Terganggunya adsorpsi Ca dan Na,
- (3) Meningkatkan kelarutan dan daya racun dari Al, Fe dan Mn,
- (4) Berkurangnya ketersediaan P dan Mo,
- (5) Berkurangnya kadar basa-basa yang terjadinya defisiensi Ca, Mg dan K serta
- (6) Tidak normalnya faktor-faktor biotik seperti terganggunya siklus N dan aktivitas mycorrhiza.

Demikian juga dalam suasana reduktif pertumbuhan tanaman juga akan dipengaruhi oleh produksi H_2S , mobilitas Fe dan Mn serta produksi asam-asam organik. Setipa jenis tanaman mempunyai toleransi yang berbeda terhadap aluminium. Makin rendah pH tanah kelarutan aluminium akan semakin meningkat. Pada konsentrasi I sampai 2 ppm Aluminium dapat membahayakan dan bersifat racun bagi tanaman padi, gejala keracunan ini ditunjukkan dengan garis-garis kuning diantara pembuluh daun (veins).

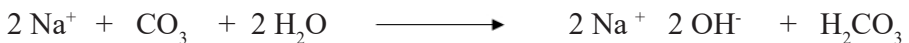
Kemasaman tanah bukanlah reaksi yang bersifat absolute, akan tetapi dapat berubah sesuai dengan awaktu atau akibat pengaruh perlakuan manusia seperti halnya dengan pemupukan dan pengapuran. Umumnya untuk menaikan pH tanah dilakukan pengapuran, penambahan basa-basa tertentu seperti senyawa-senyawa karbonat, oksida-oksida dan hidroksida dari K, Ca dan Mg. akan tetapi pengapuran di pertanaman padi masih merupakan masalah karena bahan kapur sukar didapat dan harganya relatif

mahal. Selain itu masalah lain yang dihadapi adalah pengangkutan dan aplikasinya. Oleh karenanya diperlukan penelitian dan penyuluhan yang berhubungan dengan usaha pengapuran tersebut.

Tanah salin-alkali mempunyai banyak garam netral yang larut dalam air dan cukup Na yang dapat ditukar sehingga mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Walaupun lebih dari 115 persen dari KTK ditempati Na, nilai pH kurang dari 8,5 hal ini disebabkan oleh sifat garam netral yang dijumpai di dalam tanah.

Bila terjadi pencucian, pH tanah akan naik. Kenaikan pH ini tidak akan terjadi bila garam-garam yang terdapat di dalam tanah salin-alkalin adalah garam Ca dan Mg. kenaikan pH yang terjadi disebabkan oleh hidrolisa Na yang dapat dipertukarkan setelah garam-garam netral hilang. Di lapangan hal ini sangat sangat merugikan, karena Na tersebut akan didispersikan oleh koloid mineral yang selanjutnya akan membentuk suatu lapisan kedap air. Dan pada waktu yang bersamaan kelebihan Na akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Pada tanah non salin-alkalin tidak banyak mengandung garam netral. Efek buruk terhadap tanaman semata-mata disebabkan oleh Na dan pH tinggi, pH tinggi ini berasal dari hidrolisa Na karbonat yang berlangsung sebagai berikut:



Kemudian kompleks Na misel juga mengalami hidrolisa



OH^- dapat menciptakan pH 10.

Natrium yang dapat ditukar menduduki lebih besar dari 15 persen kompleks adsorpsi bebas terhidrolisasi, akibatnya pH lebih besar 8,5 bahkan dapat mencapai pH 10. karena sifat deflokulasi Na terhadap tanah maka keadaan fisika tanah menjadi buruk sekali, pencucian tanah yang demikian akan menghasilkan tanah alkali. Tanah alkali yang didominasi oleh Na aktif, memperlihatkan pengaruh buruk melalui tiga cara yaitu :

- (1) pengaruh kaustik akibat kebebasan yang tinggi disebabkan oleh Na- karbonat,
- (2) keracunan bikarbonat dan anion lain
- (3) efek buruk dari Na aktif terhadap metabolisme tanaman.

Pada daerah persawahan pasang surut salah satu problema yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman padi adalah intrusi garam. Intrusi garam terjadi karena proses difusi ataupun peluapan oleh air laut, peristiwa ini terjadi pada pasang maksimum, dimana debit air sungai lebih kecil sehingga air laut masuk ke dalam sungai. Intruksi garam dapat memberikan pengaruh yang menguntungkan atau merugikan terhadap tanah maupun terhadap pertumbuhan tanaman. Sebagai akibat proses difusi dengan penggenangan, sejumlah besar ion-ion yang teredapt dalam air laut seperti Na, K, Ca, Cl dan SO_4 tersebar ke daerah pedalaman.

11.8.1 Pengaruh Intrusi Garam Terhadap Tanaman antara lain:

1. Keracunan Cl⁻ pada tanaman, jika kandungannya lebih besar dari 75 ppm
2. Tekanan osmotik menjadi tinggi, mengakibatkan gerakan air melalui dinding sel ke arah larutan yang berkonsentrasi garam tinggi dan sel mengerut.
3. Menaikan potensial ionisasi sehingga koefisien aktivitas menurun dan menimbulkan gangguan adsorpsi unsur-unsur seperti P, Zn dan Fe.

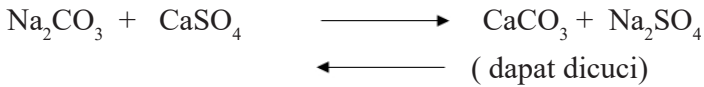
11.8.2 Pengaruh Intrusi Terhadap Tanah yaitu:

- a. Terjadi fiksasi atau adsorpsi dari unsur-unsur hara lain di dalam tanah oleh senyawa-senyawa karbonat serta silika atau oksida Fe, Ca dan Mg.
- b. Gangguan terhadap keseimbangan Ca, Mg, Na dan K di dalam tanah antara lain lebih memantapkan stabilitas agregat.

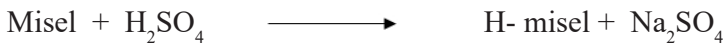
Untuk menghindari pengaruh buruk dari tanah salin dan alkalin sehingga dapat dipergunakan sebagai persawahan atau sebagai areal pertanian lainnya, pada umumnya pengelolaan yang dapat dilakukan adalah (1) eradikasi garam, (2) konversi ke dalam bentuk yang tidak berbahaya dan (3) pengendalian.

Eradikasi bertujuan untuk menghilangkan kelebihan garam dengan cara (i) drainase dalam tanah, (ii) pencucian dan pengkerokan (scraping). Kombinasi antara drainase dan pencucian berupa perendaman setelah drainase gorong-gorong dipasang adalah merupakan cara terbaik.

Konversi, penggunaan gips pada tanah alkali sering disarankan dengan tujuan untuk merubah alkali karbonat kaustik menjadi sulfat. Kemudian disusul dengan pencucian dengan menggunakan air irigasi untuk menghilangkan Na-sulfat, gips bereaksi dengan Na_2CO_3 dan Na yang diadsorpsikan adalah:

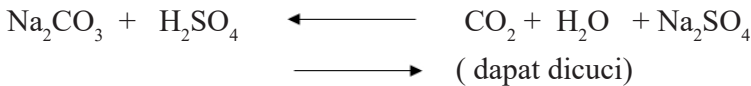


Na-



Na- $\longleftarrow$ (dapat dicuci)

Selain gips dapat digunakan belerang, oksidasi belerang menghasilkan asam sulfat yang bukan saja merubah Na-karbonat menjadi na-sulfat, tetapi juga menurunkan kebebasan. Reaksinya adalah sebagai berikut :



Na-



Na- $\longleftarrow$ (dapat dicuci)

Pengendalian, merupakan usaha untuk mengurangi penguapan, tidak saja akan menghemat air, tetapi juga dapat membantu pergerakan garam ke daerah perakaran. Penggunaan tanaman tanah garam merupakan salah satu tindakan pengelolaan yang paling baik seperti penggunaan tanaman rumput bermuda, rumput garam, milo, kapas dan sebagainya.

11.8.3 Tanah-tanah Gambut

Pertumbuhan padi di tanah gambut selain ditentukan oleh sifat-sifat fisika dan kimia gambut itu sendiri juga dipengaruhi oleh adanya tanah mineral yang ada di bawahnya. Pada tanah gambut tingkat kematangannya sangat ditentukan oleh tingkat dekomposisi bahan organik yang dikandungnya. Dalam hal ini proses pematangan biologi lebih berperan, meliputi aspek dari proses pematangan dan aktivitas jasad mikro. Jasad mikro kebanyakan sebagai bakteri yang katif dalam berbagai reaksi kimia

seperti dalam proses dekomposisi bahan organik. Berdasarkan tingkat dekomposisi inilah maka dikenal bahan organik dengan tingkat fibrik, hemik dan saprik.

Pada tanah gambut, kematangan fisika mengakibatkan penyusutan volume tanah. Tingkat penyusutan tergantung pada sifat dari sisa-sisa tanaman, banyaknya bagian mineral tanah dan tingginya permukaan air tanah. Proses ini disebabkan oleh hidrasi, evaporasi dan penghisapan air oleh akar-akar tumbuhan. bila dehidrasi terlalu kuat, maka pematangan fisika dapat mengakibatkan tanah menjadi kering dan tidak dapat menyerap air kembali.

Makin matang tanah gambut, bobot isi semakin besar dengan kecepatan permeabilitas berlaku sebaliknya. Hal ini disebabkan karena makin matang tanah porositas tanah semakin kecil dibandingkan dengan tanah mineral, penyediaan air pada tanah gambut adalah lebih besar. Hal ini disebabkan oleh kemampuan tanah gambut untuk menahan air adalah lebih besar dari tanah mineral.

Ketebalan bahan organik berperan penting dalam pembukaan dan penguasaan daerah tersebut sebagai areal pertanian. Pengalaman petani di daerah pasang surut diketahui bahwa tanaman padi dapat tumbuh dengan baik pada ketebalan gambut 30-100 cm. Pada tanah pasang surut di Indonesia tebal lapisan sangat bervariasi tergantung dari kondisi setempat. Umumnya mempunyai ketebalan berkisar antara 0-200 cm atau lebih.

Pada umumnya tanah gambut mempunyai tingkat kesuburan alami yang relatif rendah, hal ini disebabkan atau dipengaruhi oleh jenis bahan gambut, tingkat kematangan serta lingkungan fisik dan kimia yang khas dan berbeda dengan tanah mineral. Sifat kimia tanah gambut dicirikan dengan nilai pH dan ketersediaan unsur nitrogen, fosfor dan kalium rendah dan kejenuhan kalsium dan magnesium rendah, diikuti dengan pertukaran Al, Fe, Mn yang cukup tinggi sehingga akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Di Delta Upang, Sumatera Selatan yang terletak di atas tanah bergambut, sebelum di buka untuk areal pertanian kedalaman gambut berkisar antara 30-80 dengan kadar C-organik berkisar antara 23 sampai 57 persen. Sejak dibukanya tanah tersebut untuk Test Farm serta penggunaan yang cukup intensif terjadi penurunan ketebalan gambut. Ketebalan gambut yang ada sekarang berkisar antara 20-40 cm dengan kadar C-organik antara 17-32 persen.

Demikian juga Kalimantan Selatan diperkirakan penurunan permukaan tanah hutan gambut rata-rata antara 0,15 sampai 0,25 meter per tahun. Disini faktor yang mempengaruhi nilai penurunan tanah tersebut ialah kedalaman drainase, tebal gambut itu sendiri dan kandungan air tanah.

Ketebalan gambut akan mempengaruhi produksi tanaman padi, di Test Farm Delta Upang produktifitas tertinggi dicapai pada keadaan ketebalan gambut sekitar 50 cm dalam tahun pertama pembukaan. Kemudian menurun sampai pada ketebalan 20 sampai 40. Namun tidaklah berarti bahwa semakin bertambah, akan tetapi juga belum tentu bahwa produksi tanaman akan meningkat dengan semakin tipisnya atau tanpa gambut.

Tingkat kesuburan alami akan semakin menurun bila pada tanah gambut tersebut dilakukan penggarapan serta penanaman yang terus menerus tanpa diimbangi dengan tindakan pengelolaan tanah yang baik, hal ini dicirikan dengan semakin menurunnya produksi tanaman.

Pada Tabel 11-5 berikut disajikan data pengaruh tahun pengusahaan terhadap produksi pada varietas Pelita I / I dan IR 5 tanpa diadakan usaha pemupukan di Delta Upang Sumatera Selatan. Penurunan produksi padi dari tahun ke tahun nampaknya berhubungan erat dengan penurunan ketebalan gambut dan kandungan bahan organik. Berdasarkan keterangan

Dari petani setempat, diketahui bahwa hasil tersebut akan terus menerus menurun dan sawah terpaksa ditinggalkan apabila telah diusahakan selama 10 tahun. Diduga hal ini mempunyai hubungan erat dengan perubahan kesuburan tanah.

Tabel 11.5 Rata-Rata Produksi Padi Varietas Pelita dan IR 5 yang Diusahakan Di Test Farm P4S Delta Upang Pada Musim Taman 1972/1973 sampai Dengan 1976/1977

Tahun pengusahaan	Produksi gabah kering	
	Pelita I / I (ku/ha)	IR5 (ku/ha)
1972/1973	40,3	38,3
1973/1974	56,0	56,0
1974/1975	43,2	45,3
1975/1976	39,7	42,8
1976/1977	25,0	28,0

Sumber : sabiham, S,F.M. Leiwakabessy dan J. Wiroatmodjo.1979

Berdasarkan keadaan kesuburan tanah gambut dalam hubungannya dengan tindakan pengelolaan maka usaha perbaikan melalui pemupukan perlu mendapat perhatian terutama unsur-unsur yang menjadi faktor pembatas seperti N, P, K dan unsur mikro.

Menurut Driessen (dalam IRRI, 1978), sampai sekarang belum didapatkan rekomendasi pemupukan yang mempunyai kesahihan universal (universal validity) untuk tanah-tanah gambut di daerah tropik. Hal ini disebabkan karena terbatasnya data serta syarat tumbuh tanaman yang berbeda.

Sebagai patokan untuk pemupukan unsur mikro adalah sebagai berikut: 15 kg CuSO_4 , 0,5 kg MgSO_4 dan 15 kg ZnSO_4 , 7 kg MnSO_4 , 0,5 kg Sodium Molibdat dan 0,5 kg Borax per hektar. Untuk unsur hara makro dapat dipergunakan : NPK berturut-turut 50-130 N, 30-70 kg P_2O_5 dan 60-100 kg K_2O per hektar per tahun. Usaha pengapuran jarang dilakukan pada tanah gambut dan tidak kalah pentingnya dari pemupukan. Untuk tanah gambut masam sebagai patokan dapat dipergunakan 8-10 ton MgCO_3 per hektar, akan tetapi jumlah dan harganya mesti diperhitungkan secara ekonomis.

11.8.4 Tanah Organik (HISTOSOL)

Berbagai istilah telah diberikan kepada tanah yang berkadar bahan organik tinggi, misalnya istilah "tanah gambut" (Wirjodihardjo, 1953), "organosol" (Dudal dan Soeprattohardjo, 1961 dan PPT, 1981) dan "Histosol" (FOE-UNESCO, 1974 dan USDA, 1975).

Semua para ahli dari Eropa berpendapat bahwa tanah organik tidak akan ditemui di daerah tropika karena bahan organik dari tumbuh-tumbuhan akan cepat terdekomposisi dan tidak akan terakumulasi di daerah beriklim panas seperti Indonesia. Akan tetapi dugaan ini ternyata tidak benar, karena Maens dan Vlaardingem pada tahun 1885 mengemukakan adanya tanah yang serupa di rawa Pening, Ambarawa dan tahun 1893 diterbitkan hasil ekspedisi dari Yzerman di Sumatera yang melaporkan adanya tanah organik di daerah Siak. Tahun 1909 Potonier dan Koorders mengumumkan bahwa di Indonesia telah ditemukan tanah organik di beberapa tempat. Hal ini sekaligus membantah dugaan yang mengatakan bahwa di daerah tropis tidak mungkin terbentuk tanah dengan kadar bahan organik tinggi.

Setelah itu, ditemukan tanah organik pada berbagai tempat di Sumatera, Malaysia, Filipina, Suriname dan Afrika. Kemudian berkembanglah penyelidikan-penyelidikan terhadap berbagai sifat tanah ini.

11.8.4.1 Proses Pembentukan Tanah Organik (Gambut)

Berdasarkan kadar bahan organik, tanah dapat dibedakan dalam dua kelompok, yaitu (1) tanah mineral, yang berkadar bahan organik yang berkisar dari sedikit sampai 30 persen. Tanah-tanah berkadar bahan organik tinggi disebut tanah gambut (Wirjodihardjo, 1953) atau organosol (Dudal dan Soeprattohardjo, 1961 dan PPT, 1981) atau histosol.

Tanah organik terbentuk karena pengaruh iklim dan curah hujan tinggi dan sebenarnya cukup merata sepanjang tahun dan topografi tidak rata, tetapi cekung, sehingga memungkinkan terbentuknya depresi-depresi. Sebagai akibat tipe iklim serupa itu, tidak terjadi perbedaan yang menyolok pada musim hujan dan kemarau. Vegetasi hutan berdaun lebar dapat tumbuh dengan baik, sehingga menghalangi isolasi dan kelembaban yang tinggi dapat dipertahankan dilingkungan tersebut. Pada daerah cekungan dengan genangan air terjadi akumulasi bahan organik. Hal ini disebabkan suasana anaerob menghambat oksidasi bahan organik oleh jasad renik, sehingga proses humifikasi akan terjadi lebih nyata dari proses mineralisasi. Penguraian bahan organik hanya dilakukan oleh bakteri-bakteri anaerob, cendawan dan ganggang. Kecepatan dengan komposisi ini dipengaruhi oleh jenis dan jumlah bakteri anaerob, sifat vegetasi anaerob, sifat vegetasi asal, iklim, topografi dan sifat kimia air nya.

Akumulasi bahan organik atau pembentukan gambut merupakan proses pengkarbonan, karena relative bersifat mempertinggi kadar C dalam tanah bila dibandingkan dengan kadar N, H dan O. dalam proses ini kan terjadi hal sebagai berikut :

- (a) Perubahan komposisi bahan-bahan larut serta pengakutannya,
- (b) Bagian utama tumbuh-tumbuhan berupa Sellulosa dan hemi sellulosa akan diuraikan perlahan-lahan,
- (c) Akumulasi bahan bagian bagian tumbuh-tumbuhan yang resisten seperti lignin, dammar, gabus dan kutin yang akan mempertinggi kadar C tanah. Lignin mengandung 60-63% C, sellulosa 40-46% C dan
- (d) Semakin aktifnya kehidupan jasad renik, setelah mereka memperoleh energi dari penguraian dari sellulosa dan hemi sellulosa. Kegiatan ini akan menghasilkan protein dan dengan demikian berkembangnya jumlah bakteri, kadar N dalam gambut akan meningkat pula sehingga lebih banyak dari kadar N dari tanaman hidup.

Proses permulaan sehingga terbentuknya gambut dinamakan **“paludisasi”** yaitu proses geogenik (bukan pedogenik), yang dalam hal ini berupa akumulasi bahan organik mencapai ketebalan lebih 40 cm. pada keadaan ini akumulasi bahan organik tersebut dapat dianggap suatu proses pembentukan bahan induk darimana tanah gambut kemudian terbentuk. Agar tidak membingungkan dalam menggunakan istilah, sebaiknya dipakai istilah yang seragam yaitu tanah yang terbentuk adalah tanah gambut (bukan tanah organik), bahan induknya adalah bahan organik (bukan bahan gambut). Dalam proses bentukan dan perkembangan tanah gambut selanjutnya bahan induk dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: kelembaban, susunan bahan organik, kemasaman, aktivitas jasad renik dan waktu.

Menurut Jongerius dan Pons (1962), proses pembentukan tanah gambut dimulai setelah udara dapat masuk ke tubuh bahan induk sehingga memungkinkan kegiatan jasad renik. Hal ini terjadi segera setelah daerah tersebut mengalami perbaikan drainase. Tanah gambut yang belum didrainase (masih berupa rawa) mempunyai profil AooG (pons, 1960). Dalam proses pedogenesis selanjutnya terbentuklah horizon A dan C, dari horizon G tersebut. Proses ini meliputi tiga tingkatan yaitu (1) pematangan fisika, (2) pematangan kimia, dan (3) pematangan biologi (moulding).

Pematangan fisisk terutama mengakibatkan penyusutan volume tanah. Tingkat penyusutan dipengaruhi oleh sifat sisa-sisa tumbuhan, jumlah bahan mineral yang terdapat dan tingginya permukaan tanah. Proses ini disebabkan oleh dehidrasi, evaporasi dan penghisapan air oleh tanaman. Hilangnya kadar air yang ekstrim dapat menyebabkan kekeringan searah (irreversible dying), yang mengakibatkan bahan organik tidak dapat menghisap air lagi. Bahan organik, terutama yang terdapat pada lapisan atas berubah menjadi butiran seperti pasir, yang disebut pasir semu. Tanah gambut serupa ini produktivitasnya sangat rendah, bahkan tanaman tidak dapat tumbuh di atasnya.

Pematangan kimia merupakan proses dekomposisi lengkap atau sebagai bagian terbentuknya senyawa-senyawa yang lebih sederhana, yang kemudian bersatu kembali membentuk bahan organik baru yang resisten terhadap perombakan yang disebut humus. Sedangkan bahan organik yang sedang atau mengalami perombakan yang disebut muck, dimana sisa-sisa tumbuhan penyusunnya tidak dapat lagi disidik asal botaninya. Proses pematangan kimia ini akan berlangsung baik bila kejenuhan air semakin berkurang, Diana warna berunaha dari coklat kemerahan menjadi hitam atau gelap.

Pematangan biologi merupakan proses penghancuran bahan-bahan kasar dan pencampuran yang dilakukan oleh jasad renik, yang terjadi setelah proses desintegrasi. Proses ini berjalan secara nyata setelah perbaikan drainase, dimana jasad renik dapat aktif dengan tersedianya oksigen. Tentang pembentukan gambut di Indonesia. Polak (1941) mengemukakan hipotesis sebagai berikut.

Pada zaman Pleistosen permukaan laut kran lebih 60 meter di bawah permukaan laut sekarang. Pada waktu itu bagian Timur Sumatera, Malaysia, bagian Barat dan Selatan Kalimantan dihubungkan oleh Sunda-Plat. Kemudian selama zaman Holosen daerah-daerah ini secara berangsur-angsur digenangi air laut. Naiknya permukaan laut menyebabkan naik pula permukaan air tanah di daerah pedalaman, maka lokasi dimana air laut tidak dapat lagi ke daratan akan terbentuk rawa. Pada cekungan atau depresi-depresi proses akumulasi bahan organik yang berasal dari vegetasi rawa sehingga terbentuklah gambut. Pada depresi yang dalam secara berangsur-angsur terjadi penimbunan bahan organik, sehingga akan terbentuk gambut tebal.

