

BKS PTN-B

BIDANG FISIKA

PROSIDING

**SEMINAR DAN RAPAT TAHUNAN (SEMIRATA)
BIDANG ILMU MIPA 2015
BKS PTN BARAT**



UNTAN
Universitas Tanjungpura

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



BKS PTN Barat



PROSIDING BIDANG FISIKA

SEMINAR DAN RAPAT TAHUNAN (SEMIRATA)

BIDANG ILMU MIPA 2015

BKS PTN BARAT

Universitas Tanjungpura, 5-7 Mei 2015

ISBN 978-602-74043-0-4

PROSIDING BIDANG FISIKA
SEMINAR DAN RAPAT TAHUNAN (SEMIRATA)
BIDANG ILMU MIPA 2015
BKS PTN BARAT

Universitas Tanjungpura, 5-7 Mei 2015

ISBN 978-602-74043-0-4

Dewan Penyunting

Penanggung Jawab	: Dekan FMIPA UNTAN
Ketua	: Joko Sampurno, S.Si, M.Si
Sekretaris	: Irfana Diah Faryuni, M.Si
Anggota	: Nurhasanah, M.Si
	Abdul Muid, M.Si
	Suwandi
	Weni

Reviewer

Ketua	: Muh. Ishak Jumarang, M.Si
Anggota	: Dr. Suryajaya
	Nazli Ismail, Ph.D.
	Dr. Iskhaq Iskandar
	Andi Ihwan, M.Si
	Azrul Azwar, M.Si
	Yudha Arman, M.Si
	Boni P. Lapanporo, M.Si

Prosiding ini dapat diakses secara online di:
<http://jurnal.untan.ac.id/index.php/semirata2015/issue/view/452>

Penerbit :

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura
Jalan Jenderal Ahmad Yani, Pontianak 78124
Telp./Fax.: (0561) 577963
e-mail: prosidingfisika.semirata2015@gmail.com

KATA PENGANTAR

Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, dengan potensi besar untuk dapat dioptimalkan demi kemajuan bangsa. Kenyataan ini menyimpan harapan bagi rakyat Indonesia, yang menurut amanat Undang-Undang Dasar Tahun 1945, “Bumi dan air dan kekayaan yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat”. Kemakmuran rakyat menjadi amanat pemerintah dalam mengelola kekayaan alam tersebut. Amanat Undang-undang Dasar Tahun 1945 tersebut di atas dapat kita capai jika sumber daya alam yang kita miliki dapat dikelola dengan baik dengan menyinergikan seluruh komponen masyarakat dan berbagai bidang ilmu.

Pengelolaan sumber daya alam (SDA) merupakan suatu hal yang sangat penting dibicarakan dan dikaji dalam kerangka pelaksanaan pembangunan nasional kita. Dengan potensi sumber daya alam yang berlimpah, kita dapat melaksanakan proses pembangunan bangsa ini secara berkelanjutan tanpa harus dibayangi rasa cemas dan takut akan kekurangan modal bagi pelaksanaan pembangunan. Pengelolaan dan pemanfaatan secara optimal kekayaan sumber daya alam ini akan mampu membawa kesejahteraan dan kemakmuran bagi seluruh bangsa Indonesia.

Perguruan tinggi sebagai salah satu institusi pendidikan sudah selayaknya dapat memberikan kontribusi dalam pengelolaan dan pemanfaatan SDA bangsa kita sebagai wujud tanggung jawab moral dalam memajukan dan memakmurkan rakyat. Atas dasar tersebut, perguruan tinggi yang tergabung dalam Badan Kerjasama Perguruan Tinggi Negeri wilayah Barat (BKS-PTN Barat) bidang Ilmu MIPA akan menyelenggarakan seminar nasional dengan tema: “Peran Ilmu MIPA dalam pengelolaan SDA untuk meningkatkan daya saing bangsa”. Seminar nasional ini bertujuan untuk mengkomunikasikan dan menghimpun pemikiran dari para pengambil kebijakan, peneliti dan praktisi tentang pengelolaan SDA dan peningkatan daya saing bangsa.

Seminar nasional tahun ini merupakan seminar nasional BKS-PTN Barat bidang ilmu MIPA yang kedua kalinya dilaksanakan Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura Pontianak setelah sukses menyelenggarakan kegiatan yang sama pada tahun 2004. Seminar nasional ini dirangkaikan dengan rapat tahunan pada Dekan dan Ketua Program Studi dari fakultas anggota BKS-PTN Barat bidang ilmu MIPA. Selain itu, kegiatan Semirata tahun ini juga sekaligus dirangkaikan dengan kegiatan rapat tahunan MIPANet se-Indonesia.

Kegiatan ini berlangsung atas kerjasama seluruh anggota BKS PTN Barat Bidang MIPA. Kesuksesan kegiatan ini tentu tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh pihak yang telah membantu kesuksesan kegiatan ini. Semoga Allah SWT membalas segala partisipasi kita semua dengan pahala yang berlipat ganda.

Pontianak, Januari 2016

Panitia

DAFTAR ISI

	Hal
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
KARAKTERISASI MAGNETIK BATUAN BESIDARI BUKIT BARAMPUANG, NAGARI LOLO, KECAMATAN PANTAI CERMIN, KABUPATEN SOLOK, SUMATERA BARAT <i>Afdal, Elio Nora Islami</i>	1-8
PENGARUH OKSIDASI TERHADAP KONSENTRASI BULIR SUPERPARAMAGNETIK PADA MAGNETIT PASIR BESI PANTAI SUNUR KOTA PARIAMAN SUMATERA BARAT <i>Arif Budiman, Helvy Trilismana</i>	9-15
STRUCTURAL,CHEMICALCOMPOSITION,ELECTRICALANDOPTICALPROPE RTIES OF $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{S}_{0,6})$ THINFILMS PREPAREDUSING THERMAL EVAPORATION FOR SOLARCELLSAPPLICATIONS <i>Ariswan</i>	16-24
PENGARUH IRADIASI GAMMA TERHADAP SIFAT LISTRIK FILM TIPIS GRAFIT <i>Astuti, Yunasfi, Putri Pratiwi</i>	25-33
ELEKTRODEPOSISI LARUTAN CuSO_4 PADA ELEKTRODA KAYU KARET <i>Dahyunir Dahlan</i>	34-38
POTENSI THORIUM SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN GAS UNTUK PLTN <i>Menik Ariani, Supardi, Fiber Monado, ZakiSu'ud</i>	39-46
PERHITUNGAN BURN UP PADA REAKTOR SUB KRITIS BERDAYA SEDANG BERPENDINGIN Pb – Bi <i>Nur Aida</i>	47-53
PEMODELAN TEORITIK DAYA RADIASI MATAHARI BERBASIS PRINSIP RADIASI BENDA HITAM MENGGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK INTEGRASI SIMPSON 3/8 <i>Sri Oktamuliani, Samsidar</i>	54-62
ANALISIS STUKTUR ABU TANDAN SAWIT (PBA), ABU PELEPAH SAWIT (PFA) DAN ABU SEKAM PADI (RHA) DENGAN DAN TANPA SINTERING MENGGUNAKAN X-RAY DIFFRACTION (XRD) DAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) SEBAGAI CAMPURAN SEMEN <i>Helga Dwi Fahyuan, Samsidar, M. Ficky Afrianto</i>	63-72

PERFORMA SEL SUPERKAPASITOR DENGAN MENGGUNAKAN PENGUMPUL ARUS STAINLESS STEEL-NANOPARTIKEL PLATINUM <i>Rakhmawati Farma, Mohamad Deraman, Awitdrus</i>	74-83
KARAKTERISASI BAHAN FERROELEKTRIK BARIUM STRONTIUM TITANAT ($\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$) DENGAN MENGGUNAKAN DIFRAKSI SINAR-X (XRD) <i>Krisman , Rahmi Dewi , Rahmad Efendi, Zuhdi</i>	84-90
STUDI AWAL DETEKSI EMISI SPEKTRAL MAGNESIUM, Mg DARI SAMPEL TANAH MENGGUNAKAN TEKNIK <i>LASER-INDUCED BREAKDOWN</i> <i>SPECTROSCOPY</i> (LIBS) <i>Nasrullah Idris</i>	91-98
FABRIKASI DAN KARAKTERISASI SIFAT OPTIK DARI $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ MENGGUNAKAN SPEKTROFOTOMETER ULTRAVIOLET VISIBLE <i>Rahmi Dewi , Krisman , Detri Yulitah, Zuhdi</i>	99-105
ESTIMASI KETEBALAN STRUKTUR BATUAN DI TIKU BAGIAN UTARA KECAMATAN TANJUNG MUTIARA KABUPATEN AGAM MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE <i>Ira Kusuma Dewi, Adree Octova , Akmam</i>	106-115
PENGEMBANGAN ALAT EKSPERIMEN UNTUK PRAKTIKUM ELEKTRONIKA DASAR PADA TOPIKTRANSISTOR BIPOLAR <i>M. Rahmad, Azizahwati, Ernidawati</i>	116-125
PEMBELAJARAN FISIKA UMUM I BERBASIS ARGUMENTASI ILMIAH UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP <i>Sondang R Manurung</i>	126-135
IMPLEMENTASI BUKU AJAR FISIKA BERMUATAN NILAI-NILAI KARAKTER PADA KELAS XI SEMESTER 1 DI SMA KOTA PADANG <i>Yenni Darvina, Masril, Murtiani</i>	136-144
MONITORING KERUSAKAN DAGING IKAN MENGGUNAKAN SISTEM LARIK SENSOR GAS MONITORING OFDECAY IN MEAT FISH USINGGASSENSORARRAYSYSTEM <i>Boni Pahlanop Lapanporo</i>	145-152
PENGARUH SUHU KALSINASI DALAM SINTESIS KARBON AKTIF KULIT DURIAN TERHADAP EFEKTIVITAS ADSORBSI LOGAM Zn DAN Cu PADA AIR SUNGAI LANDAK KABUPATEN LANDAK KALIMANTAN BARAT <i>Dwiria Wahyuni, Irfana Diah Faryuni, Abdurrahman Bahtiar</i>	153-160
PERHITUNGAN DEBIT ALIRAN PADA SISTEM ALIRAN TERBUKA MELALUI PENGUKURAN TINGGI MUKA AIR MENGGUNAKAN TRANSDUSER ULTRASONIK <i>Gurum A P, Kalpataru I dan Warsito</i>	161-172

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MONITORING GEOLISTRIK TIME-LAPSE UNTUK MEMANTAU DAERAH RAWAN LONGSOR DI KOTA PADANG DENGAN MENGGUNAKAN METODA GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER <i>Mahrizal, Ahmad Fauzi, Akmam</i>	173-182
SISTEM PENGATURAN SUHU PADA RUANG PENDINGINAN BAHAN PANGAN BERBASIS MIKROKONTROLER AT89S51 DAN PC. <i>Marhaposan Situmorang</i>	183-193
RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL TEMPERATUR UNTUK PROSES PENDINGINAN MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK <i>Meqorry Yusfi, Wilka putra, Derisma</i>	194-203
PENENTUAN KANDUNGAN UNSUR LOGAM PADA KERANG (<i>BIVALVIA</i>) DI DAERAH PESISIR PANTAI KABUPATEN TAPANULI TENGAH <i>Rahmatsyah, Julyha</i>	204-212
PENGUNAAN GEOLISTRIK RESISTIVITI UNTUK IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN BATUAN ANTARA LAU KETUKEN DAN LAU BEKERAH DI DESA SULKAM KABUPATEN LANGKAT <i>Rita Juliani, Timbangan Sembiring, Mester Sitepu, Motlan</i>	213-220
PENGARUH PEG-2000 TERHADAP POLA DIFRAKSI SINAR-X PARTIKEL Fe ₃ O ₄ YANG DISINTESIS DENGAN METODE KOPRESIPITAS <i>Dwi Puryanti, Dori Andani</i>	221-229
PENGEMBANGAN SENSOR JARAK GP2Y0A02YK0F UNTUK MEMBUAT ALAT PENGUKUR KETINGGIAN PASANG SURUT (PASUT) AIR LAUT <i>Abdul Muid</i>	230-238
PEMBUATAN LAPISAN TIPIS METAL DOPING TiO ₂ DENGAN TEKNIK <i>DIPCOATING</i> DAN APLIKSI SIFAT KATALITIK DALAM DEGRADASI ASAM HUMAT PADA AIR RAWA GAMBUT <i>Nancy Willian</i>	239-248
SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOHIDROKSIAPATIT (BHA _p) BERBASIS LIMBAH BIOMATERIAL RAHANG BAWAH TULANG SAPI DENGAN TEKNIK PEMBAKARAN <i>Dwi Asmi, Firda, dan Ahmad Sulaiman</i>	249-256
PERANCANGAN SISTEM KONTROL FREKUENSI GETARAN AKUSTIK BERBASIS SENSOR SERAT OPTIK <i>Harmadi, Firmansyah, Wildian</i>	257-263
ANALISIS PENGARUH PUPUK KC TERHADAP PARAMETER KELEMBABAN PADA TANAH INSEPTISOL UNTUK PENGEMBANGAN SENSOR KELEMBABAN TANAH (<i>SOIL MOISTURE SENSOR</i>) <i>Samsidar, Sri Oktamuliani, Lazuardi Umar</i>	264-271

APLIKASI METODE ELEKTROMAGNETIK UNTUK IDENTIFIKASI AKUIFER DI TAMAN UNIVERSITAS TANJUNGPURA Joko Sampurno	272-278
ANALISIS KARAKTERISTIK FREKUENSI KRITIS (f_oF_2), KETINGGIAN SEMU ($h'F$) DAN <i>SPREAD F</i> LAPISAN IONOSFER PADA KEJADIAN GEMPA PARIAMAN 30 SEPTEMBER 2009 <i>Dwi Pujiastuti, Edwards Taufiqurrahman, Rika Desrina Saragih, Sumi Daniati Ednofri, Badrul Mustafa</i>	279-293
KARAKTERISASI STRUKTUR MIKROSKOPIK KARBON AKTIF KULIT DURIAN DENGAN GEOMETRI FRAKTAL <i>Irfana Diah Faryuni, Joko Sampurno</i>	294-300
APLIKASI METODE CELLULAR AUTOMATA UNTUK MENENTUKAN DISTRIBUSI TEMPERATUR KONDISI TUNAK <i>Apriansyah</i>	301-310
PENENTUAN DENSITAS CITRA X RAY TULANG TANGAN DENGAN METODE FRAKTAL BERBASIS ANALISIS FOURIER Nurhasanah, Joko Sampurno	311-318
FAKTOR IMBUHAN UNTUK KEBERLANJUTAN AKUIFER BEBAS Juandi Muhammad	319-325
DISAIN PERANGKAT GEOLISTRIK UNTUK KEGIATAN GEOFISIKA PERTANIAN (APLIKASI PADA LAHAN GAMBUT KALIMANTAN BARAT) Okto Ivansyah, Nurhasanah, Saniah	326-335
ANALISIS EMPIRIK PROGRAM ANALISIS BUTIR SOAL DALAM RANGKA MENGHASILKAN SOAL YANG BAIK DAN BERMUTU SEBAGAI ALAT EVALUASI PEMBELAJARAN FISIKA Muhammad Nasir	336-347

**KARAKTERISASI MAGNETIK BATUAN BESI DARI BUKIT BARAMPUANG,
NAGARI LOLO, KECAMATAN PANTAI CERMIN, KABUPATEN SOLOK,
SUMATERA BARAT**
**(MAGNETIC CHARACTERIZATION OF IRON STONE OF BARAMPUANG HILL,
NAGARI LOLO, PANTAI CERMIN, SOLOK, WEST SUMATERA)**

Afdal, Elio Nora Islami

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang
afdal@fmipa.unand.ac.id

ABSTRACT

Characterization of iron stone from Barampuang Hill, Nagari Lolo, Pantai Cermin, Solok, West Sumatera have been conducted. Iron stone samples were collected from 14 points in order to determine their iron ore fraction, magnetic susceptibility, and mineral contents. Results show that average percentage of iron ore in iron stone is 95.71%, average value of magnetic susceptibility is $8884.27 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ (for 1 m height), and $6198.57 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ (for 3 m height). XRD result show that mineral contents of the iron rock are magnetite (Fe_3O_4), goethite ($\text{FeO}(\text{OH})$), and quartz (SiO_2).

Keywords: iron stone, magnetic susceptibility, magnetic mineral

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk mengkarakterisasi sifat magnetik batuan besi dari Bukit Barampuang, Nagari Lolo, Kecamatan Pantai Cermin, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Sampel diambil pada 14 titik berbeda untuk menentukan persentase bijih besi, suseptibilitas magnetik dan kandungan mineralnya. Dari pengukuran diketahui rata-rata persentase bijih besi sampel adalah 95,71%, rata-rata suseptibilitas magnetiknya adalah $8884,27 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ untuk ketinggian 1 m dan $6198,57 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ untuk ketinggian 3 m. Dari karakterisasi dengan XRD diketahui mineral yang terdapat di dalam batuan besi adalah magnetite (Fe_3O_4), goethite ($\text{FeO}(\text{OH})$), dan quartz (SiO_2).

Katakunci: batuan besi, suseptibilitas magnetik, mineral magnetik

1. PENDAHULUAN

Logam besi atau Ferrum (Fe) merupakan salah satu jenis logam yang paling banyak dipergunakan untuk kehidupan manusia, mulai dari keperluan rumah, pertanian, permesinan, hingga alat transportasi. Besi adalah salah satu unsur logam pembentuk kerak bumi yaitu sekitar 4,7% sampai 5%. Besi adalah logam yang dihasilkan dari batuan besi, kebanyakan besi terdapat dalam bentuk batuan, pasir dan tanah yang beroksidasi. Kadang besi ditemukan sebagai kandungan tanah (residual), namun jarang yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Endapan besi yang ekonomis umumnya berupa *magnetite*, *hematite*, *limotite* dan *siderite* [1].

Mineral-mineral magnetik seperti *magnetite*, *hematite* dan *maghemite* yang terdapat pada bijih besi memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan sebagai

bahan industry seiring dengan kemajuan teknologi. Saat ini, *magnetite* digunakan sebagai bahan dasar untuk tinta kering (*toner*) pada mesin *photo-copy* dan printer laser. Sedangkan *maghemite* adalah bahan utama untuk pita kaset. Ketiga mineral tersebut juga digunakan sebagai bahan dasar untuk industri magnet permanen[2].

Batuan besi dari beberapa daerah di Sumatera Barat banyak mengandung mineral magnetik. Misalnya material utama penyusun batuan besi dari Sungai Kunyit Kabupaten Solok Selatan adalah *hematite*[3]. Batuan besi dari Kabupaten Pasaman Barat memiliki mineral utama penyusunnya adalah *magnetite* (Fe_3O_4) [4]. Daerah lain di Sumatera Barat yang memiliki cadangan batuan besi yang cukup besar adalah Bukit Barampuang Nagari Lolo, Kecamatan Pantai Cermin, Kabupaten Solok. Keberadaan batuan besi di Nagari Lolo ini masih belum dikelola dengan baik. Selama ini batuan besi ditambang dan dijual masih dalam bentuk mentah sehingga mempunyai nilai jual yang rendah. Padahal batuan besi tersebut memiliki nilai ekonomis yang tinggi.

Bijih besi yang terdapat di Sumatera Barat terbentuk sebagai cebakan bijih besi seperti skarn (cebakan bijih besi metasomatic kontak). Cebakan bijih besi skarn berbentuk massif dengan susunan terdiri atas mineral-mineral oksida besi seperti *magnetite*, *hematite*, *siderite* dan *goethite* berasosiasi dengan mineral sulfida seperti *pyrite* dan *kalkopirite* serta ditandai dengan mineral-mineral skarn. Jenis cebakan ini sering ditemukan dalam bentuk endapan alluvial, yaitu berupa ongkongan bongkahan batuan yang terutama mengandung mineral bijih *magnetite* dan *hematite*. Kadar Fe yang dikandung bijih besi dari jenis cebakan ini berkisar antara 50% sampai 70 %. Cebakan bijih besi tipe metasomatic kontak ini dianggap sangat baik untuk kebutuhan industry baja, karena tidak mengandung pengotor yang dapat mengganggu proses metalurgi[5].

Untuk meningkatkan nilai jualnya, maka perlu dilakukan pengolahan menjadi bahan yang nilainya lebih tinggi. Supaya dapat diolah atau digunakan menjadi bahan yang tepat maka perlu diketahui karakteristik batuan besi tersebut. Studi ini bertujuan untuk menentukan nilai suseptibilitas bijih besi, persentase bijih besi dan kandungan mineral dalam batuan besi dari daerah penelitian. Dengan mengetahui karakteristik magnetik dari batuan besitersebut maka pemanfaatannya dapat lebih optimal dan meningkatkan nilai ekonomisnya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dari September sampai Desember 2011.

Pengumpulan Sampel.

Daerah penelitian adalah Bukit Barampuang Nagari Lolo Kecamatan Pantai Cermin, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Sampel batuan besi diambil di sepanjang

daerah singkapan yang terdapat pada areal pertambangan Bukit Barampuang Nagari Lolo pada posisi $1,21522^{\circ}$ S, $100,85477^{\circ}$ E (Gambar 1). Batuan besi diambil pada ketinggian 1 meter dan 3 m dari atas permukaan tanah pada 7 titik dengan jarak masing-masing titik 5 m. Untuk setiap titik diambil batuan besi sebanyak 100 g.



Gambar 1 Lokasi pengambilan sampel batuan besi di Bukit Barampuang Pantai Cermin Solok Sumatera Barat

Persiapan Sampel

Sampel batuan besi yang sudah dikumpulkan dibawa ke laboratorium dan kemudian dibersihkan dari kotoran yang menempel dengan air, lalu dikeringkan. Setelah kering batuan besi dihancurkan dengan menggunakan palu dan digerus sehingga ukurannya menjadi butiran-butiran kecil, lalu diayak dengan ayakan 50 mesh. Selanjutnya dilakukan pemisahan bijih besi dari bagian yang tidak bersifat magnetik menggunakan magnet permanen.

Pengukuran Kandungan Bijih Besi

Bijih besi di sini adalah bagian dari batuan besi yang bersifat magnet (bagian yang menempel pada magnet permanen saat dilakukan pemisahan). Massa bijih besi ditimbang untuk menentukan kandungan (persentase) bijih besi di dalam batuan besi. Untuk setiap sampel dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali. Kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Pengukuran Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetic diukur dengan alat Bartington MS2 dengan sensor MS2B. Suseptibilitas yang diukur adalah suseptibilitas massa dari 10 g bijih besi di dalam wadah plastik berbentuk silinder. Untuk setiap sampel dilakukan pengukuran sebanyak lima kali. Kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Pengukuran Kandungan Mineral

Untuk menentukan kandungan mineral yang terdapat di dalam bijih besi maka dilakukan pengukuran dengan *x-ray diffractometer (XRD)*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Bijih Besi dalam Batuan Besi

Jumlah bijih besi yang terkandung pada batuan besi yang terdapat pada daerah Bukit Barampuang, Nagari Lolo, Solok dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa persentase massa bijih besi untuk ketinggian 1 m memiliki nilai yang hampir sama yaitu 93,86% sampai 98,91%. Rata-rata persentase bijih besi untuk ketinggian satu meter adalah 97,17%. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa untuk ketinggian 3 m persentase massa bijih besi memiliki nilai yang hampir sama yaitu 90,74% sampai 97,97% dengan nilai rata-rata 95,71%. Kandungan bijih besi rata-rata pada ketinggian 1 m sedikit lebih tinggi daripada pada ketinggian 3 m.

Tabel 1 Persentase massa dan suseptibilitas magnetic bijih besi dari Bukit Barampuang, Nagari Lolo, Solok untuk ketinggian 1 m.

Namatitik/ sampel	% massa	Suseptibilitas ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)
A1	93,86	3241,2
A2	95,95	14024,1
A3	98,81	9296,8
A4	97,94	9007,8
A5	97,97	9070,7
A6	98,91	9744,2
A7	96,74	7805,1
Rata-Rata	97,17	8884,3

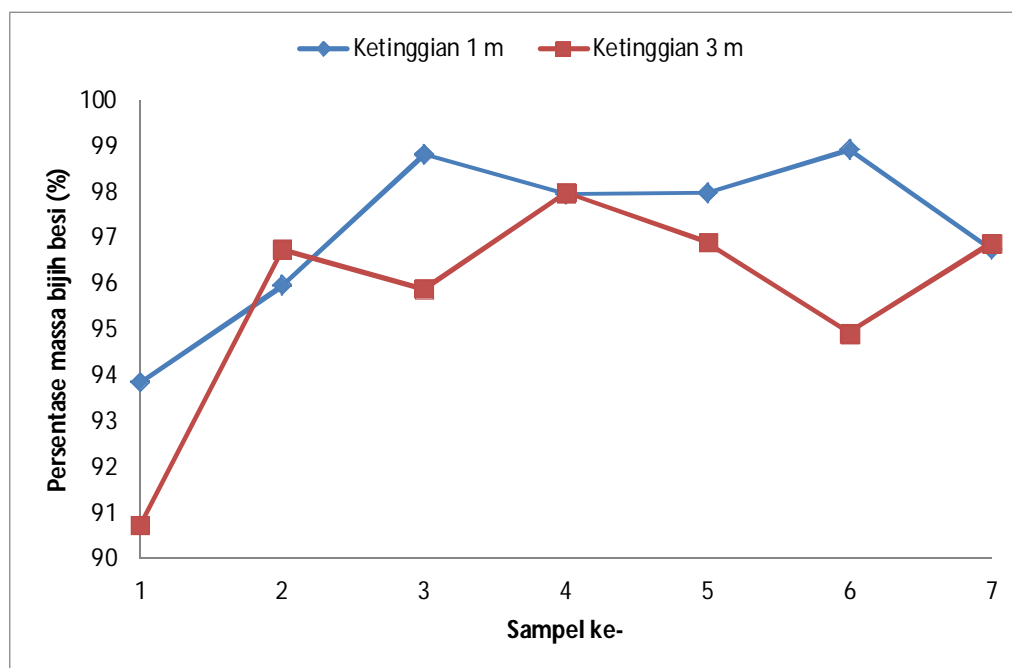
Kandungan bijih besi di daerah ini lebih tinggi dibandingkan beberapa daerah lain di Sumatera Barat, misalnya kandungan bijih besi dari daerah Sungai Lasi Kabupaten Solok Selatan adalah 77,38 %, dari daerah Surian Singkapan 1 Kabupaten Solok kandungannya adalah 65,85 %, dan daerah Surian Singkapan 2 kandungannya adalah 78,15 % [6].

Tabel 2 Persentase massa dan suseptibilitas magnetic bijih besi dari Bukit Barampuang, Nagari Lolo, Solok untuk ketinggian 3 m.

Namatitik/ sampel	% massa	Suseptibilitas ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)
B1	90,74	804,5
B2	96,74	7846,2
B3	95,87	7569,2
B4	97,97	8923,7

B5	96,89	7985,5
B6	94,91	2321,9
B7	96,87	7939,0
Rata-rata	95,71	6198,6

Gambar 2 adalah grafik perbandingan persentase massa bijih besi pada ketinggian 1 m dan 3 m. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa kandungan bijih besi sampel-sampel yang diambil pada ketinggian 1 m secara umum sedikit lebih tinggi daripada sampel-sampel yang diambil pada ketinggian 3 m. Dalam arah horizontal kandungan bijih besi juga hamper sama antara titik-titik sampel, kecuali sampel dari titik 1.



Gambar 2 Perbandingan persentase massa bijih besi pada ketinggian 1 m dan 3 m

Suseptibilitas Magnetik Bijih Besi

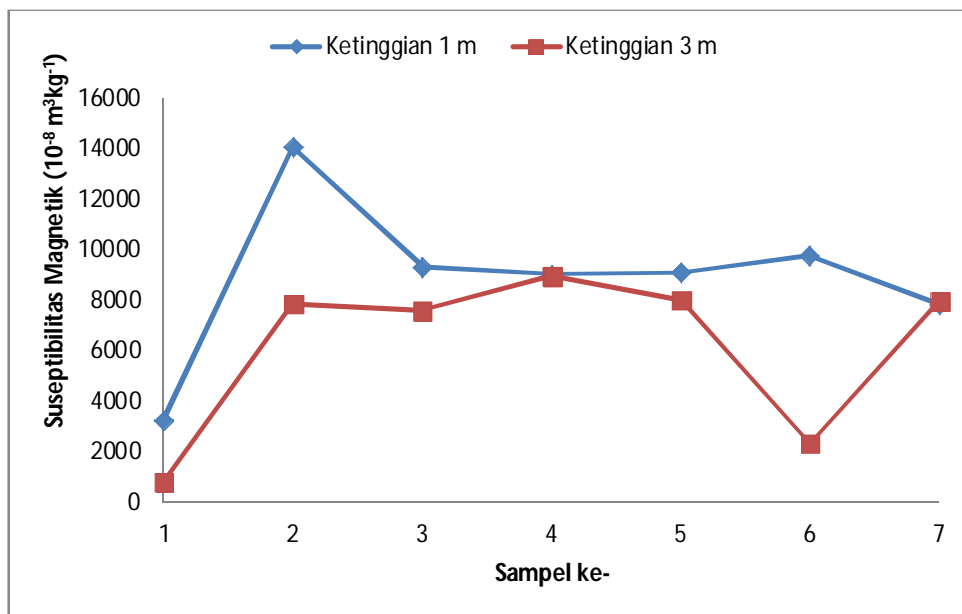
Nilai suseptibilitas magnetic bijih besi yang terdapat pada Bukit Barampuang, Nagari Lolo, Sobok dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2. Grafik nilai suseptibilitas magnetic dapat dilihat pada Gambar 3. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa suseptibilitas magnetic bijih besi untuk ketinggian 1 m memiliki nilai dari $3241,2 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ sampai $14024,1 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ dengan nilai rata-rata $8884,3 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Untuk ketinggian tiga meter nilai suseptibilitas magnetic bijih besinya memiliki nilai dari $804,5 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ sampai $8923,7 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ dengan rata-rata $6198,6 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa suseptibilitas magnetic bijih besi sampel-sampel yang diambil pada ketinggian 1 m lebih tinggi daripada sampel-sampel yang

diambil pada ketinggian 3 m. Dalam arah horizontal, nilai suseptibilitas magnetic bijih besi antar sampel tidak banyak berubah, kecuali untuk titik 1, dan sampel A2 dan B6.

Nilai suseptibilitas massa bijih besi pada daerah penelitian lebih tinggi dibandingkan suseptibilitas massa bijih besi dari daerah Poros Sungai Beremas dan Rura Tomang Bocor Ranah Batahan Pasaman Barat dengan nilai masing-masing $888,81 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ dan $574,54 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ [6].