Luas tanah yang mempunyai deposit gambut meliputi sekitar 0,8 persen dari luas tanah di dunia. Penyebaran ini menduduki tempat kesepuluh atau terakhir dari ordo-ordo yang disusun menurut sistem Taksonomi Tanah (USDA, 1975). Faktor-faktor pembentuknya berupa curah hujan dan kelembaban tinggi dengan vegetasi berupa rumput dan semak rawa atau pohon-pohon yang suka pada tanah basah. Di daerah pantai vegetasi yang menonjol adalah mangrove.

Sekitar 60 persen dari deposit gambut dunia berada di Rusia, Kanada mempunyai areal gambut seluas 136 juta hektar, sebagian belum diusahakan. Di Amerika Serikat, Jerman, Belanda, Norwegia, Swedia, Polandia, Irlandia, Inggris, Skotlandia dan Indonesia penggunaan gambut dan hasilnya secara ekonomis telah diusahakan.

11.8.4.2 Penyebaran Tanah Organik

Di Indonesia tanah gambut terutama dijumpai di pantai Timur Sumatera, bagian Selatan dan Barat Kalimantan, bagian Barat Sulawesi, bagian Utara, Barat dan Selatan Irian Jaya, serta beberapa tempat di pulau Jawa. Luas tanah ini menurut Polak (1952) sekitar 16,5 juta hektar. Tanah gambut (organik) menurutnya adalah tanah dengan ketebalan organik 100 cm atau lebih, bila sudah diusahakan sebagai tanah pertanian tebalnya 50

cm atau lebih. Apabila kita pakai sistem yang dianut Taksonomi tanah (USDA,1975) dalam menetapkan tanah Histosol, maka diperkirakan luas tanah ini di Indonesia sekitar 27 juta hektar.

11.8.4.3 Sifat dan Ciri Tanah Organik

Sebelum membicarakan sifat dan ciri dari tanah gambut, terlebih dahulu dikemukakan batasan/ definisinya menurut beberapa klasifikasi.

FAO-UNESCO menyebutnya tanah histosol adalah tanah dengan horizon O setebal 40 cm atau lebih (dapat 60 cm atau lebih jika bahan organiknya didominasi oleh **Sphagnum sp** atau lumut atau mempunyai berat isi kurang dari 0,1. tebal lapisan bahan organik ini dapat terus menerus dari permukaan atau kumulatif pada lapisan tanah teratas setebal 80 cm. Ketebalan horizon O boleh kurang dari 40 cm, apabila menumpang langsung di atas batuan atau bahan fragmental yang ruang antara (intertices) terisi oleh bahan organik. **Taksonomi tanah**, menyebutnya dengan istilah tanah **Histosol** dengan ketentuan seperti berikut:

- (a) Mempunyai bahan organik yang meluas dari permukaan tanah sampai salah satu dari keadaan dibawah ini:
 1. Tebal sampai kedalaman 10 cm atau lebih sampai kontak litik atau paralitik, asalkan ketebalan bahan organik lebih dari dua kali dari tanah mineral yang terdapat diatas kontak tersebut. Kontak litik (lithic contact) adalah batas antara tanah dan batuan yang padat dan keras. Batuan tersebut tidak harus utuh, tetapi boleh retak-retak yang jumlahnya sedikit.
 2. setiap kedalaman, jika bahan organik terletak diatas bahan fragmental (batu, kerikil) yang celah-celahnya diisi bahan organiknya terletak diatas kontak litik atau paralitik,
- (b). Lapisan atas berupa bahan organik yang tebalnya 40 cm atau lebih atau pada kedalaman sampai 80 cm yang secara kumulatif tebal lapisan tanah mineral kurang dari 40 cm.

Pusat Penelitian Tanah, menyebutnya dengan jenis tanah organosol, adalah tanah yang mempunyai lapisan/ horizon H, setebal 50 cm atau lebih (dapat 60 cm atau lebih bila terdiri dari bahan Sphagnum atau lumut atau jika berat isinya kurang dari 0,1) dari permukaan. Dapat juga kumulatif ketebalan 50 cm di dalam lapisan sampai 80 cm dari permukaan. Tebal

horizon H dapat kurang dari 50 cm, kalau terletak di atas batuan padu atau bahan fragmental yang terisi bahan organik dalam ruang antaranya.

Sifat dan ciri dari gambut dapat ditentukan berdasarkan sifat fisika dan kimianya. Adapun sifat dan ciri tersebut antara lain: *warna cokelat tua sampai hitam, bobot isi rendah, kapasitas menahan air tinggi, struktur bahan organik berkayu atau berserat, Sifat Koloidal, Reaksi Masam, Sifat Penyangga tinggi, Kadar unsur hara N tinggi, tetapi P dan K rendah.*

Warna. Gambut bewarna coklat tua sampai kehitaman. Meskipun bahan asalnya bewarna kelabu, coklat tau kemerah-merahan, tetapi setelah mengalami dekomposisi muncul senyawa-senyawa humik bewarna gelap. Pada umumnya, perubahan yang dialami bahan organik kelihatannya sama dengan yang dialami bahan organik kelihatannya sama dengan yang dialami oleh sisa bahan organik tanah mineral walaupun pada gambut aerasi terbatas.

Berat Isi. Ciri kedua yang terpenting adalah ringannya tanah gambut jika kering. Berat isi tanah organik bila dibandingkan dengan tanah mineral adalah rendah, yaitu 0,2-0,3 merupakan nilai umum bagi tanah organik yang telah mengalami dekomposisi lanjut. Suatu lapisan oleh tanah mineral yang telah diusahakan berat isinya adalah berkisar 1,25-1,45.

Kapasitas menahan air. Ciri ketiga yang penting adalah kapasitas menahan air yang tinggi dari tanah gambut. Mineral kering dapat menahan air 1/5-2/5 dari bobotnya, sedangkan gambut dapat 2-4 kali dari bobot kerongnya. Gambut lumut yang belum terdekomposisi sedikit akan menahan air lebih banyak, sekitar 12 atau 15 bahkan 20 dari bobotnya sendiri. Dengan tingginya kemampuan menahan air ini janganlah kita beranggapan bahwa tanah gambut mempunyai penyediaan air untuk tanaman melebihi kemampuan tanah mineral. Berdasarkan berat ini yang rendah, sangat merugikan karena suatu lapisan gambut tertentu pada titik kelembaban optimum akan memberikan air kepada tanaman sedikit lebih banyak daripada tanah mineral.

Struktur. Ciri keempat yang penting dari suatu tanah gambut yang bahan organiknya berkayu atau berserat adalah keadaan fisiknya baik. Bahan organik yang telah terdekomposisi sebagian bersifat koloidal dan mempunyai kemampuan adsorpsi tinggi, kohesi dan plastisitasnya agak rendah. Suatu tanah berbahan organik yang baik adalah porius/ mudah dilewati air, terbuka dan mudah diolah. Ciri-ciri ini sangat diinginkan

terutama untuk tanaman sayur-sayuran. Akan tetapi, selama waktu kering, gambut ringan dan lepas, yang strukturnya telah dirusak oleh pengolahan, mudah diterbangkan oleh angin dan dapat merusak tanaman. Gambut dapat terbakar bila kering. Kebakaran ini sukar dimatikan dan dapat berlangsung lama serta ini sukar dimatikan dan dapat berlangsung lama serta merusak areal yang luas.

Sebagai akibat dari kemampuan yang besar untuk menahan air, maka apabila terjadi perbaikan drainase dimana bersamaan dengan pengurangan kadar air akan terjadi pemadatan struktur gambut. Hal ini akan menurunkan muka tanah, kalau ada tumbuhan, maka akarnya akan muncul di atas permukaan tanah. Disamping itu drainase yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya pengeringan yang cepat, sehingga merusak kemampuan menyerap air, seperti yang telah dikemukakan pada pematangan fisika.

Sifat Koloidal. Sifat ini jauh lebih jelas diperlihatkan oleh tanah gambut daripada tanah mineral. Luas permukaan dua hingga empat kali daripada mineral *klei montmorillonit* dan sejalan dengan itu kapasitas tukar kation lebih besar.

Reaksi Masam. Reaksi tanah gambut, seperti juga tanah mineral, dikendalikan oleh kompleks adsorpsi dengan persentase kejenuhan basa, sifat dari misel dan perbandingan kation logam yang memenuhi merupakan faktor-faktor penyebab kemasaman tersebut. Pada umumnya, kompleks koloid organik bila dijenuhi hydrogen akan mineral pada keadaan sama, koloid organik lebih masam dari koloid mineral *klei*. Jadi dengan demikian tanah gambut cenderung bereaksi lebih masam dari tanah mineral pada kejenuhan basa yang sama. Disamping itu dekomposisi bahan organik akan menghasilkan asam-asam organik yang terakumulasi pada tubuh tanah, sehingga akan meningkatkan kemasaman tanah gambut.

Sifat Penyangga. Sejak sifat penyangga tanah ditentukan oleh besarnya kapasitas tukar kation, maka umumnya tanah gambut memperlihatkan daya resistensi yang nyata terhadap perubahan pH, bila dibandingkan dengan tanah mineral. Akibatnya, lebih banyak belerang atau kapur yang diperlukan untuk perubahan pH pada tingkat nilai yang sama dengan tanah mineral. Demikian juga halnya terhadap pemupukan, dosis pupuk diperlukan lebih tinggi dari tanah mineral.

Kadar unsur hara. Kadar N dan bahan organik tinggi pada tanah gambut, yaitu juga mempunyai perbandingan C dan N tinggi, yaitu 20 atau lebih. Sedangkan tanah mineral yang telah diusahakan hanya antara 10-12. Akan tetapi, meskipun perbandingan C dan N tinggi, memperlihatkan proses nitrifikasi yang sedang aktif. Hal ini dapat dijelaskan atas dasar banyaknya N, cukup Ca dan tidak aktifnya sebagian karbon dari bahan yang resisten, sehingga kegiatan organisme heterotropik yang bersaing tidak terlalu dirangsang. Dengan demikian organisme yang aktif dalam nitrifikasi memperoleh kesempatan melakukan kegiatannya. Kadar P dan K pada gambut umumnya lebih rendah dari tanah mineral. Oleh sebab itu tanaman yang ditanam sangat respons terhadap pemupukan P dan K. juga dosis yang diperlukan lebih tinggi.

Untuk tanah gambut yang mendapat aliran air dari daerah kaya kapur mempunyai kation basa yang besar, juga pada gambut yang berkayu. Akan tetapi tidak demikian halnya dengan tanah gambut yang terdapat di Indonesia yang umumnya digenangi air meskipun kation dan merupakan gambut tidak berkayu.

Kadar belerang pada tanah gambut biasanya tinggi. Hal ini disebabkan jaringan tanaman mengandung sejumlah S, sehingga deposit gambut akan berbanding lurus dengan kadar S. apabila terjadi oksidasi S yang aktif, maka akan terbentuk sulfat. Belerang tidak menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman pada tanah gambut.

Kebanyakan unsur-unsur hara mikro dalam tanah berasal dari hasil hancuran iklim mineral-mineral. Tanah gambut adalah tanah yang miskin mineral, oleh sebab itu ia cenderung mempunyai kadar unsur mikro yang rendah.

Menurut Polak (1914) dalam Wirjodihardjo (1953) tanah gambut di Indonesia dapat dibedakan atas (1) gambut ombrogen, (2) gambut topogin dan (3) gambut pegunungan.

Gambut ombogin. Luas penyebaran tanah gambut ini di Indonesia meliputi areal 16,5 juta hektar diantaranya seluas 7,5 juta hektar terdapat di Sumatera. Tebal lapisan bahan organiknya berkisar 0,5- 16 meter terbentuk dari sisa-sisa vegetasi hutan rawa yang membusuk menjadi bahan yang berwarna kecoklatan. Berdasarkan susunan kimianya umumnya gambut ini termasuk golongan oligotropik, tetapi ada pula yang termasuk mesotropik, seperti yang terdapat di Kalimantan Selatan. Sifat-sifat

lainnya adalah : jenuh air, bereaksi masam, miskin bahan mineral terutama kapur, air bewarna hitam kecoklatan, berbentuk bikonveks dan terdapat rhizopoda. Kadar N, P dan K cukup tinggi dan tergolong mesotropik, tetapi unsur hara ini hanya sebagian saja yang tersedia bagi tanaman dan reaksi bagi tanaman dan reaksi yang masam seta keadaan yang anaerobic menyebabkan gambut ini cenderung tergolong oligotroropik.

Gambut topogin . gambut ini terbentuk dalam depresi topografi di rawa, terutama terdapat di Jawa. Berbeda dengan pembentukan gambut origin, gambut topogin ini penyebarannya tidak luas, terdapat hanya di beberapa tempat. Misalnya, rawa Lakbok, rawa Pening, Jatiroto, Sumatera Timur (Deli), Kalimantan Selatan dan Pangandaraan.

Menurut Mohr (1935) air yang kaya bahan kapur dan abu kepundan muda akan menghalangi pembentukan gambut, karena reaksi yang alkalis akan mempergiat kehidupan bakteri. Dengan demikian akumulasi bahan organik tidak akan terjadi. Ternyata pendapat ini tidak dibenarkan oleh kenyataan, misalnya kadar CaO pada gambut Rawa 6,0 serta dibawah lapisan gambut ditemukan lapisan abu kepundan setebal 40-50 cm.

Gambut pegunungan. Menurut Vageler (1930) dalam Wirjodihardjo (1953) gambut pegunungan di daerah khatulistiwa hanya terbentuk di daerah yang tinggi letaknya, dimana iklim hampir sama dengan iklim daerah sedang dan bervegetasi Sphagnum sp. Pendapat ini didukung oleh para ahli lainnya, misalnya Omogrove (1930) menemukan gambut pegunungan di dataran tinggi Dieng.

Gambut ini terbentuk pada depresi-depresi daerah pegunungan yang gunung-gunungnya tidak aktif lagi. Pada puncak gunung tersebut sering dijumpai kawah yang merupakan rawa, seperti yang diketemukan pada puncak Papandayan, Pangrango dan lain-lainnya. Vegetasi rawa yang dijumpai berupa Hydrophyta dan Cyperaceae berbeda dengan yang terdapat di pegunungan Alpina (Eropa), dimana Sphagnum sp, merupakan bahan utama pembentuk gambut, sedangkan di gunung Papandayan dan dataran tinggi Toba vegetasi ini tumbuh langsung pada tanah mineral dengan tidak membentuk gambut. Tidak terakumulasinya bahan Sphagnum di daerah Tropika terutama disebabkan rendahnya kadar uap air di udara, walaupun rendah. Berdasarkan kenyataan ini, maka gambut pegunungan di Indonesia tidak terbentuk dari bahan Sphgnum, tetapi dari vegetasi hutan rawa tropika.

Tanpa menghiraukan tingkat dekomposisi bahan organik, gambut dibedakan berdasarkan bahan induknya, yaitu; (1)gambut endapan, (2) gambut berserat dan (3) gambut berkayu. Pembagian serupa ini umumnya digunakan oleh para ahli untuk gambut yang terdapat di daerah sedang.

Gambut endapan. Gambut ini biasanya diakumulasikan diperairan dalam dan dengan demikian dijumpai di bagian bawah dari suatu profil organik. Kadang-kadang ia tercampur dengan gambut dari bahan induk lainnya yang lebih dekat dengan permukaan. Gambut endapan dibentuk dari bahan tanaman yang mudah dihumunifikasikan. Berdasarkan sifat bahan induknya, gambut ini sangat koloidal, padat dan bersifat seperti karet. Kapasitas menahan air tinggi, mungkin empat sampai lima kali bobot keringnya. Air yang ada diikat kuat, dengan demikian gambut ini mongering searah. Bila kering sekali ia sukar mengisap air kembali dan tetap keras serta berada dalam bentuk bongkah. Gambut ini mempunyai sifat fisika jelek, sehingga produktivitasnya rendah. Oleh sebab itu bila ia berada pada lapisan olah, tanah tersebut tidak digunakan untuk usaha pertanian.

Gambut Berserat. Sejumlah gambut ini ijumpai di rawa bersama dengan gambut endapan. Gambut berserat mempunyai kapasitas menahan air tinggi dan memperlihatkan tingkat dekomposisi yang berbeda-beda. Mereka berbeda satu sama lain terutama disebabkan oleh sifat fisika serat, ada yang berserat halus dan ada yang berserat kasar tergantung dari egetasi bahan asalnya. Apabila bahannya terdekomposisi, kan dihasilkan gambut yang baik untuk pertanian, meskipun tingkat produktivitas dibedakan oleh vegetasi asal. Gambut yang berasal dari lumut bersifat masam dan rendah kadar abu serta N. Sedangkan gambut yang berasal dari *lattifolia* dan *Angustifolla* agak masam dan mempunyai keseimbangan harayang baik. Gambut berserat dijumpai pada lapisan atas dari profil dan biasanya berada di atas gambut endapan, bila gambut semacam ini ada. Akan tetapi bila keadaan berfluktuasi gambut endapan dapat juga berada diantara lapisan gambut berserat, bahkan makin dekat dengan permukaan.

Gambut berkayu. Gambut ini bewarna coklat atau hitam bila basah, warna ini tergantung dari tingkat dekomposisi. Ia lepas dan terbuka bila kering atau agak lembab dan bersifat tidak berserat. Deposist baru seringkali dapat terlihat dengan jelas berbentuk granuler. Dengan demikian ia mudah dibedakan dengan dua tipe gambut yang telah disebutkan terdahulu, terkecuali kalau telah terjadi dekomposisi lanjut.

Gambut berkayu terbentuk dari sisa-sisa pohon, semak atau vegetasi lainnya yang tumbuh di rawa. Meskipun ia berbentuk dari berbagai macam jenis tumbuh-tumbuhan sebagai sumber bahan induknya, gambut ini agak homogen kecuali terdapat campuran tanah yang cukup bernilai untuk usaha pertanian, terutama sayur-sayuran.

11.8.5 Tanah Sulfat Masam

Tanah sulfat masam dan sulfat masam potensial juga dikenal sebagai Cat-Calay. Tanah- tanah ini meliputi luas berjuta-juta hektar di daerah tropik dan subtropika. Umumnya terbentuk dari endapan marin di daerah setuari dan biasanya mengandung senyawa-senyawa sulfida yang mempunyai potensi kemasaman yang tinggi.

Tanah-tanah sulfat masam mempunyai kandungan bahan organik tinggi dan dalam keadaan reduksi mempunyai pH 6,0 sampai 7,5. Dalam keadaan oksidasi mempunyai derajat kemasaman di bawah pH 3,5 untuk Entisol dan dibawah pH 4,0 untuk Inceptisol. Tanah-tanah sulfat masam secara fisiografi dan iklim dan dapat dikembangkan untuk tanaman padi, terutama dalam kondisi reduksi. Sebagai contoh adalah sebahagian tanah sulfat masam potensial di Indonesia, Thailand dan Vietnam telah diusahakan untuk tanaman padi.

11.8.5.1 Proses Pembentukan Tanah Sulfat Masam

Tanah-tanah sulfat masam dan sulfat masam potensial atau Cat-Clay adalah tanah-tanah yang pada umumnya berasal dari endapan marin yang terdiri dari senyawa-senyawa sulfida atau polysulfide mengalami oksidasi akan memberikan kemasaman tinggi. Tanah- tanah ini antara lain tergolong Order Entisol, Organosol dan Inceptisol.

Pedogenesis sendimen marin dan fluviatil serta tanah-tanah gambut biasanya mempunyai batas-batas yang baur karena peralihan-peralihan yang sangat perlahan sebagai akibat fisigrafi dan relief yang praktis datar dan proses kimia yang labat. Pengaruh-pengaruh fisika, maka seperti proses-proses pnguraian dan pengendapan, reaksi-reaksi redoks, reaksi adsorpsi yang terutama berkaitan dengan Fe, S, bahan organik daln lain-lain atau karena drainase buatan.

Tanah sulfat masam dan sulfat masam potensial terbentuk di daerah-daerah dimana sungai-sungai mengalir dan dijumpai endapan-endapan fluvial yang dibawa oleh sungai-sungai tersebut yang selanjutnya

menyusun levee sungai. Tekstur endapan ini biasanya halus oleh karena fraksi-fraksi yang kasar sudah diendapkan di daerah aliran sebelah atas. Endapan-endapan marin dan sungai inilah merupakan bahan induk tanah-tanah sulfat masam di daerah ini.

11.8.5.2 Penyebaran Tanah Sulfat Masam

Tanah-tanah sulfat masam dan sulfat masam potensial tersebar antara lain di daerah tropika dan subtropika yang meliputi luas lebih dari 15 juta hektar. Dari luas tersebut hampir 10 juta hektar terdapat di Asia Selatan dan Tenggara, seperti yang tertera pada Tabel 11-6 dan gambar 11-1.

11.8.5.3 Sifat Dan Ciri Tanah Masam

Tanah sulfat masam terbentuk dari endapan marin yang terdiri dari sulfida atau polysulfida yang kaya pirit dan miskin kalium. Oleh karena itu sifat dan ciri tanah sulfat masam sangat ditentukan oleh keadaan pembentukan serta oksidasi daripada pirit.

Tabel 11.6 Penyebaran Tanah Sulfat Masam di Asia Selatan dan Tenggara

No	Negara (lokasi)	Luas (juta hektar)
1	Bangladesh	0,66
2	Burma	0,81
3	India	0,63
4	Indonesia	2,00
5	Republik Khmer	1,50
6	Malaysia	0,85
7	Thailand	1,30
8	Vietnam	2,05
Total		9,8

11.8.5.4 Pembentukan Tanah Sulfat Masam (Pirit)

Daerah estuary yang mengalami interkasi antara air sungai tawar dengan air laut, sudah sewajarnya menjadi daerah pertanian penting. Akan tetapi daerah ini juga sering merupakan tempat optimum untuk pembentukan sulfida-sulfida. Keadaan vegetasi, fisiografi, iklim dan fauna turut membantu pembentukan pirit.

Fisiografi menentukan pembentukan Lumpur yang mengandung sulfide. Daerah levee sungai yang berelevansi, tidak mengandung sulfida akibat keadaan yang non reduktif dan kaya basa. Biasanya mikro relief yang menentukan akumulasi air oseanik yang mengandung S dan keadaan reduktif yang memberikan kemungkinan reduksi sulfat dari air oseanik dan dari bahan penting (1973).