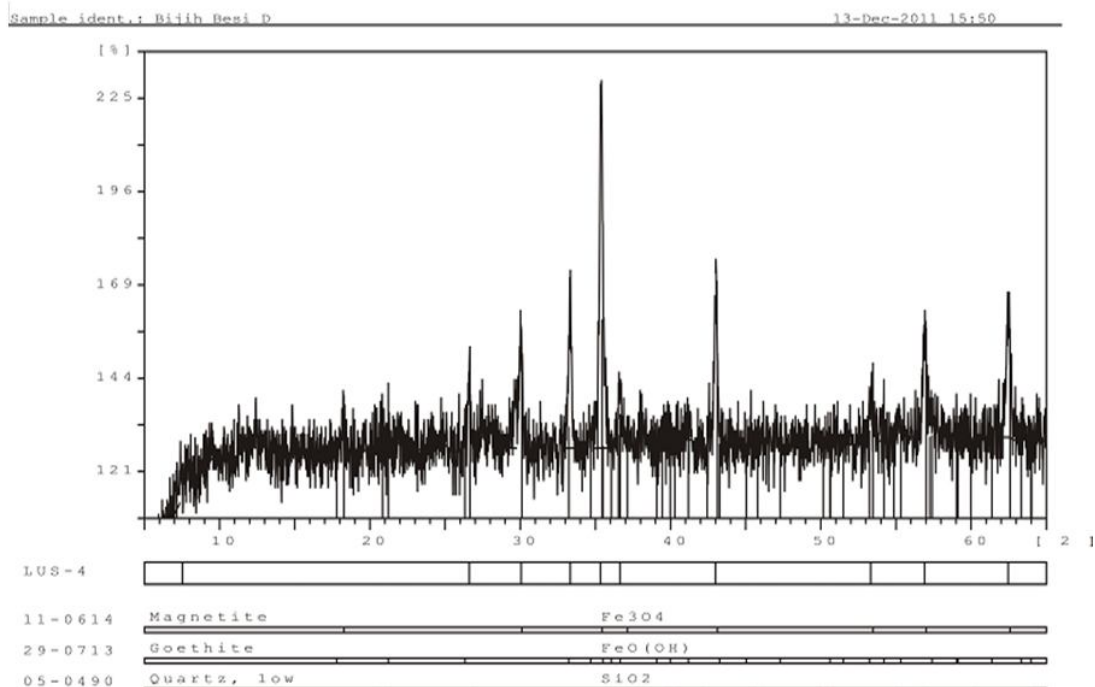
Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetiknya, bijih besi yang terkandung di dalam batuan besi dari daerah Bukit Barampuang, Nagari Lolo, Kecamatan Pantai Cermin, Kabupaten Solok, Sumatera Barat termasuk kelompok bahan Ferromagnetik.



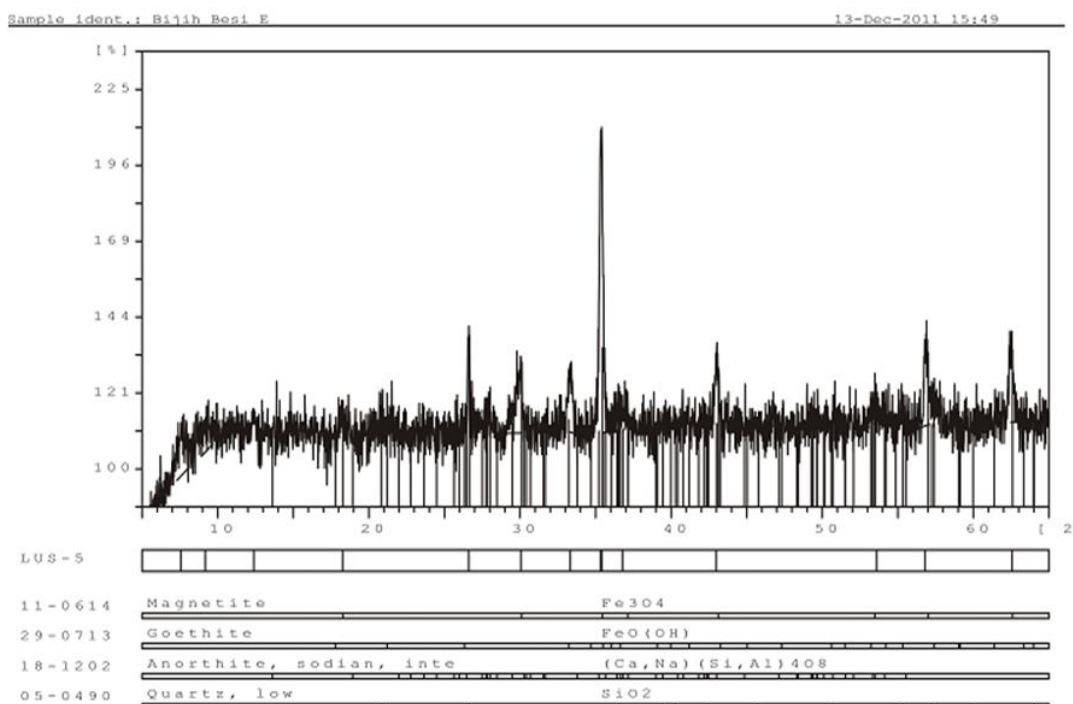
Gambar 3 Grafik suseptibilitas magnetik bijih besi untuk ketinggian 1 m dan 3 m.

Kandungan Mineral

Hasil XRD memperlihatkan bahwa terdapat mineral Fe_3O_4 , $\text{FeO}(\text{OH})$, dan SiO_2 pada sampel A dengan ukuran kristal 278,007 nm (Gambar 4). Sementara pada sampel B terdapat mineral Fe_3O_4 , $\text{FeO}(\text{OH})$, $(\text{Ca}, \text{Na}) (\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$ dan SiO_2 dengan ukuran Kristal sebesar 166,771 nm (Gambar 5).



Gambar 4 Grafik pola difraksi XRD untuk sampel A.



Gambar 5 Grafik pola difraksi XRD untuk sampel B

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Rata-rata persentase bijih besi untuk ketinggian satu meter dari atas permukaan tanah adalah 97,17%. Sedangkan, rata-rata persentase bijih besi untuk ketinggian tiga meter dari permukaan tanah adalah 95,71%. Persentase bijih besi di daerah penelitian lebih tinggi daripada tiga daerah lain di Sumatera Barat.
2. Nilai suseptibilitas magnetik rata-rata sampel pada ketinggian 1 m adalah $8.884,3 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1}$ dan untuk sampel pada ketinggian 3 m adalah $6.198,6 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1}$. Nilai suseptibilitas magnetik bijih besi tersebut lebih tinggi jika di bandingkan dengan dua daerah lain di Sumatera Barat.
3. Bijih besi pada lokasi penelitian mengandung beberapa mineral yaitu Magnetite (Fe_3O_4), Goethite ($\text{FeO}(\text{OH})$), dan Quartz (SiO_2).

5. PUSTAKA

- [1]. Jensen, M. L. & Bafeman. *Iron & Ferroalloy Metals in (ed): Economic Mineral Deposits*; 1981.
- [2]. Yulianto, A. & Bijaksana, S. Karakterisasi Magnetik dari Pasir Besi Cilacap. *Jurnal Himpunan Fisika Indonesia*. 2002; Vol. A5 No.0527.
- [3]. Kelompok Program Penelitian Mineral Logam. *Hasil Sintesis dan karakterisasi Batuan Besi dari Sungai Kunyit, Kabupaten Solok Selatan*; 2006
- [4]. Noraida. *Karakterisasi Magnetik Batuan Besi di Kabupaten Pasaman*. Padang: Jurusan Fisika Universitas Andalas; 2011.
- [5]. Sutisna. PotensidanPemanfaatanCebakanBijihBesi di Indonesia [Internet]. 2007 [; cited 2011 Aug 20]. Available from: www.BadanGeologi.go.id.
- [6]. Gusrini, R. *Penentuan Sifat danJenis Mineral Magnetik Bijih Besi Daerah Surian dan Sungai Lasi, Kabupaten Solok*. Padang: Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang; 2004.
- [7]. Dunlop, D. J. & Ozdemir O. *Rock Magnetism: Fundamental and frontiers*. UK: Cambridge University Press; 1997.
- [8]. Katili, J.A. *Geotectonics of Indonesia, a modern view*, Bandung: Department of Geologi Bandung Institute of Technology; 1980.

**PENGARUH OKSIDASI TERHADAP KONSENTRASI BULIR
SUPERPARAMAGNETIK PADA MAGNETIT PASIR BESI
PANTAI SUNUR KOTA PARIAMAN SUMATERA BARAT**

**THE EFFECTS OF OXIDATION ON THE CONCENTRATION OF
SUPERPARAMAGNETIC GRAINS OF MAGNETITE OF IRON SAND
PANTAI SUNUR KOTA PARIAMAN SUMATERA BARAT**

Arif Budiman, Helvy Trilismana

Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Andalas, Padang

arifbudiman@fmipa.unand.ac.id

ABSTRACT

The research of the effects of oxidation on the concentration of superparamagnetic grains of magnetite of iron sand has been conducted. The iron sand was obtained from Pantai Sunur, Kota Pariaman, Sumatera Barat. Magnetic minerals were separated from iron sand, crushed and separated back in order to obtain more pure magnetic minerals. Then, the oxidation was carried out at a temperature of 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, dan 500°C respectively for 15 hours. Concentration of superparamagnetic grains was obtained from the calculation of anisotropy of magnetic susceptibility measured at low frequency and high frequency. The result showed that the concentration of superparamagnetic grains of magnetite without oxidation and oxidation at a temperature of 100°C to 200°C are respectively 1.04%, 1.52%, 0.47%, 0.54%, 0.41% and 0.66%. These data indicate that the concentration of superparamagnetic grains magnetite iron sand was decreased after oxidized at 200°C and tend to be stable up to 500°C.

Keywords: superparamagnetic, oxidation, anisotropy and susceptibility.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh oksidasi terhadap konsentrasi bulir superparamagnetik pada magnetit pasir besi. Pasir besi diperoleh dari Pantai Sunur, Kota Pariaman, Sumatera Barat. Mineral magnetik dipisahkan dari pasir besi, dihaluskan dan dipisahkan kembali sehingga diperoleh mineral magnetik yang lebih murni. Kemudian dilakukan oksidasi pada temperatur 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, dan 500°C masing-masing selama 15 jam. Konsentrasi bulir superparamagnetik diperoleh dari hasil perhitungan anisotropi suseptibilitas magnetik yang diukur pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa konsentrasi bulir superparamagnetik untuk magnetit tanpa oksidasi dan hasil oksidasi pada temperatur 100°C hingga 500°C berturut-turut adalah 1,04%, 1,52%, 0,47%, 0,54%, 0,41% dan 0,66%. Data ini menunjukkan bahwa konsentrasi bulir superparamagnetik magnetit pasir besi berkurang setelah dioksidasi pada 200°C dan cenderung stabil hingga 500°C.

Katakunci : superparamagnetik, oksidasi, anisotropi, dan suseptibilitas.

1. PENDAHULUAN

Pasir besi merupakan bahan galian yang sangat besar potensinya di Indonesia. Pasir besi dapat ditemukan di berbagai pantai sepanjang Samudra Hindia, dari wilayah paling barat Pulau Sumatera hingga Pulau Bali, Lombok dan sekitarnya [1]. Di samping itu pasir besi banyak ditemukan di daerah sungai [2],[3]. Pasir besi mengandung mineral magnetik seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Magnetit merupakan mineral magnetik yang paling dominan dalam pasir besi [4]. Magnetit sering dimanfaatkan karena sifat magnetiknya lebih tinggi dibandingkan yang lainnya, dan karenanya mudah dipisahkan dari mineral pengotor dan mampu menghasilkan konsentrat bermutu tinggi dengan tingkat yang sangat rendah dari kotoran.

Perbedaan sifat magnetik suatu mineral menunjukkan adanya ketergantungan yang kuat pada bulir magnetik. Ketergantungan ini terjadi bukan karena kontrol intrinsik ukuran bulir pada magnetisasi, tetapi karena parameter ini dipengaruhi oleh fungsi ukuran bulir. Keadaan domain berubah dari superparamagnetik (SPM), domain tunggal atau single domain (SD), dan akhirnya menjadi domain jamak atau multi domain (MD) dengan peningkatan ukuran bulir [5]. Untuk magnetit, bulir SD berkisar antara 0,06 hingga 0,08 μm [6]. Bulir magnetik bersifat SPM jika ukuran bulirnya sangat kecil, sehingga bulir ini tidak mempunyai magnetisasi remanen. Bulir yang mengandung sejumlah domain tetapi berperilaku seperti bulir SD disebut bulir *pseudo single domain* (PSD). Bulir-bulir SD dan PSD mempunyai magnetisasi remanen yang stabil terhadap demagnetisasi dibanding bulir MD.

Konsentrasi relatif bulir SPM, $\chi_{\text{FD}}(\%)$, dalam suatu sampel dapat ditentukan dari pengukuran anisotropi suseptibilitas magnetik atau *anisotropy of magnetic susceptibility* (AMS) pada frekuensi rendah dan tinggi (470 Hz dan 4700 Hz), yaitu

$$\chi_{\text{FD}}(\%) = \left| \frac{\chi_{\text{LF}} - \chi_{\text{HF}}}{\chi_{\text{LF}}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

dengan χ_{LF} adalah AMS pada frekuensi rendah dan χ_{HF} adalah AMS pada frekuensi tinggi [7].

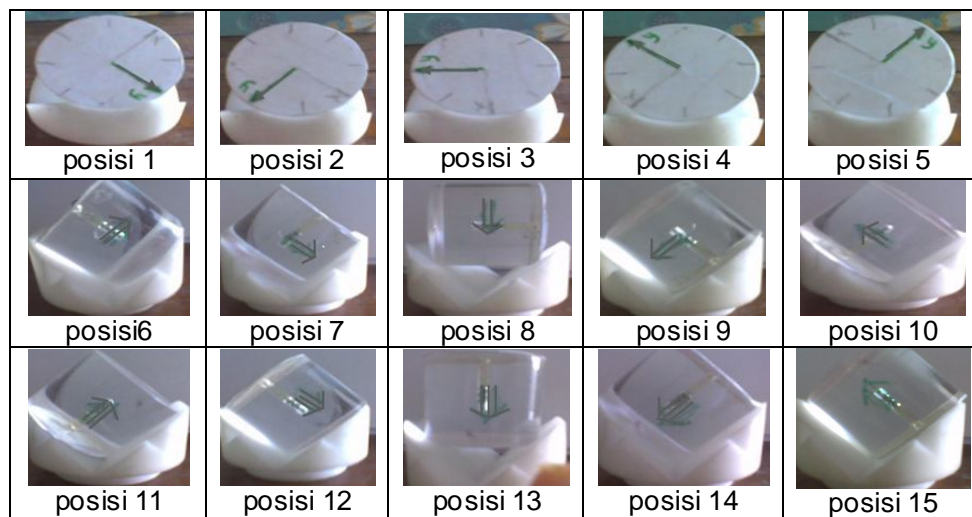
Pada kebanyakan material, peningkatan temperaturnya menyebabkan material tersebut mengalami pemuaian. Secara mikroskopik, peningkatan temperatur ini menyebabkan peningkatan ukuran bulir. Diharapkan bulir-bulir kecil yang bersifat SPM mengalami peningkatan ukuran bulir. Di samping hal di atas, pemanasan sampel yang disertai dengan penambahan oksigen (oksidasi) akan menghasilkan senyawa baru. pada Oksidasi magnetit akan mengubah bahan ini menjadi maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan hematit (α -

Fe_2O_3), bergantung pada temperatur proses. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh oksidasi terhadap konsentrasi relatif bulir SPM pada magnetit pasir besi dari Pantai Sunur, Kota Pariaman, Sumatera Barat.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pembuatan Sampel

Pembuatan sampel dilakukan beberapa tahap, pertama-tama mineral magnetik yang ada pada pasir dipisahkan dengan mineral *non-magnetic* secara manual menggunakan magnet. Kemudian mineral magnetik yang sudah dipisahkan digerus menggunakan lumpang. Mineral-mineral yang menempel pada magnet kemudian digerus kembali untuk menghasilkan pastikel yang lebih halus. Mineral yang sudah digerus dipisahkan kembali menggunakan magnet kemudian digerus kembali. Setelah itu mineral disaring menggunakan ayakan 200 mesh. Setelah diayak mineral magnetik dibagi menjadi enam kelompok. Satu kelompok (sampel A) adalah sampel yang tidak dioksidasi, sedangkan lima kelompok yaitu B, C, D, E, dan F adalah sampel yang dioksidasi. Kemudian masing-masing kelompok dibagi menjadi lima sampel masing-masing mempunyai massa 1,0 gr.



Gambar 1. Implementasi dari pola putar pengukuran lima belas arah [8].

2.2 Proses Oksidasi

Proses oksidasi dilakukan di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas. Pada tahap ini, masing-masing kelompok sampel dimasukkan ke dalam cawan dan dimasukkan ke dalam *furnace non-vacuum*, selanjutnya dilakukan oksidasi dengan temperatur masing-masing kelompok sampel adalah: B (100°C), C (200°C), D (300°C), E (400°C), dan F (500°C) masing-masing selama 15 jam.

2.3 Pencetakan Sampel

Setelah dioksidasi sampel dicetak dalam bentuk tablet berdiameter 1,2 cm dan ketebalan 0,3 cm dengan menggunakan alat pencetak tablet yang dilakukan di Laboratorium Formulasi Sediaan Tablet Fakultas Farmasi Universitas Andalas.

2.4 Pengukuran Suseptibilitas Magnetik.

Pengukuran suseptibilitas dilakukan dengan menggunakan Bartington MS2 *Magnetic Susceptibility Meter* dengan sensor MS2B dan *Software Multisus*. Suseptibilitas magnetik ditentukan dengan metode AMS dengan 15 arah yang berbeda yang ditunjukkan oleh Gambar 1 pada frekuensi masing-masing 470 Hz dan 4700 Hz.

2.5 Pengolah Data

Setelah melakukan pengukuran kemudian dihitung nilai suseptibilitas magnetik sampel untuk kedua frekuensi dengan menggunakan *Software Matlab* R2012b. Selanjutnya konsentrasi relatif SPM dihitung dengan menggunakan Pers. (1).

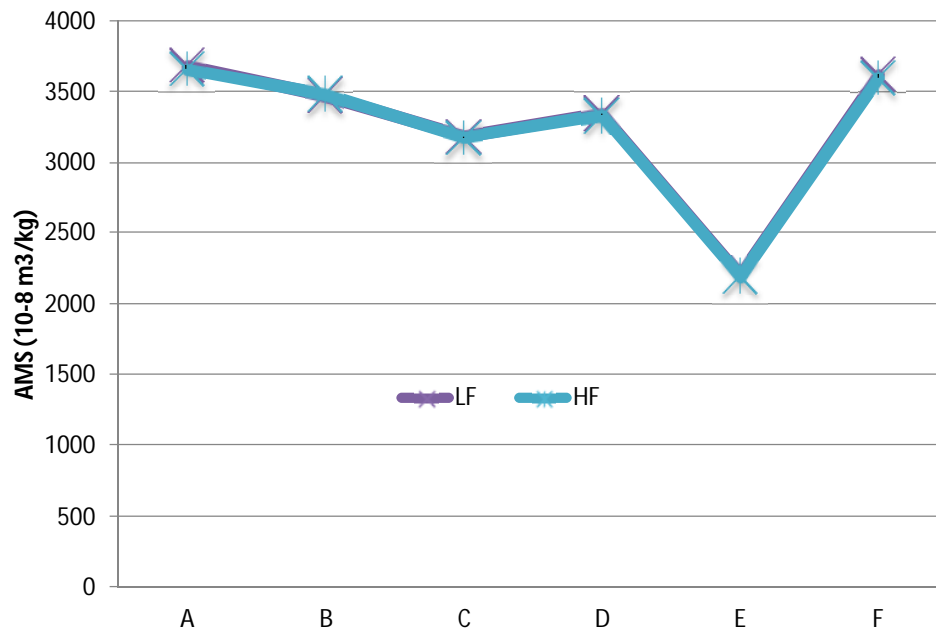
3. HASIL DAN DISKUSI

Tabel 1. Hasil pengolahan data penelitian.

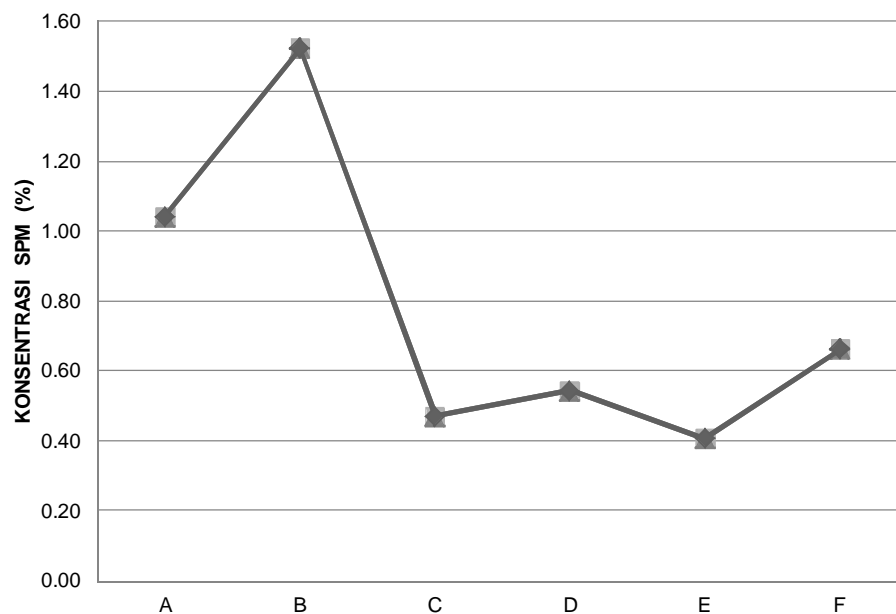
Sampel	χ_{LF}^{LE} ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	χ_{HF}^{HE} ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	χ_{FD} (%)	Sampel	χ_{LF}^{LE} ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	χ_{HF}^{HE} ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)	χ_{FD} (%)
A1	3762.2	3717.1	1.20	D1	3379.4	3364.2	0.45
A2	3564.7	3518.8	1.29	D2	3183.7	3173.7	0.31
A3	3607.8	3642.8	0.97	D3	3397.7	3382.5	0.45
A4	3635.0	3602.3	0.90	D4	3412.8	3384.1	0.84
A5	3845.6	3812.6	0.86	D5	3329.5	3351.5	0.66
RATA2	3683.0	3658.7	1.04	RATA2	3340.6	3331.2	0.54
B1	3529.5	3581.6	1.48	E1	2203.8	2195.4	0.38
B2	2936.6	2888.3	1.65	E2	2229.0	2223.0	0.27
B3	3645.1	3690.9	1.26	E3	2226.2	2216.8	0.42
B4	3631.2	3568.0	1.74	E4	2198.5	2188.1	0.47
B5	3614.6	3668.3	1.49	E5	2146.8	2157.3	0.49
RATA2	3471.4	3479.4	1.52	RATA2	2200.9	2196.1	0.41
C1	3214.5	3203.2	0.35	F1	3593.2	3562.1	0.86
C2	3187.9	3199.5	0.36	F2	3742.7	3716.0	0.71
C3	3161.5	3148.3	0.42	F3	3599.3	3588.1	0.31
C4	3162.5	3144.6	0.57	F4	3527.4	3492.6	0.99
C5	3165.4	3144.5	0.66	F5	3615.3	3599.8	0.43
RATA2	3178.4	3168.0	0.47	RATA2	3615.6	3591.7	0.66

Hasil pengolahan data AMS pada frekuensi rendah dan tinggi dan perhitungan konsentrasi relatif bulir SPM pada sampel dapat dilihat pada Tabel 1. Perubahan nilai AMS sampel hasil pengukuran pada frekuensi rendah dan tinggi akibat osidasi dapat

dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat bahwa perubahan nilai AMS baik hasil pengukuran pada frekuensi rendah dan tinggi mengalami *trend* yang sama. Keduanya cenderung mengalami penurunan, tetapi kembali mengalami peningkatan untuk sampel yang dioksidasi pada temperatur 500°C.



Gambar 1. Kurva nilai AMS sampel.



Gambar 2. Kurva pengaruh oksidasi terhadap konsentrasi relatif bulir SPM sampel.

Selanjutnya dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa konsentrasi relatif bulir SPM sampel tanpa oksidasi berkisar dari 0,90 hingga 1,29% dengan rata-rata 1,04%. Hasil ini tidak jauh berbeda dari hasil perhitungan konsentrasi relatif bulir SMP yang dilakukan pada magnetit pasir besi Pantai Arakan Kabupaten Minahasa Selatan Sulawesi Utara, yaitu berkisar dari 0,97 hingga 1,65% [9]. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa kontribusi bulir SPM dalam magnetit pasir besi sangat kecil, tidak lebih dari 2,00 % dari keseluruhan bulir yang ada. Perubahan konsentrasi relatif bulir SPM akibat oksidasi sampel dapat dilihat pada Gambar 2. Dari Gambar 2, terlihat bahwa konsentrasi relatif bulir SPM meningkat pada sampel hasil oksidasi pada 100°C. Tetapi secara drastis mulai berkurang pada sampel hasil oksidasi pada 200°C. Hal ini kemungkinan bahwa pada temperatur tersebut sebagian magnetit sudah berubah menjadi maghemit [10].

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai AMS sampel baik hasil pengukuran pada frekuensi rendah dan tinggi mengalami *trend* yang sama.
2. Konsentrasi relatif bulir SPM sampel tanpa oksidasi berkisar dari 0,90 hingga 1,29% dengan rata-rata 1,04%.
3. Konsentrasi relatif bulir SPM meningkat pada sampel hasil oksidasi pada 100°C, tetapi secara drastis mulai berkurang pada sampel hasil oksidasi pada 200°C.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam kegiatan penelitian ini, yaitu Kepala Laboratorium Fisika Bumi dan Fisika Material Jurusan Fisika, Kepala Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin, dan Laboratorium Formulasi Sediaan Tablet Fakultas Farmasi Universitas Andalas.

6. PUSTAKA

- [1]. Yulianto A, Aji MP, Idayanti N. Fabrikasi MnZn-Ferit dari Bahan Alam Pasir Besi Serta Aplikasinya untuk Core Induktor. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY*. 2010: 128-133.
- [2]. Afdal, Niarti L. Karakterisasi Sifat Magnet Dan Kandungan Mineral Pasir Besi Sungai Batang Kuranji Padang Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Fisika*. 2013; 5(1): 24-30.
- [3]. Saukani M, Sudarningsih, Wianto T. Analisa Mineral Magnetik Pasir Sisa Pendulangan Intan Di Cempaka, Kota Banjarbaru Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik. *Jurnal Fisika*. 2011.

- [4]. Yulianto, A., Bijaksana, S., Loeksmanto, W., Kumia, D., 2003, Produksi *Hematite* (α - Fe_2O_3) Dari Pasir Besi : Pemanfaatan Potensi Alam Sebagai Bahan Industri Berbasis Sifat Kemagnetan, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 2003; 5 (1): 51-54.
- [5]. Hunt CP, Moskowitz B, Banerjee, SK. Magnetic Properties of Rock and Minerals. in T.J. Ahrens, ed, *The Rock Physics & Phase Relation, Handbook of Physical Constant*, American Geophysical Union, Washington, 1995: 189-204.
- [6]. Tarling DH, Hrouda F. *The Magnetic Anisotropy of Rocks*, Chapman & Halls, 2-6 Boundary Row, London, SE 1 8 HN, UK; 1993.
- [7]. Tamutuan G., Bijaksana S., King J., Russel J, Fauzi U, Maryunani K., Aufa, N, and Safiuddin LO, Variation of Magnetic Properties in Sediments from Lake Towuti, Indonesia, and Its Paleoclimatic Significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology*. 2015; 420: 163-172.
- [8]. Subekti. *Analisis Suseptibilitas Magnetik Pasir Besi*. Skripsi: Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Surakarta, Surakarta; 2010.
- [9]. Tanauma A., Ferdy. Potensi Sumberdaya Alam Pasir Besi Pantai Arakan Kabupaten Minahasa Selatan *Jurnal Ilmiah Sains*. 2011; 11(2): 225-228. <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/JIS/article/view/211/162>.
- [10]. Lepp, H., 1957. Stages In The Oxidation Of Magnetite, *The American Mineralogist*, Vol. 42, hal. 679-686.

STRUCTURAL, CHEMICAL COMPOSITION, ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF Sn (Se_{0,4} S_{0,6}) THIN FILMS PREPARED USING THERMAL EVAPORATION FOR SOLAR CELLS APPLICATIONS

Ariswan*

*Jurdik. Fisika, Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

E-mail : ariswan@uny.ac.id

ABSTRACT

This research aimed to determine the crystal structure, chemical composition, optical and electrical properties of Sn (Se_{0,4} S_{0,6}) thin films prepared by thermal evaporation technique with the orde of vakum about $4,0 \times 10^{-5}$ mbar, and deposition time of 8 minutes. Characterization carried out by X-ray diffraction (XRD) to determine the crystal structure and the chemical composition was determined by energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS), electrical properties determined by four point probe (FPP) and UV-VIS spectroscopy was used to determine response of transmittance a function of photon energy. The XRD results showed that Sn (Se_{0,4} S_{0,6}) has orthorhombic crystal structure, with lattice constants $a = 4.1186 \text{ \AA}$; $b = 11.4830 \text{ \AA}$; $c = 4.3192 \text{ \AA}$. While the EDS results show the chemical composition of the material of Sn: Se: S = 1: 0.47: 0.53. The material has a p-type and a resistivity of 85.4 \Omega cm . The UV -VIS spectroscopy showed that large absorption at about of 400 nm correlated with the band gap of 1,38 eV.

Keywords: Four Point Probe, Orthorhombic, Evaporation

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis, komposisi kimia, morfologi permukaan, sifat-sifat optik dan listrik lapisan tipis Sn(Se_{0,4} S_{0,6}). Preparasi bahan menggunakan teknik evaporasi termal, dengan jarak spacer 15 cm, tekanan vakum pada $4,0 \times 10^{-5}$ mbar, waktu deposisi selama 8 menit. Karakterisasi dalam penelitian ini menggunakan XRD (*X-ray diffraction*) untuk mengetahui struktur Kristal, komposisi kimia bahan semikonduktor diketahui dengan menggunakan EDS (*energy dispersive X-ray spectroscopy*), sifat listrik diketahui dengan *four point probe (FPP)* dan untuk mengetahui sifat optik digunakan spektrofotometer UV-VIS. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa Sn(Se_{0,4} S_{0,6}) memiliki struktur kristal orthorombik, dengan konstanta kisi $a = 4.1186 \text{ \AA}$; $b = 11.4830 \text{ \AA}$; $c = 4.3192 \text{ \AA}$. Hasil EDS menunjukkan bahwa perbandingan komposisi kimiab Sn: Se: S = 1: 0.47: 0.53. Bahan memiliki tipe-p dengan resistivitas sebesar $85,4 \text{ \Omega cm}$. Pada pengukuran Spektrofotometer UV-VIS bahan mulai menyerap energi foton pada panjang gelombang 400 nm, bersesuaian dengan *band gap* sebesar 1,38 eV.

Kata kunci : Four Point Probe, Orthorhombic, Evaporasi

PENDAHULUAN

Riset bidang Fisika Material maju pesat pada dekade terakhir ini, karena tuntutan kemajuan temuan material baru yang aplikasinya sangat diperlukan dalam kehidupan modern ini. Sel surya merupakan salah satu terapan material yang sangat prospek mengingat kebutuhan energy kehidupan modern secara terus-menerus meningkat. Surya adalah sumber energy terbesar yang menjadi sumber kehidupan umat manusia, sehingga merupakan energy terbarukan dengan spektrum panjang gelombang dari sekitar 200 nm hingga 2400 nm [1] dapat diubah langsung menjadi energi listrik. Piranti yang dapat mengubah energi surya langsung menjadi energi listrik tersebut dinamakan sel surya. Sel surya bekerja atas dasar efek fotovoltaiik. Efek fotovoltaiik ini pertama kali ditemukan oleh Edmon Becquerel (1839), kemudian tahun 1912 Einstein menjelaskan secara teori tentang mekanisme fenomena tersebut dan masih sebatas eksperimen di laboratorium, kemudian tahun 1950 sel surya ini direalisasikan untuk yang pertama kalinya, menggunakan bahan kristal Silikon. Tahun 1970 penelitian sel surya dilakukan secara intensif ketika dihadapkan dengan krisis energi. Sebagai tindak lanjut, maka pada tahun 1979 dibangun listrik tenaga surya hingga mencapai 1 Mwatt, dewasa ini seluruh negara telah menggunakan sel surya sebagai sumber energy alternatifnya.

Sampai saat ini, sel surya berkembang sangat pesat dari berbagai bahan baik bahan organik maupun bahan non organik. Sel surya terus tumbuh dari generasi pertama sampai saat ini generasi ke tiga. Dari semula berbentuk wafer, kemudian lapisan tipis dengan lapisan terbatas, sekarang telah diproduksi lapisan tipis dengan system tandem sehingga efisiensinya dapat ditingkatkan lebih tinggi lagi. Jika semula bahan sel surya hanya silikon, kemudian pada perkembangan riset bidang material banyak bahan yang memiliki sifat dapat diaplikasikan sebagai sel surya. Bahan-bahan tersebut seperti GaAs dengan efisiensi 28%, Cu(In,Ga)Se_2 dapat mencapai efisiensi 20% dan bahkan dalam system multi sambungan InGaP/GaAs/InGaAs bisa mencapai efisiensi sampai 37,9 % [2]

Pada sekala riset laboratorium, para peneliti telah mengembangkan sel surya berbasis Sn(Se,S) . Bahan semikonduktor ini merupakan paduan dari Sn, Se dan S. Bahan semikonduktor SnSe banyak digunakan sebagai bahan sel surya, disebabkan karena SnSe memiliki band gap pada rentang spektrum energy surya yaitu pada suhu kamar sebesar 1,92 eV [3]. Sedangkan, bahan Tin Sulfida (SnS) memiliki band gap langsung antara 1,1 eV sampai 1,25 eV [4]. Penelitian ini mencoba melakukan doping selen pada semikonduktor SnS. Oleh karena bahan $\text{Sn(Se}_{0,4}\text{S}_{0,6})$ dapat diharapkan memiliki band gap antara kedua nilai di atas sehingga sangat memungkinkan bahan ini dapat diterapkan dalam optimalisasi terapan material pada sel surya.

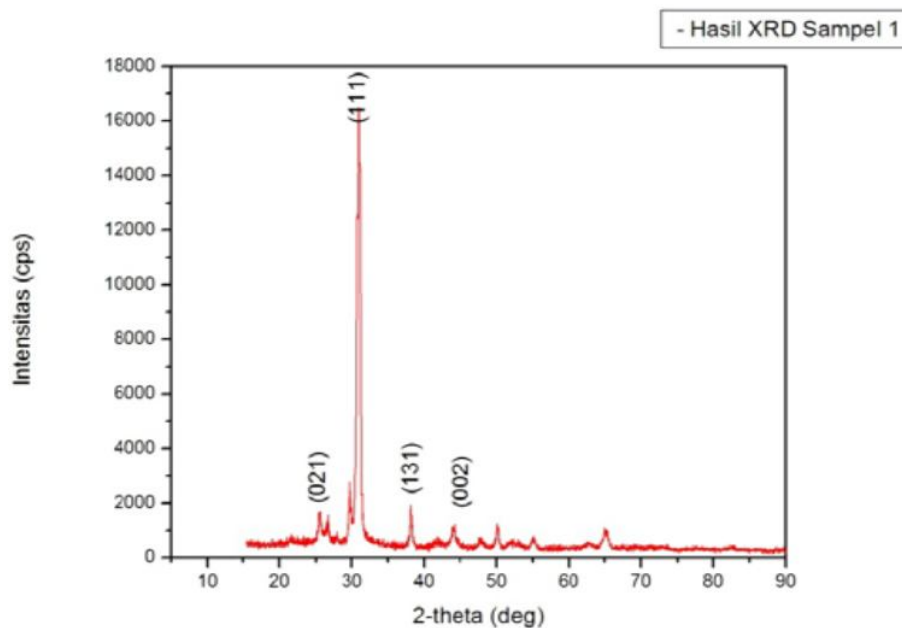
BAHAN DAN METODE

Penelitian ini diawali menyiapkan paduan masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4} \text{S}_{0,6})$ dengan metode Bridgman. Metode ini didasarkan pada perbandingan molaritas masing-masing bahan. Jika ditimbang massa Sn adalah a gram, maka dapat ditentukan massa selen (Se) adalah $\frac{a}{\text{Berat Atom Sn}} \times 0,4 \times \text{Berat Atom Se}$, kemudian massa atom sulfur (S) dengan massa sebesar $\frac{a}{\text{Berat Atom Sn}} \times 0,6 \times \text{Berat Atom S}$. Ketiga bahan tersebut dimasukkan dalam tabung pyrex dengan diameter dalam 12 mm dan diameter luar 16 mm yang ditempatkan pada vakum dan pada ujung tabung dilas, sehingga diperoleh kapsul berisi ketiga bahan tersebut. Selanjutnya kapsul di panaskan menggunakan furnace yang suhunya dapat diatur dengan pemanasan menggunakan alur pemanasan disesuaikan dengan titik lebur ketiga bahan tersebut. Paduan masif yang dihasilkan selanjutnya dibuat serbuk kemudian diletakkan pada cawan pemanas yang terbuat dari bahan tungsten dalam vakum pada orde 10^{-5} m.Bar dan dipanaskan sampai di atas 1000°C . Bahan akan menjadi uap dan terdepositasi pada substrat terletak 15 cm di atas cawan. Substrat tersebut dipanaskan pada suhu 550°C .

EDS digunakan untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis. Selanjutnya *scanning electron microscop (SEM)* digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis. Sedangkan XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis. Karakterisasi sifat listrik bahan menggunakan *FPP dimana* menghasilkan data yaitu nilai resistansi dan tipe konduktivitas. Karakterisasi sifat optik dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis menghasilkan nilai absorbansi dan nilai transmitansi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}, \text{S}_{0,6})$ sebagai fungsi dari panjang gelombang. Akhirnya dengan melakukan ekstrapolasi fungsi yang diturunkan dari koefisien absorpsi dan transmitansi tersebut dapat ditentukan besarnya energi band gap bahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Difraktogram hasil karakterisasi XRD ditunjukkan pada gambar 1. Difraktogram menunjukkan besarnya intensitas sebagai fungsi 2θ . Hasil pada gambar 1 tersebut menunjukkan bahwa bahan merupakan polikristal. Selanjutnya data difraktogram dibandingkan dengan data base pada *Joint Commitee on Powder Diffraction – International Centre for Diffraction Data (JCPDS- IDDS)* dapat diketahui bahwa $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}, \text{S}_{0,6})$ memiliki struktur orthorombik. Hal ini dibuktikan dengan adanya puncak-puncak spektrum karakteristik dengan intensitas pada puncak-puncak tertentu seperti bidang (021), (131), (002) dan puncak paling dominan pada bidang (111).



Gambar 1. Difraktogram XRD Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}, \text{S}_{0,6})$ dengan Jarak *Spacer* 15 cm.

Difraktogram yang memberikan puncak- puncak intensitas dikaitkan dengan sudut difraksi selanjutnya dicocokkan dengan data pada *JCPDS- ICDD* seperti telah disebutkan diatas, akan diperoleh bidang- bidang hkl pada sudut difraksi tertentu. Selanjutnya dengan perhitungan yang mengkaitkan hukum Brag:

$$2 d \sin \theta = \lambda \quad (1)$$

d adalah jarak antar bidang kristal dan λ adalah panjang gelombang sinar- X yang digunakan. Telah diketahui pada sistem kristal orthorombik jarak antar bidang kisi kristal d dinyatakan dalam h, k, l (indeks miller) seperti pada persamaan berikut ini.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (2)$$

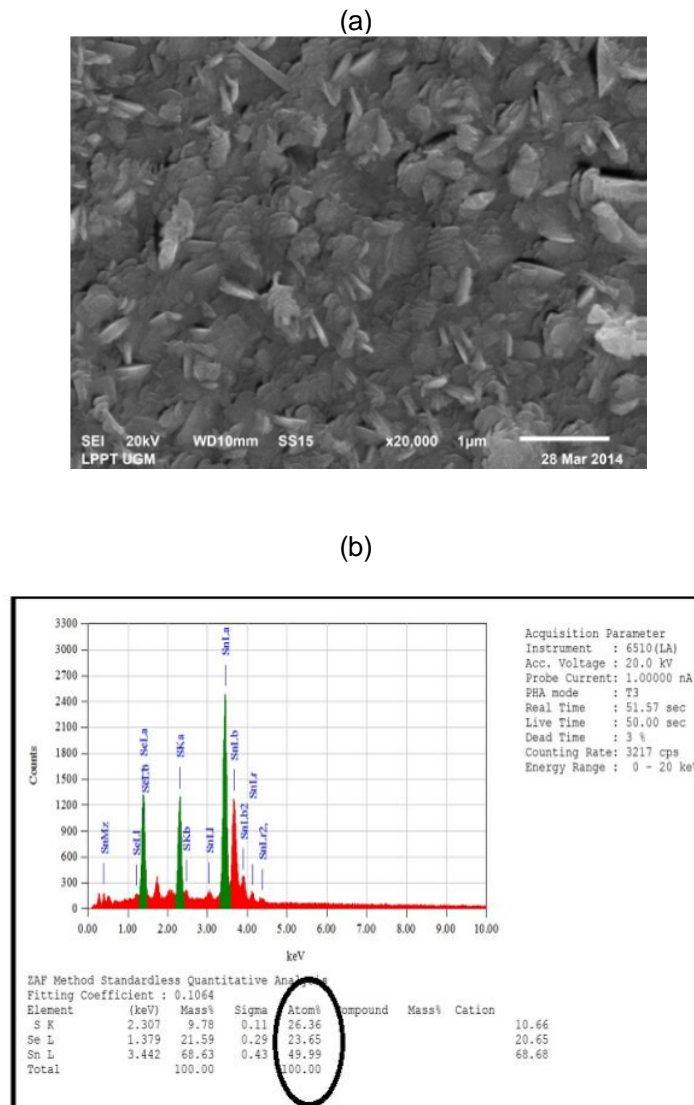
Ketika digunakan teknik analitik yaitu melakukan substitusi persamaan (1) dan (2) diperoleh rumus berikut ini.

$$\sin^2(\theta) = \frac{\lambda^2}{4} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right) \quad (3)$$

Parameter kisi kristal dengan konstanta kisi a, b, c dapat dihitung dan nilainya berturut- turut 4,1186 Å ; 11,4830 Å ; dan 4,3192 Å. Hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan literature [5]

Untuk mengetahui morfologi permukaan digunakan *SEM* dengan perbesaran hingga 40.000 kali dihasilkan seperti pada gambar 2.a. Prinsip kerja dari *SEM* adalah sebuah penembak elektron memproduksi sinar berkas elektron dan dipercepat oleh

anoda. Selanjutnya, lensa magnetik berfungsi untuk memfokuskan elektron menuju sampel. Sinar berkas elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel yang diarahkan oleh koil pemindai saat elektron mengenai sampel, maka sampel tersebut mengeluarkan elektron baru (electron sekunder) yang akan diterima oleh detektor lalu dikirim ke monitor untuk dicetak hasilnya. Hasil foto tersebut tampak bahwa telah terbentuk butiran (grain) yang menunjukkan bahwa bahan lapisan tipis adalah dalam bentuk polikristal. Sedangkan warna yang homogen dari morfologi menunjukkan bahwa sampel adalah homogen yang mengindikasikan telah terbentuknya satu paduan bahan dengan komposisi kimia tertentu.



Gambar 2. Hasil karakterisasi : (a). SEM berupa morfologi permukaan dan
(b). EDAX berupa komposisi Kimia

Hasil karakterisasi EDS berupa difraktogram merupakan hubungan antara intensitas sinar-x yang diradiasikan oleh sampel sebagai fungsi dari energi. Sinar -x karakteristik yang dipancarkan oleh sampel ketika berkas electron mengenai sampel umumnya pada atom yang lebih dalam. Oleh karena itu akan muncul puncak-puncak (*peak*) yang merepresentasikan suatu atom tertentu yang terkandung pada sampel. Sedangkan intensitas menggambarkan seberapa banyak atom tersebut terdapat pada sampel. Pada gambar 2.b menunjukkan perbandingan komposisi kimia bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}, \text{S}_{0,6})$ yang terbentuk dalam atom Sn; Se; S berturut-turut 49,99 %; 23,63%; 26,37% sehingga paduan yang terbentuk dengan komposisi kimia Sn ($\text{Se}_{0,47} \text{S}_{0,53}$). Hasil ini non stoichiometri karena sedikit menyimpang dari paduan harapannya yaitu komposisi teoritik $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}, \text{S}_{0,6})$.

Karakterisasi sifat- sifat listrik digunakan metode *FPP* dan hasilnya seperti tampak pada table 2 di bawah ini

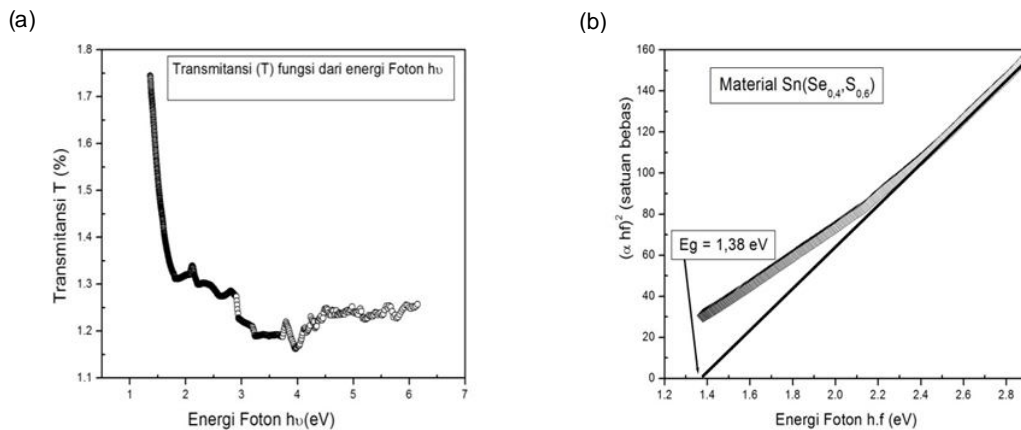
Tabel 2. Hasil pengukuran metode *FPP* pada sampel $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}, \text{S}_{0,6})$

Posisi tegak				
V/I (ohm)	Sheet (ohm) ⁻²	Slice (ohm.cm)	Thick (cm)	Type
$0,645 \times 10^4$	$0,292 \times 10^5$	$0,742 \times 10^2$	$0,342 \times 10^{-4}$	P
$0,652 \times 10^4$	$0,296 \times 10^5$	$0,751 \times 10^2$	$0,338 \times 10^{-4}$	P
$0,944 \times 10^4$	$0,428 \times 10^5$	$1,086 \times 10^2$	$0,234 \times 10^{-4}$	p
Posisi melintang				
V/I (ohm)	Sheet (ohm) ⁻²	Slice (ohm.cm)	Thick (cm)	Type
$0,849 \times 10^4$	$0,385 \times 10^5$	$0,977 \times 10^2$	$0,260 \times 10^{-4}$	P
$0,668 \times 10^4$	$0,303 \times 10^5$	$0,769 \times 10^2$	$0,330 \times 10^{-4}$	P
$0,694 \times 10^4$	$0,315 \times 10^5$	$0,799 \times 10^2$	$0,318 \times 10^{-4}$	p

Berdasarkan pengukuran metode Four Point Probe diperoleh bahwa lapisan tipis yang dipreparasi dengan teknik evaporasi ini memiliki tipe konuktivitas jenis p, dengan resistivitas $85,4 \Omega \text{ cm}$. Hasil ini bersesuaian dengan literatur [6].

Selanjutnya pada pengukuran dengan *UV- VIS spectroscopy* prinsipnya adalah bagaimana respon sampel ketika foton dengan panjang gelombang dari 200 nm sampai 900 nm dikenakan pada sampel tersebut. Interaksi foton dengan sampel sangat

ditentukan berapa besar band gap sampel. Bila energy foton lebih besar dari band gap tentu hanya sedikit energy yang ditransmisikan. Sedangkan apabila energy foton sama dengan band gap sebagian besar foton diserap dan apabila energy foton lebih kecil dari band gap sampel tentu sebagian besar foton akan ditransmisikan. Kondisi respon sampel terhadap foton yang dipaparkan pada sampel seperti ditampilkan pada gambar 3.a.



Gambar 3. (a). Respon bahan dalam bentuk transmitansi sebagai fungsi dari energy foton.
(b). Metode ekstrapolasi $(\alpha \cdot hf)^2$ sebagai fungsi energy foton hf .

Cara penentuan band gap dapat dilakukan dengan metode ekstrapolasi pada grafik yang menghubungkan bentuk $(\alpha \cdot hf)^2$ sebagai fungsi energy foton hf .

Perhitungannya dimulai dari persamaan berikut ini.

$$I(t) = I(o) \exp (-\alpha d). \quad (2)$$

$I(t)$ intensitas yang ditransmisikan, $I(o)$ intensitas foton yang datang, α adalah koefisien serapan dan d adalah ketebalan lapisan tipis. Apabila diambil logaritmiknya, kemudian $I(t)/I(o)$ adalah transmitansi (T), maka dapat dinyatakan bahwa

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{1}{T} \right). \quad (3)$$

Sedangkan untuk semikonduktor *direct band gap* berlaku: [7]

$$(\alpha \cdot hf)^2 = B^2 (hf - E_g) \quad (4)$$

B adalah konstanta. Bila data yang ditampilkan oleh piranti UV-VIS adalah T sebagai fungsi panjang gelombang λ , maka tentu dengan substitusi kedua persamaan diatas dapat dinyatakan

$$\{[\ln(1/T)] hf\}^2 = K (hf - E_g) \quad (5)$$

K adalah konstanta, dengan $K = B^2$.d. Jika persamaan (5) dinyatakan dalam grafik tentu akan memiliki bentuk yang identik dengan persamaan (6), sehingga dapat diambil ketika ruas kiri persamaan (6) sama dengan nol, maka diperoleh nilai energy foton hf itulah sebagai nilai dari energi band gap sampel.(gambar 3.b). Teknik ini memberikan energi band gap sebesar 1,38 eV.

Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian terhadap bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4} \text{S}_{0,6})$ ini dapat disimpulkan seperti berikut ini.

1. Telah dihasilkan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4} \text{S}_{0,6})$ berbentuk polikristal mengikuti struktur orthorombik dengan parameter kisi berturut- turut $a = 4,1186 \text{ \AA}$; $b = 11,4830 \text{ \AA}$; dan $c = 4,3192 \text{ \AA}$.
2. Bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4} \text{S}_{0,6})$ memiliki tipe konduktivitas p dengan resistivitasnya sebesar $85,4 \Omega \text{ cm}$
3. Bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4} \text{S}_{0,6})$ memiliki celah energi sebesar 1,38 eV, sehingga bahan ini sangat sesuai bila diaplikasikan pada sel surya.

PUSTAKA

- [1]. G. Thuller, M. Herse, D. Labs, T. Foujol, W. Petterman, G. Bilouty, P.C Sem0m, H.Mendel, *Solar Physics* 2003 **214**: 1–22.
- [2]. Martin A. Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa, Wilhelm Warta and Ewan D. Dunlop. *Progress in Photovoltaic Research*. 2014 22: 701-710.
- [3]. Solanki, G.K, Gosai N.N. and Patel K.D., *Research Journal of Chemical Sciences*, Vol 5(3), March 2015, p.1-5
- [4]. R. Marriapan, M. Ragavendar, V. Ponnuswamy. *Optica Application*, Vol XLI, No. 4. 2011, p. 989-997.
- [5]. C. Cifuentes, m. Botero, E. Romero, C. Calderon, and G. Gordillo, *Brazzilian Journal of Physics*, Vol.36 No.3B, 2006, p.1046-1049.
- [6]. N. Kumar, V. Sharma, U.Parihar, R. Sachdewa, N.Padha, C.J. Panchal.j. of Nano Electron. Physics 3 (2011) p. 117-126
- [7]. H. Sakata, and H. Ogawa, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 63, 2000. P.259

PENGARUH IRADIASI GAMMA TERHADAP SIFAT LISTRIK FILM TIPIS GRAFIT

EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON THE ELECTRIC PROPERTIES OF GRAPHITE THIN FILM

Astuti¹, Yunasfi², Putri Pratiwi¹

¹ Jurusan Fisika Universitas Andalas.

²PTBIN-BATAN

Kampus Unand Limau Manis. Padang. 25163

e-mail: tuty_phys@yahoo.com

ABSTRACT

This research represents effect of gamma irradiation on the electric properties of graphite thin film. Graphite thin films were deposited by using DC-Unbalanced Magnetron Sputtering at four different doses: 100 kGy, 200 kGy, 300 kGy and 400 kGy. SEM images show good structural homogeneity and thickness is about 12.08 μm . Measurement of the electrical properties were done by using the LCR - meter, with various of doses gamma irradiation. The highest conductivity is obtained by the irradiation dose of 400 kGy is 0.6372 $\mu\text{S} / \text{cm}$. The conductivity of a thin film of graphite increases with increasing of radiation dose.

Keywords: DC-Unbalanced Magnetron Sputtering, graphite, thin film, Gamma radiation

ABSTRAK

Penelitian ini mengenai pengaruh iradasi Gamma terhadap sifat listrik film tipis grafit. Film tipis grafit dideposisi dengan menggunakan metode DC-Unbalanced Magnetron Sputtering. SEM digunakan untuk melihat morfologi permukaan dan ketebalan sampel. Lapisan tipis grafit diperoleh dengan permukaan yang homogen dengan ketebalan 12,08 μm . Pengukuran sifat listrik dilakukan dengan menggunakan LCR-meter, dengan variasi dosis radiasi dari sinar Gamma. Konduktivitas tertinggi diperoleh dengan pemberian dosis radiasi sebanyak 400 kGy, yaitu 0,6372 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Konduktivitas lapisan tipis grafit meningkat seiring dengan meningkatnya dosis radiasi yang diberikan.

Katakunci: DC-Unbalanced Magnetron Sputtering: grafit, lapisan tipis, radiasi Gamma

1. PENDAHULUAN

Karbon sebagai salah satu unsur yang paling banyak ditemukan di kerak bumi dapat ditemukan secara bebas dalam bentuk kristal dengan struktur berbeda-beda yang dikenal sebagai alotrop karbon. Salah satu dari alotrop karbon yang dapat digolongkan ke dalam kelompok keramik tahan panas karena kekuatannya pada temperatur tinggi (Smallman dan Bishop, 2000) dan mempunyai konduktivitas listrik dan konduktivitas termal yang baik dalam dua dimensi (Lawrence, 2004) adalah grafit. Kelebihan tersebut membuat grafit dianggap sebagai salah satu material dengan fitur yang menarik untuk digunakan dalam bidang elektronik.

Potensi penggunaan alotrop-alotrop karbon termasuk grafit dalam bidang elektronik telah dipelajari semenjak lebih dari 50 tahun yang lalu. Grafit yang diiradiasi dengan radiasi pengion (radiasi dengan energi tinggi) menyebabkan terjadinya cacat pada strukturnya. Cacat dihasilkan dari pergeseran atom akibat dari interaksi radiasi pengion dengan bahan tersebut. Cacat atau kerusakan pada material berbasis karbon ini akan mempengaruhi sifat elektroniknya (Cervenka dan Flipse, 2007).

Pada penelitian ini ditumbuhkan lapisan tipis grafit dengan menggunakan metode DC-Unbalanced Magnetron Sputtering. Selanjutnya diradiasi dengan sinar Gamma dengan dosis yang berbeda. Kenaikan dosis radiasi sinar Gamma dapat menurunkan nilai resistivitas, karena adanya peningkatan temperatur disepanjang lintasan elektron (Fadel dkk, 1986). Selain itu peningkatan dosis radiasi juga dapat menurunkan puncak intensitas difraksi, peningkatan sudut difraksi, dan penurunan luasan garis difraksi. Hal ini menunjukkan terbentuknya cacat, dan perubahan bidang kisi sehingga menyebabkan pergeseran garis difraksi. Akan tetapi sampai dosis 250 kGy belum menunjukkan perubahan fasa dan struktur grafit (Yunasfi, 2008). Sedangkan sifat listrik grafit akibat pemberian variasi dosis radiasi Gamma akan dibahas dalam artikel ini.

2. METODE PENELITIAN

Serbuk grafit dengan kemurnian 99,5% dan diameter 10 μ m ditimbang sebanyak 5 gram. Serbuk grafit yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam cetakan yang terbuat dari *stainless steel* dan dipres dengan menggunakan pres hidrolik (Daiwa Universal Testing Machine, Japan), dengan daya tekan 7,5 ton. Pemberian tekanan tersebut dimaksudkan untuk menghasilkan pelet yang keras dan tidak mudah pecah. Pelet yang dihasilkan memiliki diameter 25,90 mm dan tebal 5,44 mm. .

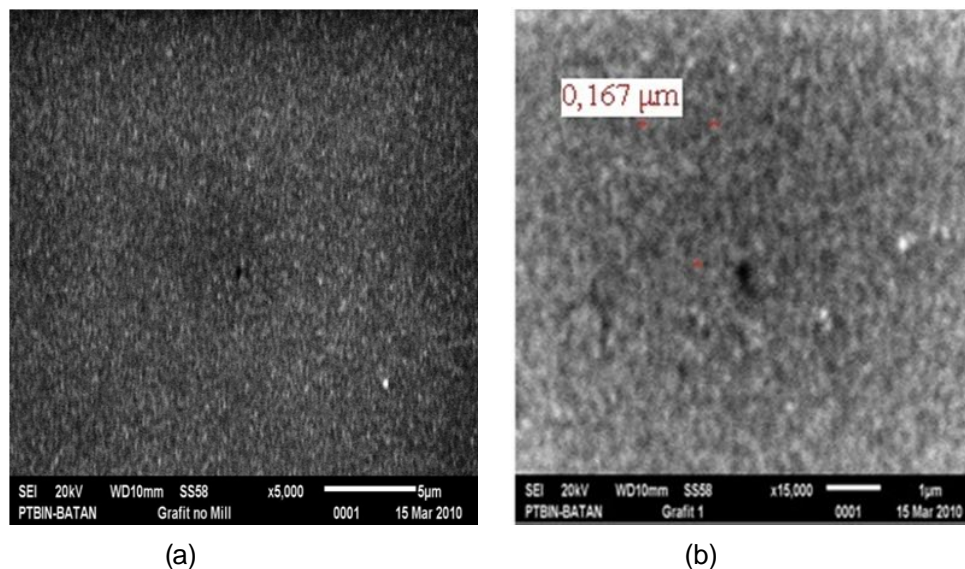
Lapisan tipis grafit dideposisi dengan metode *DC-Unbalanced Magnetron Sputtering*. Substrat ditempelkan pada anoda dengan menggunakan pasta perak, anoda dipanaskan sampai suhu 150°C agar pasta perak kering sehingga substrat menempel

(melekat) pada wadah substrat. Proses pengoperasian diawali dengan menjalankan pompa vakum. Pompa vakum diset pada tekanan $5,2 \times 10^{-2}$ torr. *Heater* dipanaskan dan suhu diset pada 300°C . Setelah kevakuman dan suhu deposisi tercapai, gas argon dialirkan melalui *MFC* yang telah diset pada laju 100 sccm (*standard centimeter cubic per minute*). Lapisan tipis yang terbentuk diiradiasi dengan sinar gamma dengan memvariasikan dosis yaitu 100 kGy, 200 kGy, 300 kGy dan 400 kGy. Pengaruh sinar gamma terhadap sifat listrik lapisan tipis Grafit akan dilihat dengan menggunakan LCR-Meter. Karakterisasi yang dilakukan diantaranya dengan menggunakan SEM untuk melihat morfologi permukaan dan mengukur ketebalan lapisan tipis grafit, dan dengan menggunakan LCR-Meter untuk melihat sifat listriknya yaitu konduktivitas dan kapasitansi sebagai fungsi dari frekuensi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Analisis Morfologi Permukaan dan Ketebalan dengan SEM

Karakterisasi morfologi permukaan dan ketebalan dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil SEM dengan perbesaran 5.000x dan 15.000x menunjukkan bahwa morfologi permukaan lapisan tipis grafit mempunyai permukaan yang halus dan homogen, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1 (a) dan (b).

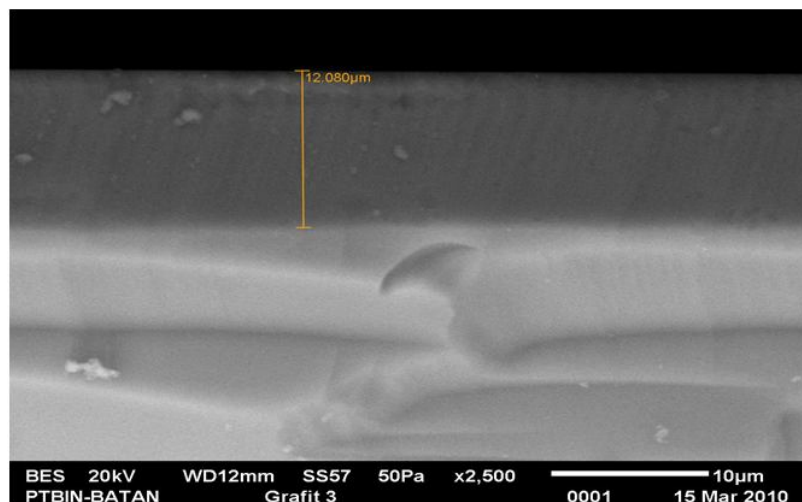


Gambar 1. Citra SEM (a) dengan perbesaran 5.000x, (b) dengan perbesaran 15.000x.

Permukaan lapisan tipis yang halus dan homogen menunjukkan bahwa nukleasi antar atom yang terabsorpsi pada permukaan substrat sangat lambat dengan ditandai dengan pembentukan butir kristal yang lembut dan rata. Pada tahap nukleasi, atom

berinteraksi antara satu dengan yang lainnya membentuk kelompok (*cluster*) yang lebih besar sampai stabil secara termodinamika. *Cluster* atau yang lebih dikenal dengan sebutan inti (*nuclei*) ini tumbuh dengan jumlah dan ukuran tertentu, tergantung pada beberapa parameter, salah satunya laju difusi permukaan. Difusi permukaan memungkinkan spesies terabsorpsi menemukan spesies terabsorpsi lain untuk berinteraksi membentuk ikatan. Lapisan tipis grafit ini ditumbuhkan dengan parameter suhu substrat sebesar 300°C. Suhu substrat yang rendah ini menyebabkan laju difusi permukaannya cukup lambat, sehingga sebuah spesies terabsorpsi membutuhkan waktu lama untuk menemukan spesies terabsorpsi lain untuk selanjutnya berinteraksi membentuk inti. Lambatnya proses nukleasi ini mengakibatkan ukuran butir cukup kecil, yaitu sekitar 0,167 μm . Ukuran butir ini dapat diketahui melalui citra SEM morfologi permukaan lapisan tipis grafit dengan perbesaran 15.000x, seperti yang terlihat pada Gambar 1 (b).

Selain untuk melihat morfologi permukaan lapisan tipis, SEM juga dapat digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan tipis ini. Citra SEM yang memperlihatkan ketebalan lapisan tipis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penampang lintang lapisan tipis grafit dengan perbesaran 2.500x.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa hanya terdapat dua lapisan, warna yang lebih terang menunjukkan substrat silikon dan warna yang lebih gelap menunjukkan lapisan tipis yang terbentuk. Hal ini menegaskan bahwa proses pertumbuhan lapisan tipis dengan menggunakan metode ini merupakan pertumbuhan epitaksial, yaitu pertumbuhan ke arah atas saja, jadi atom-atom terdeposisi saling bertumpukan di atas permukaan substrat selama proses deposisi terjadi, tidak menyisip ke dalam permukaan substrat (proses

difusi). Hadirnya dua lapisan ini menyatakan bahwa pertumbuhan difusi tidak terjadi di sini dan walaupun terjadi, kemungkinannya sangat kecil dan sangat sedikit sehingga tidak terlihat pada percitraan SEM tersebut.