Vegetasi mangrovo dan nipah memegang peranan penting dalam pembentukan pirit di daerah estuari, karena perakarannya dan produksi priernya yang tinggi sehingga ada persediaan bahan organik untuk reduksi sulfat leluasa. Pengaruh khusus dari jenis mangrove tertentu dan nipah mungkin berhubungan dengan pembentukan gambut dari akar halus dan bagian tanaman di bawah permukaan tanah yang merupakan tambahan sumber S dan energi pembentukan pirit. Tanah-tanah sulfat biasanya dapat dikenal dengan vegetasi khas seperti: *Phragmites*, *Cyperus*, *Fimbristylis*, *Melaleuca*, *Melastoma* dan tanaman sebangsanya yang merupakan bagian tanah-tanah yang tidak subur.

Iklim mungkin berperan dalam pembentukan pirit dalam hubungannya dengan produksi bahan organik. Tanah-tanah sulfat di daerah tropik bisanya terdapat di daerah iklim basah semusim. Dengan demikina dapat tercipta keadaan aerobik dan menghasilkan tanah-tanah yang kaya sulfat dengan pH rendah. Dalam musim hujan hasil oksidasi pirit dapat tercuci ke dalam sungai-sungai dan merpakan kehidupan ke dalam sungai-sungai dan merupkan kehidupan fauna perairan dan mengflokulasi sediment-sedimen sungai (Bloomfield dan Coulter, 1973) . Fauna seperti kepiting dan udang Lumpur dapat membuat lobang-lobang dalam tanah yang digali dan ditimbun menjadi gunung-gunung kecil. Gunung-gunung ini dibeberapa tempat, terutama di bawah vgetasi nipah dan mangrove dapat menutupi sbesar 30-60 persen dari permukaan tanah. Tanah galian ini biasanya mengandung pirit yang kemudian teroksidasi menghasilkan tanah sulfat masam. Senyawa-senyawa belerang yang banyak dijumpai di daeah pasang surut berasal dari laut. Kandungan unsur ini dalam air laut sangat tinggi, berkisar antara 885 granit, basalt ataupun shale. Proses pembentukan sulfida dimulai dari akumulasi sulfat yang timbul oleh proses-proses reduksi menjadi sulfide-sulfida dan S- elementer. Proses ini dilakukan oleh bakteri-bakteri *sulfovibrio* dan *Desulfolmaculum* dalam suasana reduksi pada pH 7-8,5 dan kehadiran bahan organik. Tanaman-tanaman daerah tropik seprti *Rhizofera recemosa*, *nipa fruticans* dan *Avicenia* sp. Merupakan sumber-sumber bahan organik yang diperlukan olh baktri-bakteri tersebut.

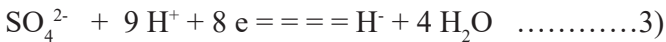
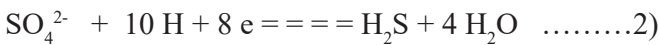
Reaksi umum yang diberikan adalah sebagai berikut (Bloomfield dan Coulter, 1973):



Menurut Pons dan video Kevie (1969) bahwa pembentukan H₂S terjadi pada Eh = 0,0

Hingga 200 mv, pH 7,0 dan apabila keadaannya kurang anaerob dapat terjadi HS⁻ yaitu pada

Eh = 200-300 mv, pH 7,0 menurut reaksi berikut:



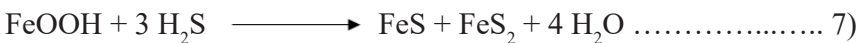
Apabila disekitarnya terdapat senyawa-senyawa besi, misalnya Goethit, FeOOH, maka dapat terbentuk senyawa –senyawa mackinovit (FeS) dan pirit (FeS₂). (1964) memberikan reaksi pembentukan FeS sebagai berikut:



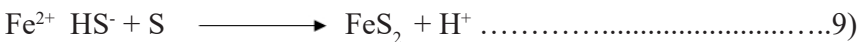
Reaksi serupa mungkin berlangsung dengan oksida hidous logam berat lain (Cu, Zn dan sebagainya). Taraf selanjutnya pirit terbentuk dari reaksi antara FeS dan H₂S yang berlangsung disekitar daerah kontak antara sediment dan genangan air di atasnya (Krauskpt,1967). Reaksi kurang lebih sebagai berikut:



Apabila suasananya masam (pH 4,0) maka reaksi 4) berlangsung lebih cepat



Berner (1967) menduga mekanisme reaksi 5) berikut berikut:

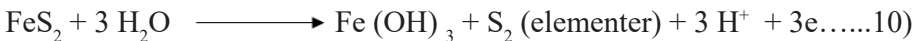


Dari mekanisme ini terlihat bahwa pada pH yang pembentukan pirit dan apabila tidak terdapat oksidasi yang cocok seperti Fe (III) hidroksida dan Fe^{3+} , maka senyawa FeS akan tetap stabil untuk masa yang cukup panjang (Mohr, et al., 1972; Bloomfield dan Coulter 1973).

11.8.5.5 Oksidasi Pirit

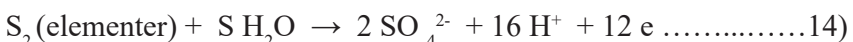
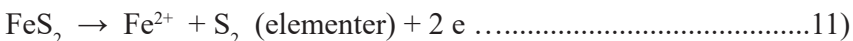
Dalam suasana anaerobic di lapangan, pirit (FeS_2) inistabil dan tidak berbahaya bagi tanaman, akan tetapi bila terjadi okdasi maka keadaanya menjadi tidak stabil. Menurut sato (1960) dalam Mohr, et al (1972) bahwa tingkat pertama dari oksidasi besi sulfide, kemungkinan adalah pembentukan S_2 (S beratom 2).

Untuk FeS_2 , pembentukan S_2 (elementer) terjadi pada batas atas zone” lingkungan” sedangkan untuk FeS , pembentukan S_2 (elementer) terjadi dibawah zone “lingkungan pelapukan”



Oksidasi ini membutuhkan suasana asam lemah sampai netral. Pirit nampaknya nertral di dalam tanah-tanah bereaksi agak netral walaupun suasana aerobc. Sebaliknya dalam suasana masam pH 3,0, oksidasi pirit lebih mudah, oleh karena semua $\text{Fe}(\text{OH})_3$ terlarut.

Reaksi-reaksi penting yang terjadi dalam proses oksidasi pirit dalam suasana asam berdasarkan data dari Sato (1960 b) dan Temle Delchamps)1953 dalam Mohr, et al., (1972) adalah sebagai berikut:



Reaksi (12) dan (14) berturut-turut merupakan rekasi oksidasi oleh Thiobacillus ferrooxydaus dan Thiobacillus thiooxydaus. Dengan demikian dapat terlihat bahwa Fe^{2+} dan S_2 (elementer) yang terbentuk didalam tanah, dioksidasikan secara mikrobiologi menjadi (Fe^{3+}) biasanya berkurang karena pembentukan $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Dengan demikian mempengaruhi reaksi (13).

Produksi asam sulfat inilah yang menyebabkan pH tanah menjadi rendah sama sekali dan berbahaya bagi tanaman. Adanya $\text{Fe}(\text{OH})_3$ amorf dapat menetralsir H_2SO_4 dan menghasilkan jarosit, dalam hal seperti ini

pH tanah tidak akan berkurang dari pH 4. Selain itu pengaruh air laut yang sifatnya basa akan menetralkan pengaruh asam yang dihasilkan.

Klei marin dapat mengandung basa-basa sebanyak 75 – 200 me/100 g (Bloomfield dan Coulter, 1973) akibat mineral klei tipe 2:1. pemberian CaCO_3 kepada tanah-tanah ini juga sangat mengurangi aktivitas asam sulfat.



Pengapuran dapat menaikkan pH Cat-Calay dari pH 3,5 menjadi 5,6 dan semua sulfat hilang setelah digenagi selama 24 jam (Nhung dan Ponnaperuma, 1996).

11.8.5.6 Kendala Pemanfaatan Tanah Sulfat Masam

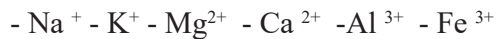
Tanah sulfat masam dicirikan oleh pH yang rendah, sedangkan tanah sulfat masam potensial mempunyai pH sekitar netral tetapi suasananya sangat reduktif disebabkan penggenangan dan bahan organik. Dalam suasana reduktif pertumbuhan tanaman biasanya tertekan karena (1) produksi H_2S , (2) mobilitas ion-ion Fe (II) dan Mn (II) dan (3) produksi asam-asam organik, H_2CO_3 , asam asetat dan lain-lain. Masalah ini mungkin sekali dijumpai dalam usaha pertanian sawah (Bloomfield dan Coulter, 1973).

Apabila dilakukan untuk usaha pertanian tanah kering, kita bukan berhadapan dengan masalah-masalah yang ditimbulkan oleh suasana sangat masam dan menurut Rorison (1973) meliputi (1) kerusakan langsung oleh H^+ , (2) pengaruh tak langsung dari pH yang rendah biasanya mengganggu adsorpsi Ca dan N, menaikkan kelarutan Fe dan Al serta Mn yang dapat meracuni tanaman, mempunyai ketersediaan P dan Mo, (3) berkurangnya kadar basa-basa yang dapat menyebabkan defisiensi Ca, Mg dan K akibat pencucian dalam bentuk sulfat dan karbonat, (4) faktor-faktor biotik menjadi abnormal seperti gangguan terhadap aktivitas mycorrhiza dan pengikat N.

Aspek fisika tanah dimulai segera setelah terjadi proses pengeringan endapan Lumpur. Sebagai akibat pengurangan volume air terjadi proses dehidrasi. Kecepatan proses ini ditentukan oleh kadar air di dalam endapan, kadar humus dan kadar litany. Proses pematangan ini menyebabkan antara lain perubahan-perubahan di dalam volume tanah, konsistensi dan pembentukan struktur tanah

Mikrorelief yang tidak rata di daerah-daerah pasang surut diduga terutama terjadi karena proses penegrutan tanah yang tidak sama sebagai akibat perbedaan dalam tipe klei dan kadar air. Pada tingkat pematangan permulaan ini biasanya terbentuk struktur yang besar-besar dan tidak baik bagi pertanian.

Dengan proses pengasaman tanah sebagai akibat oksidasi pirit, mula-mula terbentuk struktur yang lebih baik sebagai akibat bertambahnya ion-ion Al dan Fe pada permukaan kompleks adsorpsi dari klei dan bahan organik. Stabilitas agregat bertambah dengan naiknya jumlah ion bervalensi tinggi pada kopleks adsorpsi klei, menurut urutan daripada stabilitas lemah ke stabilitas kuat sebagai berikut:



Menurut Scheltema dan Boons (1973) tanah sulfat masam “semu” adalah ytanah yang berstruktur baik. Akibat stabilitas bahan organik oleh Al pada pH 3,4-4,0, tanah organik ini lebih mantap, berstruktur lebih baik dan lebih subur dibandingkan dengan tanah mineral ber -pH sama (Bloomfield dan Coulter, 1973).

11.9 Ringkasan

Kelas kesesuaian tanah untuk maksud pertanian terdapat 8 kelas. Untuk tanaman semusim dapat diusahakan pada tanah-tanah dengan kelas kesesuaian I samapai dengan IV. Tanaman keras dapat diusahakan dari kelas kesesuaian I samapi dengan IV sedangkan kelas kesesuaian VII dan VIII tidak sesuai untuk pertanian. Beberapa cirri pengusahaan tnaman semusim yaitu: pengolahan tanah yang intensif, penyiangan terus menerus, perakaran dangkal fdam pengusahaan satu musim dan jarak tanaman yang sempit.

Pengusahaan tanaman keras sering dicirikan dengan adanya: pengolahan tanah yang tidak tetap setiap tahun, penyiangan setempat, pengusahaan yang lama dan perakaran tanaman yang dalam.

Perladangan adalah jenis pertanian yang dilakukan petani kecil dengan cara pengusahaan yang sederhana. Usaha ini dicirikan dengan penebangan hutan dan pembakaran. Sistem perladangan ini menyebabkan timbulnya padang alang-alang dan menurunkan tingkat kesuburan tanah. Tanah padang lang-alang dapat diusahakan untuk perkebunan besar seperti karet, kelapa sawit dan rumput untuk makanan ternak.

Jenis pengusahaan sawah di Indonesia ada 4 macam yaitu: sawah irigasi, sawah lebak, sawah pasang surut dan sawah tadah hujan. Rata-rata produksi gabah kering per hektar pada berbagai jenis tanah yaitu: Aluvial (5 ton/ ha), Gley (2-3 ton), regosol (4-5 ton/ha) Andosol (1,5 ton/ha) dan Podzolik (3,5 ton/ha).

Faktor pembatas dari tanah antara lain: tingkat kesuburan tanah yang rendah, bahan organik tebal (tanah pasang surut) dan alkalinitas/ intrusi garam (tanah pasang surut).

Terdapat sekitar 16,5 juta hektar tanah gambut di Indonesia yang tersebar di pantai Timur Sumatra, pantai Selatan dan barat Kalimantan, bagian Utara, Selatan dan Barat Irian Jaya. Sifat dan cirri gambut dapat dibedakan atas dasar sifat dan fisika kimianya. Sifat-sifat fisika yang dimaksud yaitu warna, berat isi, kapasitas menahan air, struktur dan sifat koloidal dari gambut. Atas dasar sifat kimia dapat pula diobedakan tatas, rekasi masam sifat penyangga dan kadar unsur hara. Tanah gambut di Indonesia dapat dibedakan atas gambut Ombrogen, Topogin dan pegunungan yang berbeda sifat kimia-kimia satu sama lain.

Tanah-tanah sulfat masam dan sulfat masam potensial atau Cat-clay adalah tanah-tanah yang umumnya terbentuk daripada endapan marin. Dalam keadaan reduksi mempunyai pH 6,0-7,5 dan dalam keadaan oksidasi mempunyai pH di bawah pH 3,5 atau 4,0. Umumnya mempunyai bahan organik tinggi. Tanah sulfat masam tersebar d daerah tropika dan subtropika yang meliputi luas sekitar 15juta hektar. Sifat dan ciri tanah ini terutama ditentukanoleh senyawa pirit yang terkandung dalam endapan marin pembentuk tanah sulfat atau tanah sulfat masam potensial.Tanah sulfat masam dapat diusahakan untuk tuijuan pertanian seperti tanaman padi. Akan tetapi kita dihadapkan pada masalah-masalah seperti pH yang rendah, kekurangan unsur hara serta faktor-faktor biotic menjadi abnormal.

Daftar Bacaan

- Arsyad, S. 1982. pengawetan tanah dan air. Institute pertanian bogor.
- Cox, J. F and lyman, E. Jackson.1960. crop management and soil conservation. John W ley & sons, Inc., New York. London.
- Delorit, R. J., Louis J. Grend and Hendry, L.A.1974. Crop Production Prenties-Hill Inc., Englewood Cliffs, New jersey.
- Departemen PUTL-UPB, 1979. Symposium of Tidal Swamp area. Proceeding . department pekerjaan umum-IPB Bogor.
- The IRRI, soil and rice. Acid sufate soil. Jongerius, A and L.j. Pons, 1962. soil geneis organik soils, auger and spade, 12.
- Mohr.E.C. J., F.A. Van barebn and J.Van schuy Barn van Hoeve, the hague-Paris-Djakarta.
- Polak, B and m. Soepartohardjo, 1951. pot and field exsperimnt with maize on acid forest feat from pemberitaan nbalai besar penyelidikan pertanian no. 125.bogor, Indonesia.
- Pons, L. J. 1960. soils genesisi and classification of reclaimed peat soils in conection with initial soils formation. Trans, 7 th intern. Long. Soil Sci., madisoon.
- Young,A tropikal and soil survey.

Contoh Soal Untuk Mendalami Materi

1. Perlu diadakan pembatasan pengusahaan tanaman semusim pada tanah-tanah dengan kemiringan lebih besar dari 5 persen, mengapa?
2. Tanaman semusim menghendaki pengolahan tanah yang intensif sepanjang tahun, mengapa demikian?
3. Sistem perladangan dicirikan oleh tindakan pengusahaan sebagai berikut, kecuali:
 - a. pembakaran
 - b. penebangan
 - c. berpindah-pindah
 - d. penterasan

4. Tanah dengan kelas kesesuaian kelas I dicirikan oleh cirri-ciri berikut, kecuali:
 - a. 0-3 persen
 - b. Peka terhadap erosi
 - c. Drainase sedang-baik
 - d. Kesuburan tanah-sedang-tinggi
5. Ciri-ciri pengusahaan padi lebak secara tradisional adalah sebagai berikut, kecuali:
 - a. pengolahan tanah
 - b. varietas local
 - c. pada musim kemarau
 - d. tergantung dengan tinggi permukaan air
6. Pengusahaan sawah di tanah regosol (entisol) sering mempunyai pembatas:
 - a. unsur mikro kurang
 - b. tekstur berat
 - c. kehilangan air besar
 - d. mudah rebah
7. Faktor pembatas apa saja yang sering ditemui pada permukaan tanah pasang surut untuk pertanaman padi, sebutkan empat macam.
8. Sebutkan pula 4 macam pengaruh intrusi garam pada tanaman padi.
9. Apa yang dimaksud dengan tanah organik?
10. Sifat fisika dan kimia apa saja yang dapat mencirikan sifat gambut?
11. Apa beda sifat-sifat gambut Origin dan gambut topogin. Jelaskan?
12. Apa yang dimaksud dengan tanah gambut? Beri salah satu definisi.
13. Cat-Calay adalah tanah-tanah yang umumnya terbentuk di daerah:
 - a. dataran rendah
 - b. dataran tinggi
 - c. Estuary
 - d. Rawa non pasang surut

14. Dalam suasana reduksi, tanah sulfat masam mempunyai tingkat kemasaman antara:
- a. pH 4,0
 - b. pH 7,5
 - c. pH 3,5 –pH 4,0
 - d. pH 6,0- pH 7,5
- 15 Tanah-tanah sulfat masam biasanya dapat dikenal dengan vegetasi khas seperti:
- a. melaleuca
 - b. carica
 - c. durio
 - d. mangifera
16. Dalam suasana masam pH 3,0, oksida pirit akan terjadi:
- e. lebih lambat
 - f. lebih mudah
 - g. terhambat
 - h. normal
17. Tanah-tanah sulfat masam potensial mempunyai pH:
- a. sangat rendah
 - b. sangat masam
 - c. sekitar netral
 - d. rendah sekali

BAB XII

PEMETAAN TANAH DAN PENGGUNAANNYA

12.1 Survei Tanah dan Manfaatnya

Salah satu kegiatan yang dilakukan untuk mempelajari lingkungan alam dan potensi sumber dayanya adalah melalui **survei**. Macam-macam survei sumber daya alam meliputi setiap kegiatan faktor lingkungan fisik seperti geologi, bentuk wilayah, iklim, hidrologi, vegetasi, fauna, flora (vegetasi) dan tanah. Survei geologi adalah cabang survei sumber daya yang paling lama diantara survei-survei daya lainnya.

Berdasarkan cabang-cabang survei sumber daya alam, survei tanah paling banyak dipakai dalam perencanaan pengembangan. Sebuah peta tanah merupakan salah satu dokumen utama sebagai dasar dalam proyek-proyek pengembangan wilayah. Makin banyaknya informasi yang diperoleh dari pelaksanaan survei pada skala besar, akan memberikan manfaat yang lebih besar, tergantung pada tujuan pelaksanaan survei yang dilakukan.

12.2 Tujuan Survei Tanah

Berdasarkan macam keperluan pelaksanaan survei maka tujuan survei tanah dapat dipandang dari dua segi yaitu: (1) untuk memberikan / menyediakan informasi kepada pemakai tentang tanah, bentuk wilayah dan keadaan lain yang perlu diperhatikan. (2) untuk menyediakan informasi yang akan membantu pengambilan keputusan tentang penggunaan lahan dan rencana pengembangan wilayah yang disurvei, misalnya untuk penentuan areal pertanian, kehutanan dan detail pengelolaan budidaya. Suatu pengertian yang keliru apabila kita menganggap maksud survei tanah hanyalah untuk pengadaan peta-peta tanah saja, tanpa memperhatikan tindakan lanjutan dari survei tersebut.

Untuk mengukur survei telah berhasil atau tidak untuk maksud tertentu, maka perlu dilihat seberapa jauh survei ini telah membantu, ahli pertanian, ahli geologi, ahli ekonomi dan petani dalam perencanaan pengembangan lahan. Dalam pelaksanaan, survei ini menyediakan data tentang tanah selengkapny sesuai dengan tujuan survei, misalnya data vegetasi, hidrografi, penggunaan tanah dan sifat-sifat fisik dan kimia tanah yang ada. Pemilihan data dan pengelompokan serta pekerjaan interpretasi

merupakan proses lebih lanjut kita peroleh sesuai dengan tujuan survei. Peta Mosaik terakhir dengan skala besar akan menentukan dalam tajamnya analisis/ interpretasi data diperoleh.

Pada dasarnya pembatasan dari unit-unit pemetaan ditentukan oleh tanah itu sendiri, seperti pada seri tanah, asosiasi dari unit-unit klasifikasi yang ada. Informasi bentuk wilayah dalam peta dasar yang digambarkan dalam gambaran batas-batas bentuk wilayah akan menunjukkan keadaan khas kemiringan areal yang disurvei. Pada peta berskala 1 : 250.000 definisi gabungan bentuk wilayah tanah sering dipakai, tetapi skala 1: 100.000 sampai 1: 50.000 praktis bervariasi. Beberapa macam survei tanah berdasarkan skala pemetaan disajikan pada uraian berikut. Sesuai dengan tujuan survei, terdapat 5 macam survei, seperti berikut ini.

12.2.1 Exploratory Survey (survei eksplorasi)

Yaitu survei pada tingkat lebih kasar dan bukanlah pengertian yang tepat untuk sepenuhnya mengungkapkan pengertian survei. Survei kadang-kadang hanya melintasi jalan raya bahkan pesawat terbang untuk membuat uraian singkat informasi tentang daerah yang belum diketahui. Skala peta yang digunakan bervariasi dari 1: 200.000 sampai 1: 500.00. Sejumlah survei-survei eksplorasi diberikan untuk menyediakan informasi bagi peta dunia FAO-UNESCO.

12.2.2 Survei Reconnaissance

Yaitu survei pada tingkat tinjau dengan intensitas rendah. Skala pada umumnya kecil untuk mencakup area lebih luas. Skala peta yang sering digunakan yaitu 1: 250.000 dan juga peta dengan skala 1: 500.000 dan 1: 120.000 dimasukkan pula pada penggolongan ini. Survei pada tingkat ini sering dilakukan untuk membuat interpretasi potret udara. Pemetaan bervariasi dari kelas-kelas tanah ke bentuk wilayah, asosiasi dan seri-seri tanah.

12.2.3 Survei Semi Detail

Yaitu survei pada tingkat sedang dengan skala 1: 100.000 sampai 1: 30.000. survei menggunakan kombinasi potret udara dan sebagian besar penjelajahan lapangan survei.

12.2.4 Survei Detail

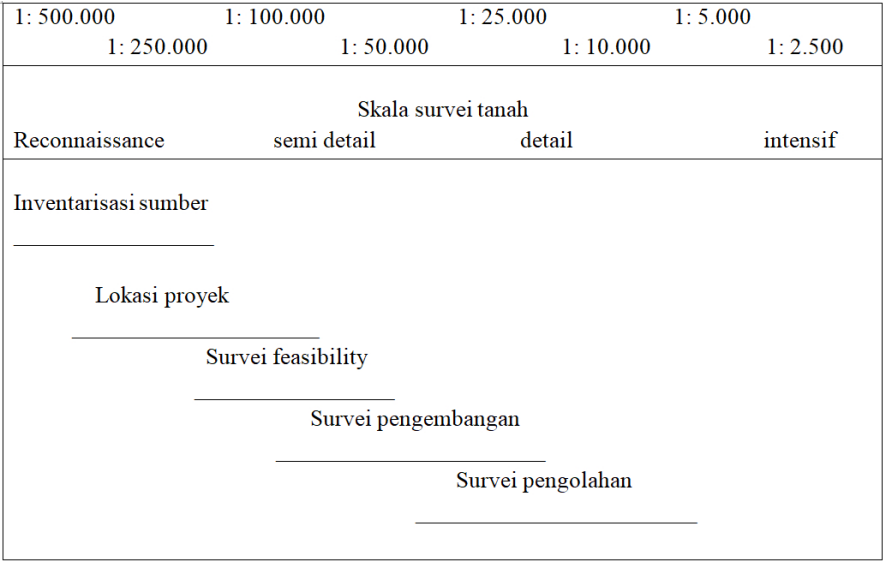
Yaitu survei pada tingkat detail dengan intensitas tinggi. Skala peta yang digunakan 1: 25.000 sampai 1: 10.000. peta-peta tersebut diperbanyak melalui pengecekan di lapangan. Unit-unit pemetaan berupa seri-seri dan fase-fase tanah dapat tersedia.

12.2.5 Survei intensif

Yaitu survei dengan intensitas yang sangat tinggi yaitu lebih besar dari 1: 10.000. Metoda penjelajahan keseluruhan areal memungkinkan penggambaran penambahan parameter dan sifat-sifat individu yang lebih jelas. Gambar 1 memperlihatkan tipe-tipe survei berdasarkan skala.

Bila suatu pekerjaan survei tanah telah dilakukan dan menghasilkan data yang disajikan dalam bentuk Tabel dan peta-peta di dalam laporan, maka data tersebut mempunyai manfaat yang besar dan melandasi pengembangan areal survei, misalnya penentuan kemampuan tanah untuk pengusahaan pertanian, penelitian sosiologis dan agronomis lain dapat dilayani untuk dilayani oleh peta ini.

Ada suatu tendensi untuk menggunakan peta dan laporan survei tanah secara lebih praktis sehubungan dengan pekerjaan bimbingan pada penyuluhan pertanian. Ahli-ahli bidang lain misalnya ahli teknik, hidrologi, kehutanan dan lain-lain dapat memperoleh keterangan-keterangan praktis. Berikut adalah gambaran tentang macam dan skala survei (Gambar 12.1).



Gambar 12.1 Skala dan tipe-tipe survei

12.3 Metoda Survei Tanah

Survei tanah dilakukan dengan penjelajahan areal survei untuk mencatat, menguji, mengetahui kenampakan dari keseluruhan faktor fisik dan lingkungan tanah yang disurvei. Metoda survei terpadu sebagai

metoda sistem wilayah (Land System Method) didasarkan pada unit pemetaan keseluruhan yang dapat dibedakan pada potret udara. Besarnya intensifikasi pengamatan erat hubungannya dengan ketelitian data yang akan dikumpulkan. Besarnya intensitas pengamatan pada tipe-tipe survei disajikan pada Tabel berikut ini Tabel 12.1

Atas dasar macam kegiatan dalam pelaksanaan survei tanah maka dapat dikelompokkan atas : (a) persiapan lapangan, (b) pekerjaan lapangan, (c) pekerjaan laboratorium dan (d) penulisan laporan/ penyusunan rekomendasi.

Survei inventarisasi sumber daya alam adalah model survei nasional atau regional untuk mengetahui macam-macam potensi sumber daya dan problema yang dimiliki bagi setiap perbedaan area. Hasil survei ini secara lebih khusus lagi adalah sebagai pedoman bagi pengembangan potensi sumber daya setempat. Inventarisasi sumber daya di negara-negara belum berkembang dimulai pada skala reconnaissance, walaupun sistematis pemetaan dapat diteruskan kemudian pada tingkat survei semi detail.

Tabel 12.1 Intensitas Pengamatan pada berbagai Tipe Survey Tanah

Tipe survey	Skala	Ratio luas tanah ke peta 100 m ² – inci ²	Taksiran	Maksud
Reconnaissance	1:50.000 – 1:250.000	25–26,5 km ² 62,3-15,6 mile ²	1 per 50 km ² atau 1 per 20 mile ²	Perencanaan Pengembangan skala Nasional
Detail Reconnaissance	1:100.000	1-0 km ² 2-5 mile ²	1 per 2 km ² atau 1 per mile ²	Regional planning
Semidetial	1:50.000	25 ha 400 acres	1 per 25 ha atau 1 per 50 acres	Perencanaan lokal, proyek pertanian besar
Detail	1:25.000	6-25 ha 100 acres	1 per 5 ha atau 1 per 100 acres	Perencanaan per-tanian, Proyek irigasi & drainase
Intensif	1:10.000 – 1:2.500	1-0,06 ha 16,1 acres	1 per 2 ha atau 1 per 5 ha sampai 1 per 0,5 ha sampai 1per 0,5 ha atau 1 per acres	Perencanaan per-tanian detail, proyek kecil & perencanaan per-kampung baru. Perencanaan pekerjaan teknik, contoh penelitian pertanian, reservoir, dll.

Survei feasibility atau kelayakan (feasibility surveys) diharapkan dapat menaksir kelayakan teknis dan ekonomis dari proyek-proyek pengembangan khusus. Hasil survei tersebut tidak memberikan rencana komplit, tetapi hanya perkiraan (estimasi) apakah suatu proyek mempunyai kemungkinan

sepenuhnya dapat berhasil dan terjamin secara detail. Sering sumber daya dan survei kelayakan diistilahkan sebagai survei pra investasi yang berarti bahwa tidak ada persetujuan yang dibuat untuk penanam modal.

Survei perencanaan/ pengembangan proyek sering dilakukan pada skala detail atau semi detail atau dilanjutkan dengan beberapa proyek irigasi dengan survei intensif.

Survei pengelolaan biasanya menggunakan skala intensif, survei diusahakan dengan langkah-langkah spesifik seperti aplikasi air irigasi, lokasi penanaman yang tepat untuk setiap tanaman atau aplikasi pemupukan. Perbedaan yang lebih jauh sering terdapat pada perbedaan metoda survei untuk masing-masing keperluan. Misalnya perbedaan sistem klasifikasi tanah yang digunakan dan tujuan survei yang berbeda menyebabkan pula terbatasnya penggunaan data survei sebagai keperluan umum.

Survei tipe tanah dan bentuk wilayah pemakaian sistem klasifikasi haruslah secara umum, walaupun bersifat natural atau artifisial tetapi akan mengarah pada pemberian informasi umum pada tanah yang disurvei tanpa menghilangkan perhatian yang berlebihan dari ciri khusus. Survei ini harus pula dibatasi dengan tujuan secara khusus. Tujuan dibatasi lebih sempit dan karenanya informasi yang dikumpulkan harus sangat khusus, seperti misalnya kedalaman efektif tanah, tingkat salinitas drainase dan lain-lain. Survei tanah untuk proyek pengembangan lahan manapun juga harus menyediakan informasi tanah yang spesifik seperti berikut ini:

- 1). Indikasi ancaman lingkungan yang dapat timbul sebagai akibat pengembangan
- 2). Kesesuaian lahan untuk berbagai tipe penggunaan lahan yang berbeda.
- 3). Peramalan dari respon tanah untuk mengubah penggunaan lahan
- 4). Rekomendasi pengelolaan lahan
- 5). Kalkulasi hasil tanaman di bawah tingkat pengelolaan yang spesifik
- 6). Kalkulasi produksi untuk tipe penggunaan lahan yang lain.

Peranan lain dari survei yang lebih jauh secara umum selama fase produktif adalah untuk memonitor perubahan tanah. Tanah yang diamati terus-menerus tentang kondisinya sangat bernilai dan diharapkan dapat memperbaiki lahan secara lokal maupun umum. Adanya monitoring

tersebut akan memberikan peringatan awal pada problema pengelolaan lahan, sebagai contoh: salinitas, ketebalan bahan organik atau erosi yang diharapkan agar usaha perbaikan dapat dilakukan bila biaya yang akan dikeluarkan relative sedikit. Selain itu beberapa monitor tanah dapat menambah pengalaman dari respons tanah terhadap praktek penggunaan tanah secara maksimum dan membantu rencana pengembangan yang akan datang. Oleh karena itu diharapkan bahwa survei tanah dapat memainkan peranan yang terus menerus dalam pengelolaan tanah.

12.4 Interpretasi Penggunaan Tanah untuk Pertanian

Sejak memulai program survei tanah direncanakan dan diorganisasikan untuk memperoleh informasi bagi pengembangan pertanian, meskipun saat ini disadari bahwa informasi tentang tanah juga sangat berguna bagi kepentingan lain diluar bidang pertanian. Di Indonesia program survei tanah masih ditekankan untuk memperoleh informasi bagi pengembangan/ perluasan areal pertanian, terutama di luar Jawa. Misalnya program survei tanah penunjang transmigrasi baik di wilayah lahan kering maupun di daerah rawa. Samapi saat ini interpretasi terhadap hasil survei tanah bagi pengembangan pertanian meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. pendugaan potensi produksi jenis-jenis tanaman utama pada setiap tanah dibawah tingkat pengelolaan tertentu,
2. kebutuhan masukan (input) bagi setiap jenis tanaman, yakni besarnya input yang diperlukan bagi setiap level produksi yang diinginkan atau setiap tipe tanah tertentu. Semula pengetian ini dikenal dengan istilah kesesuaian lahan.
3. kemungkinan perubahan perilaku setiap tipe tanah akibat irigasi.
4. kemungkinan pembangunan drainase buatan
5. pendugaan respons terhadap penggunaan pupuk dan kapur, yang banyak dikontrol oleh sifat-sifat tanah yang permanen, berdasarkan tingkat kesuburan tanah yang ditunjukkan oleh hasil uji tanah.

Dimasa yang akan datang interpretasi hasil survei tanah bagi bidang pertanian seharusnya juga meliputi hal-hal berikut:

1. Kesesuaian bagi / kemungkinan responnya terhadap land formatting (perataan lahan) dalam kaitannya dengan penerapan alat-alat pertanian mekanis.

2. Tingkat produktivitas dan perilaku lahan bagi penerapan teknologi pertanian yang tinggi, misalnya: penggunaan tanah minimum, penggunaan herbisida dan sebagainya.

Dalam topik ini akan dikemukakan beberapa sistem interpretasi lahan untuk pertanian secara umum atau yang dikenal dengan kesesuaian lahan, baik untuk pertanian umum (misalnya: sistem land-capability classification, SCS-USDA) maupun untuk pertanian beririgasi (misalnya: sistem US Bureau of Reclamation Land Classification for irrigation).

12.5 Definisi Tanah dan Lahan

Tanah (soil) merupakan benda alam yang mempunyai sifat fisik, kimia dan biologi tertentu, berdimensi tiga dan merupakan bagian dari lapisan bumi terluar. **Lahan** (land) mencakup pengertian yang lebih luas, yaitu meliputi seluruh kondisi lingkungan dimana tanah merupakan satu bagiannya. Jadi, lahan dapat mencakup berbagai jenis tanah dan lingkungan yang ada di atasnya. Kondisi lingkungan tersebut meliputi iklim, sumber air, topografi, penggunaan lahan, letak perhubungan dan sebagainya.

Lahan, merupakan bagian dari permukaan bumi yang mempunyai sifat-sifat yang relatif tetap atau merupakan siklus, dicirikan oleh: biosphere baik di bawah atau diatas permukaan lahan (termasuk atmosphere), tanah, batuan, sumber air, populasi flora dan fauna, serta hasil kegiatan manusia di masa lampau atau yang sekarang masih berlangsung. Semua sifat dan ciri tersebut jelas berpengaruh terhadap penggunaan lahan oleh manusia di masa sekarang di masa yang akan datang. Unit lahan yang dibatasi berdasarkan hasil survei sumber daya alam (misalnya survei tanah 0, dipakai sebagai dasar interpretasi/ evaluasi. Interpretasi/ evaluasi dilakukan dalam kaitannya dengan bentuk-bentuk penggunaan lahan.

12.5.1 Penggunaan Lahan (Land Use)

Penggunaan lahan adalah bentuk atau alternative kegiatan usaha atau pemanfaatan lahan. Bentuk-bentuk penggunaan lahan untuk pertanian antara lain: pertanian lahan kering, perkebunan, padang rumput, hutan kayu dan sebagainya.

Tipe Penggunaan Lahan (Land Utilization Type) adalah tingkatan yang lebih rendah dari spesifikasi penggunaan lahan, misalnya: kebun teh, kebun anggrek dan sebagainya. **Penggunaan lahan majemuk**

(combined use) adalah dua atau lebih tipe penggunaan lahan dalam satu sistem pertanian misalnya: pertanian tanaman pangan yang sekaligus memproduksi bahan makanan ternak. **Penggunaan lahan ganda** (multiple use) adalah beberapa bentuk penggunaan lahan menempati lahan yang sama, misalnya: hutan selain untuk produksi kayu juga untuk tempat wisata atau tanaman suaka.

12.5.2 Klasifikasi dan Evaluasi Lahan

Klasifikasi lahan adalah metoda pengelompokan lahan atau bagian-bagian/ unsur-unsurnya kedalam kelas-kelas, sedangkan evaluasi lahan merupakan proses pendugaan (interpretasi) potensi lahan bagi satu atau lebih alternatif penggunaannya. Evaluasi lahan merupakan bagian dari klasifikasi lahan dimana dasar pengelompokannya adalah kesesuaian lahan.

Kesesuaian / kapabilitas lahan, adalah kecocokan sebidang lahan bagi penggunaan tertentu, kapabilitas lahan dipakai dalam pengertian yang sama dengan kesesuaian lahan, tetapi khusus untuk sistem evaluasi lahan menurut SCS-USDA. Klasifikasi kesesuaian lahan merupakan proses penilaian dan pengelompokan unit-unit lahan menurut kesesuaiannya bagi penggunaan tertentu.

12.5.3 Tipe Evaluasi Lahan

Sistem evaluasi lahan mungkin:

- bertujuan tunggal, majemuk, general purpose,
- bersifat aktual atau potensial
- bersifat kualitatif atau kuantitatif
- bersifat fisik atau ekonomi

Klasifikasi tujuan tunggal mengevaluasi lahan untuk suatu penggunaan tertentu, misalnya kesesuaian lahan untuk tanaman coklat. Klasifikasi tujuan majemuk mengkombinasikan beberapa klasifikasi tujuan tunggal. Sedangkan klasifikasi general purpose merupakan suatu sistem yang secara langsung membandingkan kapabilitas lahan untuk berbagai alternatif penggunaan lahan tanpa dengan mengevaluasi satu persatu.

Kesesuaian lahan aktual (current land suitability) adalah potensi lahan yang mendasar, sedangkan kesesuaian lahan potensial (potential land

suitability) adalah potensi lahan dimana yang akan datang setelah lahan mengalami perbaikan. Perbaikan lahan (land improvement) merupakan usaha-usaha perbaikan lahan yang memerlukan biaya tinggi, yang umumnya tidak dapat ditanggung oleh petani secara individual, seperti pembangunan fasilitas drainase untuk reklamasi rawa, fasilitas irigasi dan sebagainya.

Pada sistem evaluasi kualitatif, penilaian kesesuaian lahan semata-mata didasarkan pada sifat-sifat fisik tanah. Sistem evaluasi fisik kuantitatif memperhitungkan input dan tingkat produksi dari bentuk-bentuk penggunaan lahan yang dievaluasi, meliputi: teknologi yang harus diterapkan dan pertimbangan yang harus diambil dalam keputusan penggunaan lahan tertentu. Sedangkan sistem evaluasi ekonomi menduga kesesuaian lahan berdasarkan perhitungan biaya masukan (input) dan nilai produksi.

12.6 Beberapa Sistem Evaluasi Lahan

USDA- Land –Capability Classification, Sistem ini dibuat oleh Soil Conservation Service (Klingebiel dan Montgomery, 1961) yang meskipun dibuat untuk lahan di Amerika, tetapi ternyata berlaku juga di banyak negara lainnya sehingga sistem ini sangat luas dipergunakan.

Dalam klasifikasi ini pengelompokan utama didasarkan pada satuan peta tanah (soil mapping unit), tetapi sifat fisik lahan lainnya seperti kemiringan lereng, banjir dan iklim juga diperhitungkan. Konsep utama yang dipergunakan adalah ada-tidaknya faktor pembatas (limitation) yaitu sifat-sifat lahan yang membatasi penggunaan lahan. Pembatas permanen adalah faktor pembatas yang sulit diperbaiki seperti kedalaman tanah, iklim dan sebagainya. Pembatas sementara adalah faktor pembatas yang dapat diperbaiki dalam pengelolaan lahan seperti kandungan unsur hara, kemasaman dan sebagainya. Lahan diklasifikasikan terutama berdasarkan pembatas yang permanen. Terdapat tiga kategori klasifikasi sebagai berikut:

12.6.1 Klas Lahan

Pengelompokan lahan yang mempunyai tingkat pembatas permanen yang sama. Klas disimbolkan dengan angka Romawi, yang terdiri dari 8 klas (I hingga VIII) dimana jumlah faktor pembatas dan resiko kerusakan meningkat dari klas I ke klas VIII. Kriteria pengelompokan kelas tertera pada Tabel 12.2 sedangkan definisi kelas adalah sebagai berikut:

- Klas I : tanah-tanah dengan sedikit/ tanpa faktor pembatas bagi penggunaannya.
- Klas II : tanah-tanah dengan pembatas sedang yang mengurangi pemilihan jenis tanaman atau memerlukan tindakan tertentu.
- Klas III : tanah-tanah dengan pembatas berat yang mengurangi pemilihan jenis tanaman atau memerlukan tindakan pengawetan tanah khusus atau kedua-duanya.
- Klas IV : tanah-tanah dengan pembatas sangat berat yang membatasi pemilihan jenis tanaman atau memerlukan pengelolaan yang berat atau kedua-duanya.
- Klas V : tanah-tanah tanpa ancaman erosi tetapi mempunyai pembatas lain yang membatasi penggunaannya hanya untuk padang rumput, hutan atau tanaman suaka.
- Klas VI : tanah-tanah dengan pembatas yang tidak memungkinkan penggunaannya untuk usaha pertanian komersial dan hanya sesuai untuk tempat rekreasi, dan tanaman suaka.
- Kelas VII : tanah-tanah dengan pembatas sangat berat sehingga tidak sesuai untuk budidaya dan penggunaan terbatas untuk padang rumput, hutan dan tanaman suaka.
- Klas VIII : tanah-tanah dengan pembatas yang tidak memungkinkan penggunaannya untuk usaha pertanian komersial dan hanya sesuai untuk tempat rekreasi, tanaman suaka, penjaga sumber air dan sejenisnya.

To apply the table to a land unit, examine the columns successvely from left to right until a column is found in which the values givven are not exceeded for any limitation. Otherwise favourable land with a severe wetnese limitation is placed in Class Vw.

Tabel 12. 2 A simplified example of conversion table for use with the USDA Land-Capability Classification.

Limitation	Arable classes				Non-arable classes			Special class Vw
	I	II	III	IV	VI	VII	VIII	
Slope angle, degrees	1	3	5	10	18	35	Any	
Outcrops & boulders								
Percent surface occupied	0	1	2	5	10	25	Any	2
Wetness, class	Nil	Nil	Slight	Slight	Moderate	Moderate	Severe	Severe
Soil effective depth, cm	150	100	60	30	20	20	0	30
Soil texture	SCL-C	SL-C	SL-C	LS-C	LS-Heavy C	LS-Heavy C	Any	LS-Heavy C
Soil permeability	Moderate	Rapid-slow	Rapid-slow	Rapid-slow	Any	Any	Any	Rapid-slow
Available water capacity, cm	25	20	15	10	5	2	0	10
Cation exchange capacity, subsoil, me/100g	20	15	10	5	5	2	0	5
Total soluble salts, percent	0,2	0,2	0,4	0,40	0,8	1,0	Any	0,4

12.6.2 Sub-kelas Lahan

Merupakan kelompok lahan yang mempunyai jenis faktor pembatas yang sama. Pembatas ini dilambangkan dengan huruf yang sama. Pembatas ini dilambangkan dengan huruf kecil di belakang simbol klas. Misalnya: e = pembatas ancaman erosi, w = air kelebihan dan sebagainya. Jadi sub kelas III pembatas erosinya lebih besar dibandingkan dengan subkelas II E.

12.6.3 Unit Lahan

Merupakan kelompok lain yang mempunyai potensi, faktor pembatas dan satuan pengelolaan yang sama. Unit dilambangkan dengan angka. Misalnya unit IIIe-1, IIIe-2 dan seterusnya. Lahan dalam unit yang sama dapat dipergunakan untuk budidaya tanaman yang sama, memerlukan pengelolaan dan konservasi yang tidak berbeda, serta potensi produksinya sebanding.

12.7 US Bureau of reclamation Land Classification for Irrigation

Sistem ini dibuat oleh Bureau of Reclamation, Amerika Serikat pada tahun 1953, yang merupakan sistem klasifikasi khusus kesesuaian lahan untuk irigasi. Dalam sistem ini terdapat 6 (enam) kelas kesesuaian lahan, sebagai berikut:

Klas I (dapat digarap). :lahan sangat sesuai untuk irigasi, berproduksi relative tinggi secara langgeng bagi banyak jenis tanaman dengan tingkat biaya pengelolaan yang wajar. Lahan ini datar, rata, tanahnya dalam, struktur tanah yang baik sehingga memudahkan penetrasi akar tanaman dan daya menahan air yang cukup, bebas dari kandungan garam yang berbahaya. Berpotensi relatif tinggi dalam pengembalian modal jika diusahakan.