Berdasarkan hasil SEM dapat diukur ketebalan lapisan tipis tersebut yaitu 12,080 μm . Nilai ketebalan lapisan ini nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai konduktivitas lapisan tipis tersebut.

2. Hasil Analisis Sifat Listrik dengan LCR-meter

Sifat listrik lapisan tipis grafit diukur dengan alat LCR meter dengan parameter frekuensi pengukuran 1 kHz, 10 kHz, dan 100 kHz, dengan dosis radiasi 100 kGy, 200 kGy, 300 kGy, dan 400 kGy, pada tegangan potensial 1 Volt serta pada suhu ruang. Dari alat ukur ini diperoleh nilai konduktansi dan kapasitansi lapisan tipis terhadap perubahan parameter frekuensi dan dosis radiasi. Nilai konduktansi untuk variasi dosis radiasi pada berbagai frekuensi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran konduktansi lapisan tipis pada berbagai frekuensi dan dosis radiasi.

Frekuensi	sebelum diiradiasi	Setelah diiradiasi dengan Dosis			
		100 (kGy)	200 (kGy)	300 (kGy)	400 (kGy)
	G (μS)	G (μS)	G (μS)	G (μS)	G (μS)
1 kHz	7,3696	8,8992	12,369	13,347	13,347
10 kHz	7,8564	10,283	13,918	14,954	14,954
100 kHz	8,2651	11,626	15,363	16,493	16,493

Berdasarkan Tabel 1, maka dapat dihitung nilai konduktivitas untuk setiap variasi dosis radiasi dari lapisan tipis tersebut, dengan menggunakan Persamaan (1),

$$\sigma = G \frac{l}{A} \quad (1)$$

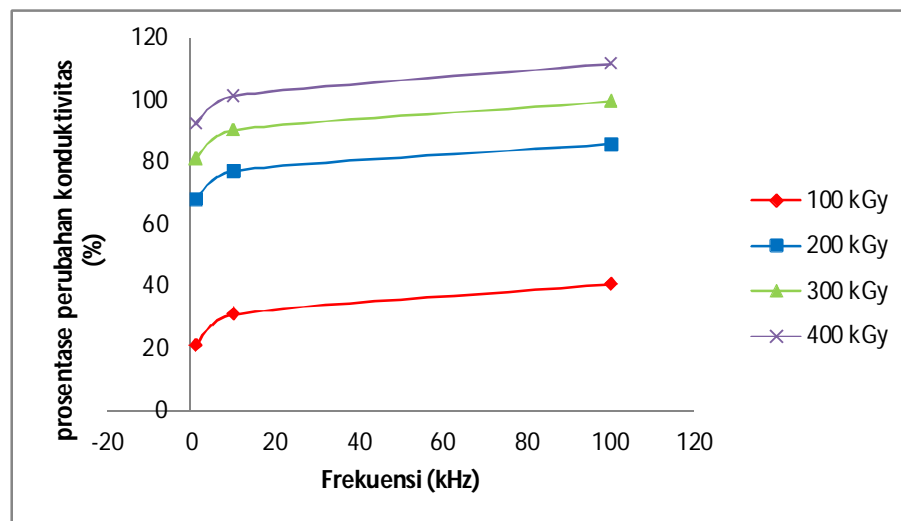
dengan satuan σ adalah (S/m), G adalah nilai konduktansi, $l = 12,08 \times 10^{-3} \text{ cm}$, dan $A = 105,6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$. Sehingga, nilai konduktivitas untuk setiap dosis radiasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan konduktivitas lapisan tipis pada berbagai frekuensi dan berbagai dosis radiasi.

Frekuensi	Sebelum diiradiasi	Setelah diiradiasi dengan Dosis			
		100 (kGy)	200 (kGy)	300 (kGy)	400 (kGy)
	σ ($\mu\text{S/cm}$)	σ ($\mu\text{S/cm}$)	σ ($\mu\text{S/cm}$)	σ ($\mu\text{S/cm}$)	σ ($\mu\text{S/cm}$)
1 kHz	0,2684	0,3241	0,4505	0,4861	0,5164
10 kHz	0,2861	0,3745	0,5069	0,5446	0,5760
100 kHz	0,3010	0,4234	0,5595	0,6007	0,6372

Hubungan antara Frekuensi dengan Konduktivitas

Untuk lebih memudahkan dalam mengevaluasi perubahan nilai konduktivitas terhadap perubahan nilai frekuensi, dari Tabel 2 akan dicari prosentase perubahan nilai konduktivitas terhadap nilai frekuensi pada berbagai dosis radiasi. Hasilnya kemudian diplot ke dalam grafik yang diperlihatkan pada Gambar 3.

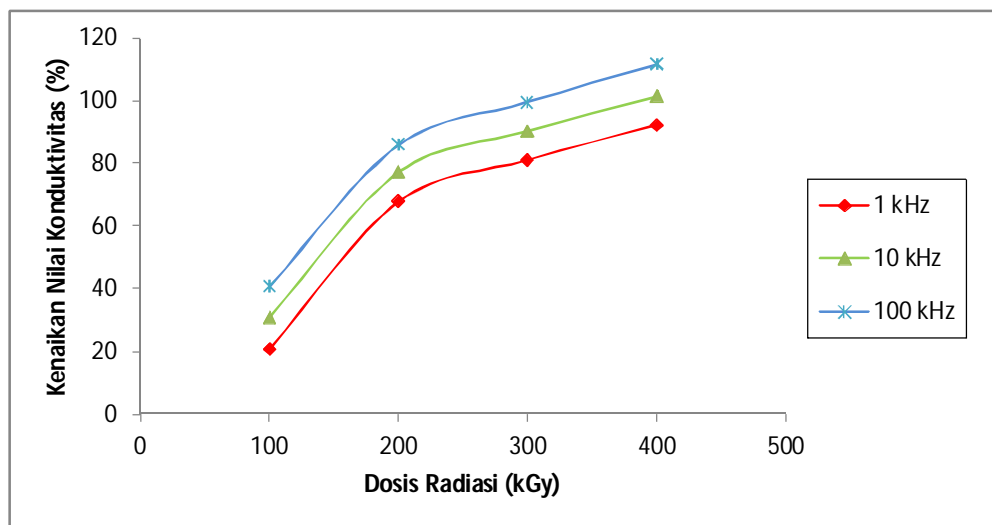


Gambar 3. Peningkatan nilai konduktivitas lapisan tipis grafit oleh frekuensi (1kHz, 10 kHz, dan 100kHz) pada berbagai iradiasi sinar- γ (dosis 100 kGy, 200 kGy, 300 kGy, dan 400 kGy).

Nilai konduktivitas ini mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan nilai frekuensi pengukuran seperti yang terlihat pada Gambar 3. Hal ini menunjukkan bahwa nilai konduktivitas lapisan tipis grafit yang ditumbuhkan meningkat seiring dengan peningkatan nilai frekuensi, tetapi besar peningkatan nilai konduktivitas ini tidak terlalu signifikan, yaitu pada kisaran dibawah 7%. Peningkatan nilai ini masih dalam batas toleransi yaitu $\pm 10 \%$,

Hubungan antara Dosis Radiasi dengan Konduktivitas

Untuk lebih memudahkan dalam mengevaluasi perubahan nilai konduktivitas terhadap perubahan dosis radiasi, dari Tabel 2 akan dicari prosentase perubahan nilai konduktivitas terhadap dosis radiasi dan hasilnya diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peningkatan nilai konduktivitas lapisan tipis grafit oleh iradiasi sinar- γ (dosis 100 kGy, 200 kGy, 300 kGy, dan 400 kGy) pada berbagai frekuensi (1kHz, 10 kHz, dan 100kHz)

Berdasarkan Gambar 4, peningkatan dosis radiasi menyebabkan kenaikan nilai konduktivitas. Hal ini menunjukkan bahwa iradiasi yang dilakukan terhadap lapisan tipis grafit menyebabkan terbentuknya cacat dalam struktur bahan grafit akibat interaksi antara radiasi sinar- γ dengan lapisan tipis grafit tersebut. Pemaparan radiasi pada lapisan tipis grafit meningkatkan nilai konduktivitas seiring dengan bertambahnya dosis radiasi sinar- γ . Hal ini disebabkan oleh interaksi antara radiasi sinar- γ dengan lapisan tipis grafit yang menyebabkan terjadinya pergeseran atom sehingga menimbulkan cacat dalam struktur bahan grafit ini.

Umumnya, radiasi inti berenergi tinggi yang berinteraksi dengan materi melalui dua mekanisme, yaitu tumbukkan atom (*atomic collision*) dan ionisasi elektron (*electron ionization*). Tumbukkan terjadi antara partikel berenergi tinggi dengan atom kristal dan

recoil atom dengan atom-atom lain dalam materi tersebut. Mekanisme ini menghasilkan perpindahan atom jika atom menerima energi yang cukup untuk berpindah dari posisi setimbangnya dalam kisi kristal. Ketidakteraturan akibat perpindahan atom ini menyebabkan pembentukan cacat yang sederhana seperti pasangan vakasi dan interstisi, bahkan cacat yang lebih kompleks, yang lebih dikenal dengan *cluster*, yaitu daerah terisolasi dalam struktur kisi yang berisi sejumlah besar atom yang berpindah dari posisi awalnya, sehingga strukturnya jauh berbeda dari struktur sebelumnya. Cacat yang terbentuk akibat interaksi sinar- γ dengan materi tersebut mempengaruhi sifat listrik dari lapisan tipis grafit yaitu nilai konduktivitas dan. Hal ini terjadi karena cacat pada struktur bahan tersebut mempermudah gerak elektron karena proses tumbukan elektron dengan atom-atom dalam bahan berkurang sehingga lintasannya menjadi lebih pendek

4. KESIMPULAN

Penumbuhan lapisan tipis grafit yang ditumbuhkan diatas substrat Silikon (100) dengan menggunakan metode *DC-Unbalanced Magnetron Sputtering*, menghasilkan lapisan tipis dengan permukaan yang halus dan homogen dengan ketebalan 12,08 μm . Hasil pengukuran sifat listrik dengan menggunakan alat ukur LCR-meter menunjukkan nilai konduktivitas lapisan tipis grafit meningkat seiring dengan meningkatnya nilai frekuensi, dan dosis radiasi yang diberikan.

PUSTAKA

- [1]. Smallman, R.E., dan Bishop, R. J., Metalurgi Fisika Modern, edisi ke-6. [S. Djafrie, trans]. Erlangga. Jakarta. 2000.
- [2]. Doughlas. H. Walden. Lawrence. T.D. The Effect of Oxygen Plasma Treatmen on The SSurface Energy of Exfolited Graphite and The Mechanical Properties of Graphite Nanocomposite. J. Heat Transfer. 2004. (61-70)
- [3]. Cervenka, J and Flips, C. F. J.,2007, The role of Defects on the Elekctonic Structure of a Graphite Surface, J. of Physics. IOP Publishing. 2007. 61(1): 190.
- [4]. Fadel, M.A. Effect of Gamma Radiation on The Electrical Properties of Carbon Black-Loaded Unvulcanized Styrene-Butadiene Rubber for Application to Radiation Dosimetry. Arabian J for Science and Engineering. 1986.
- [5]. Yunasfi, S. Mustafa, dan T. Madesa. Analisa Cacat Struktur Grafit oleh Iradiasi Sinar Gamma. J. Sains Materi Indonesia. 2008. 11 (3).

Elektrodeposisi Larutan CuSO_4 Pada Elektroda Kayu Karet (Electrodeposition of CuSO_4 Solution on Wood Rubber Electrodes)

Dahyunir Dahlan^{1*}

Jurusan Fisika – FMIPA Universitas Andalas, Padang^{1*}
e-mail: dahyunir@yahoo.com, HP. 081374076137

ABSTRACT

Electrodeposition process has been carried out on rubber wood electrodes for supercapacitor electrode applications. Rubber wood were cut, carbonated and heated so into pellets. Diameter of wood pellets is 1 cm^2 with thickness of 2 mm. Electrodeposition process is conducted on a solution of 0.5 M CuSO_4 using voltage 2,5V and 5V for 2 minutes at room temperature. SEM characterization showed that the electrodeposition of Cu has occurred on the cathode. Cu particles seemed to grow to fill the cavity rubber wood electrodes. So that the pores become smaller and specific surface area is increasing. Electrodeposition using a voltage of 5V, generate more pore and finer on the electrode rubber wood. EDX analysis also states that the Cu particles have been produced even though the percentage is still lower.

Keywords: electrodeposition, rubber wood, Cu, electrodes, supercapacitors

ABSTRAK

Telah dilakukan proses elektrodeposisi pada elektroda kayu karet untuk aplikasi elektroda superkapasitor. Kayu karet dipotong, dikarbonasi dan dipanaskan sehingga menjadi pelet. Pelet kayu karet dibuat berukuran diameter 1 cm^2 dengan tebal 2 mm. Proses elektrodeposisi dilakukan terhadap larutan 0,5 M CuSO_4 menggunakan tegangan 2,5V dan 5V selama 2 menit pada suhu kamar. Karakterisasi SEM menunjukkan bahwa elektrodeposisi Cu telah terjadi pada katoda. Partikel Cu tampak tumbuh mengisi rongga elektroda kayu karet. Sehingga pori menjadi semakin kecil dan luas permukaan spesifik semakin bertambah. Elektrodeposisi dengan menggunakan tegangan 5V, menghasilkan pori yang lebih banyak dan lebih halus pada elektroda kayu karet. Analisis EDX juga menyatakan bahwa partikel Cu telah dihasilkan meskipun dalam kadar persentase yang masih rendah.

Katakunci: elektrodeposisi, kayu karet, Cu, elektroda, superkapasitor

1. PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan elektroda yang berkualitas untuk aplikasi superkapasitor, maka sudah banyak pula penelitian yang bervariasi dilakukan untuk meningkatkan kinerja elektroda tersebut. Hal ini karena salah satu prestasi suatu super kapasitor ditentukan oleh elektrodanya. Untuk mendapatkan sel kapasitor yang mempunyai kapasitas besar (superkapasitor) diperlukan elektroda yang mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi dengan jumlah pori yang besar [1].

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai elektroda untuk aplikasi superkapasitor. Elektroda nanokomposit berbasis karbon dapat meningkatkan prestasi superkapasitor [2]. Metoda dan manufaktur elektroda dapat mempengaruhi energy penyimpanan [3]. Elektroda lapisan kapasitor menggunakan lapisan grafin yang ditumbuhkan diatas logam menghasilkan kapasitas yang sangat baik pada elektrolit organik dibandingkan dengan larutan elektrolit pada potensial yang sama [4].

Salah satu elektroda yang banyak digunakan sebagai elektroda superkapasitor adalah karbon aktif. Karbon aktif mempunyai struktur pori yang mudah dikontrol dan bahannya cukup mudah didapatkan di Indonesia. Batang kayu karet merupakan kandidat yang menjanjikan sebagai bahan dasar elektroda karena mempunyai struktur pori alami yang unik. Sifat elektrokimia dari batang kayu karet untuk aplikasi elektroda superkapasitor ini telah diselidiki [5]. Secara alamiah struktur pori batang kayu karet masih berukuran makro, yang menyebabkan luas permukaan spesifik masih rendah. Untuk memodifikasi struktur dan distribusi pori dapat dilakukan dengan cara aktivasi kimia maupun aktivasi fisika. Elektrodeposisi merupakan salah satu bentuk aktivasi kimia. Elektrodeposisi banyak digunakan untuk proses pelapisan ataupun penumbuhan partikel dalam bidang nanoteknologi. Keuntungan proses elektrodeposisi pada penumbuhan partikel diantaranya adalah; biaya yang cukup murah, mudah dilakukan, penumbuhan partikel dapat dikontrol [6]. Pada penelitian ini modifikasi struktur pori dilakukan secara aktivasi kimia yaitu elektrodeposisi. Proses elektrodeposisi dilakukan pada elektroda yang berasal dari batang kayu karet yang sebelumnya telah diaktivasi secara fisika.

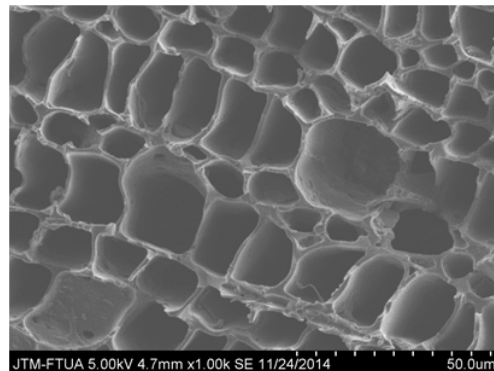
2. METODE PENELITIAN

Batang kayu karet dipotong melintang lebih kurang 3 cm tebalnya, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 12 jam. Batang kayu karet kemudian dibuat berbentuk pelet dengan diameter 1 cm dan tebal 1,5 mm. Pelet diaktivasi fisis dengan gas CO₂ selama 2 jam kemudian diaktivasi kimia dengan KOH, NaOH dan HNO₃ sehingga terbentuklah elektroda karbon dari kayu karet. Elektroda dicuci bersih sehingga sehingga menjadi netral (pH=7).

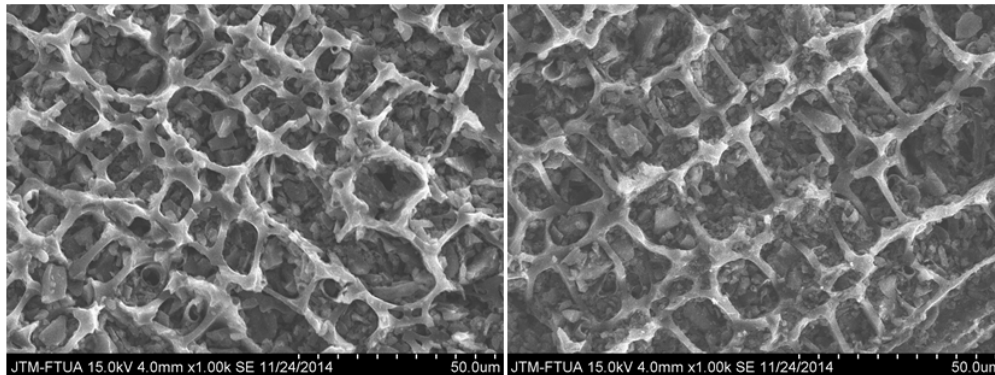
Elektrodeposisi dilakukan dengan metoda 2 elektroda. Elektroda kayu karet digunakan sebagai *working electrode* (katoda), batang grafit digunakan sebagai *counter electrode* (anoda) sementara untuk elektrolit digunakan larutan CuSO₄ 0,5M. Proses elektrodeposisi dilakukan selama 120 detik menggunakan arus pulsa (*on-off current* 0,5 detik) dengan potensial tegangan 2,5 dan 5 volt. Hasil elektrodeposisi dikarakterisasi menggunakan mikroskop elektron (Scanning Electron Microscope, SEM) Hitachi S-3400N

yang terintegrasi dengan EDX Horiba EMX x-act. Untuk mengidentifikasi fase yang terbentuk dilakukan menggunakan Difraksi sinar-X (XRD) X'Pert Pro-analytical.

3. HASIL DAN DISKUSI



a



b

c

Gambar 1. Hasil foto SEM permukaan elektroda kayu karet; **a.** Tanpa elektrodeposisi **b.** Hasil elektrodeposisi menggunakan 0,5 M CuSO_4 menggunakan tegangan 2,5 V selama 120 detik dan **c.** Hasil elektrodeposisi menggunakan 0,5 M CuSO_4 menggunakan tegangan 5 V selama 120 detik.

Dari gambar 1 dapat dilihat sangat jelas perbedaan antara elektroda kayu karet sebelum dan sesudah dilakukan elektrodeposisi. Pada gambar 1a., tampak rongga-rongga kayu karet yang masih bersih dan lurus dengan ukuran diameter rata-rata 15 μm. Namun diameter rongga tersebut masih cukup besar. Dengan melakukan elektrodeposisi pori-pori tersebut dapat dikurangi sehingga akan menghasilkan luas spesifik yang tinggi dan jumlah pori yang lebih banyak. Hal ini menunjukkan bahwa elektroda merupakan salah satu syarat dasar untuk menghasilkan kapasitansi yang tinggi [1]. Gambar 1b dan 1c menunjukkan elektroda kayu karet yang sudah dielektrodeposisi. Dapat kita lihat bahwa pori-porinya sudah terisi oleh partikel Cu dan CuO_2 . Kedua sampel hasil elektrodeposisi

yaitu menggunakan tegangan 2,5V dan 5V selama 120 detik hampir sama, namun pada penggunaan tegangan yang lebih besar pori yang dihasilkan lebih padat.

Tabel 1. Menunjukkan persen berat dan persen atom dari elektroda kayu karet sebelum dan sesudah elektrodposisi. Dapat diidentifikasi bahwa sesudah elektrodposisi terdapat unsur Cu meskipun dalam kadar yang sedikit.

Tabel 1. Persentase unsurelektroda kayu karet

Unsur	Elektroda kayu karet sebelum elektrodposisi (gambar 2a)		Elektroda kayu karet setelah elektrodposisi (gambar 2b)	
	% Berat	% Atom	% Berat	% Atom
C K	91.15	93.84	91.73	94.11
O K	6.94	5.37	7.13	5.49
Mg K	0.11	0.06	0.10	0.05
Al K	1.03	0.47	0.06	0.03
Si K	0.10	0.04	0.07	0.03
S K	0.14	0.05	0.21	0.08
K K	0.33	0.11	0.48	0.15
Ca K	0.19	0.06	0.15	0.05
Cu L	-	-	0.07	0.01
Total	100		100	

4. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan RI melalui DIPA (Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran) Universitas Andalas-Dikti (DIPA UNAND) No. 04/UN.16/PL-HP/2013, atas bantuan pembiayaan pada Penelitian Hibah Program Pascasarjana Unand 2014.

5. PUSTAKA

- [1] Gao, B., Yuan, C. Z., Su, L. H., Chen, L., Zhang, X. G. Nickel oxide coated on ultrasonically pretreated carbon nano tube for supercapacitor. *Journal Solid State Electrochemical*. 2009; 13: 1251.
- [2] Markoulidis F., Lei C., Lekakou C., Figgemeier E, Duff D. Khalil S, Martorana B., and Cannavaro I. High-performannce Supercapacitor cells with Activated Carbon/MWNT nanocomposite electrodes. *Material Science and Engineering*. 2012;40:01201.
- [3] Drophy D., Tychyna S.A., Maletin Y.A., Stryzakova N.G. and Zelinsky S.A. Methods for Manufacturing Carbon Electrode for Supercapacitor: Pros and Cons. *Nanomaerial Application and Properties*. 2013; 4:17
- [4] Bo Z., Wen Z., Kim H., Lu G., Yu K., Chen J. One-step fabrication and capacitive behavior of electrochemical double layer capacitor electrodes using vertically-oriented graphene directly grown on metal. *Carbon* 2012; 4379-4387.

- [5] Zulkifli, Taer E., Sugianto. Pembuatan Karbon Aktif dari Kayu Karet Menggunakan Aktivator KOH Dan HNO_3 untuk Aplikasi Superkapasitor. *Jom FMIPA* 2015; 2: 1-7.
- [6] Dahlan D., Daud A.R., Radiman S., Yahya R. Pengendapan lapisan Tipis Nikel dan Sifat Korosinya. *Paksi Jurnal* 2005; 73-78.

POTENSI THORIUM SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN GAS UNTUK PLTN

POTENTIAL OF THORIUM AS FUEL AT GAS COOLED FAST REACTOR FOR NUCLEAR POWER PLANT

Menik Ariani^{1*}, Supardi¹, Fiber Monado¹, Zaki Su'ud²

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, Indralaya^{1*}

menikariani@gmail.com

Departemen Fisika FMIPA Institut Teknologi Bandung²

ABSTRACT

Besides of consideration that thorium reserve in the world is high (about 3 times higher than uranium reserves), the use of thorium based fuel will also decrease the amount of radioactive waste. In this study the gas-cooled reactor system coupled with modified CANDU burning scheme to make the small reactors with long-lived, with natural thorium as input fuel cycles. The system can utilize natural thorium resources efficiently without the need for reprocessing and enrichment unit. Therefore the use of nuclear power plants can be optimally utilized nuclear energy without nuclear proliferation problem. Survey parameters that determine the achievement of the target design include the criticality and burn-up level of fuels. Further investigation related to the comparison between the use of thorium with uranium on 500 MWth gas cooled fast reactors.

Keywords: reactor, natural thorium, burn-up, CANDU, criticality

ABSTRAK

Selain pertimbangan sumberdaya thorium(Th) dunia yang besar (sekitar 3 kali lebih besar dari sumber daya uranium), penggunaan bahan bakar basis thorium juga akan mengurangi jumlah limbah radioaktif. Kajian ini membahas sistem reaktor berpendingin gas yang digabungkan dengan skema pembakaran CANDU yang dimodifikasi, untuk reaktor berukuran kecil dan berumur panjang, dengan thorium alam sebagai input dalam setiap siklus bahan bakarnya. Sistem ini dapat memanfaatkan sumber daya thorium secara efisien tanpa memerlukan unit pengolahan dan pengayaan. Oleh karena itu penggunaan pembangkit listrik tenaga nuklir ini dapat memanfaatkan energi nuklir secara optimal tanpa masalah proliferasi nuklir. Survey parameter yang menentukan tercapainya target desain meliputi kritikalitas dan level burn-up bahan bakar. Investigasi lebih lanjut terkait perbandingan antara penggunaan thorium dengan uranium sebagai bahan bakar dilakukan pada desain teras reaktor penghasil daya listrik berukuran 500 MWth.

Katakunci: reaktor, thorium alam, burn-up, CANDU, kritikalitas

1. PENDAHULUAN

Saat ini di Indonesia terjadi keterbatasan sumber energi terutama energi bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas dan batubara sebagai bahan penunjang utama dalam kelistrikan. Energi berbahan bakar fosil tersebut ketersediaannya semakin menipis. PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) dapat dipertimbangkan menjadi salah satu sumber energi listrik alternatif di Indonesia. Kebutuhan energi listrik yang masih belum memadai dan merata di seluruh wilayah Indonesia juga ikut mendorong pemikiran ini. Pemanfaatan teknologi reaktor nuklir yang tepat dapat menjadi modal untuk memperoleh sumber listrik murah yang dapat dijangkau seluruh lapisan masyarakat. Reaktor juga dapat menghasilkan hidrogen yang digunakan sebagai bahan bakar baru. Energi nuklir juga lebih menguntungkan ditinjau dari segi lingkungan karena tidak menghasilkan unsur berbahaya seperti logam berat (Pb, arsen, Ag, vanadium), gas SO_2 dan NO_x pembentuk efek rumah kaca.

Reaktor generasi IV mengembangkan sistem keselamatan pasif (*passive safety*) yang memungkinkan reaktor mampu mengendalikan dan meminimalkan kecelakaan reaktor serta tidak bergantung pada operator. Dengan kondisi ini kecelakaan reaktor nuklir seperti Chernobyl dan Fukushima dapat dihindari. Kajian terhadap potensi thorium sebagai bahan bakar reaktor generasi IV Gas-Cooled Fast Reactor (GFR) dilakukan dalam penelitian ini.

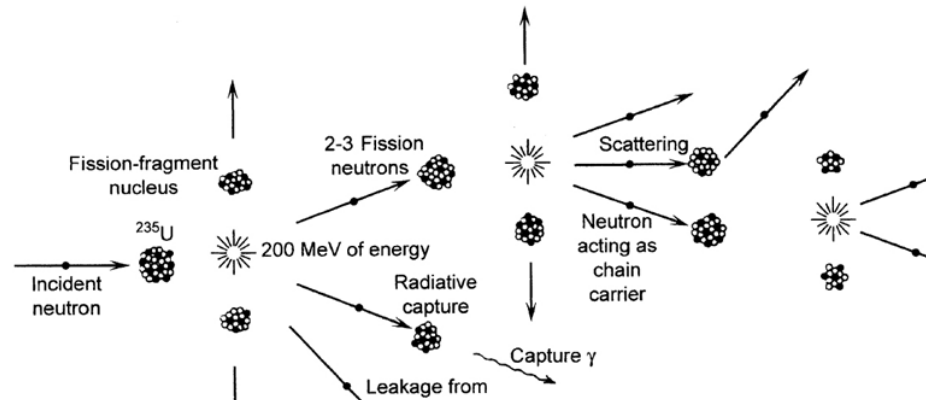
Strategi baru untuk *burnup* bahan bakar yaitu Modified CANDLE yang berbeda dengan reaktor konvensional diterapkan pada reaktor cepat berpendingin helium ini. Konsep lilin (*candle*) ini memungkinkan harga listrik menjadi sangat murah sekaligus juga memiliki tingkat keselamatan sangat tinggi. Reaktor ini juga mampu membakar limbah nuklir untuk menambah pasokan energinya. Selama ini limbah radioaktif menjadi sesuatu yang dikhawatirkan oleh dunia, karena selain membahayakan lingkungan juga bisa menjadi bahan baku senjata nuklir. Desain reaktor pada penelitian ini hanya diisi pertama kali dengan thorium yang masa hidupnya sampai 10 tahun. Pengisian berikutnya hanya setiap 10 tahun dan seterusnya hingga 100 tahun [1,4,6,7].

Keunggulan lain jika menggunakan konsep Modified CANDLE adalah lepasnya ketergantungan dari teknologi pengayaan uranium dan pemrosesan ulang bahan bakar nuklir yang saat ini dikuasai oleh negara-negara maju. Dengan teknologi ini sekali reaktor telah berjalan maka untuk selanjutnya hanya diperlukan penyediaan bahan bakar thorium alam yang teknologinya telah dikuasai Indonesia dan bahan bakunya juga tersedia di Indonesia

2. TEORI

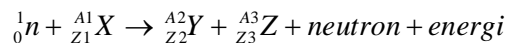
2.1 Reaksi Fisi Sumber Energi

Reaksi fisi adalah pembelahan inti atom berat menjadi inti-inti atom yang lebih ringan akibat tumbukan dengan neutron, yang menghasilkan energi dalam 200 MeV yang setara dengan $3,204 \times 10^{-11}$ Joule (Gambar 1).

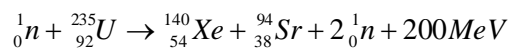


Gambar 1. Skema reaksi fisi berantai (Stacey, 2006)

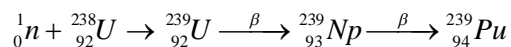
Untuk mengontrol reaksi berantai dan pelepasan energi, diperlukan mekanisme pengendali seperti batang kendali yang terbuat dari bahan penyerap neutron. Mekanisme inilah yang mempertahankan kestabilan reaksi berantai dan daya keluaran. Persamaan umum reaksi fisi yaitu:



Contoh dari reaksi fisi yaitu yang terjadi pada ini Uranium-235,



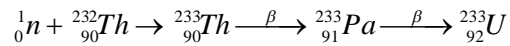
Uranium-235 merupakan satu-satunya bahan fisil yang terdapat secara alami. Kandungan U-235 dalam Uranium alam hanya 0,7%, sedangkan sisanya adalah Uranium-238 sekitar 99,3%. Dengan reaksi penangkapan neutron, Uranium-238 akan menjadi radioaktif kemudian meluruh menjadi Plutonium-239 dengan reaksi [2]:



Pu-239 merupakan isotop radioaktif dan tergolong bahan fisil sehingga jika ada neutron dengan sembarang energi menumbuk Pu-239, maka akan terjadi reaksi fisi. Waktu paruhnya mencapai 24,4 ribu tahun sehingga cukup stabil untuk digunakan dan disimpan sebagai bahan bakar.