Klas 2 (dapat digarap). Lahan cukup sesuai untuk irigasi dimana produktivitasnya lebih rendah dari lahan kelas I, jenis tanamannya terbatas, memerlukan pengelolaan yang lebih mahal. Lahan berpotensi sedang dalam pengembalian modal jika diusahakan.

Klas 3 (dapat digarap). Lahan yang masih sesuai untuk irigasi tetapi kondisinya marginal, karena adanya pembatasan tanah, topografi dan drainase yang berat. Resiko mengusahakan lahan ini lebih tinggi dari lahan kelas I dan 2, tetapi dengan pengelolaan yang tepat, masih mampu mengembalikan modal pengusaha.

Klas 4 (dapat digarap terbatas). Lahan dengan pembatas sangat berat, yang hanya dapat diperbaiki dengan biaya yang tinggi. Bila dipergunakan untuk tanaman buah-buahan beririgasi masih mampu mengembalikan modal pengusaha.

Klas 5 (tidak dapat digarap). Lahan tidak dapat digarap dengan kondisinya yang semula, tetapi mempunyai potensi untuk digarap dengan tersedianya dana yang tinggi. Jadi kelas lahan ini bersifat tentatif, yang dapat diubah menjadi lahan yang dapat digarap tergantung ketersediaan dana atau jika tidak, dikelompokkan kedalam kelas 6.

Klas 6 (tidak dapat digarap). Lahan yang tidak mempunyai cukup potensi untuk dapat dikembangkan sebagai lahan irigasi.

Pada umumnya potensi lahan untuk irigasi disimbolkan dengan legenda tertentu pada peta standar. Misalnya:

3 s t d
 ----- **u f**
C 22 B X 2 2

Dalam hal ini angka **3** = klas lahan, **s** = pembats sifat tanah, **t** = pembatas topografi dan **d** = pembatas drainase, **C** = tipe penggunaan lahan (cultivated), **22** = produktivitas, **B** = biaya pengembangan lahan, **X** = kebutuhan air dan kemampuan drainase, **u** = besarnya perataan lahan dan **f** = bahaya banjir.

12.8 Sistem Parametrik : Indeks Produktivitas

Menurut metoda ini pengaruh masing-masing sifat tanah terhadap produktivitas lahan diduga secara individual, kemudian dikombinasikan secara aritmatik. Beberapa metoda yang telah dikembangkan antara lain:

- indeks produktivitas Storie yang dikembangkan di Kalifornia
- Indeks produktivitas Nelson yang dikembangkan di Hawai (1963)
- Rating produktivitas Require et.al (1970)
- Rating produktivitas Sys dan Frankart (1971)
- Rating kesesuaian lahan irigasi oleh Borden dan Warkentin (1974).

Misalnya: Indeks produktivitasnya Requier et.al. (1970)

Rumus dasar :

$$\text{Indeks Produktivitas} = H \times D \times P \times T \times N$$

Atau

$$\text{Indeks Produktivitas} = S \times O \times A \times M$$

Dalam hal ini **H** = kelembaban tanah, **D** = drainase, **P** = kedalaman tanah, **T** = tekstur/ struktur, **N** = kejenuhan basa, **S** = konsentrasi garam larut, **O** = bahan organik, **A** = kapasitas tukar kation/ sifat klei dan **M** = cadangan mineral.

Sistem ini mempunyai kelemahan sebagai berikut:

- a. hanya berlaku pada tempat yang terbatas
- b. hasil rating memang menunjukkan korelasi yang baik dengan produksi tanaman tertentu, tetapi bila pendugaan tersebut diterapkan ditempat lain yang iklimnya jauh berbeda, hasilnya tidak sesuai lagi
- c. sifat perkalian antara faktor-faktor tidak memungkinkan munculnya pengaruh interaksi antara faktor
- d. indeks tersebut hanya sesuai untuk produktivitas tanah dan tidak sesuai untuk produktivitas lahan, karena rating faktor-faktor hanya bekerja dalam lingkup kondisi lingkungan yang terbatas
- e. hanya berguna bagi penelitian-penelitian dan kurang berguna bagi perencanaan pengembangan wilayah
- f. hanya berguna bagi penelitian-penelitian dan kurang berguna bagi perencanaan pengembangan wilayah

12.9 Framework for Land Suitability Evolution of the FAO

Metode ini berupa penelitian kesesuaian lahan bagi setiap bentuk penggunaan lahan yang berbeda-beda dilakukan secara terpisah. Framework FAO ini bukan sistem yang komplit tetapi mudah diadaptasikan atau dimodifikasikan secara lokal. Sistem evaluasi lahan suatu negara dapat dibuat berdasarkan kerangka FAO tersebut.

Bentuk-bentuk penggunaan lahan yang menjadi subjek evaluasi didefinisikan menurut tujuan dan intensitas survei yang dilakukan. Dalam survei reconnaissance, bentuk-bentuk penggunaan lahan masih

mencangkup pengertian yang luas, seperti : tanaman tahunan, tanaman pangan lahan kering dan sebagainya. Pada survei yang lebih detail, bentuk penggunaan lahan mencangkup nama komoditinya, seperti lahan kelapa sawit, lahan karet dan sebagainya. Nama sistem pertaniannya seperti monokultur, mixed-farming, dairy-farming, sebagai berikut:

1. Ordo : membagi lahan menjadi sesuai (s) dan tidak sesuai (N) untuk digarap. Pada keadaan tertentu dapat dibuat ordo sesuai bersyarat (conditional suitable, SN).
2. Klas : menunjukan tingkat kesesuaian lahan dalam ordo yang dilambangkan dengan angka

12.9.1 Dalam ordo sesuai terdapat tiga kelas:

- SI :** Sangat sesuai, lahan tanpa faktor pembatas bagi kelangsungan produksi suatu penggunaan lahan tertentu.
- S2 :** Agak sesuai, lahan dengan faktor pembatas ringan yang menurunkan tingkat produksi atau meningkatkan biaya produksi, tetapi secara fisik maupun secara ekonomi masih sesuai untuk penggunaan tertentu.
- S3 :** Hampir sesuai. Lahan dengan faktor pembatas sedang yang mempengaruhi tingkat produksi atau meningkatkan biaya produksi dan secara ekonomis lahan ini bersifat marginal.

12.9.2 Dalam ordo tidak sesuai terdapat dua kelas:

- NI :** tidak sesuai saat ini, lahan dengan pembatas yang berat yang belum dapat diatasi dengan teknologi yang ada pada batas-batas biaya yang wajar sehingga membatasi kesesuaiannya pada penggunaan tertentu.
- N2 :** tidak sesuai selamanya, lahan dengan pembatas berat sehingga tidak memungkinkan / menguntungkan untuk mengusahakan lahan tersebut.

Sub-klas. Pembagian kelas berdasarkan jenis faktor pembatas. Sub kelas disimbolkan dengan huruf kecil di belakang simbol kelas. Mislanya: S2w, S2t. S2wt; dalam hal ini w = pembatas kelembaban tanah dan t = pembatas topografi

Unit : pembagian sub-kelas berdasarkan perbedaan satuan pengelolaan yang diperlukan. Unit dilambangkan dengan angka dalam kurung. Misalnya S2w (1), S2w(2).

Di Indonesia sistem evaluasi lahan menurut framework FAO telah diadaptasikan/ dimodifikasikan oleh Pusat Penelitian Tanah, Bogor, terutama dalam evaluasi lahan transmigrasi.

12.9.3 Bentuk-Bentuk Utama Penggunaan Lahan Pertanian

Pembedaan bentuk-bentuk penggunaan lahan pertanian (rural) sebenarnya semata-mata berdasarkan perjanjian/ kesepakatan (*a matter of convenience*). Bentuk-bentuk yang umum dikenal adalah:

- a. Tanaman Setahun
- b. Tanaman Tahunan Pertanian Lahan Kering
- c. Padi Lebak Pertanian
- d. Pertanian Irigasi
- e. Padang Rumput Alami
- f. Padang Rumput Dipelihara Padang Penggembalaan
- g. Hutan Alami
- h. Hutan Kayu Dipelihara
- i. Taman Rekreasi
- j. Taman Suaka Alam
- k. Daerah Tampung Aliran Sungai Bentuk Lain
- l. Dan Lainnya

12.10 Penggunaan Tanah untuk Non Pertanian

Uraian ini membahas beberapa manfaat tanah untuk non-pertanian. Program survei tanah dahulunya diorganisir dan ditargetkan untuk mendapatkan informasi yang dapat dimanfaatkan untuk pertanian. Biaya program ini biasanya ditanggung oleh Departemen Pertanian dan biasanya pada tingkat nasional. Ada juga beberapa survei yang dibiayai pada tingkat provinsi.

Beberapa diantara survei terdahulu digunakan untuk mengetahui tanah-tanah mana yang cocok untuk tanaman tertentu seperti tembakau ,karet, teh, kopi gandum atau padi. Oleh karena manfaatnya lebih

ditekankan untuk pertanian, banyak survei tanah dianggap hanya berguna untuk petani. Sungguh suatu anggapan yang keliru, karena menutup mata pemakai tanah lainnya bahwa survei tanah tidak bermanfaat bagi petani, tetapi juga untuk para pengguna lainnya yang membutuhkan informasi mengenai tanah pada saat membangun jalan, lapangan terbang, rel kereta api, dam, kanal dan gedung-gedung yang kesemuanya, dalam beberapa hal, berkaitan dengan masalah tanah. Melakukan survei tersendiri dan memakai istilah-istilah yang digunakan oleh ahli ilmu tanah. Sebaliknya, ahli ilmu tanah tidak menggunakan dan mempelajari bahasa ahli teknik.

Tidak adanya koordinasi mengenai kesamaan” bahasa” bisa dirasakan dari cara memandang tekstur tanah (distribusi ukuran partikel). Ahli ilmu tanah mempergunakan istilah tertentu bila ia mengatakan” pasir- debu- klei. Ahli teknik menggunakan istilah lain pula, meskipun yang dimaksudnya sama. Ini menimbulkan kebingungan di ahli ilmu tanah dan si insinyur, padahal mereka berbicara tentang hal yang sama.

Di Beberapa Negara (Amerika Serikat misalnya,) ada beberapa komisi lembaga ilmiah yang merumuskan standar dan istilah-istilah sehingga terdapat keseragaman antara ahli ilmu tanah dan ahli teknik dan mereka bisa saling memanfaatkan data yang mereka peroleh dan olah. Metoda yang dipakai ialah dengan mengg yang menunjukkan kaitan suatu standar atau istilah dengan standar atau istilah lainnya. Sekarang banyak buku-buku dan artikel ilmiah yang memuat informasi dan data tanah yang sekaligus menggunakan standard dan istilah teknik. (sekarang , ini merupakan suatu standard dalam terbitan laporan survei tanah di Amerika serikat).

Dalam beberapa tahun belakangan ini sejumlah kelompok non–pertanian menyadari manfaat informasi mengenai tanah sesuai dengan bidang tersebut, seperti

- Ahli teknik
- Masyarakat pedesaan (dalam menentukan area, tanah pertanian utama)
- Pengontrol kualitas air
- Pihak pengawas pembuangan sampah
- Arkeolog

Contoh mutakhir tentang pemanfaatan informasi tanah adalah pengembangan kota Brasilia di Brazil Tengah, Amerika Selatan. Informasi tanah digunakan dalam setiap fase perencanaan kota, mulai dari penilaian secara umum sampai pemanfaatan khusus areal yang kecil. Mereka mempertimbangkan masalah tanah dari sudut pertanian dalam menunjang kota dan juga dalam menentukan letak jalan, lapangan terbang, pabrik, pusat pertokoan, rumah, taman, jalur pipa bawah tanah, sistem drainase dan lain-lain. Program transmigrasi di Indonesia mengikuti pola pemilihan lokasi untuk setiap daerah transmigrasi.

12.11 Penggunaan Tanah di Luar Bidang Pertanian

Seperti telah dinyatakan sebelumnya bahwa penggunaan tanah diluar pertanian meliputi penentuan letak jalan, lapangan terbang, pabrik, perkotaan, pusat pertokoan, perumahan, taman, jalur pipa bawah tanah, sistem drainase dan lain-lain.

12.11.1 Jalan Raya dan Lapangan Terbang

Karakter utama yang menjadi perhatian ditujukan pada: *Daya tahan tanah*, apakah tanah dapat menahan beban yang ditimbulkan oleh kendaraan dan pesawat terbang? Tekstur tanah dan mineralogi haruslah diperhatikan. *Drainase*, perlu diketahui sifat-sifat kelembaban dari tanah-tanah tertentu dan informasi tentang drainase (pembuangan air) dari seluruh daerah. Penafsiran dari survei tanah dapat memberikan informasi. *Kedalaman mencapai batuan besar*, apakah tanah berbatu-batu (atau kurangnya batu-batu) mempengaruhi pemakaian keahlian teknik?

Sebuah survei tanah yang baik menunjukkan kedalaman tanah di atas batuan dasar dan biayanya jenis batunya dapat diketahui. *Kelerengan*, apakah diperlukan teknik khusus untuk menanggulangi kelerengan tanah? Survei tanah akan memperlihatkan macam-macam lereng yang layak untuk jalan raya. Kalau untuk lapangan terbang sudah pasti tanah nya tidak berlereng.

12.11.2 Perumahan Kota dan Perkembangan Kota

Hal ini menyangkut hal-hal yang baru dibahas, tetapi juga mengenai: *Pembuangan kotoran*, apakah tanah dapat dipakai untuk septik- tank dan land-fills atau haruskah memakai teknik lain yang menelan biaya lebih mahal.. *Taman-taman rumah dan halaman rumput*, pada dasarnya ini adalah pemanfaatan tanah. Apakah tanah akan memberikan pertumbuhan

tanaman yang baik? Haruskah ditambahkan “humus” untuk memperoleh pertumbuhan yang baik? Apakah yang akan terjadi seandainya tanah itu mendapat gangguan yang hebat selama pembangunan rumah?

12.11.3 Saluran Pembuangan Kotoran

Septic tank (tangki kotoran). Apabila pada setiap rumah dibuat pembuangan kotoran tersendiri, maka untuk setiap jenis keluarga diperlukan tanah yang lebih luas jika dibandingkan dengan pemakaian sistem pengumpulan kotoran kota. Juga, tanah itu akan menentukan ukuran saluran pembuangan yang diperlukan mungkin berbeda-beda, dari 0,25 ha sampai 5 ha. Perhatian yang utama adalah mengenai penyaringan air melalui tanah, dan yang penting diperhatikan adalah tidak adanya pencemaran air tanah.

Landfill, Pembuangan kotoran-kotoran dalam tanah. Biasanya digali sebuah lobang (parit) dalam tanah dan kemudian kotoran-kotoran memadat di dalamnya dan menutupi tanah. Tanahnya haruslah dalam, mudah diolah dan tidak merembes dan membahayakan kesehatan atau mengeluarkan bau atau memberikan pemandangan yang buruk. Ini biasanya merupakan problema yang melibatkan pemerintah, biasanya problema sebuah kota besar. Informasi survei tanah akan membantu penempatan landfill ini.

Sampah Cair, Lumpur / endapan di saluran-saluran pembuangan dialirkan melalui sistem pembuangan kotoran dan sampah cair dari pabrik-pabrik, seringkali dibuang di atas atau di dalam tanah. Masalah ini banyak persamaannya dengan pembicaraan diatas. Pertimbangan lainnya akan dibahas dalam bahan ajar yang akan datang, yakni tentang ada atau tidaknya bahan-bahan yang mengandung racun dalam kotoran-kotoran ini.

12.11.4 Pemanfaatan yang Lain dari Tanah Kota

Disamping perumahan dan pembuangan kotoran masih ada pertimbangan-pertimbangan lainnya dimana tanah-tanah turut berperan. **Lapangan bermain dan taman-taman.** Tanah-tanah di tempat-tempat ini pada umumnya harus bebas dari batu-batu, tidak banjir, tidak curam, tidak berlumpur, tidak berdebu, dapat menahan lalu lintas kaki dan tanam-tanaman dan pohon-pohon yang diinginkan. **Pekuburan,** untuk kegunaan ini, tanah haruslah dalam, tidak sesuai untuk pemanfaatan lainnya,. Termasuk di dalamnya tanah-tanah yang curam, berbatu-batu, air –air terjun, dan sebagainya yang dapat dilihat dan dinikmati orang. Tanah perkuburan biasanya menggunakan tanah di pinggiran kota.

12.11.5 Pajak dan Nilai Kekayaan

Nilai sebidang tanah sering sekali dihubungkan dengan pemanfaatan sebenarnya pada suatu waktu tertentu. Kadang-kadang tanah dinilai dari apa yang diharapkan sebagai pemanfaatan yang tertinggi. Misalnya, satu hektar tanah di Kota Jakarta akan jauh lebih mahal daripada satu hektar tanah di Kalimantan Tengah, walaupun “tanahnya sendiri adalah “sama” di kedua tempat tersebut.

Banyak orang percaya bahwa harus diberikan sebuah “nilai” atas sebidang tanah sehubungan dengan kualitasnya yang sebenarnya. Sebenarnya dapat dilakukan melalui survei tanah. Untuk mempertimbangkan pajak, ada dua pertimbangan. (1) Nilai tanah sebenarnya dan (2), nilai yang meningkat karena letaknya atau manfaat sebenarnya. Di beberapa tempat, pajak sebidang tanah yang dipakai untuk pertanian jauh lebih rendah daripada pajak jenis tanah yang sama dengan sebuah pabrik di atasnya atau pemanfaatan yang bernilai tinggi lainnya. Biasanya seorang petani tidak dapat menghasilkan panen atau ternak yang cukup untuk membayar pajak atas sebuah proyek yang komersil. Tentu saja Pertamina dapat membayar pajak yang lebih banyak atas 1 Ha tanah tempat kilang minyak daripada seorang petani dengan 1 ha padi. Gagasan akan tingkat-tingkat pajak makin banyak dipertimbangkan. Hal ini perlu karena mempertahankan tanah pertanian yang baik untuk pertanian lebih baik daripada menjualnya kepada perusahaan yang dapat membayar pajak yang lebih tinggi.

12.11.6 Tanah Pertanian yang Terbaik Bisa Berubah Menjadi Kota

Ini erat hubungannya dengan pembicaraan di atas, keprihatinan bertambah karena tanah pertanian yang berharga berubah menjadi kota-kota besar, pabrik-pabrik dan manfaat-manfaat non pertanian lainnya. Misalnya, Bogor (di pulau Jawa) selama bertahun-tahun terkenal sebagai penghasil nanas terbaik di dunia. Sekarang orang sudah lumrah melihat orang-orang yang berkunjung ke Palembang, Sumatera Selatan membeli nanas untuk dibawa pulang ke Bogor. Mengapa? Seorang ahli ilmu tanah Indonesia yang terkemuka dari daerah Bogor menghubungkan hal ini dengan hilangnya tanah pertanian yang baik menjadi daerah perumahan sebagai hasilnya perpindahan daerah penanaman nanas ke daerah-daerah yang kurang cocok di lereng-lereng gunung yang dekat dari situ.

Sebuah survei tanah dengan mudah memberikan keterangan mengenai penentuan letak tanah-tanah pertanian yang baik. Pada umumnya, tanah yang “terbaik” untuk pertanian, “terbaik” pula untuk rumah-rumah, jalan-jalan, pabrik-pabrik dsb. Hal ini menimbulkan suatu masalah karena petani tidak dapat mencapai nilai-nilai tanah yang lebih tinggi. Kita perlu menjaga tanah pertanian. Ini merupakan suatu bidang dimana pemerintah harus membuat keputusan-keputusan yang bijaksana tentang pemanfaatan tanah. Implikasi (masalah) sosial itu sangat besar untuk masa sekarang dan terus kemasa-masa yang akan datang.

12.11.7 Pencemaran Tanah Pertanian

Beberapa kegiatan pertanian, seperti pemupukan yang berlebihan, penimbunan pupuk kandang dalam jumlah yang berlebihan dan pencemaran pestisida, berhubungan langsung dengan tanah. Tanah-tanah yang di alam, bertekstur halus, berdrainase baik, berpH tinggi, cenderung lebih dapat mengatasi pencemaran pertanian daripada tanah-tanah dangkal, kasar dan masam.

Sumber pencemaran pertanian lainnya adalah pencucian garam-garam dari tanah yang diairi (umumnya daerah-daerah kering/ gersang), makin besar jarak tempuh pengaliran sebuah sungai yang dipakai untuk pengairan, makin tinggi kandungan garamnya. Suatu contoh, sungai di Colorado di Amerika Serikat dipakai untuk irigasi, ketika mencapai perbatasan Meksiko, airnya sudah terlalu asin sehingga tidak dapat dipakai. Amerika Serikat harus mendirikan pabrik-pabrik penyaringan air (penghilangan garam) untuk membuang garamnya sebelum mengalir ke Meksiko.

12.11.8 Pencemaran Non Pertanian

Rembesan dari landfills dan pembuangan sampah bahan kimia juga mempengaruhi kualitas air. Penyeleksian tempat-tempat pembuangan sampah yang tepat akan dapat menolong mengatasi masalah ini.

12.11.9 Kemungkinan Membangun Waduk

Banyak daerah yang tidak cocok untuk pertanian yang intensif, karena kekurangan air, berlereng-lereng curam, tanah yang dangkal dsb. Ditinjau dari beberapa hal, hutan dan daerah penggembalaan mungkin saja bisa dimanfaatkan. Survei tanah dapat menolong untuk menetapkan tempat-tempat tersebut. Di daerah-daerah demikian, memungkinkan pula untuk pembangunan waduk atau bendungan untuk penyimpanan air yang mungkin dimanfaatkan untuk hidro-listrik dan irigasi.

12.11.10 Manfaat Ilmu Purbakala

Pada tahun-tahun terakhir ini, ahli-ahli purbakala telah menaruh perhatian yang besar pada ilmu tanah. Seorang ahli purbakala perlu mengetahui akan jadi apa tanah yang alamiah dan normal itu pada daerah-daerah tertentu. Dengan mengetahui hal ini, ia dapat memeriksa perbedaan-perbedaan dan mencoba mengaitkannya dengan kegiatan manusia. Misalnya beberapa penelitian di Amerika Tengah menunjukkan bahwa tanah-tanah yang normal di daerah-daerah tertentu mempunyai permukaan yang tebal dan hitam.

Pada waktu diadakan penggalian, ditemukan tanah permukaan yang tipis berwarna agak tua terletak diatas tanah yang tebal dan hitam. Ini menunjukkan bahwa tanah permukaan asli (daerah yang letaknya rendah) telah ditutupi oleh sedimen-sedimen yang disebabkan pemanfaatan tanah yang tidak benar (erosi) dan ketika daerah itu ditinggalkan, permukaan gelap itu telah mulai terbentuk (setelah berapa ratus tahun). Pecahan-pecahan tembikar, mata-mata panah, tulang-tulang dan sebagainya, juga menolong mereka untuk sampai pada kesimpulan ini.

Seorang ahli ilmu tanah sering menemukan bukti tempat tinggal manusia ketika ia melihat keadan tanah yang tidak biasa, yang berbeda dari tanah-tanah yang normal di daerah tersebut.

12.12 Ringkasan

Survei adalah kegiatan yang dilakukan untuk mempelajari lingkungan alam dan potensi sumber dayanya. Macam-macam survei sumber daya alam meliputi setiap kegiatan faktor lingkungan fisik seperti geologi, bentuk wilayah, iklim, hidrologi, vegetasi, fauna, flora (vegetasi) dan tanah.

Survei tanah bertujuan untuk memberikan/ menyediakan informasi kepada pemakai tanah, bentuk wilayah dan keadaan lain. Selain itu juga untuk menyediakan informasi yang akan membantu pengambilan keputusan tentang penggunaan lahan dan rencana pengembangan wilayah yang disurvei misalnya: untuk pertanian,kehutanan, detail pengelolaan budidaya.

Terdapat berbagai tingkatan survei yaitu survei eksplanatory, reconnaissance, semi detail, detail dan intensif dihubungkan dengan urutan skala dan intensitas pengamatan atau kegunaan peta yang dihasilkan. Berdasarkan macamnya terdapat survei inventarisasi sumber daya alam,

secara nasional atau regional. Secara lebih terbatas ada pun survei feasibility, survei pengelolaan dan survei monitoring keadaan tanah dan survei-survei sosial dan ekonomi lainnya.

Interpretasi hasil survei tanah untuk tujuan pengembangan pertanian meliputi pendugaan potensi produksi, kebutuhan masukan input, pendugaan respons terhadap penggunaan pupuk dan kapur, kemungkinan irigasi dan drainase. Pada pertanian yang modern interpretasi harus mencakup kemungkinan penggunaan alat-alat mekanis dan teknologi pertanian moderen.

Interpretasi penggunaan lahan/ lahan untuk pertanian merupakan proses pendugaan potensi lahan bagi satu atau lebih alternatif penggunaan pertanian. Cara interpretasi ini dikenal dengan evaluasi lahan. Suatu sistem evaluasi lahan mungkin bertujuan tunggal, ganda atau general purpose; bersifat aktual atau potensial, kualitatif atau kuantitatif, bersifat fisik atau ekonomi. Beberapa contoh sistem evaluasi lahan: USDA Land Capability Classification, US Bureau of Reclamation Land Classification for Irrigation, FAO Framework for Land Suitability Evaluation dan sebagainya.

Bentuk-bentuk penggunaan lahan untuk pertanian yang umum dikenal antara lain: pertanian lahan kering (tanaman setahun, tahunan), pertanian sawah (tadah hujan, lebah, irigasi), padang rumput, hutan, taman suaka alam dan sebagainya. Sebagai seorang ahli ilmu tanah, haruslah ingat bahwa ahli-ahli lainnya melihat tanah dari sudut pandangan lain, sehingga mempelajari dan melihat peranan tanah diluar dari pertanian dan ilmu kehutanan dianggap perlu.

Daftar Bacaan

- Brady, N, C, 1974. The nature and properties of soils 8 th ed. Macmillan Pub. Co. inc. New york.
- Boul, sw , f.d hole and R.J. mc cracken, 1980. Soil genesis and classification, second edition. The iowa state university press, ames
- Hudson nw 1975. Field engineering bpr agricultural development, clarendon press oxford
- Olson Gerald w 1981. Soils and environment a guide to soil surveis and their application chapman and halal. New york and London
- Young a 1980. Tropical soils and soils survei Cambridge univ.press Cambridge.

Contoh Soal Untuk Mendalami Materi

1. Apa yang dimaksud dengan survei detail, sebutkan beberapa manfaat survei ini
2. Apa tujuan survei fisiabiliti atau survei kelayakan (feasibility survei)? Jelaskan.
3. Sebutkan tahap-tahap pelaksanaan suatu survei
4. Sebutkan 4 contoh informasi tanah secara spesifik yang dihasilkan dari suatu survei.
5. Jelaskan hal-hal yang dicangkup oleh interpretasi hasil survei tanah untuk penggunaan pertanian
6. Terangkan secara singkat apa yang dimaksud dengan evaluasi lahan dan tipe-tipe evaluasi lahan
7. Terangkan dengan singkat sistem evaluasi lahan menurut USDA dan FAO
8. Apa yang paling mudah untuk menamakan bentuk-bentuk penggunaan lahan: komoditi?, cara pengusahaan? Dan lain-lainnya. Jelaskan .
9. Manfaat tanah untuk tujuan-tujuan non-pertanian, seperti bidang-bidang:
 - a. Teknik
 - b. Pemanfaatan kota
 - c. Yang berhubungan dengan pemerintah (pajak, dsb)
 - d. Kualitas air
 - e. Pembuangan kotoran
 - f. Arkeologi

Pilihlah tiga diantara bidang-bidang yang disebut di atas:

- 9.1 Menurut pendapat anda, apakah yang menjadi masalah pada tiga-tipe bidang di Indonesia pada saat ini.
- 9.2 Masih mengenai ke tiga bidang yang sama, apakah pentingnya bidang-bidang ini akan berubah dalam 20-30 tahun mendatang? Jelaskan perubahan-perubahan dan saran-saran untuk menyelesaikan masalah tersebut.

BAB XIII

TANAH DAN PENCEMARAN LINGKUNGAN

13.1 Tanah dan Pencemaran Lingkungan

Pencemaran adalah suatu masalah di setiap negara di dunia, tidak terkecuali di Indonesia. Ia mempunyai pengaruh kepada setiap makhluk hidup, manusia, burung, hewan melata, ikan, begitu juga tumbuhan. Materi ini terbatas tentang pencemaran dengan sumber tertentu sehubungan dengan pertanian.

13.2 Pencemaran Terhadap Tanah

Pestisida (particida-Cida atau Cide berarti kematian). Di setiap usaha pertanian, sejumlah bahan kimia digunakan untuk membasmi hama an penyakit tanaman. Dalam banyak kasus, beberapa bahan kimia ini tertinggal ditanah sebagai *polusi*, sesudah tujuan yang dikehendaki tercapai. Pestisida mencakup:

- Herbisida – pembasmi tumbuhan gulma
- Insektisida – pembasmi serangga
- Fungisida – pembasmi fungi (penyebab penyakit tanaman)
- Fumigan – penyakit serangga, penyakit, tumbuhan

Pestisida biasanya bekerja melawan sejumlah besar sasaran organisme, yang sasaran adalah serangga tertentu, penyakit, tumbuhan atau binatang tertentu. Walaupun yang dituju hanya satu sasaran, tetapi efek terhadap yang lain tidak terhindarkan. Sebagai contoh Arsenik (timah hitam) digunakan untuk membasmi kumbang kentang, tetapi ia juga membunuh burung-burung, lebah, cacing tanah dan dalam beberapa kasus juga manusia. Penimbunan senyawa ini di dalam tanah dan masih berbahaya untuk beberapa tahun sesudah pemberian dihentikan. Saat ini peneliti pestisida sedang berusaha untuk menciptakan bahan kimia yang akan: (1). Bereaksi hanya terhadap sasaran tertentu dan tidak membahayakan yang lain. (2). Cepat berubah sifat menjadi bentuk non-toxic setelah selesai penggunaannya.

Bagaimanapun, masih banyak bahan kimia kuno, di negara-negara yang tidak mempunyai pengawasan resmi. Sebagai misal, DDT, pemakaiannya telah dilarang di USA, tetapi DDT masih diproduksi dan dijual ke Negara-negara yang tidak mempunyai pembatasannya

13.3 Pencemaran oleh Logam Berat

Bagi pengguna pestisida dianjurkan membaca “Etika penggunaannya” apabila akan menerapkan pestisida apapun (atau bahan kimia apapun) dan mengikuti petunjuk pemakaiannya. Berikut ini beberapa macam pestisida berupa logam berat.

1. **Timah hitam.** Timah hitam cenderung untuk menumpuk di tanah sekitar jalan-jalan, hal ini dikarenakan emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor. Kemudian ia dapat diserap oleh tanaman yang sedang tumbuh dan menjadi bahaya kesehatan bagi binatang maupun manusia.
2. **Mercuri (air raksa).** Air raksa dihamburkan ke udara dan air ketika digunakan dalam pestisida dan kegiatan industri. Ia juga masuk ke dalam tanah. Walaupun tanaman tidak menyerap air raksa hingga habis tetapi tanah tidak boleh digunakan sebagai waduk bagi air raksa sebagaimana ia sangat beracun seperti dalam beberapa bentuk air raksa misalnya” methyl mercury”. Air raksa pernah didapatkan dalam tubuh ikan yang hidup di air terkontaminasi di Jepang. Penyakit Paralysis dan penyakit-penyakit lain disebabkan oleh keracunan air raksa.
3. **Cadmium.** Cadmium sering didapat di dalam sampah pabrik atau di air yang dicemari oleh sampah tambang. Pernah diberitakan di Jepang tentang keracunan cadmium karena dimakan oleh ikan yang ditangkap dari air tercemar.

13.4 Pencemaran Akibat Kegiatan Petanian

Penggunaan Pupuk Kandang. Pada kegiatan pertanian, pupuk kandang dapat ditebarkan di tanah pertanian tanpa menimbulkan bahaya. Di beberapa tempat ternak dengan jumlah yang besar (10.000) dikurung di kandang-kandang dan dipelihara disitu masuk jangka waktu yang panjang. Penimbunan pupuk kandang menimbulkan penimbunan nitrat di dalam tanah. Apabila nitrat itu mencapai batas air tanah, ia berbahaya terhadap kesehatan manusia. Suatu konsentrasi nitrat dalam air 10 ppm adalah batas maksimum yang dianggap untuk keselamatan manusia (USA). Makanan yang diberikan kepada 10.000 ternak (menghasilkan 260 ton pupuk kandang setiap hari) membutuhkan sekitar 10 - 12 hektar tanah penampungnya (10.000 ternak menghasilkan kotoran sejumlah yang dihasilkan oleh sebuah kota dengan penduduk 164.000 orang).

Gulma /Benih tumbuhan pengganggu . Benih gulma sendiri umumnya tidak membahayakan manusia / hewan. Yang menjadi masalah adalah bahwa gulma berlomba dengan tanaman pertanian untuk mendapatkan air, zat makanan dan cahaya. Tanaman pertanian bisa terganggu tumbuhnya (kerdil), mati atau berkurang kualitasnya karena pengaruh gulma. Gunakanlah selalu benih yang bebas dari gulma. Musnahkanlah rumput untuk mencegah tanaman pertanian akibat tercampurnya dengan benih gulma .

Penggaraman. Daerah basah seperti Sumatera, biasanya tidak ada masalah dengan kegaraman. Akan tetapi, di daerah kering seperti di beberapa tempat di Jawa Timur, dimana sistem irigasi diterapkan, ada kecenderungan bagi garam yang dapat larut untuk menumpuk yaitu ketika air irigasi menguap dari tanah dan garam tinggal di permukaan tanah. Hal ini diberitakan sebagai masalah yang sangat serius di daerah-daerah irigasi di Mexico dan USA. Apabila ditemui problema penggaraman pada areal pertanian ada tiga dasar pemecahan masalah, yaitu: (a). memberi air yang banyak untuk melarutkan garam tersebut dan keringkan kembali (suatu sistem irigasi tanah kering yang baik memerlukan sistem drainase yang baik pula). (b). Memberi air yang cukup untuk mencuci garam yang ada dibawah daerah perairan tanaman. (c). Membuat tanah beralur-alur (mirip selokan-selokan kecil berderet susun) dan tanamlah di bagian punggungnya. Hal ini akan membuat garam berkumpul di bagian yang rendah (parit) dan menjauhi akan tanaman (sistem surjan).

13.5 Pencemaran Bahan Radio aktif

Semakin banyak penggunaan energi dan lain-lain, penempatan sampah nuklir akan sangat meningkat. Penempatan sampah nuklir di darat, haruslah lebih cermat untuk mencegah adanya perembesan ke dalam tanah atau air. Hal ini biasanya diatur oleh peraturan-peraturan secara nasional/ internasional.

13.6 Pencemaran Terhadap Udara

Praktek pertanian umumnya menyebabkan pencemaran udara lebih sedikit dibandingkan yang disebabkan oleh pengerjaan-pengerjaan industri, kendaraan bermotor dan pembakaran sampah kota. Walaupun begitu, masih ada beberapa masalah pencemaran yang berhubungan dengan pertanian.

- a. **Pembakaran limbah pertanian.** Pada areal pertanian padi gandum dan jagung, jerami dibakar, setelah dipanen. Asap (juga baunya) yang berasal dari pembakaran akan menyebabkan iritasi dan rasa sakit bagi manusia dan binatang. Kadang, penglihatan menjadi masalah. Misalnya di tahun 2015, airport di Pekanbaru Riau, ditutup beberapa hari, dikarenakan terlalu gelapnya penglihatan yang disebabkan oleh asap dari sisa pembakaran hutan.
- b. **Penggunaan Pestisida.** Banyak pestisida mengambang (terbawa angin) dari areal pengoperasian pestisida atau menguap sesudah digunakan dan kemudian dibawa angin. Bukan hal yang aneh bila terjadi kerusakan di daerah yang jauh dari areal penggunaan pestisida.
- c. **Bau-Busuk.** Pupuk kandang pertanian khususnya yang berasal dari ayam mempunyai bau busuk yang menyengat, sehingga sangat mengganggu banyak orang. Penjagalan ternak juga menimbulkan bau yang tidak enak. Hal yang sama terjadi pada pabrik kertas, penyamakan kulit dan tempat pembuangan sampah.
- d. **Serbuk.** Sejumlah gulma dan tanaman pertanian, sering menghasilkan serbuk dengan jumlah yang besar yang menimbulkan masalah kesehatan manusia yang serius (reaksi alergi).
- e. **Pengoperasian industri.** Sering menimbulkan pencemaran udara yang hebat.
- f. **Ozone (O_3).** Nitric Oxida (NO) adalah suatu pancaran berasal dari mesin-mesin kombusi internal dan apabila ia bereaksi di atmosfer, akan menimbulkan Ozone (O_3), ozone dengan konsentrasi 1-2 per seratus juta adalah normal. Di Los Angeles, California, USA dilaporkan terdapat Ozon Cek Esn 100 per seratus juta. Sejumlah tanaman sangat peka terhadap kenaikan kadar Ozone. Anggur, tomat dan white pine (pinus strobus) peka terhadap Sulfur Dioxide (SO_2)

Sulfur dioxide masuk ke dalam tanaman melalui stomata dan dapat menyebabkan sel-sel mengerut hancur dan menyebabkan kematian tanaman. Ia juga berbahaya bagi manusia dan hewan. Masalah “hujan asam” di Eropa, Amerika dan Kanada disebabkan oleh Sulfur Dioxide. Banyak hutan hancur. danau menjadi masam airnya, yang menyebabkan kematian ikan.

- g. Particular Matter** . Partikel- partikel (seperti debu) dari industri pertanian dan kegiatan manusia lain, ditambah kegiatan angin alamiah (seperti badai debu) adalah penyebab polusi udara. Partikel-partikel ini bisa beracun, seperti iritasi (sebagaimana debu di mata anda) atau abrasive (efek semburan pasir) atau suatu kombinasi dari bahan-bahan tersebut.
- h. Bunyi bising,** bisa berpengaruh bagi manusia dan hewan. Banyak daerah di dunia yang mempunyai kontrol resmi batas kebisingan di pabrik / jalan yang diperbolehkan.\

13.7 Pencemaran Terhadap Air

a. Partikel / Sediment (tanah atau partikel lain yang ada di alam) oleh erosi serta partikel partikel yang dipindahkan dari tanah atau angin. Partikel mungkin hanya menjadikan cadangan air” berlumpur” dan memenuhi danau-danau dan tempat-tempat cadangan atau partikel mungkin telah mengadsorpsi atau absorpsi yang membahayakan tanaman atau hewan. Fosfor dan kalium dapat hilang dari tanah bersama partikel-partikel tanah yang dipindahkan oleh erosi, sehingga mencemari air.

b. Sampah, barang-barang bekas yang: bisa jadi beracun (wadah pestisida) atau bisa jadi tak beracun (pecahan gelas-gelas bersih) atau bisa jadi hanya masalah penglihatan bagaimanapun sampah biasanya menunjukkan ketidakpedulian terhadap kesehatan dan kesejahteraan manusia.

c. Air Panas. Air pendingan dibutuhkan di banyak kegiatan industry, dan hasil sampingan berupa air panas umumnya ditumpahkan kembali ke asalnya. Panas yang bertambah ini dapat membahayakan ikan dan tumbuhan (di daerah-daerah yang sedikit lebih dingin, air yang hangat merangsang kehidupan ikan dan tumbuhan). Kebanyakan instalasi tenaga nuklir menggunakan tower-tower pendingin buatan manusia agar dapat menggunakan ulangkan air pendingin.

d. Detergent. Sejumlah sabun,atau detergent, terutama yang berkadar fosfor tinggi, mengotori air drainase. Suatu akumulasi fosfor (dan unsur lain yang penting bagi pertumbuhan tanaman di air disebut eutrophication), dapat menimbulkan kelebihan pertumbuhan ganggang / lumut air (bunga ganggang) karena cadangan oksigen akan habis dan ikan akan mati, sejumlah negara mengatur jumlah dan macam bahan kimia campuran yang diizinkan dalam pembuatan sabun.

e. Pestisida, dapat mencemari air secara langsung (dari semprotan, ceceran /tumpahan wadah bekas tidak pada tempatnya), dari partikel-partikel erosi yang mengandung bahan kimia sintetik, atau lapisan dari tanah.

f. Garam anorganik, dapat berupa logam berat dan lain-lain berasal dari sampah-sampah yang dibuang ke dalam air, pencucian batuan dan tanah ataupun pemupukan berlebihan.

g. Bahan- bahan radioaktif. Sejalan dengan semakin banyaknya penggunaan energy nuklir dan bahan –bahan radioaktif, penempatan sampah nuklir akan sangat penting. Sejumlah negara membuang sampah nuklir di lautan. Peraturan nasional dan internasional sangat dibutuhkan untuk mengatur masalah-masalah ini.

13.8 Tanah Sebagai Sarana Penampung Limbah

Sebagaimana populasi bertambah, dengan cepat timbul problema-problema sehubungan dengan penanggungan sampah. Masalahnya berkaitan dengan jumlah dari jenis sampah. Sampah ini dalam banyak bentuk seperti: bahan dari tumbuhan, binatang, logam, kaca, plastik, bahan radioaktif, air panas dan atau pencemaran dari limbah industri, produk emisi (gas partikel) dan tentunya juga sampah binatang dan manusia. Sebagai tambahan bagi masalah sampah yang bersifat fisik, masih ada masalah-masalah pemandangan, suara dan bau yang sering terjadi dalam penanganan dan pembersihan sampah.

Metoda yang telah lama digunakan sehubungan dengan perembesan sampah adalah membuangnya ke aliran sungai, rawa, danau atau laut. Hal ini bisa diterima sepanjang jumlahnya sedikit, tetapi sejalan dengan makin besarnya jumlah sampah, maka bertambah juga problemnya. Penyakit-penyakit, hama-hama (seperti tikus, nyamuk, dll) berbagai racun, hambatan-hambatan fisik, pandangan dan bau-bauan dengan cepat menjadi permasalahan.

Adanya istilah "Land fills" yaitu area tempat pembuangan sampah yang ditiup kembali ke tanah. Jenis tanah yang sesuai dengan ini sangat spesifik (dan kimia) bahan buangan dan sering sukar didapat karena jauh dari sumber sampah, atau terlalu dekat dengan kegiatan yang lain. Rembesan, bau dan bunyi dari pengoperasian " land fills" ini sangat memberatkan dan dapat membahayakan.

Penyelesaian akhir dari masalah ini dengan mendayagunakan kembali materi-materi yang masih bisa digunakan, dengan membakar sisa keperluan industri atau rumah tangga. Volume materi yang tak berguna secara total umumnya sangat kecil, kemudian dibuang ke dalam landfills. Instalasi untuk “recycling” ini mahal, baik pembangunannya maupun peng-operasiannya. Masalah lain adalah sehubungan dengan ongkos pengumpulan dan transportasinya ke instalasi tersebut.

Di Indonesia 2024 penyelesaian sampah masih lebih banyak diatur masyarakat setempat dari pada peraturan daerah/ pusat. Berapa kota, seperti Jakarta, mempunyai sistem-sistem pengumpulan sampah yang agak efisien. Bagaimanapun masih banyak penduduk setempat yang tidak membantu dengan membuang sampah ke selokan-selokan sepanjang jalan, atau ditanah-tanah kosong. Pendidikan masyarakat dan pelaksanaannya masih menjadi masalah di kota-kota kecil, desa-desa atau kampung-kampung terpencil dimana masyarakat lebih suka membakarnya, melempar ke sungai terdekat atau sepanjang jalan raya. Suatu aspek yang menarik sehubungan dengan tumpukan sampah akhir-akhir ini di Indonesia adalah adanya sejumlah besar plastik, terutama kemasan plastik. Sampah yang terbungkus plastic terhalang dari proses pembusukan biologis yang normal, sehingga akan bertahan lama dan akan menjadi masalah sampai bertahun yang akan datang.

Di Indonesia , khususnya yang jauh dari kota besar, penyelesaian sampah selalu dikaitkan dengan tanah. Di daerah daerah yang berpenduduk lebih padat problemnya lebih besar dan melibatkan banyak teknisi. Bagaimanapun juga keterbatasan kemampuan perlu diperhitungkan.

13.9 Penggunaan Sampah Organik untuk Produksi Pertanian

Keuntungan-keuntungan. Pada umumnya sampah organik (yang tidak beracun) dapat digunakan (1) untuk meningkatkan produksi tanaman pertanian. Sampah organik biasanya mengandung banyak unsur hara tanaman, sebagian diantaranya penting bagi pemeliharaan tanaman. (2) Sampah macam ini dapat meningkatkan produksi tanaman dan mempertahankan produktivitas dengan memperbaiki struktur tanah dan kandungan bahan organiknya. (3) Di samping itu juga dapat mempertahankan tanah dari erosi yang berlebihan selama periode tertentu.