2.2 Thorium sebagai Bahan Bakar

Selain Uranium-238, bahan fertil yang terdapat secara alami juga adalah thorium-232. Jika mengalami reaksi penangkapan neutron maka Th-232 dapat menghasilkan bahan fisil Uranium-233 dengan reaksi sebagai berikut [5]:

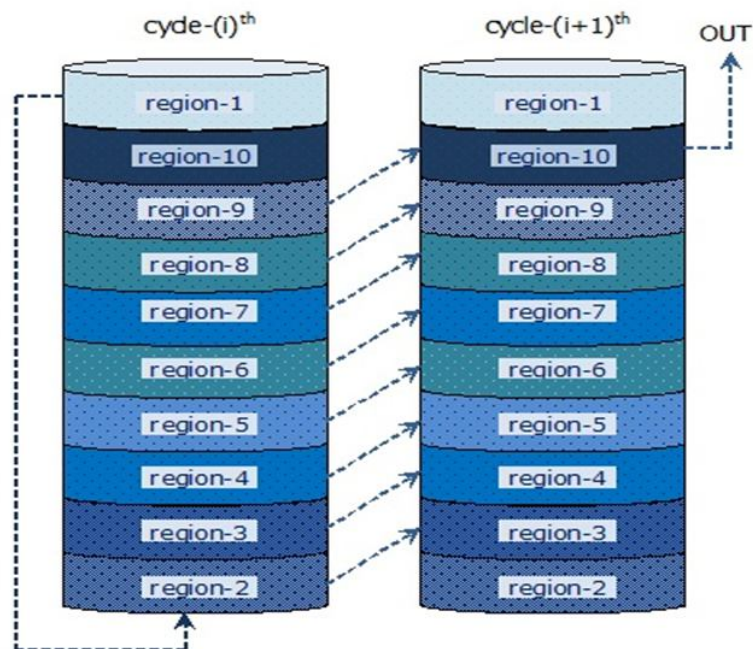


Reaksi ini menunjukkan bahwa Thorium-232 dapat menjadi bahan bakar alternatif untuk reaktor mengingat kandungan Thorium alam di permukaan bumi mencapai 4 kali lipat dibanding Uranium alam.

3. DESAIN DAN PERHITUNGAN

Studi potensi thorium sebagai bahan bakar dilakukan dengan membandingkan hasil desain neutronik pada 2 buah desain reaktor GCFR yang menggunakan suplai bahan bakar berbeda yaitu thorium dengan uranium alam. Agar diperoleh desain yang efisien dalam hal penggunaan bahan bakar maka diperlukan tahapan yang meliputi: penentuan spesifikasi dari parameter desain reaktor, perhitungan sel bahan bakar dan teras reaktor serta analisis neutronik berdasarkan hasil survey parameter.

Strategi *burnup* yang berbeda dengan reaktor konvensional diterapkan untuk mewujudkan hal ini yaitu Modified CANDU. Skemanya adalah sebagai berikut.



Gambar 2. Skema strategi *burnup* Modified CANDLE

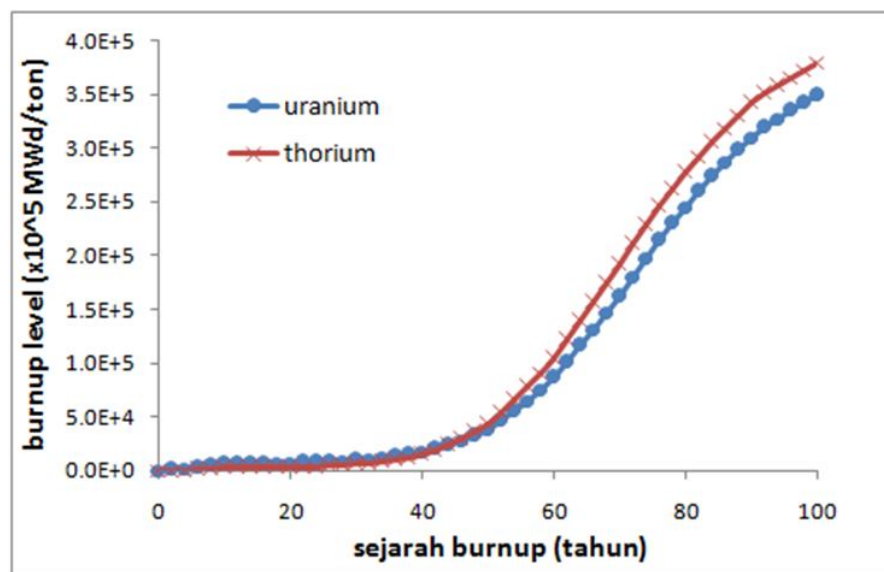
Teras aktif dibagi dalam arah aksial menjadi 10 bagian dengan volume sama. Pada awalnya thorium alam ($\text{Th}232$) diletakkan pada region-1. Setelah 1 siklus berjalan (10 tahun) maka terjadi pergeseran isi bahan bakar di tiap region. Isi region-1 bergeser menjadi region-2, isi region-3 digeser ke region-4 dan seterusnya. Konsep ini berlaku untuk region yang lain, yaitu pergeseran region-(i) ke wilayah region-(i+1). Region-10 yang telah habis masa pakainya dikeluarkan dan region-1 diisi kembali dengan bahan bakar baru (thorium alam).

Perhitungan neutronik sel bahan bakar dan teras dilakukan dengan bantuan kode SRAC-CITATION yang terdiri dari tiga bagian yaitu [3]: (a) perhitungan penampang lintang makroskopik multigrup hasil homogenisasi, (b) penyelesaian persamaan difusi multigrup dan (c) penyelesaian persamaan *burnup* yang terkopel dengan persamaan difusi.

4. HASIL

Pada tingkat perhitungan sel, bahan bakar dibakar selama 100 tahun, dengan interval pengambilan data setiap 2 tahun. Perhitungan ini menghasilkan beberapa survey parameter neutronik seperti level *burnup* dan faktor multiplikasi efektif.

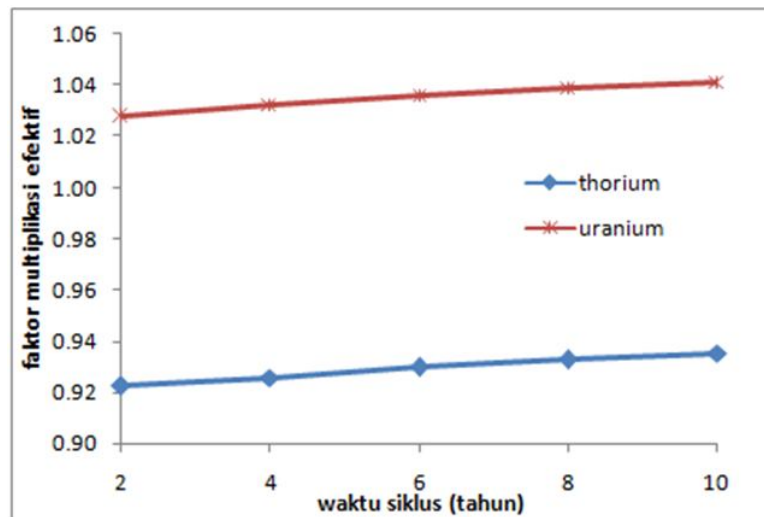
- a. *Burnup* didefinisikan sebagai total energi yang dilepaskan per unit massa bahan bakar sebagai hasil pembakaran bahan bakar. Satuan yang digunakan megawatt *days per metric ton* (MWd/MT) bahan bakar, yaitu jumlah berat yang diperlukan untuk menghasilkan daya per hari. Grafik hasil perhitungan disajikan sebagai berikut:



Gambar 3. Perbandingan level *burnup* antara desain teras berbahan bakar thorium dengan teras berbahan bakar uranium

Perbandingan level *burnup* antara teras berbahan bakar uranium dengan teras berbahan bakar thorium pada Gambar 3. Pada grafik terlihat bahwa meski di awal tahun terlihat lebih lambat namun setelah 40 tahun thorium menghasilkan bahan bakar fisil lebih cepat sehingga memiliki tingkat *burnup* yang lebih tinggi dibandingkan dengan uranium. *Burnup* rata-rata untuk pembakaran thorium bernilai 118,9 GWd/t, sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan uranium yang memiliki *burnup* rata-rata 107,2 GWd/t.

- b. Parameter survey berikutnya yaitu nilai faktor multiplikasi efektif, k_{eff} yang menentukan tingkat kestabilan reaksi fisi berantai di dalam teras. Kondisi stabil dicapai jika nilai $k_{eff} = 1$. Hasil perhitungan dua desain teras menggunakan bahan bakar uranium dan thorium menghasilkan nilai faktor multiplikasi efektif yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Nilai faktor multiplikasi efektif dalam 1 siklus pengisian bahan bakar pada reaktor 500 MWth berbasis bahan bakar uranium dan dengan thorium

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 dapat ditentukan bahwa desain teras berbahan bakar uranium dapat beroperasi selama 1 siklus (10 tahun) tanpa pengisian ulang bahan bakar. Namun teras dengan suplai bahan bakar thorium belum dapat menghasilkan teras yang kritis karena memiliki nilai $k_{eff} < 1,0$. Kondisi ini disebut dengan keadaan subkritis, dimana populasi neutron terus berkurang. Diperlukan modifikasi dan optimasi terhadap komposisi bahan bakar agar potensi thorium sebagai dapat dimanfaatkan dengan lebih efisien. Salah satunya adalah dengan cara mengkombinasikan uranium dengan thorium dalam satu buah teras.

5. KESIMPULAN

1. Melalui serangkaian reaksi, thorium alam (Th-232) dapat menghasilkan bahan fisil uranium-233 sehingga memiliki potensi sebagai bahan bakar sebuah reaktor nuklir.
2. Meski di awal tahun terlihat lebih lambat namun selanjutnya thorium menghasilkan bahan bakar fisil lebih cepat sehingga memiliki tingkat *burnup* yang lebih tinggi dibandingkan dengan uranium.
3. Teras dengan suplai bahan bakar thorium belum dapat menghasilkan teras yang kritis karena memiliki nilai $k_{eff} < 1,0$ sehingga masih diperlukan optimasi terhadap komposisi bahan bakar agar potensi thorium sebagai bahan bakar dapat dimanfaatkan dengan lebih efisien.

PUSTAKA

- [1]. Ariani, M, 2012, Optimization of Small Long Life Gas Cooled Fast Reactors With Natural Uranium as Fuel Cycle Input, Advance, Applied Mechanics and Materials Vol. 260-261
- [2]. Duderstadt, J.J., Hamilton, L.J, Nuclear Reactor Analysis, John Wiley & Sons, Inc, 1976
- [3]. Okumura, K. Kaneko and K. Tsuchihashi, SRAC(Ver.2002): The Comprehensive Neutronics Calculation Code System, JAERI report Japan Atomic Energy Research Institute, Japan, 2002
- [4]. Sekimoto, H & Yan, M.Y., Design Research of Small Long Life CANDLE Fast Reactor, Annals of Nuclear Energy 35, 2007 p. 18-36
- [5]. Stacey, W.M., 2001, Nuclear Reactor Physics, John Wiley & Sons
- [6]. Su'ud, Z., Sekimoto, H., Design Study of Long-life Pb-Bi Cooled Fast Reactor with Natural uranium as Fuel Cycle Input using Modified CANDLE *Burnup* Scheme, IJNEST Vol5, No.4, 2010, p.347-358
- [7]. Su'ud, Z and Sekimoto, H., The prospect of gas cooled fast reactors for long life reactors with natural uranium as fuel cycle input, Annals of Nuclear Energy Vol 54, 2013, p.56-66

PERHITUNGAN BURN UP PADA REAKTOR SUB KRITIS BERDAYA SEDANG BERPENDINGIN Pb - Bi BURN UP CALCULATION OF Pb – Bi COOLED MEDIUM SIZED SUBCRITICAL CORE

Nur Aida*

UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta

nur.aida@uinjkt.ac.id (Jl. Ir. H Juanda no. 95 Ciputat Jakarta)

ABSTRACT

The burn up process is defined as the population of neutrons in the reactor core during its operation. This study aims to determine the condition of a subcritical core by analyzing parameters of multiplication factor by 0.95, 0.98, and 0.98 with larger source. The calculation indicate that this sub-critical reactor can be operated for twenty years with a small decrease of multiplication factor for each reactor.

Keywords : Burnup, Subcritical core, ADS.

ABSTRAK

Proses burn up dapat menjelaskan jumlah populasi neutron didalam teras reaktor selama reaktor beroperasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kondisi burn up reaktor sub kritis, untuk itu dilakukan perbandingan tiga faktor multiplikasi (k_{eff}) yaitu 0.95, 0.98, dan 0.98 dengan jumlah sumber yang di perbesar. Dari hasil burn up yang terjadi pada nilai - nilai k_{eff} tersebut terlihat bahwa desain reaktor sub kritis yang di rancang dalam penelitian ini mampu beroperasi sampai 20 tahun dengan penurunan nilai faktor multiplikasi (k_{eff}) yang relatif kecil.

Kata kunci : Burnup , Reaktor sub kritis, ADS.

1. PENDAHULUAN

Penyelesaian persamaan difusi silinder dua dimensi adalah untuk mendapatkan distribusi fluks netron serta faktor multiplikasi. Didefinisikan faktor multiplikasi atau *multiplication factor* adalah sebagai berikut:

$$K_{eff} = \frac{\text{Jumlah neutron yang diproduksi } [P(t)]}{\text{Jumlah neutron yang hilang } [L(t)]} \quad (1)$$

Kekritisitas suatu reaktor dapat dianalisis berdasarkan faktor multiplikasi yang dimilikinya. Reaktor dikatakan pada keadaan super kritis jika faktor multiplikasinya lebih dari satu ($k_{eff} > 1$), dikatakan pada keadaan kritis jika faktor multiplikasinya sama dengan satu ($k_{eff} = 1$), dan jika faktor multiplikasinya kurang dari satu ($k_{eff} < 1$) maka reaktor tersebut dapat dikatakan reaktor subkritis.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat bagaimana kondisi burn up reaktor sub kritis, sehingga dilakukan perbandingan tiga k_{eff} , masing – masing 0.95, 0.98, dan 0.98 dengan jumlah sumber yang di perbesar.

2. METODE PENELITIAN

Proses burn up merupakan proses utama yang terjadi di dalam teras reaktor nuklir. Dalam proses ini terjadi reaksi fisi berantai pada atom – atom bahan bakar bermassa besar (*heavy nucleid fuel*) seperti ^{235}U , ^{238}U , dan ^{239}Pu menjadi isotop fisi. Parameter ini sangat berhubungan dengan faktor ekonomis reaktor, karena parameter burn up dapat menjelaskan perbandingan jumlah isotop fisi yang telah berfisi dengan jumlah isotop fisi sebelum berfisi. dengan melihat perbandingan tersebut, kita dapat menganalisis jumlah bahan bakar yang terdapat pada teras dan secara tidak langsung kita dapat mengetahui efisiensi penggunaan isotop fisi pada satu siklus reaksi fisi berantai

Persamaan burn up merupakan persamaan differensial orde 1 terkopel.

$$\frac{dN_A}{dt} = -\lambda_A N_A - \left[\sum_g \sigma_{ag}^A \phi_g \right] N_A + \lambda_B N_B + \left[\sum_g \sigma_{ag}^C \phi_g \right] N_C \quad (2)$$

dimana

$$\begin{aligned} \lambda_A N_A & \text{ hilang karena peluruhan radioaktif } A, \\ \left[\sum_g \sigma_{ag}^A \phi_g \right] N_A & \text{ hilang karena tangkapan neutron oleh } A, \\ \lambda_B N_B & \text{ masuk karena peluruhan dari B ke A,} \\ \left[\sum_g \sigma_{ag}^C \phi_g \right] N_C & \text{ masuk karena perpindahan dari C ke A melalui tangkapan neutron.} \end{aligned}$$

Persamaan burnup biasanya dipecahkan bergantian dengan persamaan difusi multigrup. Fluks netron dari hasil difusi multigrup digunakan untuk melakukan analisa burnup, selanjutnya perubahan komposisi akibat persamaan burnup pada gilirannya perlu dimasukkan dalam perhitungan kembali konstanta-konstanta difusi, penampang lintang reaksi, dsb.

3. HASIL BURN UP REAKTOR SUBKRITIS

Pada prinsipnya pengendalian operasi reaktor nuklir berarti pengendalian populasi neutron didalam teras reaktor. Fluks neutron merupakan cacahan neutron pada daerah tertentu persatuan luas persatuan waktu. Distribusi fluks neutron sangat dipengaruhi oleh densitas atom tiap bahan dan erat kaitannya dengan penampang lintang fisi.

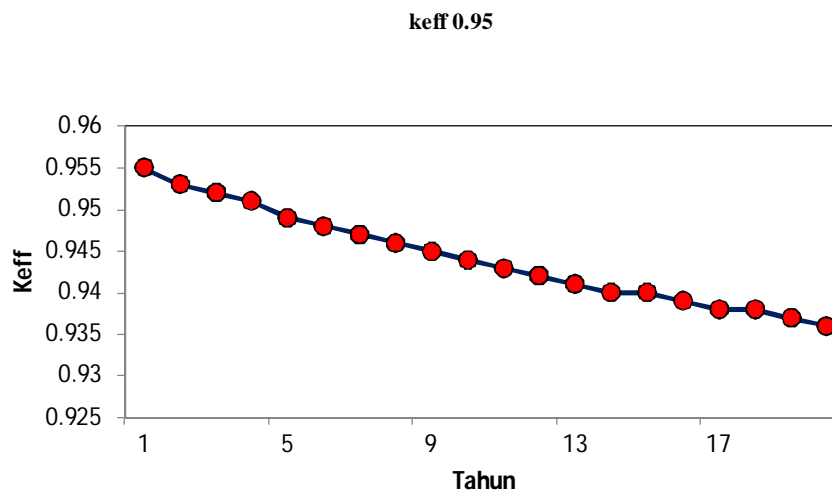
Faktor multiplikasi merupakan salah satu parameter penting yang harus dianalisis pertama kali pada setiap pendesainan reaktor nuklir baik reaktor termal, menengah, serta cepat. hal tersebut penting karena faktor multiplikasi merupakan parameter yang berhubungan dengan faktor keamanan dan keselamatan, sebab jika faktor multiplikasi tidak terkendali, reaktor nuklir ini akan menjadi bom nuklir akibat tidak terkendalinya populasi neutron yang menyebabkan tidak terkendalinya reaksi fisi berantai. Sehingga akan membahayakan khusus bagi makhluk hidup disekitarnya serta ekologi di dunia pada umumnya. Dari hasil simulasi di peroleh data – data seperti yang tertera pada tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan faktor multiplikasi (k_{eff}) teras reaktor sub kritis untuk k_{eff} 0.95, 0.98, dan 0,98 dengan sumber yang diperbesar.

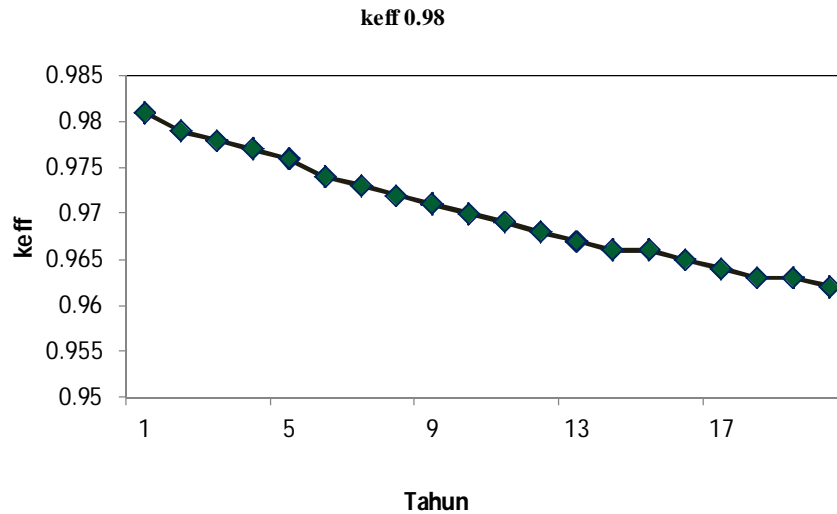
Tahun Ke-	k_{eff}		
	0.95	0.98	0.98 2x
1	0.955	0.981	0.987
2	0.953	0.979	0.986
3	0.952	0.978	0.984
4	0.951	0.977	0.983
5	0.949	0.976	0.982
6	0.948	0.974	0.98
7	0.947	0.973	0.979
8	0.946	0.972	0.978
9	0.945	0.971	0.977
10	0.944	0.97	0.976
11	0.943	0.969	0.975
12	0.942	0.968	0.974
13	0.941	0.967	0.973
14	0.94	0.966	0.973
15	0.94	0.966	0.972
16	0.939	0.965	0.971
17	0.938	0.964	0.97
18	0.938	0.963	0.97
19	0.937	0.963	0.969
20	0.936	0.962	0.968

4. PEMBAHASAN

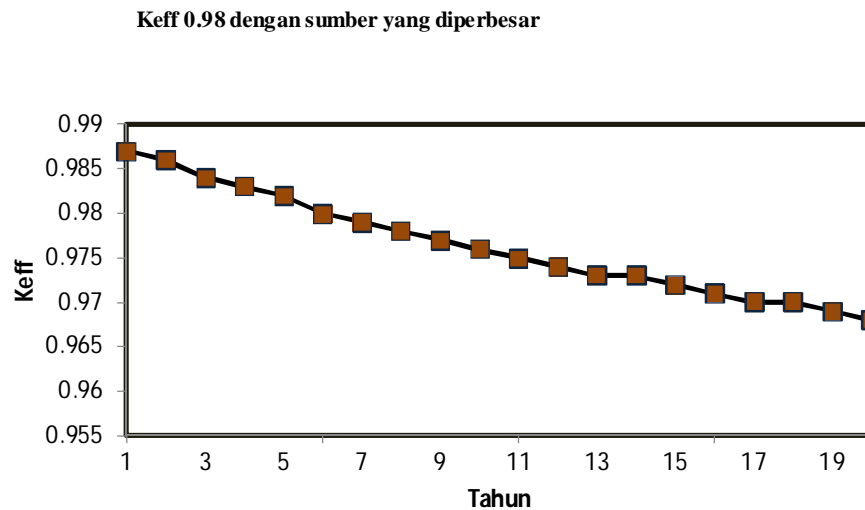
Penelitian yang dilakukan ini secara umum difokuskan untuk mendapatkan reaktor dengan spesifikasi waktu operasi yang relatif lama yaitu 20 tahun dengan kemampuan inherent safety dan tingkat pengoptimalan bahan bakar yang cukup tinggi. Disini dilakukan kajian neutronik terhadap kondisi teras reaktor selama operasi berlangsung khususnya faktor multiplikasi. Gambar 1 – 3 memberikan hasil faktor multiplikasi (k_{eff}) yang di lakukan pada penelitian ini.



Gambar 1 Grafik keluaran burn up dari reaktor dengan k_{eff} 0.95.



Gambar 2 Grafik keluaran burn up dari reaktor dengan keff 0.98.



Gambar 3 Grafik keluaran burn up dari reaktor dengan k_{eff} 0.98 dengan distribusi source yang berbeda

Dari gambar 1 sampai 3 dapat diketahui bahwa, reaktor sub kritis ini memiliki nilai k_{eff} yang kurang dari satu selama masa pengoperasiannya. Ketiga proses burn up di atas menjelaskan bahwa desain reaktor sub kritis yang di rancang dalam penelitian ini bisa

beroperasi sampai 20 tahun. Untuk reaktor dengan k_{eff} awal 0.95 (Gambar. 1), terlihat bahwa nilai k_{eff} mencapai 0.93 setelah dua puluh tahun. Sedangkan untuk reaktor dengan k_{eff} 0.98, yaitu pada gambar 2 dan 3, nilai k_{eff} akan mencapai 0.95 setelah duapuluh tahun.

Sebagaimana yang terlihat pada gambar 1-3 di atas. Perbandingan gambar di atas juga menjelaskan bahwa nilai sumber yang lebih besar akan memberikan penurunan nilai k_{eff} yang lebih lambat seperti yang terlihat pada gambar 3, sehingga untuk merancang reaktor sub kritis dengan nilai k_{eff} yang stabil (reaktor tidak mudah padam) sebaiknya jumlah sumber di perbanyak.

Dari data keluaran di atas juga dapat di ketahui bahwa secara umum semakin besar daya reaktor yang di desain maka semakin besar pula peluang neutron neutron untuk melakukan proses reaksi fisi berantai di dalam teras reaktor, dan pada akhirnya neutron – neutron yang dihasilkan akan berkurang setelah reaksi fisi berantai berlangsung. Sebagaimana yang terlihat pada gambar 1-3. Hal ini menjelaskan bahwa reaktor sub kritis ini relatif sangat aman jika dilihat dari faktor nilai k_{eff} nya, karena populasi neutron di dalam teras reaktor tidak akan mencapai keadaan super kritis, artinya populasi neutron di dalam teras reaktor akan semakin berkurang dan akhirnya padam.

5. KESIMPULAN

Hasil burn up yang terjadi pada ketiga nilai k_{eff} reaktor sub kritis ini menyatakan bahwa reaktor sub kritis ini bisa beroperasi selama dua puluh tahun dengan penurunan k_{eff} yang relatif sangat kecil. Dan untuk merancang reaktor sub kritis yang tidak mudah padam sebaik nya jumlah sumber di perbesar.

Analisa neutronik pada penelitian ini hanya berdasarkan nilai faktor k_{eff} nya saja, akan lebih baik jika dikaji juga tentang distribusi volume teras serta massa bahan bakar reaktor.

PUSTAKA

- [1] E. Waltar, America the Powerless, Cogito Books, Madison, Wisconsin (1995).
- [2] J.J. Duderstaadt, L.J. Hamilton, Nuclear Reactor Analysis, 1975.
- [3] Lilik Hendrajaya, Kebijakan Litbang Unggulan Kementrian Negara Riset dan Teknologi Kabinet Indonesia Bersatu, Proc. Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir 2005, P3TKN, BATAN, Bandung (2005).
- [4] Zaki. S, Kinetika Untuk Reaktor Cepat, 2005.

- [5] Zaki. S, Metode Perhitungan Burn Up untuk seri transmudasi yang kompleks, Institut Teknologi Bandung, 1996.

**PEMODELAN TEORITIK DAYA RADIASI MATAHARI BERBASIS PRINSIP
RADIASI BENDA HITAM MENGGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK
INTEGRASI SIMPSON 3/8**

**THEORETICAL MODELING OF SOLAR RADIATION POWER BASED ON
PRINCIPLES OF BLACKBODY RADIATION USING NUMERICAL
INTEGRATION 3/8 SIMPSON'S RULE**

Sri Oktamuliani^{1*}, Samsidar²

Fakutas Sains dan Teknologi Universitas Jambi, Jambi
srioktamuliani@gmail.com, Jl. Raya Jambi – Muara Bulian KM. 15 Mendalo Darat 36361

ABSTRACT

Theoretical modeling of solar radiation power based on principles of blackbody radiation using numerical integration 3/8 Simpson's rule has done. Simulation is begun by temperature of photosphere calculation, the peak in the electromagnetic radiation emitted has a wavelength, 502.25 nm (yellow). The calculation of spectral intensity is divided by wavelengths of sunlight that enters the earth's surface, like visible light, infrared, and ultraviolet. Computational simulation to determine the total power output of Sun radiation is estimated by using the law of Stefan - Boltzmann and by finding the area under the curve of the spectral intensity using numerical integration 3/8 Simpson's rule which is the approach Lagrange polynomial order 3. The total power of the solar radiation obtained about $3,82076 \times 10^{26}$ W, with percentage infrared radiation about 50.956% ($1,9469 \times 10^{26}$ W), visible light radiation about 36.820% ($1,40682 \times 10^{26}$ W), and 12.225% ($4,67093 \times 10^{25}$ W) for ultraviolet radiation.

Keywords: power, spectral intensity, solar radiation, black body, 3/8 Simpson's rule.

ABSTRAK

Telah dilakukan pemodelan teoritik daya radiasi matahari berbasis prinsip radiasi benda hitam menggunakan pendekatan numerik integrasi simpson 3/8 menggunakan bahasa pemrograman matlab. Simulasi diawali oleh perhitungan temperatur permukaan matahari (fotosfer) pada puncak radiasi elektromagnetik yang dipancarkan memiliki panjang gelombang 502,25 nm (kuning). Perhitungan intensitas spektral bervariasi terhadap panjang gelombang sinar matahari yang memasuki permukaan bumi, yaitu cahaya tampak, inframerah, dan ultraviolet. Simulasi komputasi untuk mengetahui keluaran total daya radiasi matahari diestimasi menggunakan hukum Stefan – Boltzmann dan mencari luas daerah di bawah kurva intensitas spektral dengan pendekatan numerik integrasi simpson 3/8 yang merupakan pendekatan polinomial lagrange orde 3. Daya total radiasi matahari diperoleh sebesar $3,82076 \times 10^{26}$ W, dengan persentase radiasi inframerah 50,956% ($1,9469 \times 10^{26}$ W), cahaya tampak 36,820% ($1,40682 \times 10^{26}$ W), dan ultraviolet 12,225% ($4,67093 \times 10^{25}$ W).

Katakunci: daya, intensitas spektral, radiasi matahari, benda hitam, simpson 3/8.

1. PENDAHULUAN

Aktivitas makhluk hidup yang ada di atas permukaan bumi dipengaruhi oleh komponen iklim, salah satunya radiasi matahari. Radiasi matahari merupakan sumber energi yang mempengaruhi gerak atmosfer, proses di dalam atmosfer, dan lapisan permukaan bumi.

Radiasi matahari adalah pancaran partikel yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di matahari. Radiasi matahari berupa radiasi elektromagnetik yang merambat dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau partikel. Radiasi elektromagnetik sebagai gelombang dijelaskan oleh fenomena interferensi, sedangkan radiasi elektromagnetik sebagai partikel dapat dijelaskan dengan menghitung radiasi yang dipancarkan oleh objek panas dimana radiasi disebut dengan foton, besar energi tiap foton adalah [1]:

$$E = hf \quad (1)$$

Benda hitam (*black body*) adalah suatu benda yang menyerap seluruh radiasi elektromagnetik yang jatuh kepadanya dan tidak ada radiasi yang dapat keluar atau dipantulkannya. Itu berarti benda hitam mempunyai harga absorptansi dan emisivitas yang besarnya sama dengan satu. Emisivitas (daya pancar) merupakan perbandingan daya yang dipancarkan per satuan luas oleh suatu permukaan terhadap daya yang dipancarkan oleh benda hitam pada temperatur yang sama, sementara itu absorptansi adalah perbandingan fluks pancaran atau fluks cahaya yang diserap oleh suatu benda terhadap fluks yang tiba pada benda itu [2]. Istilah benda hitam pertama kali diperkenalkan oleh fisikawan Belanda, Gustav Robert Kirchhoff pada tahun 1862.

Sinar matahari yang memasuki permukaan bumi memiliki berbagai macam panjang gelombang. Sinar tampak berada pada panjang gelombang antara 400 – 700 nm, sinar inframerah pada panjang gelombang di atas 700 nm dan sinar ultraviolet pada panjang gelombang di bawah 400 nm. Jumlah total radiasi yang diterima di permukaan bumi tergantung pada jarak matahari, intensitas radiasi matahari, panjang hari (*sun duration*), dan pengaruh atmosfer. Atmosfer dipanasi ketika radiasi gelombang panjang dari bumi diserap di atmosfer yang memberikan nilai persentase total radiasi yang dipantulkan oleh permukaan bumi yang disebut albedo.