Kerugian – kerugian, dari sampah organik berkaitan dengan segi ekonomi yang berkaitan dengan sifat-sifat kimiawi dan biologis pada sampah.

1. Sampah bervolume lebih besar, berkadar zat makanan rendah bila dibandingkan dengan pupukkomersial. Akibatnya biaya transportasi dan aplikasi lebih mahal daripada pupuk komersial.
2. Komposisi sampah bermacam-macam sehingga daya guna dan atau bahayanya sulit dipastikan.
3. Dalam banyak kasus bau busuk dari sampah organik ammonia dan campuran organik sangat mengganggu.
4. Kelebihan nitrat (terutama dari pupuk kandang tetapi juga dari pemupukan N yang berlebihan dapat membahayakan kesehatan bila sampai kepada cadangan air.
5. Rembesan komponen-komponen yang bisa larut akan mencari air, sehingga dapat meracuni ikan (dan / atau makhluk hidup lain) atau merusak keseimbangan alam ekologis/ biologis).
6. Di areal kering ada kemungkinan bahan-bahan (seperti partikel-partikel pupuk kandang)dipindahkan oleh angin sehingga mencemari areal-areal lain.

13.10 Bahan Pencemar Tanah

Pencemaran oleh Bahan Organik. Selain bahan pencemar organik yang telah diterangkan sebelumnya, terdapat **minyak dan gas alam** yang beberapa saat menimbulkan masalah yang meliputi:.

- a. Udara tanah dan keadaan anaerob menyebabkan: akar tanaman mati karena kekurangan oksigen, merusak struktur tanah dan keadaan-keadaan anaerob yang menyebabkan sejumlah unsur mudah larut.
- b. Pada mulanya struktur tanah rusak, tetapi penggarapan tanah dan penyerapan udara oleh tanah mempercepat kembalinya tanah ke keadaan yang mendekati normal (mungkin memerlukan beberapa tahun). Dibawah kondisi dengan temperatur yang ada di Indonesia, efek yang merusak dari pencemaran minyak dan gas akan hilang jauh lebih cepat dari daerah beriklim lebih dingin (kecuali terjadi pencemaran yang berkelanjutan).
- c. Minyak dan gas (produk perminyakan) pada dasarnya adalah senyawa organik dan merupakan sumber energi yang baik bagi

mikroorganisme, karena itu jumlah dan pertumbuhannya sangat terdorong. Tanah akan menambah sejumlah nitrogen dan kandungan bahan organik setelah terjadinya dekomposisi oleh mikroba dari minyak dan gas tersebut.

13.11 Pencemaran oleh bahan kimia anorganik(Racun-racun)

Point penting dalam memikirkan pencemaran tanah oleh bahan kimia anorganik.

13.10.1 Hentikan / kurangi secara besar-besaran penggunaan racun terhadap tanah.

- 1) sejumlah pencemaran tanah terjadi secara kebetulan dari kegiatan industri dan buangan kendaraan bermotor. Untuk mengontrol hal ini, harus ada peraturan batas “ kontrol emisi” (emission control) bagi industri dan mesin-mesin mobil.
- 2) Sumber pencemaran kedua adalah penggunaan secara sengaja bahan-bahan yang mempunyai pengaruh-pengaruh beracun. Bahan-bahan ini mencakup pestisida, pupuk, air irigasi dan sampah-sampah keras (padat). (sampah organik seperti kotoran binatang dan lumpur selokan, telah disebutkan tadi).

13.11.1 Kelola tanah dan tanaman untuk mencegah terjadinya sirkulasi toksin

Suatu metoda pengawasan yang secara luas digunakan adalah mencegah penyerapan bahan kimia oleh tumbuhan. yang dimaksud adalah menganggap seolah-olah tanah adalah bak (wadah) toksin dan dengan begitu kita berusaha memutuskan siklus “ tanah-tumbuhan-binatang dan manusia.

13.11.2 Beberapa cara yang umum untuk menangani sirkulasi toksin

- 1) Liming (pengapuran) .kebanyakan unsur kurang mobil dan sedikit tersedia pada tingkat keasaman tinggi. Pengapuran tanah masam akan mempercepat penyediaan unsur tersebut
- 2) Drainase pada tanah-tanah basah. Drainase akan memperbesar suplai oksigen dan mengakibatkan oksidasi. Bentuk oksidasi dan beberapa unsur beracun umumnya kurang tersedia bagi tanaman dibandingkan dengan bentuk reduksi.

- 3) Penggunaan fosfor yang benar. Fosfor biasanya mengurangi kemampuan toksin (bagaimanapun ia mempunyai efek sebaliknya terhadap arsenic). Kita perlu mengetahui toksin secara pasti terlibat, sebelum kita menggunakan sesuatu untuk memperbaiki problemnya.
- 4) Tirisan/ rembesan. Rembesan adalah cara yang efektif bagi pindahan bahan kimia . contoh : Borax. Bagaimanapun perembesan nahaya kimia ke air atau (aliran air) padat menimbulkan masalah juga. Di daerah kering dapat terjadi perembesan kimia (misalnya- boron) kedalam di bawah air tumbuhan, tetapi tidak sampai ke air tanah.
- 5) Mengenali karakter tanaman, sejumlah tanaman membutuhkan unsur-unsur tertentu, diatas jumlah kebutuhan untuk hidup/ pertumbuhan semestinya dan mempunyai konsentrasi yang cukup tinggi untuk membahayakan binatang dan manusia. Hal ini memerlukan pengetahuan praktis tentang komposisi (mineral yang sebenarnya dari tumbuhan. untuk itu ada dua pilihan umum, yaitu:
 - a. Hindari tanaman “ tipe penimbunan” baik untuk makan manusia ataupun hewan
 - b. Panenlah tanaman itu pada keadaan pertumbuhan matang yaitu ketika konsentrasi hara menurun

13.12 Kelakuan (Sifat-Sifat) Pencemaran Tanah Anorganik

Beberapa jenis kontaminasi (pencemaran anorganik yang mungkin terjadi). **Beberapa unsur pencemar Zinc (Zn), Cooper (Cu), Manganest (Mn) dan Nickel (Ni)**

Kemampuan elemen ini mempunyai karakter kimia serupa dan bereaksi dalam tanah dengan cara serupa pula. Mereka disini dipertimbangkan secara berbarengan./ mereka secara pasti dipengaruhi oleh pH, kandungan bahan organik tanah dan fungsi reduksi oksidasi tanah.

- a. Kondisi pH tinggi drainase yang baik (oksidasi) akan mengikat unsur-unsur ini dalam jumlah relatif besar.
- b. Bahan organik tanah cenderung menyebabkan terjadinya “chelaton” (pengikatan oleh senyawa kompleks). Daya ikat untuk “chelaton” ini biasanya adalah > copper> nickel > zinc> manganese.

Cadmium (Cd). Di tahun-tahun terakhir ini cadmium dihubungkan dengan kesehatan manusia. Orang yakin bawa Cd mempunyai hubungan

dengan hipertensi (tekanan darah tinggi). Sedikit yang diketahui tentang cadmium di dalam tanah. Tetapi diperkirakan bereaksi seperti Zn (zinc) **Mercury (Hg)**. Masalah utama ialah bahwa logam Hg teroksidasi ($\text{Hg}^{+10} \rightarrow \text{Hg}^{++}$) menjadi bentuk di-valent yang diubah oleh mikroorganisme menjadi methylmercury ($\text{Hg}^{++} \rightarrow \text{CH}_3^+$) dan selanjutnya menjadi Dimethylmercury ($\text{CH}_3 \text{Hg} \rightarrow \text{CH}_3 \text{Hg CH}_3$) yang sangat beracun bagi manusia dan hewan. Methylmercury larut di air dan dapat diadsorpsi oleh tanaman. Methylmercury berkonsentrasi ketika ia bergerak melalui mata rantai makanan (tumbuh $\rightarrow$ herbivore $\rightarrow$ carnivore).

Biasanya, mercury anorganik bereaksi cepat dengan bahan organik tanah dan mineral klei untuk membentuk senyawa yang tak larut dan tidak tersedia bagi tanaman. Bagaimanapun juga ia dapat dioreduksi menjadi cair dan dikonversikan menjadi methylmercury (lihat paragraph di atas) yang dapat diserap oleh tanaman.

Lead (Pb). Senyawa pestisida yang mengandung Pb telah menjadi sumber pencemaran. Sekarang kebanyakan Pb berasal dari gas buangan kendaraan bermotor. Sejumlah Pb yang terbawa di udara dapat langsung ke tumbuhan dan sebagian ke tanah. Umumnya Pb tanah sangat banyak tersedia bagi tumbuhan. Kebanyakan Pb tanaman berasal dari pencemaran permukaan. Unsur Pb sangat sedikit yang merembes kebagian bawah permukaan. Lead dapat menjadi masalah di sepanjang jalan yang padat kendaraan di Indonesia

Arsenic (As). Pestisida arsenic suatu ketika banyak digunakan terutama untuk kebun-kebun buah-buahan. As dan Pb adalah contoh utama. Akumulasi arsenic kadang-kadang dalam bentuk sejumlah toksin. Di dalam tanah kelakuan unsur ini banyak menyerupai fosfor. Kelebihan Arsenic juga mengganggu pertumbuhan tanaman. Penambahan zinc, iron atau sulfat aluminium ke dalam tanah akan mengurangi keracunan arsenic.

Boron (B). Pencemaran oleh boron dapat terjadi dari air irigasi yang berkadar boron tinggi. Biasanya ini terjadi ditempat yang airnya didapat dari daerah pegunungan yang muda yang tidak melalui pencucian yang cermat oleh komponen pelarutnya. Contoh yang menonjol adalah daerah pegunungan Barat laut dan Selatan Amerika. Hal serupa dapat menjadi masalah di pegunungan muda di Indonesia. Kelebihan boron dapat terjadi dari pemupukan yang berlebihan seperti alfalfa (Lucerne), yang membutuhkan unsur ini lebih banyak. Biasanya keracunan boron ini

terjadi secara lokal. Pencatatan tentang penggunaan pupuk boron harus dilakukan untuk menghindari pemupukan berlebihan kandungan rata-rata 50 ppm boron berbagai jenis tanah pertanian diperkirakan cukup memadai.

Flourine (F). Keracunan fluorine biasanya bersifat sangat lokal. Pencemaran air oleh bahan ini biasanya berasal dari proses industri. Flourine dalam tanah sangat sukar larut, terutama yang digunakan bersama kapur dengan jumlah banyak (di banyak kota di dunia fourine ditambahkan kedalam persediaan air minum umum(air ledeng) untuk mencegah kelapukan gigi. Hal ini harus dikontrol dengan cermat oleh dinas kesehatan). Umumnya pencemaran oleh flourine tidak tampak sebagai masalah di Indonesia.

Radionuclides. Fisi nuklir yang berkaitan dengan percobaan senjata nuklir menimbulkan sumber pencemaran . Ada proses pencemaran radioaktif pada tanah secara alamiah (misalnya, K-40, Rb-87 dan C-14). Ditambah lagi Strontium-90 (Sr-90) dan cesium-137 (Cs-137), dengan umur-paroh yang cukup panjang untuk menjadi persoalan dalam masalah tanah, Strontium-90 mempunyai umur-paroh 28 tahun, dan umur paroh cesium-137 adalah 30 tahun). Walaupun pertentangan lampau tidak secara mencolok menunjang tingkat volume materi ini didalam tanah, tetapi ia masih menjadi persoalan umum. Dalam bencana nuklir yang besar, level keracunan unsur ini dapat tercapai. Sebagai contoh dijelaskan berikut ini.

- (1). **Strontium-90 (Sr-90).** di dalam tanah bersifat sangat mirip dengan kalsium. Ia cepat memasuki tanah dari atmosfer. Tampaknya strontium terlibat dalam reaksi tumbuhan yang sama dengan kalsium. Hal ini mungkin karena jumlah 90 Sr yang diserap sangat kecil apabila kadar kalsium tanah tinggi.
- (2) . **Cesium -137 (Cs-137).** Cesium secara kimia berkaitan dengan potassium (K), tetapi cenderung lebih sedikit bagi tumbuhan. Tampaknya Cesium difiksasi kuat oleh Vermiculite dan mineral-mineral yang berlapis ganda. Penyerapan Cs-137 oleh tumbuhan biasanya terbatas, tetapi di beberapa tanah tropis (seperti Indonesia) dimana tidak terdapat hubungan dengan klei Vermiculite. Penyerapan dapat lebih cepat. Biasanya tanah memperlambat gerakan Cs-137 kedalam rangkaian makanan hewan dan manusia.

13.13 Geography Tanah

Tanah-tanah di dunia sudah sering digolongkan menjadi enam kelompok, yaitu: Tundra, Podsolik, Chernozemic, Desertic, Latosolic dan Mountainous

13.13.1 Tundra

Tanah ini terbentuk terutama jauh di sebelah utara dari belahan bumi, seperti Canada dan USSR, tetapi juga Chili di Amerika Selatan. Tumbuhan mini, pertumbuhan lambat, perkembangan profil tanah yang lambat dan biasanya berlandaskan pembekuan permanen. Tidak ada potensi agrikultur yang besar, kecuali bagi reindeer (rusa kutub) atau kehidupan liar yang lain.

13.13.2 Podzolik

Tanah ini didapatkan terutama di belahan bumi utara di Selatan Tundra. Areal yang lebih kecil di belahan bumi Selatan (areal luas di Canada, USA, Eropa, USSR, Amerika Selatan dan beberapa di Australia). Tanah ini berkembang dengan baik bila dilindungi oleh hutan berdaun jarum atau hutan yang dedaunannya selalu hijau, di atas bahan induks bertekstur kasar (pasir). Kekhasannya ditandai oleh horison putih yang banyak, kecuali E (istilah lama A2) bahan organik dan besi telah tercuci dan hanya silika saja yang nampak. Tanah ini biasanya bereaksi masam. Banyak dari macam area ini masih berbentuk hutan. Biasanya berupa tanah untuk pertanian yang baik, bila iklim memungkinkan untuk itu. Tanah ini juga ditemukan di Indonesia.

13.13.3 Chernozemic

Tanah ini (diberi nama yang berasal dari istilah Rusia) mencakup seluruh padang rumput alami di dunia. Areal yang luas ditemukan di USSR, Cina, USA, India, Argentina dan Australia. Tanah ini subur, secara luas digunakan untuk produksi biji-bijian (gandum, jagung, kacang kedelai) dan telah memproduksi 90 % dari jumlah biji-bijian yang beredar di pasaran dunia. Ciri tanah dengan lapisan permukaan tebal, hitam, tinggi bahan organik dan berhubungan langsung dengan pembentukan formasi dibawah vegetasi rumput. Tanah ini cenderung sedikit masam dan mempunyai lebih banyak basa-basa (plant nutrients) dari pada tanah Podzolik, dan Latosolic. Sejumlah tanah ini mempunyai liat bertipe 2:1 (montmorillonitic) yang menimbulkan masalah penggarapan tanah.

13.13.4 Desertic (padang pasir)

Tanah golongan ini dibeberapa tempat luas. Seperti yang ada di Afrika, Asia, Saudi Arabia, Australia, Amerika Serikat dan Mexico. Terbentuk dengan rerumputan dan tumbuhan perdu yang terbatas sekali jumlahnya dan tidak nampak adanya pencemaran yang berarti. Sejumlah areal cocok untuk pertanian, jika ada sumber air. Untuk maksud pertanian harus ada jaminan irigasi. Di Sejumlah area (seperti Mongolia) ditemukan binatang pemakan rumput yang berpindah-pindah

13.13.5 Latosolic (Latosol)

Tanah golongan Latosol ini terbentang luas di sekitar garis khatulistiwa yaitu dari Tropical of Cancer” sampai” Tropic of Capricorn” atau 22° 30' LS, yaitu batas daerah tropis. Orang menganggap daerah ini sebagai area pertumbuhan padi di dunia. Hal ini umumnya benar. Kecuali dimana kacang-kacangan terdapat lebih umum. Sebaliknya pada tanah Chernozemic dan Desertic, pencucian sampai ke bagian dalam. Tanahnya berwarna merah (sebagai cirinya) yang disebabkan oksidasi dan besi yang ada.

Banyak diantara tanah ini telah berkembang dibawah curah hujan yang tinggi, temperatur yang tinggi dengan tumbuhan berdaun lebar berupa vegetasi yang menggugurkan daun di musim dingin. Pencucian larutan cenderung didasari pH lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanah msam yang terjadi pada tanah Podsolik yang menyebabkan silika nya hilang dan besinya tertinggal. Tanah ini mempunyai sifat fisik yang baik (struktur) tetapi berkemampuan rendah untuk menahan kation (sangat mirip dengan tanah berpasir) dan membutuhkan pemberian pupuk yang agak sering. Banyak tanah di Indonesia yang tergolong tanah Latosol.

13.13.6 Mountainous

Tanah ini meliputi area yang sangat luas di dunia (mungkin meliputi) 20% atau lebih). Terdapat di lereng-lereng pergunungan, sering berbatu-batu dan mempunyai profil yang dangkal Penggunaan tanah ini umumnya terbatas, bagaimanapun juga, lembah-lembah di sekitarnya dapat sangat produktif (sebagai contoh, beberapa diantara industri-industri keju di Switzerland), Australia dan Italia terdapat di lembah-lembah seperti itu. Di daerah tropis seperti di Indonesia, sejumlah daerah pegunungan digunakan untuk pertanian. Pertanian berpindah (tebang dan bakar) sering terjadi dengan akibat erosi. Tanah pergunungan ini digolongkan pada Organosol.

13.13.7 Klasifikasi Tanah

Kajian klasifikasi tanah secara detail tidak dibahas dalam buku ini. Disini akan memperkenalkan kajian tentang geografi tanah. Pada sub bab ini akan menggolongkan tanah menjadi enam pengelompokan utama. Sebenarnya ini merupakan gambaran contoh yang sederhana dari pembahasan yang sangat kompleks. Pada kenyataannya jumlah macam tanah yang mempunyai ciri khas akan mencapai ribuan. Misalnya, di Amerika Serikat saja, terdapat sejumlah lebih dari 12.000 macam. di Indonesia jumlahnya juga akan mencapai ribuan. Tanah-tanah ini dibedakan satu dari yang lain oleh ciri-ciri seperti berikut ini.

- Jumlah dan macam horizon dan profilnya
- Susunan horizon nya
- Warna
- Distribusi ukuran partikelnya (tekstur dan strukturnya)
- Sifat kimia dan mineralogi
- Faktor iklim
- Dan lain-lain

Lebih jauh kemudian pembagian menjadi fase-fase dapat dibuat atas dasar-dasar seperti kemiringannya, erosi dan keadaan batuan. Oleh karena yang tercangkup disini adalah tanah-tanah dalam jumlah yang besar, perlu digunakan sistem tertentu agar tetap berhubungan dengan semuanya dan memahami hubungan yang ada diantaranya. Klasifikasi tanah telah berkembang selama 100 tahun. Setiap negara biasanya berusaha mengembangkan skemanya sendiri-sendiri. Sekitar tahun 1950, ahli –ahli tanah di Departemen Pertanian USA dalam mengembangkan skema klasifikasi baru yang mereka harapkan dapat memuaskan seluruh pengkelasan tanah di dunia. Sejumlah yang lain, termasuk Indonesia menerima system klasifikasi tersebut.

Sistem klasifikasi ini masih memberi peluang bagi masuknya golongan baru yang belum dikenal sebelumnya. Misalnya, akan ada beberapa tanah di Indonesia yang tidak akan cocok dimasukan bagan sistem ini seperti halnya tanah tropis yang telah dilaksanakan dan digambarkan. Juga, AS hanya mengembangkan sistem itu terpaksa memerlukan informasi dari ahli-ahli tanah dari negara lain.

Pada umumnya, semua skema klasifikasi digambarkan seperti piramida dengan unit yang mempunyai angka terkecil diletakan di atas dan angkanya yang terbesar di bawah. Dalam skema klasifikasi ini bagian atas piramida adalah kategori yang disebut “ order” atau **ordo** (ada 10 order) dan bagian bawah piramida adalah kategori “series” (ada ribuan). Dibawah ini gambaran umum tentang level-level skema klasifikasi tanah dan juga jumlah yang ada secara global.

- Ordo - 10
- Su-bordo - sekitar 50
- Great group - lebih dari 200
- Subgroup - beberapa ribu
- Famili - berpuluh ribu
- Seri - ratusan ribu

Tabel 13.1 Struktur klasifikasi Tanaman dan Tanah di Miami USA (Brady, 1974)

Contoh Plant Classification		Soil Classification	
Phylum	– Pterophyta	Order	– Alfisols
Class	– Angiospermae	Suborder	– Udalf
Subclass	– Dicotyledoneae	Great Group	– Hapludalf
Order	– Rosales	Subgroup	– Typic Haplu Dalf
Family	– Leguminosae	Family	– Fine Loamy, Mixed, Mesic
Genus	– Trifolium	Series	– Miami
Species	– Repens	Phase	– Miami, Eroded, Phase

Tanaman White Clover (*Trifolium repens*) dan suatu tanah pada suatu Miami silt loam, dari Brady, halaman 321 dapat membantu mahasiswa yang punya pengalaman tentang klasifikasi tan

13.13.8 Order (Ordo)

Ordo tanah didasarkan pada morfologi (berdasarkan sifat kimia dari fisik atau deskripsi). Beberapa jenis tanah (asli) adalah bahan pertimbangan. Misalnya, tanah yang berkembang di bawah padang rumput akan sesuai dengan ordo Mollisol. Ordo berhubungan dengan ada/ tidak adanya horizon-horison diagnostik utama. Horison diagnostik adalah spesifik di permukaan (subsurface) digunakan sebagai petunjuk (kunci) dalam sistem

klasifikasi tanah. Diagnostik ini digunakan untuk membuat perbedaan-perbedaan pada skema klasifikasi menyeluruh pada level-level yang agak tinggi dari skema klasifikasi tanah komprehensif (Tabel 13.3).