Matahari bisa sebagai benda hitam, dan total daya yang keluar dari matahari bisa diperkirakan menggunakan persamaan Stefan – Boltzmann, spektrum radiasi matahari terdiri dari sinar gelombang pendek dan sinar gelombang panjang. Sinar yang termasuk gelombang pendek adalah sinar x, sinar gamma, sinar ultraviolet, sedangkan sinar gelombang panjang adalah sinar gamma. Hukum Stefan – Boltzmann menjelaskan bahwa daya total persatuan luas yang dipancarkan pada semua frekuensi oleh suatu

benda hitam panas, I_{total} (intensitas radiasi total), adalah sebanding dengan pangkat empat suhu mutlaknya.

$$I_{\text{total}} = \frac{P}{A} = \varepsilon \sigma T^4 \text{ atau } P = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (2)$$

dimana ε adalah koefisien emisivitas dari objek. Untuk benda hitam, $\varepsilon = 1$. Ketika $\varepsilon < 1$ objek disebut benda abu-abu dan objek tidak penyerap dan pemancar yang sempurna. T adalah suhu mutlak benda, A adalah luas permukaan benda, dan σ adalah tetapan Stefan – Boltzmann, yaitu $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$.

Jumlah radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam menurut hukum radiasi Planck dan dinyatakan dalam intensitas spektral R_λ atau R_f ,

$$R_\lambda = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{k_B T \lambda}\right) - 1} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (3)$$

$$R_f = \frac{2\pi h f^3}{c^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{hf}{k_B T}\right) - 1} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4)$$

Daya radiasi per unit permukaan benda hitam, P_A dalam interval panjang gelombang (λ_1, λ_2) atau interval frekuensi (f_1, f_2) ditunjukkan oleh persamaan (5) dan (6)

$$P_A = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_\lambda d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(\frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{k_B T \lambda}\right) - 1} \right) d\lambda \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5)$$

$$P_A = \int_{f_1}^f R_f df = \int_{f_1}^{f_2} \left(\frac{2\pi h f^3}{c^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{hf}{k_B T}\right) - 1} \right) df \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (6)$$

Pada tahun 1893, Wilhelm Wien mengusulkan suatu bentuk umum untuk hukum distribusi benda hitam yang memberikan hubungan panjang gelombang dan temperatur yang sesuai dengan eksperimen. Hukum perpindahan Wien menyatakan bahwa panjang gelombang, λ_{peak} sesuai dengan puncak intensitas spektral yang diberikan oleh persamaan (3) berbanding terbalik dengan suhu dari benda hitam dan frekuensi, f_{peak} untuk intensitas spektral diberikan oleh persamaan (4) sebanding dengan suhu:

$$\lambda_{\text{peak}} = \frac{b_\lambda}{T} \quad f_{\text{peak}} = b_f T \quad (7)$$

dimana b_λ adalah konstanta Wien untuk panjang gelombang, dan b_f adalah konstanta Wien untuk frekuensi. Puncak dalam persamaan (3) dan (4) terjadi pada bagian yang berbeda dari spektrum elektromagnetik sehingga

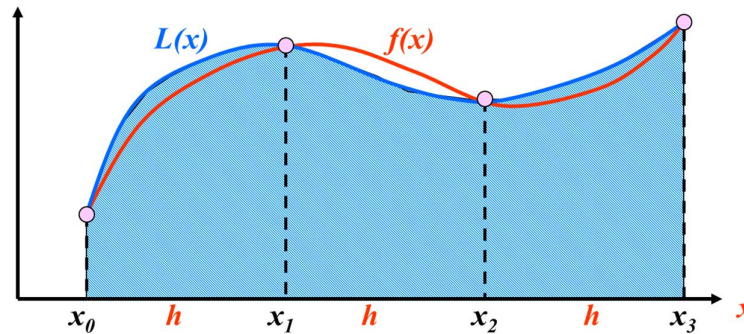
$$f_{\text{peak}} \neq \frac{c}{\lambda_{\text{peak}}} \quad (8)$$

Hukum perpindahan Wien menjelaskan mengapa radiasi gelombang panjang lebih mendominasi dalam spektrum radiasi yang dipancarkan oleh suatu benda yang temperaturnya lebih rendah.

Metode numerik adalah suatu teknik memformulasikan masalah matematis sehingga dapat diselesaikan dengan operasi perhitungan. Integrasi numerik merupakan

suatu metode untuk mendapatkan nilai-nilai hampiran untuk beberapa integral tertentu yang tidak dapat diselesaikan secara analitik. Kaidah integrasi numerik diantaranya adalah kaidah Simpson 3/8 yang merupakan pendekatan polinomial lagrange orde 3 [3]. Luas daerah yang dihitung sebagai hampiran nilai integrasi adalah daerah dibawah kurva polinom derajat 3 dengan bantuan 4 buah titik data seperti terlihat pada Gambar 1. Persamaan 9 menjelaskan kaidah simpson 3/8 [4].

$$\int_a^b f(x) dx \approx \sum_{i=0}^3 c_i f(x_i) = c_0 f(x_0) + c_1 f(x_1) + c_2 f(x_2) + c_3 f(x_3) = \frac{3h}{8} [f(x_0) + 3f(x_1) + 3f(x_2) + f(x_3)] \quad (9)$$



Gambar 1. Kaidah Simpson 3/8

Untuk menentukan besarnya daya radiasi matahari per satuan permukaannya seperti persamaan (5) dan (6) sehingga dibutuhkan integrasi numerik, dalam hal ini menggunakan metode Simpson 3/8.

Hasil penelitian radiasi termal dan benda hitam pada perbandingan 4 temperatur berbeda [5] menjelaskan bahwa pemakaian integrasi numerik kaidah Simpson 1/3 menghasilkan data yang cukup akurat dengan analisis secara analitik.

Oleh sebab itu, penelitian dalam bentuk simulasi komputasi ini bertujuan mengetahui besarnya daya pancaran radiasi dari matahari menggunakan integrasi numerik Simpson 3/8 dengan menggunakan bahasa pemograman MATLAB.

2. METODE PENELITIAN

Simulasi komputasi untuk mengetahui keluaran total daya radiasi matahari diestimasi dengan menggunakan hukum Stefan- Boltzmann pada persamaan (2), dan dengan mencari daerah di bawah kurva untuk R_λ dan R_f menggunakan persamaan (5) dan (6). Dari pengamatan di Matahari, puncak dalam radiasi elektromagnetik yang

dipancarkan memiliki panjang gelombang, $\lambda_{peak} = 502,25 \text{ nm}$ (kuning). Suhu permukaan Matahari (fotosfer) dapat diperkirakan dari hukum perpindahan Wien, persamaan (7).

Jarak dari Matahari ke Bumi (R_{SE}) dapat digunakan untuk memperkirakan temperatur permukaan bumi (T_E) jika tidak ada atmosfer. Intensitas radiasi Matahari mencapai atas atmosfer, I_0 dikenal sebagai konstanta surya,

$$I_0 = \frac{P_s}{4\pi R_{SE}^2} \quad (10)$$

daya yang diserap oleh bumi, P_{Eabs} adalah

$$P_{Eabs} = (1 - \alpha)\pi R_E^2 I_0 \quad (11)$$

dimana α adalah albedo (reflektifitas permukaan bumi). Dengan asumsi bumi berperilaku sebagai benda hitam maka daya radiasi yang dipancarkan dari bumi, P_{Erad} adalah

$$P_{Erad} = 4\pi R_E^2 \sigma T_E^4 \quad (12)$$

Hal ini menjelaskan bahwa suhu permukaan bumi relatif tetap konstan selama berabad-abad, dengan daya yang diserap dan daya yang dipancarkan adalah sama, sehingga suhu keseimbangan bumi adalah [6],

$$T_E = \left(\frac{(1-\alpha)I_0}{4\sigma} \right)^{0,25} \quad (13)$$

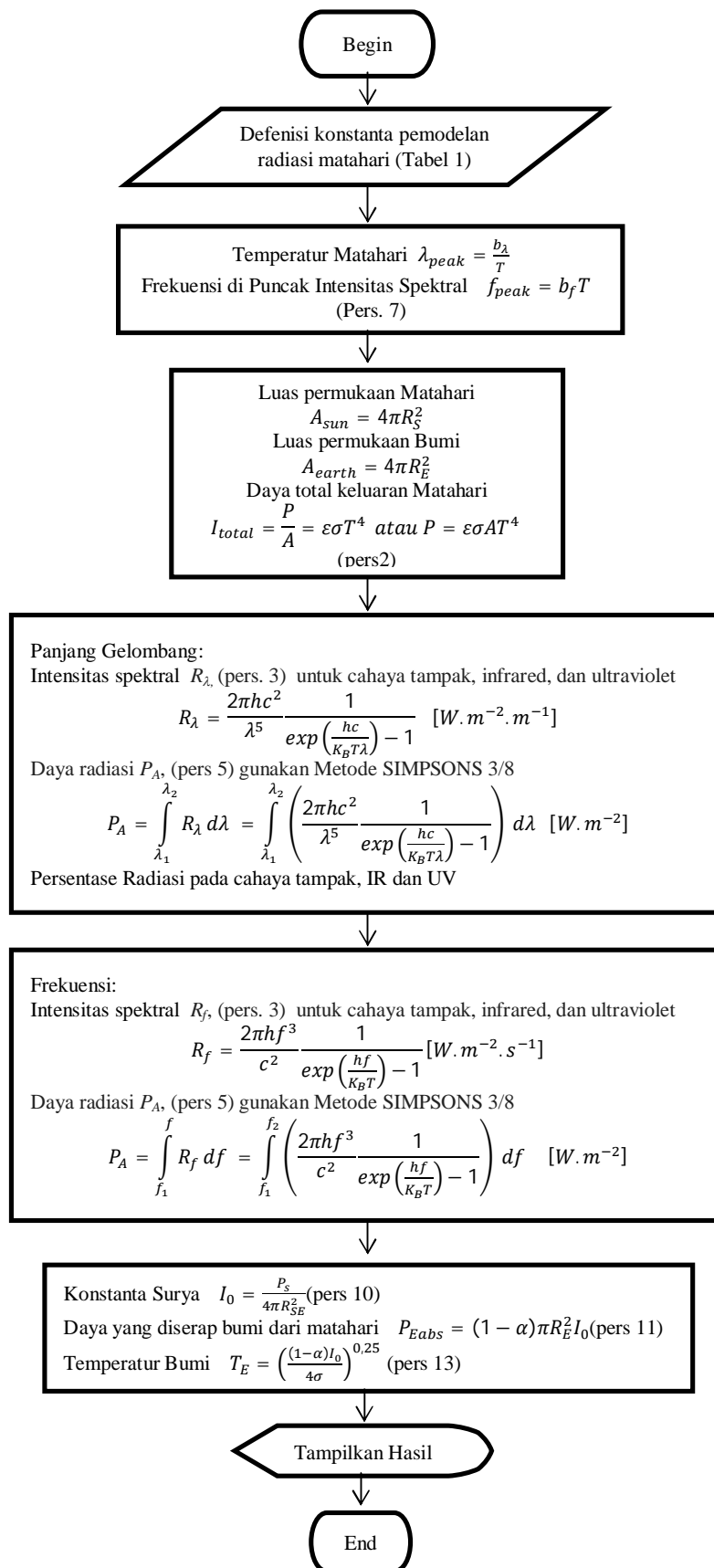
Tabel 1 merupakan ringkasan dari kuantitas fisik, unit dan nilai-nilai dari konstanta yang digunakan dalam deskripsi radiasi dari matahari [7].

Tabel 1. Ringkasan dari kuantitas fisik, unit dan konstanta pemodelan radiasi matahari

Variabel	Interpretasi	Nilai	Unit
H	Konstanta Planck	$6,62608 \times 10^{-34}$	J.s
C	Kecepatan cahaya	$2,99792458 \times 10^8$	m.s ⁻¹
Σ	Konstanta Stefan – Boltzmann	$5,6696 \times 10^{-8}$	W.m ⁻² .K ⁻¹
k_B	Konstanta Boltzmann	$1,38066 \times 10^{-23}$	J.K ⁻¹
b_λ	Konstanta Wien: Panjang gelombang	$2,898 \times 10^{-3}$	m.K
b_f	Konstanta Wien: frekuensi	$2,83 \text{ } k_B T/h$	K ⁻¹ .s ⁻¹
λ_{peak}	Panjang gelombang spektrum surya	$5,0225 \times 10^{-7}$	M
R_S	Radius matahari	$6,93 \times 10^8$	M
R_E	Radius bumi	$6,374 \times 10^6$	M
R_{SE}	Radius matahari – bumi	$1,496 \times 10^{11}$	M
I_0	Konstanta surya	$1,36 \times 10^3$	W.m ⁻²
A	Albedo permukaan bumi	0,30	

Sumber : Krane, Kenneth S. *Modern Physics 3rd ed.* John Wiley & Sons, Inc. 2012 [7].

Gambar 2 memperlihatkan diagram alir pemodelan teoritik daya radiasi matahari pendekatan integrasi numerik simpson 3/8 menggunakan bahasa pemrograman MATLAB.

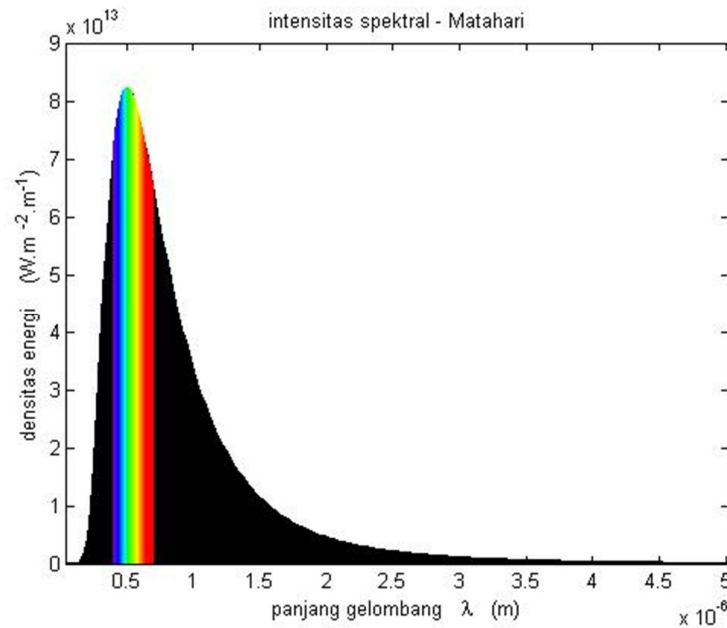


Gambar 2. Diagram Alir Pemodelan Teoritik Daya Radiasi Matahari

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

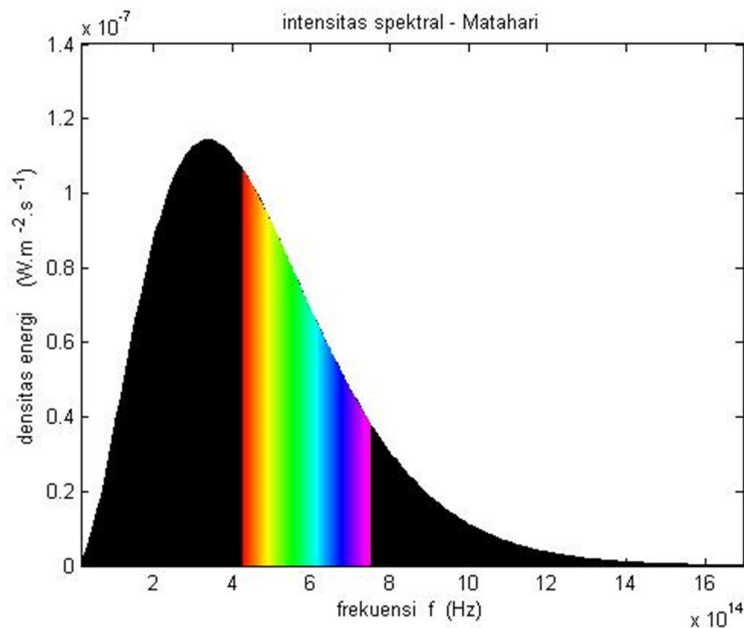
Simulasi komputasi untuk mengetahui daya radiasi matahari menggunakan pendekatan numerik integrasi Simpson 3/8 menghasilkan suhu permukaan Matahari (fotosfer) sekitar 5770 K berdasarkan pendekatan hukum perpindahan Wien dengan asumsi Matahari memancarkan radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang kuning, $\lambda_{peak} = 502,25\text{ nm}$. Dengan pendekatan grafik dihasilkan puncak intensitas spektrum pada panjang gelombang $497,77\text{ nm}$ dan dengan frekuensi bersesuaian $6,02 \times 10^{14}\text{ Hz}$.

Gambar 3 menunjukkan kurva antara intensitas radiasi per satuan panjang gelombang yang dipancarkan oleh matahari terhadap panjang gelombangnya. intensitas radiasi lebih besar pada panjang gelombang cahaya tampak dibandingkan daerah ultraviolet dan inframerah.



Gambar 3. Intensitas Spektral Matahari dalam tinjauan Panjang Gelombang

Berdasarkan teori untuk suhu fotosfer sekitar 5770 K diperoleh frekuensi di puncak intensitas spektral adalah $f = 3,39045 \times 10^{14}\text{ Hz}$ dan berdasarkan grafik diperoleh sekitar $f = 3,35824 \times 10^{14}\text{ Hz}$ yang bersesuaian pada panjang gelombang 892 nm . Gambar 4 menunjukkan kurva antara intensitas radiasi per satuan frekuensi.



Gambar 4. Intensitas Spektral Matahari dalam Tinjauan Frekuensi

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa cahaya tampak ungu memiliki panjang gelombang yang pendek dibandingkan merah, dan warna ungu memiliki frekuensi lebih tinggi dibandingkan frekuensi warna merah.

Total daya radiasi yang dikeluarkan oleh Matahari berdasarkan persamaan Stefan – Boltzmann sekitar $3,79265 \times 10^{26} \text{ W}$, sedangkan total daya radiasi berdasarkan luas di bawah kurva dengan pendekatan Simpson 3/8 dapat terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Total Daya Radiasi oleh Matahari

P_total (λ) (W)	P_total (f) (W)	Inframerah		Cahaya Tampak		Ultraviolet	
		P_IR (W)	%	P_visible (W)	%	P_UV (W)	%
$3,820 \times 10^{26}$	$3,791 \times 10^{26}$	$1,946 \times 10^{26}$	50,95	$1,406 \times 10^{26}$	36,82	$4,670 \times 10^{25}$	12,22

Perhitungan numerik memberikan hasil konstanta surya sebesar $1,35855 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ yang merupakan daya total per satuan luas yang dipancarkan pada semua frekuensi oleh Matahari yang sebanding dengan pangkat empat suhu mutlaknya. Konstanta surya dan jarak dari matahari ke bumi menghasilkan perkiraan temperatur permukaan bumi sekitar 254 K dengan albedo 0,3. Temperatur ini sangat rendah sekali dibandingkan dengan suhu bumi sebenarnya dikarenakan banyak aspek yang diabaikan.

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa matahari dianggap sebagai benda hitam, dengan spektrum radiasi matahari terdiri dari sinar gelombang pendek dan sinar gelombang panjang. Matahari memancarkan radiasi elektromagnetik dengan daya total sekitar $3,820 \times 10^{26}$ W, dengan persentase radiasi inframerah 50,956% ($1,9469 \times 10^{26}$ W), cahaya tampak 36,820% ($1,40682 \times 10^{26}$ W), dan ultraviolet 12,225% ($4,67093 \times 10^{25}$ W).

Dalam tinjauan pengelompokan energi, energi radiasi matahari termasuk kepada energi terbarukan. Besarnya daya radiasi dari matahari dapat dimanfaatkan untuk diantaranya pengeringan, penguapan, dan energi listrik. Permasalahan mengenai efek rumah kaca juga merupakan kajian mengenai radiasi benda hitam dari matahari sehingga penelitian ini masih sangat perlu dikembangkan lebih lanjut untuk menganalisis pemanfaatan radiasi matahari.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

1. Prodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi.
2. Bantuan dana SEMIRATA 2015

6. PUSTAKA

- [1] Beiser, Athur. *Concepts of Modern Physics 6th ed.* Mc Graw Hill, Inc. 2003.
- [2] Isaacs, Alan. *Kamus Lengkap Fisika*. Jakarta: Penerbit Erlangga; 1995.
- [3] Chapra, Steven C. *Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientist, 3^d Edition*. Mc.Graw Hill, Inc. 2012.
- [4] Suarga. *Komputasi Numerik – Pemograman MATLAB untuk Metode Numerik*. Yogyakarta: Penerbit Andi. 2014.
- [5] Cooper, Ian. Thermal Physics Blackbody Radiation [internet]. 2005 [cited 2015 Maret 8]. Available from:
http://www.physics.usyd.edu.au/teach_res/mp/doc/tp_blackbody.pdf
- [6] Gueymard C A, Daryl R M. Solar Radiation Measurement: Progress in Radiometry for Improved modeling. *Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface*. Springer, 2008: 1 – 27.
- [7] Krane, Kenneth S. *Modern Physics 3^d ed.* John Wiley & Sons, Inc. 2012.

**ANALISIS STUKTUR ABU TANDAN SAWIT (PBA), ABU PELEPAH SAWIT (PFA) DAN ABU SEKAM PADI (RHA) DENGAN DAN TANPA SINTERING MENGGUNAKAN X-RAY DIFFRACTION (XRD) DAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) SEBAGAI CAMPURAN SEMEN
PALM BUNCH ASH, PLAM FRONT ASH AND RICE HUSK ASH STRUCTURE ANALYSIS WITH AND WITHOUT SINTERING USING X-RAY DIFFRACTION (XRD) AND SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) AS A MIXTURE OF CEMENT**

Helga Dwi Fahyuan^{1*}, Samsidar², M. Ficky Afrianto³

Prodi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi, Jambi
Helga_dwifahyuan@yahoo.com, Jl. Raya Jambi – Muara Bulian KM. 15 Mendalo Darat
36361

ABSTRACT

The structure analysis of Palm Bunch Ash (PBA), Palm Front Ash (PFA) and Rice Husk Ash (RHA) with and without sintering as a mixture of cement using X-ray diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) have been done. XRD analysis of the PBA with and without sintering contains SiO₂ hexagonal structure and two peaks of CaCO₃ rhombohedral structure, but CaCO₃ changes to hexagonal structure after sintering. PFA without sintering dominant contains CaCO₃ rhombohedral structure and three peaks of SiO₂ hexagonal structure while after sintering PFA becomes amorphous structure. RHA with and without sintering dominant contains SiO₂ amorphous structure. RHA amorphous structure has a smaller particle size that is better able to fill the holes in the concrete pores. Small particles have a large surface area and binding force of particle is strong so as to increase the compressive strength of concrete. Analysis of micrograph SEM of the PBA and PFA with and without sintering shaped spherical-aggregates, while RFA shaped flat plate. Particle size with and without sintering for PBA in the range of 0.9 to 3.6 μm and 7.78 to 15 μm , for PFA 8.56 to 25.65 μm and 8.06 to 21.08 μm , for RHA 8.29 - 34.15 μm and 13.5 to 108.3 μm .

Keywords: Palm Bunch Ash, Palm Frond Ash, Rich Husk Ash, Cement

ABSTRAK

Telah dilakukan analisis struktur abu tandan sawit (PBA), Abu Pelelah Sawit (PFA) dan Abu Sekam Padi (RHA) dengan dan tanpa sintering menggunakan X-Ray Diffraction dan Scanning Electron Microscopy sebagai campuran semen. Analisis XRD dari PBA tanpa dan dengan sintering, dominan mengandung SiO₂ dengan struktur hexagonal dan dua puncak CaCO₃ dengan struktur rhombohedral, terjadi perubahan struktur setelah disintering ke hexagonal. PFA sintering mengalami perubahan struktur ke amorf, sedangkan PFA tanpa sintering dominan mengandung CaCO₃ dengan struktur rhombohedral, dan tiga puncak SiO₂ berstruktur hexagonal. RHA tanpa dan dengan sintering dominan mengandung SiO₂ dengan struktur amorf. RHA dengan struktur amorf memiliki ukuran partikel lebih kecil sehingga sangat cocok jika di aplikasikan pada beton yang mampu mengisi lubang pori pada beton. Partikel yang kecil memiliki luas permukaan yang besar dan gaya ikat partikel semakin kuat dan ini akan menambah kuat tekan dari beton. Mikrograph SEM PBA dan PFA dengan dan tanpa sintering berbentuk agregat-agregat bulat sedangkan RFA berbentuk lempengan pipih. Ukuran partikel PBA dalam range 0,9 – 3,6 μm dan 7,78 – 15 μm , PFA 8,56 – 25,65 μm dan 8,06 – 21,08 μm , RHA 8,29–34,15 μm dan 13,5 – 108,3 μm .

Katakunci: Abu Tandan Sawit, Abu Pelelah Sawit dan Abu Sekam Padi, Semen

1. PENDAHULUAN

Semen merupakan bahan perekat dalam pembuatan beton. Suatu beton biasanya terdiri dari campuran kurang lebih 15% semen, 8% air, 3% udara, selebihnya pasir dan kerikil [1]. Kualitas suatu beton sangat ditentukan oleh berbagai hal, seperti komposisi antar bahan penyusun, dan FAS (Faktor Air Semen) [2]. Komposisi yang tepat antar bahan penyusun beton akan menghasilkan beton dengan kualitas yang baik, sedangkan penggunaan FAS yang kecil juga akan menghasilkan beton yang lebih kuat, tetapi sulit dalam pengadukan [3].

Untuk mendapatkan kekuatan beton yang baik, diperlukan suatu bahan tambah pada bahan penyusunnya, salah satunya *fly ash* yang berasal dari abu sisa pembakaran batubara [3,7,8]. *Fly ash* batubara berupa butiran halus ringan, tidak porous serta bersifat pozolanik [8]. Bahan yang bersifat pozolanik disebut bahan pozzolan. Bahan pozzolan adalah bahan tambahan yang mempunyai kandungan utamanya silika dan alumina [4]. Bahan pozzolan dapat digunakan sebagai pencampur semen disebabkan kandungan pizzolan mirip dengan kandungan bahan baku pembuatan semen, dimana bahan baku utama untuk pembuatan semen biasanya mengandung oksida-oksida kalsium, silika, alumina dan besi [2]. Tetapi kandungan senyawa kimia yang dimiliki pozzolan tidak memiliki sifat mengikat selayaknya senyawa kimia semen. Meskipun demikian oksida silika yang terkandung dalam pozzolan akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida (kapur bebas) yang terbentuk melalui proses hidrasi semen ketika dicampur dengan air sehingga menghasilkan massa padat dan keras [5,10,15,16].

Perlunya penambahan bahan pozzolan dalam peningkatan kualitas kekuatan beton adalah karena beton yang telah mengering akan kehilangan kadar air yang menguap karena panas hidrasi yang terjadi dan menimbulkan lubang pori pada beton. Lubang pori pada beton akan mengakibatkan beton berkurang kepadatannya dan menjadi rapuh sehingga kualitas beton menjadi berkurang [6,11]. Oleh karena itu penambahan bahan pozzolan dari *fly ash* dapat menambah kuat tekan beton karena butirannya yang sangat kecil mampu mengisi lubang pori pada beton [9,12]. Penambahan *fly ash* tidak hanya meningkatkan kekuatan beton, tetapi juga meningkatkan ketahanan (*durability*) beton, meningkatkan kerapatan beton, dan mengurangi penyusutan [7,13].

Penelitian tentang *fly ash* biasanya hanya sebatas mencari besar perbedaan hasil kuat tekan yang di hasilkan dari beton dengan campuran *fly ash* di bandingkan dengan beton konvensional dengan beberapa metode perawatan [7,8], bagaimana kehalusan *fly ash* terhadap sudut mortar dengan berbagai metode [4,5,14]. Namun belum ada penelitian yang mengkaji tentang struktur dari *fly ash* tersebut sehingga dapat dijadikan bahan pencampur semen. Pada penelitian ini *fly ash* batu bara yang biasa digunakan

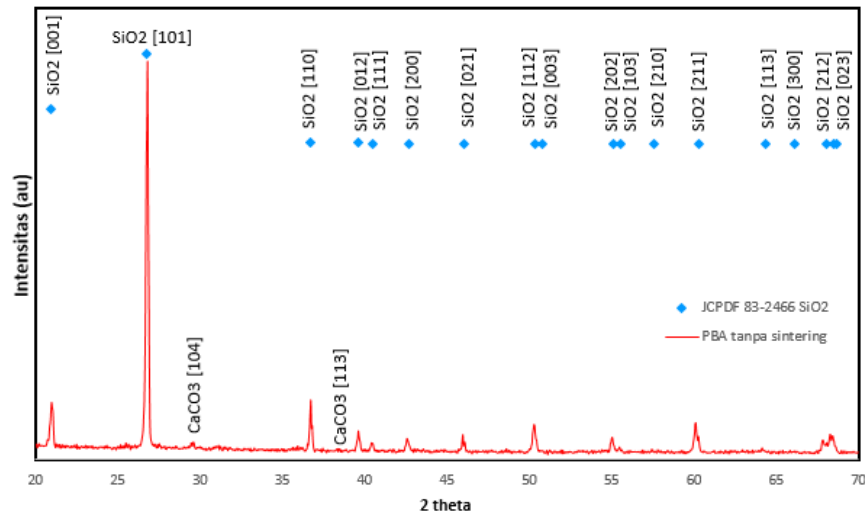
akan diganti dengan abu tandan sawit (PBA), Abu Pelelah Sawit (PFA) dan Abu Sekam Padi (RHA), hal tersebut bertujuan untuk memanfaatkan limbah lingkungan yang tidak termanfaatkan secara optimal menjadi sesuatu yang bernilai guna. Akan dilakukan analisis struktur terhadap ketiga limbah tersebut untuk melihat kelayakannya menjadi pozzolan sebagai bahan pencampur semen. Analisis ini akan dilakukan dengan *X-Ray Diffraction* dan *Scanning Electron Microscopy* dengan perlakuan tanpa sintering dan dengan sintering. Indikasi suatu bahan dapat dijadikan pozzolan diantaranya berstruktur amorf, memiliki kandungan yang mirip dengan kandungan kimia semen salah satunya SiO_2 yang tinggi (>90%), Walaupun memiliki kandungan SiO_2 yang tinggi tetapi tidak berstruktur amorf maka tidak dapat dijadikan pozzolan, namun struktur kristal tersebut dapat dirubah menjadi amorf dengan pemanasan pada suhu 700 – 900 °C [6]. Oleh karena itu pada penelitian ini ketiga jenis abu akan diberi perlakuan yang berbeda yaitu tanpa sintering dan disintering, tujuannya untuk melihat perubahan struktur Kristal menjadi amorf.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini ketiga sampel abu yang digunakan yaitu PBA, PFA, RHA diambil di daerah mendalo kota jambi yang merupakan limbah buangan lingkungan. Ketiga sampel dilakukan pengovenan untuk menghilangkan kadar air selama 12 jam pada suhu 120 °C. Kemudian dilakukan pengayakan dengan ayakan 0,1 mm. Setelah di ayak masing-masing sampel dibagi menjadi dua bagian, dilakukan perlakuan berbeda pada masing-masing sampel yaitu tanpa sintering dan dengan sintering pada suhu 800 °C selama 4 jam guna melihat perubahan struktur abu akibat pemanasan. Pemanasan dengan suhu 700 - 900°C dapat merubah struktur kristal menjadi amorf [6]. Setelah itu dilakukan karakterisasi dan pengidentifikasian menggunakan *x-ray diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

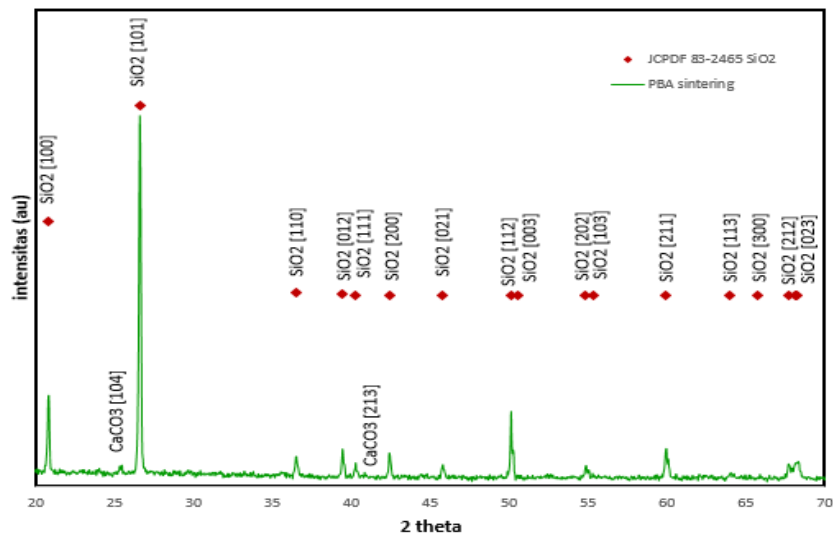
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 1 terlihat pola difraksi PBA tanpa sintering. Tampak jelas pola difraksi menunjukan sampel dominan mengandung SiO_2 (97%) dan terdapat dua puncak yang mengandung CaCO_3 (3 %).



Gambar 1. Pola difraksi PBA tanpa sintering

PBA tanpa sintering bersesuaian dengan data JCPDS No. 83-2466 untuk SiO_2 , dengan struktur kristal hexagonal, parameter kisi $a = 4,914$; $b = 4,914$ dan $c = 5,406$. Puncak tertinggi berada pada 2-theta $26,79^\circ$, dengan bidang [101] dan ukuran kristal $647,29 \text{ \AA}$. Sedangkan puncak yang teridentifikasi sebagai CaCO_3 bersesuaian dengan data JCPDS No. 72-1651, dengan struktur kristal rhombohedral, parameter kisi $a = 4,991$; $b = 4,991$ dan $c = 16,97$. Kedua puncak tersebut berada pada 2-theta $29,48^\circ$ dan $39,42^\circ$ dengan bidang [104] dan [113].

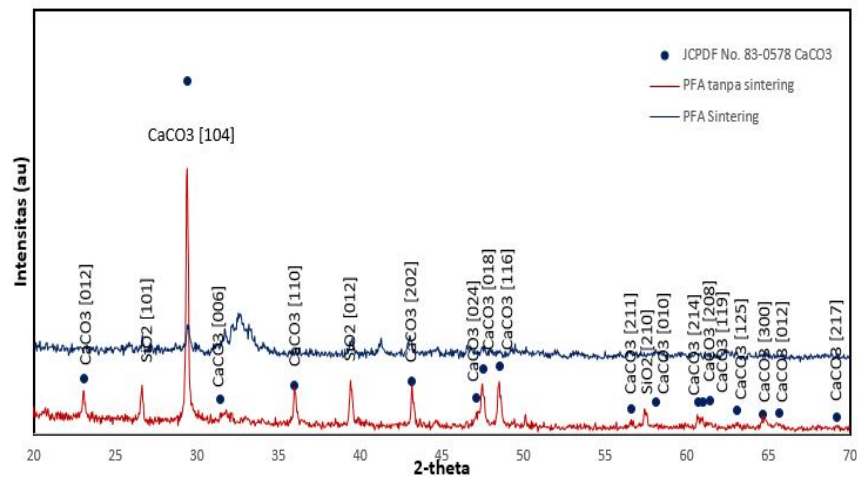


Gambar 2. Pola difraksi PBA dengan sintering

Gambar 2 menunjukkan pola difraksi PBA sintering. PBA sintering dominan mengandung SiO_2 (99 %), dan terdapat dua puncak yang mengandung CaCO_3 (1%). PBA sintering bersesuaian dengan data JCPDS No. 83-2465 untuk SiO_2 , dengan struktur kristal hexagonal, dengan parameter kisi $a = 4,914$; $b = 4,914$ dan $c = 5,406$. Puncak

tertinggi berada pada 2-theta $26,63^\circ$, pada bidang [101] dengan ukuran kristal $674,67 \text{ \AA}$. Sedangkan dua puncak PBA sinterring yang teridentifikasi sebagai CaCO_3 bersesuaian dengan data JCPDS No. 72-1616, dengan struktur kristal hexagonal, parameter kisi $a = 7,148$; $b = 7,148$ dan $c = 16,94$. Puncak tersebut berada pada 2-theta $25,9^\circ$ dan $41,26^\circ$ pada bidang [104] dan [213].

Jika dibandingkan PBA tanpa sinterring dengan PBA sinterring, tampak terjadi peningkatan kandungan SiO_2 menjadi 99%, tetapi suhu sinterring 800°C tidak dapat merubah struktrur PBA menjadi amorf. Meskipun PBA dominan mengandung SiO_2 , tetapi PBA tidak bersifat pozzolonic karena berstruktruk kristalin. Bahan yang dapat dijadikan pozzolan hanya bahan yang mengandung SiO_2 lebih dari 90% dan berstruktur amorf.



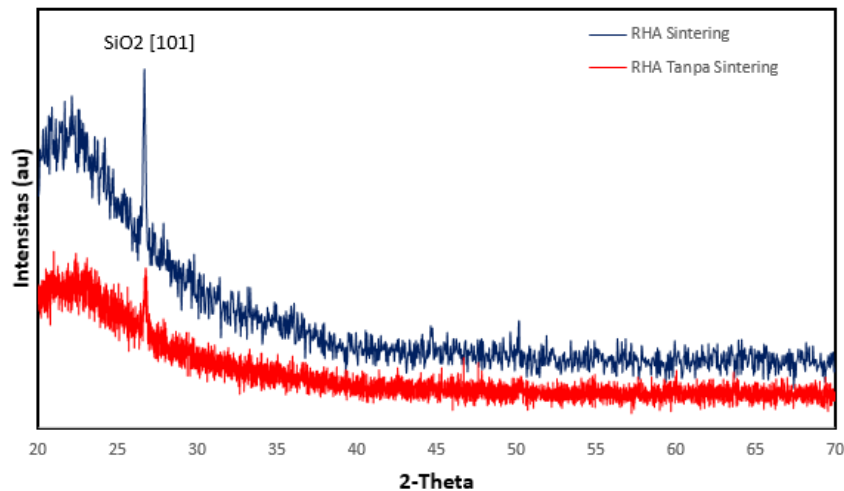
Gambar 3. Pola difraksi PFA sinterring dan tanpa sinterring

Pola difraksi PFA dengan perlakuan tanpa dan dengan sinterring seperti yang terlihat pada Gambar 3, dimana PFA dengan sinterring mengalami perubahan struktur ke amorf dengan ukuran kristal $56,13 \text{ \AA}$. Sedangkan untuk PFA tanpa sinterring pola difraksi menunjukkan dominan mengandung CaCO_3 (90,9%) bersesuaian dengan data JCPDS No. 83-0578 dan teridentifikasi tiga puncak sebagai SiO_2 (9,1%) bersesuaian dengan data JCPDS No. 83-2465.

Puncak tertinggi dari pola difraksi PFA teridentifikasi sebagai CaCO_3 dengan struktur kristal rhombohedral dan parameter kisi $a = 4,988$, $b = 4,988$, $c = 17,05$ berada pada 2-theta $29,42^\circ$ dengan bidang [104] ukuran kristal $643,12 \text{ \AA}$, sedangkan tiga puncak yang teridentifikasi sebagai SiO_2 memiliki struktur kristal hexagonal dengan parameter kisi $a = 4,914$, $b = 4,914$ dan $c = 5,406$, berada pada 2-theta $26,66^\circ$, $39,49^\circ$, $57,26^\circ$ dengan bidang berturut-turut [101], [012] dan [210].

Kandungan CaCO_3 (90,9%) yang tinggi pada PFA mengidentifikasikan bahwa PFA kurang baik jika di jadikan pozzolan sebagai pencampur semen, karena CaCO_3

yang di hasilkan tidak akan bereaksi dengan kapur bebas (Ca(OH)_2) pada reaksi semen. Sedangkan kandungan SiO_2 pada PFA hanya 9,1% yang akan bereaksi dengan kapur bebas dan akan membentuk massa padat yang lemah karena kandungan SiO_2 yang sedikit.



Gambar 4. Pola difraksi RHA sintering dan tanpa sintering

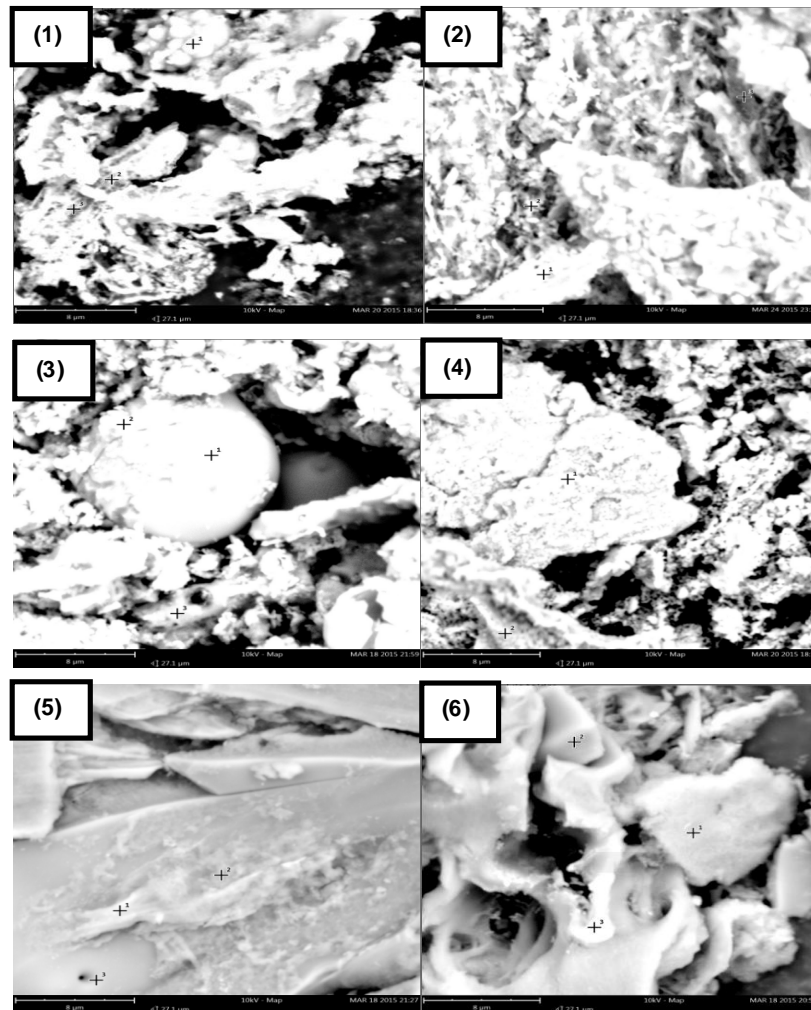
Pola difraksi RHA dengan perlakuan tanpa dan dengan sintering seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, terlihat jelas keduanya memiliki struktur amorf SiO_2 (100%) dengan 2-theta $26,63^\circ$, $26,69^\circ$. Silika amorf lebih disukai sebagai bahan pozzolan pencampur semen dalam pembuatan beton [10]. Selain ukuran partikelnya lebih kecil, luas permukaan yang lebih besar, dan gaya ikat antar partikel lebih kuat, sehingga dapat meningkatkan kekuatan beton, selain itu silika dalam fasa amorf juga lebih mudah larut sehingga mendukung dalam pembuatan beton.

PBA, PFA dan RHA dengan perlakuan tanpa dan dengan sintering, selain terjadi pergeseran sudut dan perubahan struktur juga terjadi perubahan warna sebelum dan setelah di sintering. Dimana sebelum di sintering berwarna abu-abu, setelah di sintering menjadi coklat muda seperti yang terlihat pada Gambar 5. Ini menunjukkan carbon telah menguap akibat pembakaran pada suhu 800°C .



Gambar 5. Abu yang lolos ayakan 0,1 mm (1) PBA tanpa sintering ; (2) PBA sintering ; (3) PFA tanpa sintering ; (4) PFA sintering ; (5) RHA tanpa sintering ; (6) RHA sintering

Gambar 6 menunjukkan Mikrograph SEM PBA dan PFA tanpa dan dengan sintering berbentuk agregat-agregat bulat sedangkan RFA berbentuk lempengan pipih. Secara keseluruhan ketiga jenis abu terlihat dengan jelas bahwa permukaan sampel tidak merata dan terdiri dari gumpalan (*cluster*), yang mengindikasikan adanya ukuran partikel yang cukup beragam dengan distribusi yang tidak merata pada permukaan. Pemisahan antara gumpalan juga terlihat dengan cukup jelas, yakni dalam bentuk *micro-cracking* yang terdapat di antara *cluster*. Ukuran partikel PBA berada dalam range 7,78 – 15 μm dan 0,9 – 3,6 μm , PFA 8,06 – 21,08 μm dan 8,56 – 25,65 μm , RHA 13,5 – 108,3 μm dan 8,29 – 34,15 μm berturut-turut untuk sampel tanpa dan dengan sintering.



Gambar 6. Mikrograph dari SEM dengan perbesaran 10000 kali untuk sampel (1) PBA tanpa sintering ; (2) PBA sintering ; (3) PFA tanpa sintering ; (4) PFA sintering ; (5) RHA tanpa sintering ; (6) RHA sintering

4. KESIMPULAN

Ketiga jenis abu yang telah diidentifikasi yaitu PBA, PFA dan RHA, hanya RHA yang berpotensi di jadikan pozzolan karena mengandung SiO_2 (100%) yang tinggi dengan struktur amorf. Sedangkan PBA tidak bersifat pozzolonic meskipun mengandung SiO_2 (99%) yang tinggi karena bersifat kristalin. PBA tidak berubah menjadi amorf walaupun sudah di sintering pada suhu 800°C . Bahan kristalin tidak dapat dijadikan pozzolan, bahan yang dapat dijadikan pozzolan hanya bahan yang berstruktur amorf. PFA tidak dapat di jadikan pozzolan karena dominan mengandung CaCO_3 (90,9%), SiO_2 hanya 9,1%. Bahan yang dijadikan pozzolan harus mengandung SiO_2 yang tinggi dengan struktur amorf yang dapat bereaksi dengan kapur bebas (Ca(OH)_2) sehingga membentuk massa padat yang kuat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Jambi, khususnya Fakultas Sains dan Teknologi yang telah menyediakan fasilitas dalam penelitian ini.

6. PUSTAKA

- [1] Wuryati Samekto & Candra Rahmadiyanto. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Kanisius; 2001.
- [2] Bakri dan Baharuddin. Water Absorption Composite Rice Husk Ash Concrete with Rice Husk Ash Pozzolan Addition and Lime on Concrete Matrix (Absorpsi Air Komposit Beton Abu Sekam Padi dengan Penambahan Pozzolan Abu Sekam Padi dan Kapur pada Matriks Beton). *Jurnal Perennial*. 2009. 6(2) : 70-78.
- [3] Gunawan, Margaret. *Kontruksi Beton I*. Jakarta: Delta Teknik Group; 2001.
- [4] Kartika, Siska Ela. *Modifikasi Limbah Fly Ash sebagai Adsorben Zat Warna Tekstil Congo Red yang Ramah Lingkungan dalam Upaya Mengatasi Pencemaran Industri Batik Di Surakarta*. Surakarta: Penerbit Universitas Sebelas Maret; 2010.
- [5] Rony Ardiansyah. *Fly Ash "Pemanfaatan & Kegunaannya"*. Update 2010, Diakses 20 April 2015.
<https://ronymedia.wordpress.com/2010/05/26/fly-ash-pemanfaatan-kegunaannya/>
- [6] Wilson I D, Michael C, Colin F P, Edward R A. *Encyclopedia of Separation Science*. Academic Press; 2000. 118-119.
- [7] Khairul Lakum C, Journal. *Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Peningkatan Kekuatan Beton*. Perpustakaan Universitas Sumatera Utara; 2010.
- [8] Dharma Putra. *Penambahan Abu Sekam Pada Beton dalam Mengantisipasi Kerusakan Akibat Magnesium Sulfat pada Air Laut*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. 2006 Vol. 10, No. 2 Juli 2006.
- [9] Tanti Kartika Sitorus. *Pengaruh Penambahan Silika Amorf Dari Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanis Dan Sifat Fisis Mortar*. Skripsi Universitas Sumatera Utara: Medan; 2009.
- [10] Harsono, H. Preparation of Amorphous Silica from Rice Husk Ash Waste (Pembuatan Silika Amorf dari Limbah Abu Sekam Padi). *Jurnal ILMU DASAR*. 2002. 3 (2): 98 - 103.
- [11] Dharma Putra. *Penambahan Abu Sekam Pada Beton dalam Mengantisipasi Kerusakan Akibat Magnesium Sulfat pada Air Laut*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Vol. 10, No. 2 Juli 2006.

- [12] Van Tuan et al. Hydration and Microstructure of Ultra High Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash. *Cement and Concrete Research*. 2011. 41(11), 1104–1111.
- [13] L. O. Ettu et al, Strength Of Binary Blended Cement Composites Containing Oil Palm Bunch Ash. *Department of Civil Engineering, Federal University of Technology, Owerri, Nigeria. International Journal of Engineering Science Invention ISSN (Online): 2319 – 6734, ISSN (Print): 2319 – 6726 www.ijesi.org Volume 2 Issue 4 || April. 2013 || PP.52-57*
- [14] L. O. Ettu et al. Strength of Ternary Blended Cement Concrete Containing Oil Palm Bunch Ash and Plantain Leaf Ash. *Department of Civil Engineering, Federal University of Technology, Owerri, Nigeria. International Journal of Computational Engineering Research||Vol, 03||Issue5||*
- [15] Ermiyati dkk. *Pemanfaatan Abu Kelapa Sawit Untuk Pembuatan Mortar Semen. Studi Kasus: Abu Kelapa Sawit Dari PT. Duta Palma Propinsi Riau. Universitas Riau.*
- [16] Obam, E. H. S. O. and Ogbo. Experimental Investigation of Palm Frond Ash as an Alternative to Portland Cement in Concrete. *Journal of Engineering and Energy Research*, Volume 3, Number 1, 2013.
- [17] L. O. Ettu,et al. Suitability of Nigerian Agricultural By-Products as Cement Replacement for Concrete Making, *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, Vol.3, Issue.2, March-April. 2013 pp-1180-11085.

PERFORMA SEL SUPERKAPASITOR DENGAN MENGGUNAKAN PENGUMPUL ARUS STAINLESS STEEL-NANOPARTIKEL PLATINUM (PERFORMANCE OF SUPERCAPACITOR CELL BY USING STAINLESS STEEL- PLATINUM NANOPARTICLES CURRENT COLLECTOR)

Rakhmawati Farma^{1*}, Mohamad Deraman², Awitdrus¹

^{1*} Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru
Kampus Bina Widya KM. 12,5 Panam Pekanbaru 28293, Riau, Indonesia
rakhmawatifarma@unri.ac.id

² Pusat Pengajian Fizik Gunaan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan
Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

ABSTRACT

The performance of supercapacitor cell strongly depends on electrolyte, current collector and electrodes. Activated carbon electrode were prepared from KOH treatment of pre-carbonized oil palm empty fruit bunches. Carbonization process was conducted up to 800 °C by using a multi steps heating profile in the nitrogen environment, and the activation was done by using CO₂ gas at the temperature of 800 °C for 3 hours. The electrolyte solution 1 M H₂SO₄ was used for all the measurements. The stainless steel 316L that has been grown the platinum nanoparticle on its surface is used for a of current collector. The aim of grown of platinum nanoparticle is to obtain a better the electrical and electrochemical properties. The evaluation of platinum nanoparticle on the surface of stainless steel was done by using X-ray diffraction having the present of platinum peak (111) and energy dispersive of X-ray with the platinum percentage of atomic is of 3.84 %. The specific capacitance value of supercapacitor is based on electrochemical impedance spectroscopy data before and after growth of platinum nanoparticles of 104.87 F/g and 114.67 F/g respectively, and the value of equivalent series resistance significantly decreased from 0.438 Ω until 0.045 Ω.

Keywords: Supercapacitor, Electrochemical impedance spectroscopy, Specific capacitance, Platinum nanoparticle

ABSTRAK

Performa sel superkapasitor sangat ditentukan oleh tiga faktor utama yaitu elektrolit, pengumpul arus dan elektroda. Elektroda karbon aktif yang disediakan dari pra- karbonisasi serabut tandan kosong kelapa sawit dengan perlakuan KOH. Karbonisasi elektroda dilakukan pada suhu 800°C menggunakan profil pemanasan multi-langkah dalam lingkungan gas N₂ dan pengaktifan CO₂ dilakukan pada suhu 800°C selama 3 jam. Larutan 1 M H₂SO₄ digunakan sebagai larutan elektrolit. Stainless Steel 316L yang telah ditumbuhkan nanopartikel platinum di atasnya digunakan sebagai pengumpul arus. Penumbuhan nanopartikel platinum di atas pengumpul arus bertujuan untuk menghasilkan sifat listrik dan elektrokimia yang lebih baik. Evaluasi terhadap nanopartikel platinum di atas pengumpul arus dilakukan dengan difraksi sinar-X yang ditandai dengan kehadiran puncak platinum (111) dan analisis energi dispersif sinar-X dengan persentase atomik platinum 3.89 %. Nilai kapasitansi sel superkapasitor berdasarkan data spektroskopi impedansi elektrokimia sebelum dan setelah penumbuhan nanopartikel platinum masing-masing sebesar 104.87 F/g dan 114.67 F/g, dan nilai hambatan seri ekuivalen menurun dari 0.438 Ω menjadi 0.045 Ω.

Katakunci: Superkapasitor, Spektroskopi impedansi elektrokimia, Kapasitansi spesifik, nanopartikel platinum

1. PENDAHULUAN

Superkapasitor atau kapasitor elektrokimia dua-lapisan adalah piranti elektrokimia penyimpan energi. Berdasarkan jenis penyimpan energi superkapasitor dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu superkapasitor redoks (atau pseudokapasitor) dan kapasitor elektrokimia dua-lapisan [1,2]. Sedangkan berdasarkan kepada elektroda yang digunakan, superkapasitor dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu (i) *metal-oxida* (ii) *electronically conducting polymer* dan (iii) *carbon/carbon supercapacitor* [3,4].

Superkapasitor merupakan piranti penyimpan energi elektrokimia yang sesuai untuk menyimpan dan melepaskan energi dengan cepat. Energi spesifik superkapasitor lebih besar beberapa tingkat dibandingkan dengan kapasitor konvensional. Superkapasitor juga memiliki daya spesifik yang lebih tinggi tetapi energi spesifiknya lebih rendah dibandingkan baterai. Kombinasi daya spesifik yang tinggi dan energi spesifik yang baik menjadikan superkapasitor mempunyai kedudukan fungsi di antara baterai dan kapasitor konvensional. Berbeda dengan kapasitor konvensional, superkapasitor terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan oleh pemisah dan diberi larutan elektrolit [2].

Daya spesifik dan energi spesifik sangat penting untuk piranti superkapasitor, namun tidak banyak penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti untuk meningkatkan daya spesifik. Daya spesifik bisa meningkat dalam dua cara yaitu dengan meningkatkan tegangan atau dengan mengurangi nilai hambatan seri ekuivalen (ESR). Tegangan bisa ditingkatkan dengan mengubah sifat-sifat elektrolit, sedangkan ESR bisa bernilai kecil dengan menurunkan hambatan dalam elektroda dan hambatan antara elektroda dan pengumpul arus. Beberapa penelitian telah melaporkan nilai ESR superkapasitor yang rendah dengan mensintesa karbon di atas permukaan aluminium sebagai pengumpul arus dengan metoda sol-gel dan pelapisan (coating) [5,6] pencampuran *carbon nanotube* (CNT) pada elektroda karbon [7], elektroda karbon monolit [8,9] dan penumbuhan nanopartikel platinum diatas pemungut arus dengan elektroda dari kayu karet tanpa aktivasi kimia [10]. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk mengurangi nilai ESR superkapasitor dilakukan dengan modifikasi permukaan pengumpul arus *stainless steel* 316L dengan penumbuhan nanopartikel platinum di atas pengumpul arus menggunakan elektroda berasal dari serabut tandan kelapa sawit dengan kombinasi pengaktifan kimia dan fisika.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Persiapan sampel

Penumbuhan nanopartikel platinum di atas permukaan pengumpul arus *stainless steel* 316L dilakukan dengan cara mencelupkan pengumpul arus dalam air deionisasi 18 ml yang telah dicampurkan dengan larutan $K_2P_2Cl_4$ 0.01 mol, kemudian tambahkan larutan 0.2

M asam askorbat ($C_6H_8O_6$) kemudian masukkan dalam oven pada temperatur $30^\circ C$ selama 4 jam. Terbentuknya nanopartikel platinum ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi kehitaman. Pengumpul arus selanjutnya dibersihkan dengan air suling dan dikeringkan dengan gas nitrogen. Penumbuhan nanopartikel platinum di atas pengumpul arus dilakukan selama 16 jam dengan cara melakukan 4 kali pengulangan proses di atas.

Elektroda karbon superkapasitor disiapkan dari campuran pra-karbonisasi serabut tandan kosong kelapa sawit dan aktivasi dengan kalium hidroksida (KOH) dengan persentase masing-masing 95 % dan 5 %. Proses pra-karbonisasi, karbonisasi dan pengaktifan dengan CO_2 mengikuti langkah-langkah seperti yang telah dilaporkan sebelumnya [11].

2.2 Karakterisasi

Sifat elektrokimia sel superkapasitor dikarakterisasi dengan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) menggunakan instrumen Solartron 1286 *electrochemical interface* dan Solartron 1255HF *frequency response analyzer*. Kapasitansi spesifik dihitung dengan menggunakan persamaan (1)

$$C_{sp} = -\frac{1}{\pi f Z'' m} \quad (1)$$

di mana f adalah frekuensi (Hz), Z'' adalah impedansi imajiner (Ω) pada frekuensi terendah dan m adalah massa monolit (g). Kapasitansi real dan imajiner dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan (3).

$$C'(\omega) = \frac{-Z''(\omega)}{\omega |Z(\omega)|^2} \quad (2)$$

$$C''(\omega) = \frac{Z'(\omega)}{\omega |Z(\omega)|^2} \quad (3)$$

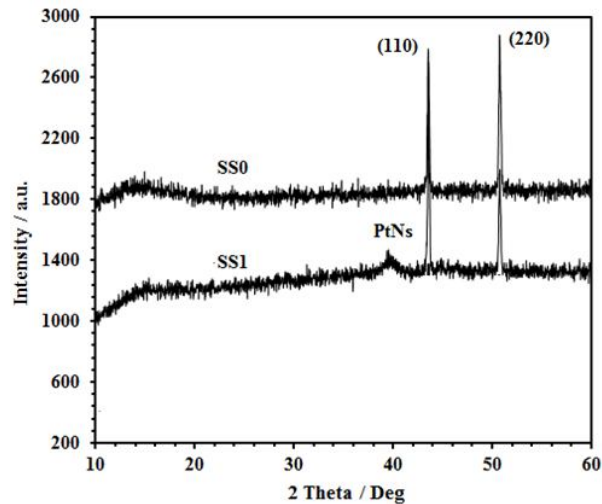
di mana $C'(\omega)$ adalah kapasitan bagian real, C'' adalah kapasitan bagian imajiner, dan Z' adalah impedansi bagian real [4].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Difraksi Sinar-X dan Dimensi Kristalin

Gambar 1. menunjukkan difraktogram sinar-X pengumpul arus *Stainless Steel* 316L sebelum dan setelah penumbuhan nanopartikel platinum (PtNs) masing-masing disimbolkan dengan SS0, dan SS1. Puncak pengumpul arus *stainless steel* 316L terjadi pada sudut

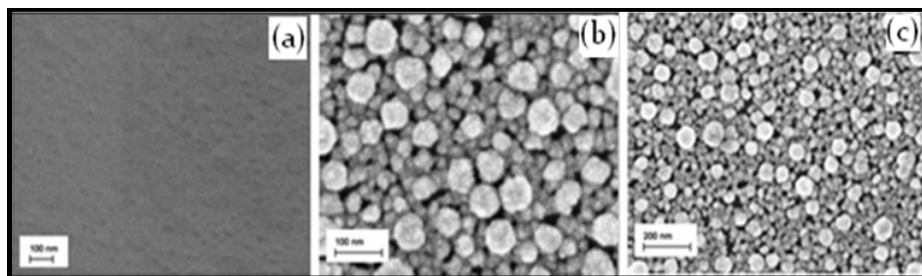
difraksi sekitar 43.55° dan 50.72° yang bersesuaian dengan bidang (110) dan (220) [11]. Bukti bahwa pada pengumpul arus telah tumbuh nanopartikel platinum ditandai dengan kehadiran puncak (111) pada sudut difraksi $38,65^\circ$ yang lebar mengindikasikan bahwa nanopartikel platinum yang terbentuk adalah semikristalin [13].



Gambar 1. Pola difraksi sinar-X pengumpul arus SSO dan SS1.

3.2 Analisis Morfologi

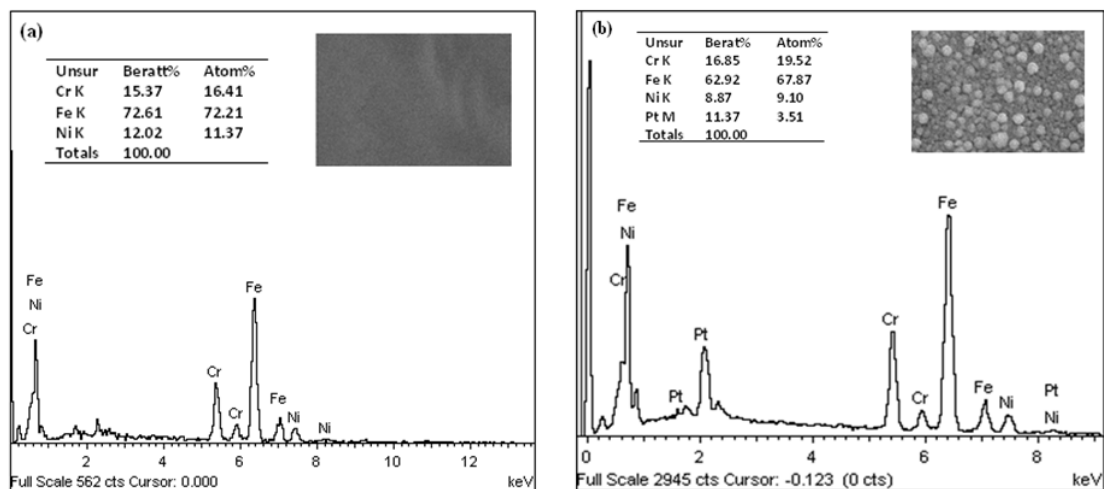
Mikrograf FESEM pengumpul arus sebelum penumbuhan nanopartikel platinum ditunjukkan pada Gambar 2 (a). Gambar 2 (b) dan (c) menunjukkan pengumpul arus setelah penumbuhan nanopartikel platinum dengan perbesaran 20000x dan 5000x. Nanopartikel platinum yang tumbuh di atas pengumpul arus tersebar secara merata dengan ukuran partikel dalam interval 35-62 nm.