Klasifikasi “ ORDO’ ini adalah klasifikasi umum dan sangat luas berdasarkan gambaran-gambaran berbeda yang sedikit jumlahnya. Berikut 10 order yang telah diklasifikasikan:

1. Entisol : Tanah baru (belum mempunyai perkembangan profil atau perkembangan profil yang lemah, tanah berbatu, endapan sungai yang baru dan lain-lain
2. Vertisol : Tanah yang terbalik (tanah klei yang pecah-pecah dan retak-retak)
3. Inceptisol : (permulaan) atau muda (profil lemah atau baru saja mulai
4. Aridisols : Tanah arid (daerah tandus dan kering)
5. Mollisol : Tanah lembut / tebal dan berkembang dibawah rumput
6. Spodosol : Berabu (Podzol) horizon E yang terputus , akumulasi iron aluminum (Al) dan besi (Fe)
7. Alfisol : Pedalter (istilah lama, menunjukan akumulasi aluminium dan besi
8. Ultisol : Pencucian sempurna (tanah kuning kemerahan di Sumatera)
9. Oxisol : Tanah axid (latosols), tanah merah yang dalam, diantara banyak tanah- tanah tropis
10. Histosols : Jaringan (organik), (kandungan bahan organik lebih dari 30% dan dalamnya lebih dari 15 cm)

Tabel 13.2 Gambaran umum tentang horizon diagnostic.

Horizon Diagnostik	Gambaran Umum
Mollic	Horizon permukaan (epidons) tebal, berwarna gelap, mengandung Basa tinggi, struktur kuat
Umbric	Sama dengan mollic, kecuali bahwa ia mempunyai kejenuhan basa yang rendah
Ochric	Epipedon berwarna terang, kandungan bahan organik rendah, struktur keras dan massif bila kering.
Histic	Kandungan bahan organik sangat tinggi, basah selama beberapa waktu dalam satu tahun
Argilic	Pada Subsurface Horizons terdapat penimbunan liat silikat
Natric	Pada Subsurface Horizons kandungan sodium (Na) tinggi, struktur prismatic and columnar
Spodic	Pada Subsurface Horizons terdapat penimbunan Bahan organik, akumulasi oksida Fe, dan Al
Cambic	Pertukaran atau perubahan gerakan fisik atau reaksi-kimia

Subordo ; Tingkatan klasifikasi berdasarkan pada kelembaban tanah, bahan induk dan pengaruh

Great Group ; Berdasarkan macam dan karakteristik horizonnya

Subgroup ; berdasarkan konsep dasar atau gradasi yang dibandingkan dengan taxa lain (taxa = bagian skema)

Family ; Berdasarkan pada ciri yang penting bagi pertumbuhan akar

Series ; Berdasarkan, macam jumlah, susunan dan ciri horizon dalam profil

Sebagai contoh klasifikasi tanah, : Maury silt loam – Type Paleudult clayey mixed mesic.

1. Maury silt loam - suatu seri. Tanah ini mempunyai gambaran yang panjang dan terperinci yang membedakannya dengan seri-seri yang lain
2. Typic Paleudult clayey mixed mesic – nama family yang selengkapnya
 - a. Typic Paleudalf – nama subgroup
 - Typic paleudult- nama subgroup
 - Paleudalf – great group
 - Udalf – Suborder
 - Alison – order

- b. Paleudalf
 - Paleudalf – pale- tanah tua, mempunyai perkembangan lebih normal
 - Paleudult –ud- lembab tapi tidak basah
 - Paleudalf – alf- akumulasi besi dan aluminium
- c. Clayey mixed mesic – yang mewarnai corak family
 - Clayey – lebih dari 35 % kali di daerah perakaran tanaman
 - Mixed – kurang dari 50% dari mineral apapun
 - Mesic- temperature tanah antara 8-15 °C (rata-rata dalam setahun)
3. Dari keterangan diatas anda dapat mempunyai gambaran umum dari tanah Maury walaupun anda belum pernah melihatnya di lapangan. misalnya Maury silt loam - suatu tanah tua (pucat) di daerah yang lembaba dengankaumulasi fed an Al(alf) di Horizon B Zinc has (Typic). Di daerah akar tanaman mempunyai lebih dari 35% klei (clayey), tidak ada suatu mineral yang dominan dalam campuran itu (mixed) dan temperatur tanah antara 8-15°C (mesic) lapisan permukaan adalah lempung berdebu

13.14 Ringkasan

Pencemaran adalah masalah di setiap Negara didunia dan tidak terkecuali Indonesia.

1. Pencemaran terhadap tanah, tanah dapat dicemari dengan banyak jalan seperti:
 - a. Pestisida
 - b. Logam Berat
 - c. Kegiatan pertanian, seperti: pupuk, gulma, garam dan bahan-bahan radioaktif
2. Pencemaran terhadap udara
 - a. Pertanian menyebabkan pencemaran dengan jalan seperti:
 - Pembakaran sisa peertania
 - Pestisida (yang mengambang di udara bersama angin)

- Bau busuk
 - Serbuk
 - Bunyi bising
- b. Kegiatan industri sering menyebabkan pencemaran di udara yang hebat, misalnya:
- Ozone
 - Sulfur dioxide (SO₂)
 - Bahan-bahan partikel
 - Bunyi bising
3. Pencemaran terhadap air dapat terjadi dari sumber-sumber pertanian, perindustrian atau rumah tangga.
- a. Sediment (endapan) seperti dari erosi
 - b. Barang bekas/ sisa buangan (trash)
 - c. Panas
 - d. Pestisida
 - e. Garam anorganik
 - f. Bahan-bahan radioaktif
4. Pertanian dapat mencemari lingkungan dalam beberapa cara, seperti:
- a. Buangan dari pemrosesan tumbuhan dan tanaman pertanian, ternak, tekstil, kulit produk peternakan
 - a. Pembakaran barang buangan
 - b. Pemupukan berlebihan
 - c. Pupuk kandang
 - d. Serbuk, bunyi bising, dan bau busuk

Dr. Nyle C Brady dalam bukunya “ The Nature and Properties of Soil” memberikan tiga kesimpulan pokok tentang tanah dan kualitas lingkungan. Secara singkat adalah:

- a. Tanah adalah sumber yang berharga yang seharusnya diselamatkan dari pencemaran lingkungan, terutama yang menimbulkan kerusakan permanen.

- b. Tanah meliputi areal yang luas dan mempunyai kapasitas yang luar biasa untuk menyerap, mengikat dan menghancurkan/ melebur material yang ditambahkan. Hal ini memberi kita peluang untuk menggunakan tanah sebagai mekanisme bagi pembesaran / penggarapan banyak macam sampah yang kalau tidak, akan mencemari lingkungan kita
- c. Produksi reaksi tanah dapat bersifat toxic bagi manusia dan hewan lain bial pindahan dari tanah ke dalam tanaman, udara khusus air.

Area tundra mempunyai tumbuhan kecil, potensi pertanian rendah dan tanahnya didasari oleh pembekuan permanent.

Tanah podzolic hutan yang dedaunnya selalu hijau dengan pencucian acid (tulangnya besi dan dari bahan organik dengan hasil horizon yang kaya E (lama A2). Iklim biasanya faktor pembatas produksi tanaman (khususnya di kebanyakan area di daerah utara). Banyak area-area ini masih merupakan hutan.

Chernozemic. Tanah ini berkembang registrasi rumput. Tanah ini sangat penting untuk produksi biji-bijian. Ciri-cirinya yaitu solum yang gelap A (lama A). sejumlah area mempunyai klei banyak yang menimbulkan masalah dalam pengusahaannya. Dalam beberapa tahun kekurangan hujan dapat menghambat penggunaan bagi pertanian.

Desertic. Terbentuk dibawah curah hujan yang terbatas dan keterbatasan regetai rumput dan semak. Sejumlah areal sangat produktif bila ada irigasi.

Latosolic. Berkembang baik dibawah hutan berdaun lebar, surah hujan tinggi dan pencucian basa-basa (dengan hilangnya silika dan tinggalnya besi). Tanah mempunyai kapasitas pertukaran kation yang rendah sehingga perlu memberikan pupuk agak sering.

Tanah Pergunungan. Biasanya berlereng-lereng, berbatu dan sering dangkal. Sejumlah area secara setempat mempunyai dasar lembah yang sangat produktif. Kebanyakan area digunakan untuk kehutanan, padang rumput atau tempat rekreasi.

Telah diberikan pengenalan singkat pada pelajaran tentang klasifikasi tanah yang sangat besar.

1. Soil series - tanah yang amat serupa (dari perbandingan bahan-bahan pokoknya) dalam ciri-ciri khas profil utamanya kecuali tekstur permukaannya

2. Subdivision series menjadi phase-phase yang didasarkan pada lereng-lereng, keadaan erosi dan batuan.
3. Soil series- seri tanah adalah level terendah dari abstraksi (klasifikasi) di dalam skema.
4. Skema klasifikasi tanah yang dipakai di Indonesia terdiri dari:
Order, Suborder, Great Group, Subgroup, Family, Series dan fase
5. Order-Level tertinggi di dalam skema, untuk macam utama dari horizon tanah.
 - a. Ketahuilah 10 order dan “kata kunci” untuk setiap order
 - b. Ketahuilah apa yang diartikan dengan horizon diagnostik dan beri contoh

Daftar Bacaan

- Brady, N.C 1974. *The Nature And Properties Of Soil* The Macmillan Company, New York.
- Buckman, Harry O. and Nyle C. Brady, 1969. Terjemahan. Prof. Dr. Soegiman 1982 *Ilmu Tanah*. Penerbit Bhratara Karya Aksara -Jakarta
- Forth, H. D. 1978 *Fundamentals of Soils Science*. Sixth Edition John Wiley, Inc New York
- Hughes, Harold D and Darrel S. Metcalfe , 1972, *Corp Production*. Third Edition. The MacMillan Company. New York
- Janick Jules, Robert W. Schery, Frank W. Woods And Vernon W. Ruttan, 1981. *Plant Science an Introduction to the World Corps*. Third Editions W.H. Freeman and Co., San Francisco.
- Soeparti, Goeswono 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. Bogor

Contoh Soal Untuk Mendalami Materi

1. Apa yang dimaksud pestisida?
2. Sebutkan sedikitnya 2 nama pengelompokan pestisida
3. Berikan perlu kata-kata “baca etiket” (read the label”)
4. Apakah sumber pengotoran (kontaminasi) logam berat yang kemungkinan besar ada di indonesia?

5. Aliran lumpur buangan manakah yang lebih berbahaya, yang dari industri atau dari perumahan? Jelaskan jawaban anda
6. Adakah anda pikir bahwa pencemaran oleh pupuk pertanian merupakan masalah di indonesia? Jelaskan jawaban anda
7. Adakah masalah kontaminasi garam oleh air irigasi di indonesia? Terangkan.
8. Berikanlah 2 cara untuk membuat tanah bergaram dapat digunakan untuk pertanian
9. Berikan setidaknya 2 sumber pencemaran udara oleh praktek pertanian. Yang mana yang paling serius? Kenapa?
10. Berikan sedikitnya 3 sumber pencemaran air
11. Apakah sumber pencemaran air dalam jarak 10 km dari universitas ini yang paling hebat?
12. Adakah anda ikut mencemari udara, tanah dan air? Sebutkan 2 cara pencemaran untuk macam-macam pencemaran tersebut.
13. Apakah yang anda anggap problema pencemaran terbesar yang disebabkan oleh pertanian di provinsi ini? Secara singkat, bagaimana anda memecahkan masalah ini?
14. Pikirkan / pertimbangkan penggunaan sampah organik bagi produksi tanaman dan:
 - a. Berikan setidaknya dua (keuntungan-keuntungan dan
 - b. Setidaknya lima (5) kerugian-kerugiannya, kemudian
 - c. Haruskah kita mencoba menggunakan sampah organik dalam produksi tanaman? Jelaskan jawaban anda.
15. Indonesia mempunyai cadangan minyak (dan gas) yang banyak jumlahnya. Selama pengeboran, minyak sering tercecer di tanah.
 - a. Berikan setidaknya dua (2) masalah yang sehubungan dngan pencemaran minyak dan gas pada tanah.
 - b. Adakah pencemaran oleh minyak merupakan hambatan permanent bagi pertanian? Terangkan.
 - c. Pertimbangkan dua macam tanah serupa yang keduanya sama dicemari oleh minyak dengan jumlah yang sama. Satu tanah di sumatera dan yang satu lagi di cina (atau australia atau di jepang atau di amerika serikat)

- d. kerusakan di tanah mana yang akan berlangsung dalam periode yang lebih lama. Terangkan jawaban anda.
16. Tuliskanlah sekurang-kurangnya tiga (3) cara pengelolaan tanah agar dapat mencegah sirkulasi (peredaran kembali) dan bahan-bahan beracun. Dari tiga di atas, cara mana yang saudara yakini sangat berguna untuk Indonesia ? Terangkan
17. Kita telah membicarakan 8 unsur (delapan kelompok unsur) yang bisa menjadi pencemar anorganik pada tanah
 - a. Sebutkan 4 nama unsur-unsur tersebut
 - b. Yang mana diantara yang telah anda sebutkan yang banyak di Indonesia? Kenapa ?
 - c. Bagaimana menurut hemat anda cara menangani masalah ini? Kaitkan jawaban anda pada pertanyaan b
18. Kita membagi tanah di dunia menjadi 6 kelompok utama
 - a. Sebutkan enam kelompok itu
 - b. Dua kelompok yang mana yang saudara kira paling banyak didapatkan di Indonesia?
 - c. Yang mana diantara 6 group itu digunakan untuk memproduksi kebanyakan biji-bijian yang besar besar di pasaran dunia (jagung, gandum, kedelai)
19. Skema klasifikasi tanah digambarkan seperti piramida. Puncak dari piramida itu disebut ORDER.
 - a. Sebutkan 7 nama dari 10 nama-nama order
 - b. Berikanlah gambaran pendek (satu atau dua kata) tentang setiap yang telah saudara sebutkan di atas
 - c. Berikan setidaknya 2 order tanah yang saudara duga akan didapatkan di Indonesia.
20. Order, order, great group dan subgroup adalah nama-nama yang mempunyai bagian ejaan yang mengandung arti diagnostic (ud, misalnya berarti lembab).
 - a. Adakah nama seri tanah mengandung arti diagnostic
 - b. Dari mana biasanya kita dapatkan nama seri tanah?

21. Pada level order dalam skema klasifikasi tanah kita menggunakan apa yang disebut Horizon Diagnostik, Horizon ini dikelompokkan menjadi 2.
- a. Berikan nama-nama grup horizon diagnostik tersebut.
 - b. Berikan 2 horizon untuk tiap group
 - c. Nama2 horizon diagnostic yang anda kira penting dalam klasifikasi tanah di propinsi ini.

TENTANG PENULIS



Nurhajati Hakim , Lahir di Simawang Batusangkar, Sumatera Barat, 10 November 1944,dari Ibu dan Ayah sepasang Petani miskin. Bidang Keahlian, Ilmu tanah / Kesuburan Tanah, Unit Kerja,Departemen IlmuTanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas, Padang.Alamat Rumah: Blok C4 / 1 Komplek Unand Ulu Gadut Padang 25164.E-Mail,nhakimsa@yahoo.co.id dan nurhajatihakim1944@gmail.com.Pendidikan terakhir S3 di IPB Bogor (1979-1982). Training Iptek Nuklir dalam Bidang

Pertanian di Wina Austria 1987,dan berbagai pelatihan lainnya, termasuk menulis Buku Ajar. Pekerjaan Dosen Fakultas Pertanian Unand 1969-2014, dan Pensiun Guru Besar (1 Desember 2014). Suami: Drs Basri Dt Penghulu Batuah nan Kuning. Anak: Dr.Taufika Ophiyandri ST.MSc (Dosen F.Teknik Unand).

Penghargaan, Alhamdulillah penulis memperoleh delapan penghargaan : (1)Penghargaan Menteri Pertanian Republik Indonesia atas jasanya membantu Pemerintah dalam melaksanakan Program Pengapuran Tanah Masam di Indonesia,1985. (2)The Best Researcher Award , Western Indonesian Universities /Kentucky University,1989. (3)Penghargaan dari Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia berupa Bitang Emas Ilmu Pengetahuan, atas jasa /pengalaman penelitian dan kontribusinya ,dalam menangani masalah tanah masam di Indonesia,1999. (4)Penghargaan dari Presiden Republik Indonesia berupa Bintang Emas ((SATYA LANCAKARYA SATYA) atas jasa pengabdiannya selama 30 tahun menjadi pegawai negeri sipil ,2000. (5) Dosen Berperestasi Terbaik Fakultas Pertanian Universitas Andalas 2005. (6) Anugerah Universitas Andalas (Andalas Universitas Award Pertama) sebagai pengajar terbaik,2007. (7)Peneliti Terbaik Versi Stranas DIKTI, 2013. (8). Pengabdikan kepada Masyarakat terbaik IBW Dikti , 2013.

Pengalaman menulis Buku Ajar dimulai dengan buku Mineralogi Tanah, setelah S3 , tahun 1982. Dilanjutkan dengan Dasar-Dasar Ilmu Tanah yang ditulis bersama dosen Ilmu tanah Indonesia PTN Bagian Barat (Unsyiah, USU, UNAND, UNSRI, dan UNILA) yang dibinbing oleh Prof.Dr. Go Ban Hong dari IPB dan Prof.Dr. H.H. Bailey Koordinator dari Kentucky

Team, tahun 1986. Kemudian Team yang sama menulis Buku Ajar Kesuburan Tanah , dan kedua buku tersebut menjadi Buku Ajar Ilmu Tanah pada Fakultas Pertanian PTN Indonesia Bagian Barat. Selanjutnya, menulis buku Pengelolaan Kesuburan Tanah Masam dengan Teknologi Pengapuran Terpadu dan terakhir Titonia Untuk Pertanian Berkelanjutan. Semoga buku-buku tersebut dapat membantu dosen dan mahasiswa Fakultas Pertanian serta praktisi yang butuh.

Pengalaman pekerjaan, diawali sebagai asisten praktikum Mineralogi mahasiswa tingkat I (1965), dan sebagai dosen, 1969 -2014. Menjadi Sekretaris Biro Pendidikan Fakultas Pertanian 1973, Tim Pengembangan Fakultas Pertanian 1975-1978, Konsultan Program Pengapuran Nasional 1982-1990, Kepala Laboratorium Ilmu Tanah Fak.Pertanian Unand 1982-1988, Dosen Mineralogi dan Kimia Pertanian Akademi Industri Padang 1982-1996, Ketua Soil Science Net Work PTN BKS-Barat 1983-1988, Dosen Luar Biasa Biologi Tanah Univ.Jambi di Jambi 1984, Dosen Luar Biasa Dasar-dasar Ilmu Tanah dan Kesuburan Tanah Univ.Islam .Riau (UIR) di Pekanbaru 1984-1996, Dosen Pascasarjana Unand, 1984-2014. Anggota Senat Fak.Pertanian Unand 1985-2014, Anggota Senat Universitas Andalas 1985-2014, Ketua Tim kerjasama Unand-BATAN 1986-1992, Pembantu Dekan I Fakultas Pertanian Unand 1988-1991, Guru Besar Fakultas Pertanian Unand, 1990-2014, Kepala Pusat Kajian Tenaga Atom Unand 1992-1994, Kepala Pusat Penelitian Pemanfaatan Iptek Nuklir (P3IN)Unand, 1994-2014, Direktur Program Pascasarjana Unand 1997-2000, Ketua Komisi Pendidikan Senat Unand, 2004-2010, Ketua BAZIS Baitul Mal Nurul Ilmi Unand 2006-2014

Pengalaman kunjungan ilmiah ke luar negeri diawali tahun 1987, di Vienna, Austria (Training Course on The Use of Isotopes and Radiation Technique in Studies on Soil-Plant Relationship). Gent University , Gent , Belgia (Scientific visit) 1987. Institute for Soil Fertility, Gronigen, Belanda (Scientific visit). Unit Tenaga Nuklir dan UPM , Malaysia (Scientific visit), 1992. Unit Tenaga Nuklir Dept.Agriculture Thailand, Bangkok dan Chiang Mai (Scientific visit) 1992. Nort Carolina University , Raleigh dan USDA ARS Fort Collins, USA (Scientific visit) 1992. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, Spanyol (Scientific visit/Diskusi Bidang Pertanian dengan Prof.Dr.Urbano Terron) 1996. IAEA, Vienna, Austria (International Symposium on the use of nuclear technique) 2000. Alpen Health Convension Village, Kwazulu Natal , Afrika Selatan (International Symposium 5th PSLIPH) 2001. Bangkok, Thailand (17th World Soil Science Congress) 2002. Cairo, Mesir (9th International Symposium Arab

Fertilizer Asosiasi) dan Al-Azhar University (Scientific visit) 2003. Sendai, Jepang (International Symposium 6th PSLIPH) 2004. Beijing, China (XV International Plant Nutrition Colloquium) 2005. Guangzhou, China (International Symposium 7th PSLIPH) 2009. Bangalore India (International Symposium 8th PSLIPH) 2012.



Hermansah, dilahirkan di Mahat Kabupaten Lima Puluh Kota, tanggal 25 Desember 1964. Saat ini sebagai Guru Besar Ilmu Tanah di Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Alamat rumah di Jalan Ngurahrai No. 22 Air Tawar Timur Padang. Menamatkan Sarjana Pertanian dengan gelar Insinyur (Ir) di Fakultas Pertanian Universitas Andalas, Padang, dengan predikat sebagai Lulusan Terbaik Universitas Andalas pada Wisuda 13 September 1989. Magister Sain (MS)

Ilmu Tanah diperoleh di Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (IPB) Tahun 1993. Pada Tahun 1995, dari 20 Maret sampai dengan 10 Juni, Mengikuti pelatihan dibidang Pedology yang di sponsori oleh JICA Japan di Osaka International Center dan Shimane University, Japan. Pada tahun 1997 melanjutkan lagi pendidikan S2 (MSc) di Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, Matsue Japan. Dan dilanjutkan dengan S3 (Dr) di Totori, University, Japan, dan tamat tahun 2003. Mengikuti pelatihan-pelatihan seperti Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (AMDAL), pelatihan Free Overseas Training di Bogor, tahun 1996. Pelatihan Free Prior Informed and Consent (FPIC) untuk REDD+, proses penguatan para pihak dalam pelaksanaan REDD+ yang dilaksanakan Satuan Tugas REDD+ dan RECOFTC (Satgas REDD+ Indonesia dan RECOFTC-The Center for People and Forest) pada 17-21 September 2012, di Bogor dan berbagai pelatihan lainnya. Penghargaan yang pernah diperoleh antara lainb Dosen Teladan I Universitas Andalas tahun 2003, Penghargaan Bintang Emas dari Presiden Republik Indonesia sebagai Satya Lencana Karya Satya 30 Tahun, tahun 2023. Peraih alumni award dari *Ministry of Foreign affair, Japan 2008*. Kegiatan ilmiah yang dilakukan meliputi penelitian yang didanai Unand, Dikti dan kolaborasi Penelitian dengan Shimane University dan Kindai Univeristy, Japan. Menulis artikel dan publikasi ilmiah baik di Jurnal Nasional dan Internasional yang banyak terkait dengan siklus dan pengelolaan unsur hara pada agroekosistem di kawasan tropika basah.