Gambar 2. Gambar FESEM pengumpul arus (a) dan nanopartikel platinum yang ditumbuhkan di atas pengumpul arus (b) perbesaran 20000x, (c) perbesaran 5000x

Analisa data EDX terhadap SSO dan SS1 ditunjukkan pada Gambar 3. Kandungan unsur yang terdapat dalam pengumpul arus SSO terdiri dari Cr, Fe dan Ni, sedangkan pada SS1, selain terdiri dari tiga unsur di atas juga terdapat unsur platinum dengan persentase

berat 11.37 %. Hal ini mengindikasikan bahwa pada SS1 telah tumbuh nanopartikel platinum.

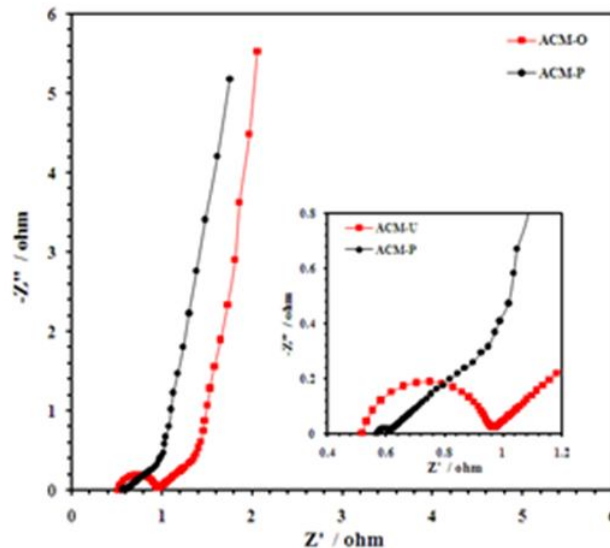


Gambar 3. Data EDAX pengumpul arus (a) SS0 dan (b) SS1

3.3 Electrochemical Impedance Spectroscopy

Plot Nyquist data *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) sel ACM-O dan ACM-P ditunjukkan pada Gambar 4. Bentuk kurva yang dihasilkan terdiri dari setengah lingkaran pada frekuensi tinggi, garis lurus yang membentuk sudut mendekati 45° (Waburg) pada frekuensi menengah dan garis yang hampir tegak lurus pada frekuensi rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hambatan seri ekuivalen (ESR) dinyatakan oleh kurva setengah lingkaran.

Penumbuhan nanopartikel di atas pengumpul arus memberikan penurunan nilai ESR yang signifikan yang ditandai dengan lebar setengah lingkaran yang semakin kecil. Penurunan nilai ESR ini disebabkan terjadinya peningkatan daerah sentuh pada antarmuka pengumpul arus yang telah ditumbuhkan nanopartikel platinum dengan permukaan elektroda karbon, selain itu juga terjadi pemindahan muatan yang lebih baik dari elektroda karbon ke pengumpul arus. Gambar 4 (sisipan) jelas menunjukkan penurunan nilai ESR sebesar 90 % karena kehadiran nanopartikel platinum pada pengumpul arus.



Gambar 4. Plot Nyquist untuk sel ACM-O dan ACM-P.

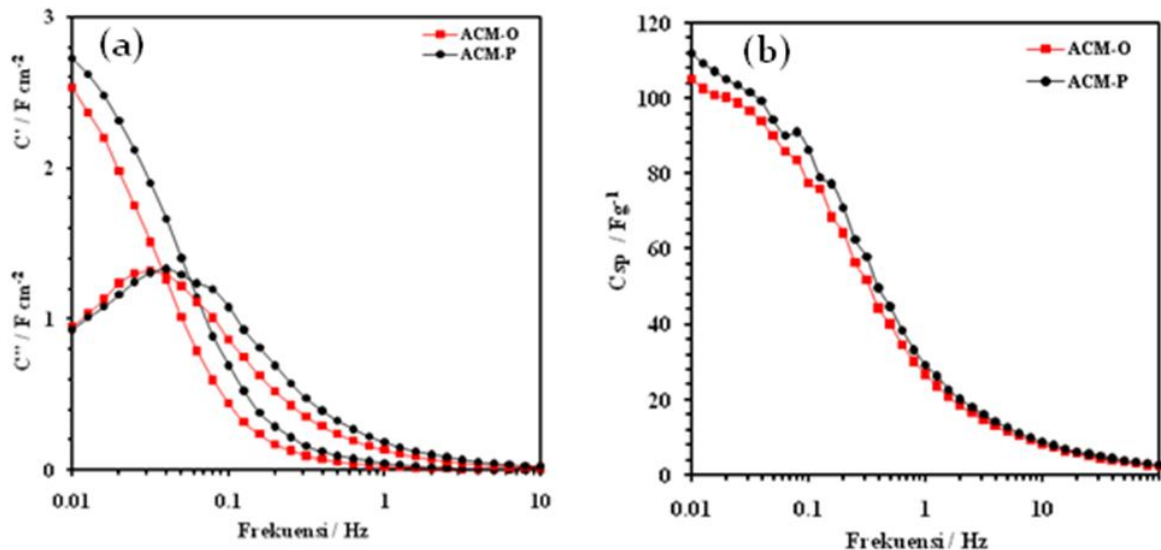
Data kuantitatif parameter hambatan elektrolit (R_s), ESR, Warburg (w) dan kapasitansi spesifik (C_{sp}) yang diperoleh dari data EIS ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai Warburg sel superkapasitor meningkat setelah penumbuhan nanopartikel platinum, hal ini mengindikasikan bahwa nanopartikel platinum telah mengubah kemampuan ion-ion elektrolit untuk meresap ke dalam pori-pori elektroda karbon menjadi lebih baik. Kemampuan ion-ion ini terjadi hanya pada permukaan elektroda karbon karena kemungkinan nanopartikel platinum juga meresap masuk ke dalam pori-pori pada daerah yang dekat dengan permukaan elektroda karbon. Selain itu, peningkatan nilai C_{sp} disebabkan oleh kehadiran nanopartikel platinum yang dapat meningkatkan kadar pemindahan ion-ion elektrolit yang lebih besar pada dinding-dinding pori elektroda terutama pada daerah antarmuka elektrolit dan elektroda karbon.

Tabel 1. Nilai parameter dari data *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

Sel	R_s (Ω)	ESR (Ω)	W ($\Omega s^{-1/2}$)	C_{sp} (Fg^{-1})
ACM-O	0.519	0.438	0.44	104.87
ACM-P	0.571	0.045	0.47	114.67

Kapasitansi real (C') dan imajiner (C'') sel superkapasitor ACM-O dan ACM-P ditunjukkan pada Gambar 5 (a). Kapasitansi real berbanding terbalik dengan frekuensi artinya C' mencapai nilai maksimum pada nilai frekuensi terendah (0.01 Hz). Nanopartikel

platinum juga berdampak positif terhadap nilai kapasitansi real. Kapasitansi imajiner berhubungan dengan waktu relaksasi τ_0 yang berbanding terbalik dengan frekuensi puncak. ($\tau_0=1/f_p$). semakin singkat waktu relaksasi maka daya sel superkapasitor semakin baik [14,15]. Sel superkapasitor ACM-P mempunyai waktu relaksasi 25 s, lebih singkat dibandingkan dengan sel superkapasitor ACM-O yang mempunyai waktu relaksasi 32 s. Gambar 5 (b) menunjukkan kapasitansi spesifik sel superkapasitor terhadap frekuensi. Pada daerah frekuensi rendah (di bawah 10 Hz) jelas terlihat bahwa pengaruh penumbuhan nanopartikel platinum di atas pengumpul arus dapat meningkatkan kapasitansi spesifik sel superkapasitor. Pada frekuensi yang lebih tinggi (di atas 10 Hz) pengaruh penumbuhan nanopartikel sangat kecil. Penumbuhan nanopartikel platinum menyebabkan kapasitansi spesifik meningkat, hal ini disebabkan oleh sifat-sifat kapasitif sel superkapasitor lebih baik dengan penumbuhan nanopartikel platinum.



Gambar 5. (a) Perubahan kapasitan real (C') dan imajiner (C'') terhadap frekuensi (b) Perubahan frekuensi terhadap nilai kapasitan spesifik sel ACM-O dan ACM-P.

4. KESIMPULAN

Penumbuhan nanopartikel platinum sebagai antarmuka antara pengumpul arus dan elektroda karbon berpengaruh terhadap performa sel superkapasitor. Nanopartikel platinum menyebabkan sifat listrik sel superkapasitor meningkat. Sifat resistif ditandai dengan menurunnya nilai ESR dan sifat kapasitif ditandai dengan meningkatnya nilai kapasitansi spesifik. Nilai kapasitansi spesifik dan ESR sebelum penumbuhan nanopartikel platinum masing-masing sebesar 104.87 F g^{-1} dan 0.438Ω dan setelah penumbuhan nanopartikel platinum masing-masing sebesar 114.67 F g^{-1} , dan 0.045Ω .

REFERENSI

- [1] Jayalakshmi, M. & Balasubramanian, K. 2008. Simple capacitor to supercapacitor – an overview. *International Journal of Electrochemica Science* 3: 1196-1217.
- [2] Pandolfo, A.G. & Hollenkamp, A.F. 2006. Carbon properties and their role in supercapacitor. *Journal of Power Sources* 157: 11-27.
- [3] Obreja, V.V.N. 2008. On the performance of supercapacitor with electrodes based on carbon nanotubes and carbon activated material- A review. *Physica E* 40: 2596-2605.
- [4] Portet, C., Taberna, P.L., Simon, P. & Flahaut, E. 2005a. Influence of carbon nanotubes addition on carbon-carbon supercapacitor performances in organic electrolyte. *Journal of Power Sources* 139: 371-378.
- [5] Portet, C., Taberna, P.L., Simon, P. & Flahaut, E. 2004. Modification of Al current collector surface by sol-gel deposit for carbon-carbon supercapacitor application. *Electrochimica Acta* 49: 905-912.
- [6] Wu, H.-C. Lin, Y.-P., Lee, E., Lin, E.-T. Hu, J.-K., Chen, H.-C. & Wu, N.-L. 2009. Hight performance carbon based supercapacitor using Al current-collector with conformal carbon coating. *Materials Chemistry and Physics*. 117: 294-300.
- [7] Show, Y. & Imaizumi, K. 2007. Elecric double layer capacitor with low series resistance fabricated by carbon nanotube addition. *Diamond & Related Materials* 16: 1154-1158.
- [8] Ruiz, V., Blanco, C., Santamaria, R., Ramos-Fernandez, J.M., Martinez-Escandell, M., Sepulveda-Escribano, A. & Rodriguez-Reinoso, F. 2009. An activated carbon monolith as an electrode material for supercapacitors. *Carbon* 47: 195-200.
- [9] Garcia-Gomez. A., Miles. P., Centeno. T.A. & Rojo. J.M. 2010. Uniaxially oriented carbon monoliths as supercapacitor electrode. *Electrochimica Acta* 55: 8539-8544.
- [10] Taer. E., Deraman. M., Talib. I. T., Hashmi. S. A. & Umar. A. A. 2011. Growth of platinum nanoparticles on stanless steel 316L current collector to improve carbon-based supercapacitor performance. *Electrochimica Acta* 56:10217-10222.
- [11] Farma, R., Deraman, M., Awitdrus, A., Talib, I.A., Taer, E., Basri, N. H., Manjunatha, J. G., Ishak, M. M., Dollah, B. N. M., Hasmi, S. A. 2013a. Preparation of highly porous binderless activated carbon electrodes from fibres of oil palm empty fruit bunches for application in supercapacitors. *Bioresource Technology* 132: 254-261.
- [12] Szymanska, A., Oleszak, D., Grabias, A., Rosinski, M., Sikorski, K., Kazior, J., Michalski, A. & Kurzydowski, K.J. 2004. Phase transformations in ball milled AISI 316L stainless steel powders and the microstructure of the steel obtained by its sintering. *Advance Materials Science* 8: 143-146.
- [13] Peng, Z & Yang, H. 2009. Designer platinum nanoparticles: Control of shape, composition in alloy, nanostructure and electrocatalytic property. Review article. *Nano Today* 4: 143-164.

- [14] Portet, C., Taberna, P.L., Simon, P., Flahaut, E. & Laberty-Robert, C. 2005b. High power density electrodes for carbon supercapacitor application. *Electrochimica Acta* 50: 4174-4181.
- [15] Pech, D., Brunet, M., Duron, H., Huang, P., Mochalin, V., Gogotsi, Y., Taberna, P.-L. & Simon, P. 2010. Ultrahigh-power micrometer-sized supercapacitors based on anion-like carbon. *Nature Nanotechnology* 162: 651-654.

**KARAKTERISASI BAHAN FERROELEKTRIK BARIUM STRONTIUM TITANAT
($\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$) DENGAN MENGGUNAKAN DIFRAKSI SINAR-X (XRD)
CHARACTERITATION FERROELECTRIC MATERIALS OF BARIUM STRONTIUM
TITANATE ($\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$) WITH X-RAY DIFFRACTION (XRD)**

Krisman¹, Rahmi Dewi^{1*}, Rahmad Efendi¹, Zuhdi²

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Riau Pekanbaru^{1*}
drahmi2002@yahoo.com dan Kampus Binawidya Simpang Panam Pekanbaru
Prodi Fisika, FKIP Universitas Riau Pekanbaru²

ABSTRACT

Ferroelectric materials of Barium Strontium Titanate (BST) with its composition of $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$ was succesfully deposited by a solid solution method. The samples were prepared in the form of pellets and then were annealed at the temperature of 600, 700, 800°C. Characteritation of the samples was performed using X-Ray diffraction (XRD). The results of characteritation using XRD was described on a graph of the intensity vs. 2 theta. The XRD patterns of $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$ have peaks. It was confirmed that the material of $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$ has cubic crystalline structure, and its lattice parameter was in average of 3,961 Å. The particle sizes (D) and lattice strains (η) of the material that was annealed at temperature of 600, 700, 800°C for 1 hour were 42.60, 44.43, 46.89 nm and $-4,49 \times 10^{-3}$, $-4,05 \times 10^{-3}$, $-2,96 \times 10^{-3}$, respectively. The increase in annealed temperature will raise the particle size and lattice strain.

Keywords: Characteritation XRD, annealing, particle size, lattice strain

ABSTRAK

Material ferroelektrik Barium Strontium Titanat dengan komposisi $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$ telah berhasil dideposit menggunakan metode kimia padatan. Sampel dicetak dalam bentuk pelet dan kemudian diannealing pada temperatur 600°C, 700°C dan 800°C. Karakterisasi pada sampel dilakukan menggunakan XRD. Hasil karakterisasi XRD dari sampel memperoleh data dan diolah dalam bentuk grafik hubungan antara intensitas terhadap sudut 2 theta. Pola difraksi XRD $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$ diketahui memiliki beberapa puncak. Material $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$ ini berbentuk kristalin dengan struktur kubus, dengan besar parameter kisi rata-rata adalah 3.961 Å. Ukuran partikel (D) dan regangan kisi (η) dari material $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$ yang dieannealing pada suhu 600°C, 700°C dan 800°C selama 1 jam yaitu masing - masing sebesar 42,60 nm, 44,43 nm, 46,89 nm dan $-4,49 \times 10^{-3}$, $-4,05 \times 10^{-3}$, $-2,96 \times 10^{-3}$. Semakin besar ukuran partikel, rata-rata regangan kisi (η) semakin besar seiring dengan meningkat suhu annealing.

Kata Kunci: Karakterisasi XRD, anealling, ukuran partikel, regangan kisi

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir ini, penelitian pada bidang fisika material semakin gencar dilakukan. Salah satunya adalah pemanfaatan bahan-bahan pyroelektrik dan ferroelektrik seperti BaTiO_3 , PbTiO_3 , PbZrO_3 , $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ (BST) yang digunakan untuk peralatan elektronik dan optoelektronik, seperti sel surya, fotoreseptor, sensor warna dan *Thin Film Light Emitting Diode* (TFLED). Material ferroelektrik yang sering digunakan diantaranya; *Barium Strontium Titanate* (BST), *Lead Zirconium Titanate* (PZT), *Strontium Titanate* (STO). Pembuatan BST dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya; Sol-Gel [1], *Chemical Solution Deposition* (CSD) [2], *Pulsed Laser Deposition* (PLD) [3] dan *RF Magnetron Sputtering* [4]. Komposisi dari elemen-elemen pembentuknya, tingkat kekristalan, stoikiometri, dan ketebalan sangat dipengaruhi oleh metode penumbuhannya.

Dalam Penelitian ini dilakukan studi karakterisasi dengan XRD dari bahan BST yang dibuat dengan menggunakan metode reaksi padatan (*solid reaction*), dengan komposisi $\text{Ba}_{0,3}\text{Sr}_{0,7}\text{TiO}_3$. Keunggulan metode ini daripada metode yang lain adalah prosesnya tidak terlalu rumit, menggunakan peralatan yang sederhana dan membutuhkan biaya yang relatif murah.

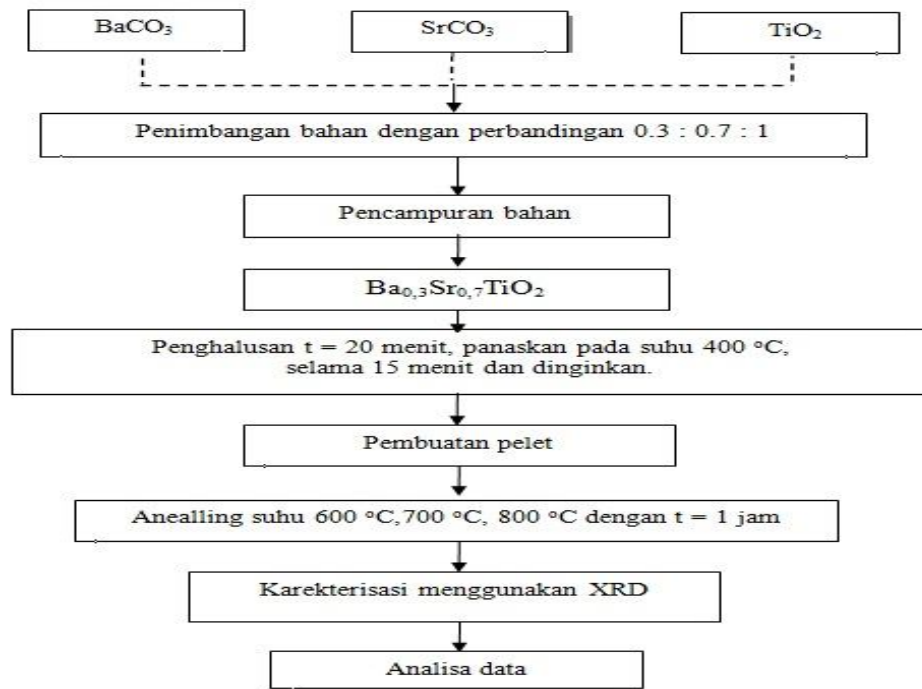
2. METODE PENELITIAN

a. Alat Dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan Mettler Toledo, spatula, lumpang, cetakan pelet, hydraulic press, crucible, furnace, pinset, sarung tangan karet, mortar, difraksi sinar-X dan masker. Bahan-bahan yang digunakan adalah BaCO_3 , SrCO_3 , TiO_2 .

b. Diagram Alir Penelitian

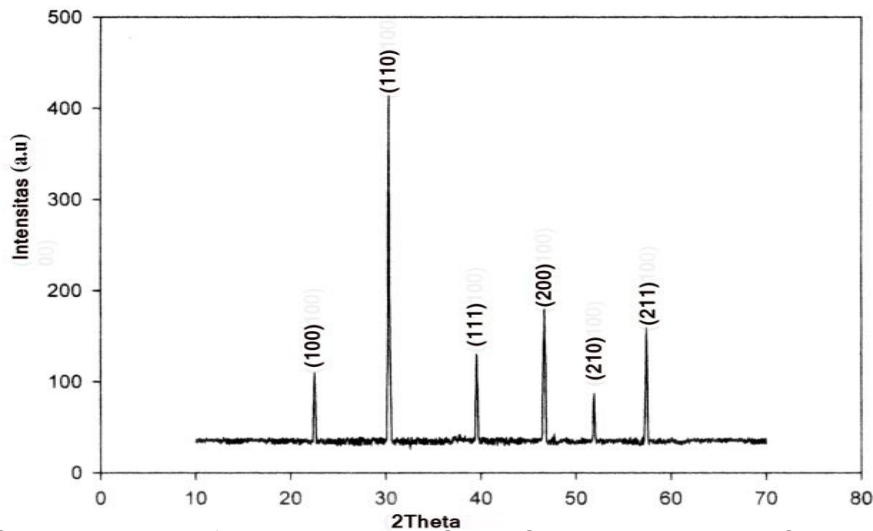
Adapun langkah-langkah proses penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 1. dibawah ini:



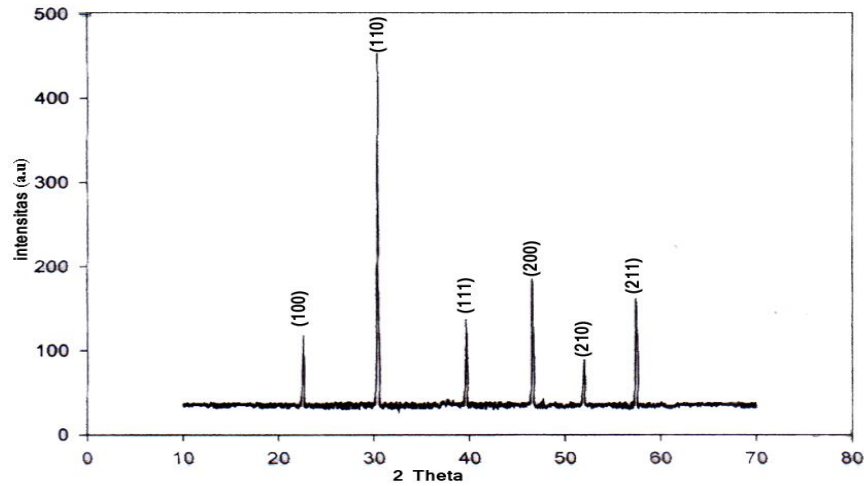
Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

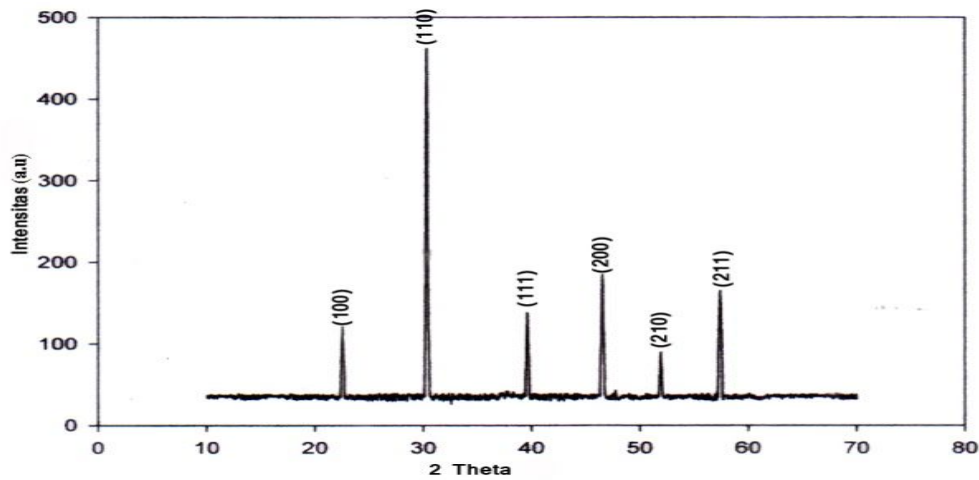
Hasil karakterisasi sampel dengan menggunakan XRD menghasilkan sebuah grafik, dari grafik tersebut di analisa pola difraksi dari sampel $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$ dengan sudut pencacah (2θ) antara 20° hingga 70° dari interval tiap pencacah 0.004 , serta panjang gelombang $\lambda = 15404 \text{ \AA}$.



Gambar 2. Pola difraksi sinar-X $\text{Ba}_{0.3}\text{Sr}_{0.7}\text{TiO}_3$ dengan suhu 600°C .



Gambar 3. Pola difraksi sinar-X $\text{Ba}_{0,3}\text{Sr}_{0,7}\text{TiO}_3$ dengan suhu 700°C .



Gambar 4. Pola difraksi sinar-X $\text{Ba}_{0,3}\text{Sr}_{0,7}\text{TiO}_3$ dengan suhu 800°C .

Gambar 2, 3 dan 4 menunjukkan pola dari difraksi sinar-X $\text{Ba}_{0,3}\text{Sr}_{0,7}\text{TiO}_3$ setelah diannealing pada suhu masing - masing 600°C , 700°C dan 800°C . Terlihat bahwa setelah diannealing $\text{Ba}_{0,3}\text{Sr}_{0,7}\text{TiO}_3$ timbul puncak-puncak dan dapat dihitung bidang dari puncak-puncak yang terlihat tersebut. Puncak- puncak tersebut menandakan bahwa bahan $\text{Ba}_{0,3}\text{Sr}_{0,7}\text{TiO}_3$ adalah kristal yang berarti memiliki susunan partikel yang beraturan. Namun dilihat pada bidang puncak (hkl) pada ketiga perbedaan suhu tersebut, tidak mengalami pergeseran dan perubahan karena ketiga sampel memiliki sudut puncak-puncak difraksi yang sama seperti pada penelitian yang telah dilakukan Gridharan bersama kawan-kawan pada tahun 2001 dan Huaping Xu bersama kawan-kawan pada tahun 2000 [5,6].

Sudut dari puncak-puncak yang telah didapatkan yang berupa 2θ dapat di cari nilai jarak antar bidang (d_{hkl}) setiap puncak karena nilai λ diketahui sebesar 1.5405 \AA . Hasil dari

instrument XRD dapat dihitung ukuran partikel dari sampel $\text{Ba}_{0,3}\text{Sr}_{0,7}\text{TiO}_3$ setelah diketahui lebar sudut garis difraksi disetengah puncak yaitu dengan rumus $D = K.\lambda/\text{Bcos}\theta$ [7].

Tabel 1. Nilai d_{hkl} dari setiap puncak

Sudut 2θ (°)	Nilai d_{hkl} (Å)
22,52	3.945
30,32	2.945
39,60	2.274
46,52	1.961
51,92	1.729
57,40	1.604

Tabel 1 diatas menjelaskan bahwa nilai jarak antar bidang (d_{hkl}) menurun seiring dengan makin besarnya sudut theta. Perhitungan menggunakan rumus $a=d_{hkl}.1/h^2+k^2+l^2$ [8] didapat nilai parameter kisi (a) dari setiap puncak yaitu: Rata-rata ukuran partikel ($D_{rata-rata}$) pada suhu annealing 600°C diperoleh sebesar 42,60 nm, suhu annealing 700°C diperoleh sebesar 44,43 nm, dan suhu annealing 800°C diperoleh sebesar 46,89 nm. Hal ini disebabkan semakin besar ukuran partikel akibat meningkatnya suhu annealing. Hubungan peningkatan suhu annealing ini seperti yang telah dilakukan pada penelitian Ling R T dan kawan-kawan pada tahun 2002 [1].

Tabel 2. Nilai a dari setiap puncak

Sudut θ (°)	Nilai a perhitungan (Å)
11,26	3.945
15,16	4.165
19,80	3.939
23,26	3.922
25,96	3.866
28,70	3.939

Tabel 2 diatas menggambarkan bahwa setiap sudut yang memiliki puncak nilai parameter kisi (a) yang berbeda. Nilai parameter kisi (a) rata-rata diperoleh sebesar 3.961 Å. Sehingga dapat dihitung persentase kesalahan penelitian ini dengan membandingkan nilai a rata-rata percobaan dengan a standar ASTM yaitu sebesar 0.8% terjadi peningkatan seiring dengan kenaikan suhu annealing, yaitu suhu annealing 600°C dengan regangan kisi $\eta_{rata-rata} = -4,49 \times 10^{-3}$, suhu annealing 700°C dengan $\eta_{rata-rata} = -4,05 \times 10^{-3}$ dan suhu annealing 800°C dengan $\eta_{rata-rata} = -2,96 \times 10^{-3}$.

4. KESIMPULAN

Barium Strontium Titanat berhasil dibuat dengan metode kimia padatan, diannealing pada suhu 600°C, 700°C dan 800°C tidak mengalami perubahan signifikan dalam fasa dengan struktur kubus. Jarak bidang Kristal (d_{hkl}) yang telah didapatkan mengalami penurunan seiring semakin besar sudut theta. Parameter kisi (a) memiliki presentase kesalahan dengan membandingkan nilai a rata-rata percobaan dengan a standar sebesar 3.992 sehingga diperoleh yaitu sebesar 0.8 %. Semakin besar ukuran partikel, rata-rata regangan kisi (η) semakin besar seiring dengan meningkatnya suhu annealing.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ling, R.T., Ning, W.X., She, L.J., Jin, Z. H. 2002. *Characteristics of Silicon-Based $Ba_{x5}Sr_{1-x}TiO_3$ Thin Films Prepared by a Sol-Gel Method*. Jurnal Phys D Appl. Phys.35. 50-56.
- [2] Sueta, N. 2008. *Pembuatan dan Karakterisasi Lapisan $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ (BST) yang didoping dengan Magnesium dengan Metode Chemical Solution Deposition (CSD)*. FMIPA UI
- [3] Zhu, X., Lu, S., Chan, H., Choy, C.L., Wong, K.H. 2003. *Microstructures and Dielectric Properties of Compositionally Graded $(Ba_{1-x}Sr_x)TiO_3$ Thin Films Prepared by Pulsed Laser Deposition*.
- [4] Pasierb, P., Komornicki, S., Radecka, M. 1998. *Structural and Optical Properties of $Sr_{1-x}Ba_{x5}TiO_3$ Thin Films Prepared by Rf Sputtering*. Jurnal Thin Solid Films. 324. 134-140.
- [5] Gridharan, N.V., Jayavel, R., Rama, P.S. 2001. *Structural, Morphological and Electrical Studies On Barium Strontium Titanate Thin Film Prepared by Sol-Gel Technique*. Jurnal Cryst, Res. Technol. Vol. 36 No.1, pp. 65-72.
- [6] Huaping, X., Hashimoto, K., Mukaigawa, T., Kubo, R., Hongzhu, Nuda, M., Okuyama, M. 2001. *Si Monolithic Microbolometers of Ferroelectric BST Thin Film Combined with Reddout FET for Uncooled Infrared Image Sensor*. Sensors and actuators. A 88 (2001) 10-19.
- [7] Suryanarayana, C., 1998. *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. New York.
- [8] Vlack, V. 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Terjemahan : Sriati Djaprie. Universitas Inonesia : Jakarta.

**STUDI AWAL DETEKSI EMISI SPEKTRAL MAGNESIUM, Mg DARI SAMPEL
TANAH MENGGUNAKAN TEKNIK *LASER-INDUCED BREAKDOWN
SPECTROSCOPY* (LIBS)**

**(Preliminary Study on Detection of Spectral Emission of Magnesium, Mg
from Soil Sample by Means of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy
(LIBS) Technique)**

Nasrullah Idris

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah
Kuala, Jl. Syech Abdurrauf No. 3 Darussalam, Banda Aceh 23111, Aceh, Indonesia^{1*},
email: nasrullah.idris@unsyiah.ac.id, telpon: 081269457430

ABSTRACT

In this preliminary work, laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) technique has been used to detect emission spectral lines of salts, especially magnesium, Mg from soil sample. The sample has been taken in Aceh region, Indonesia and it has been made in the form of pellet. LIBS apparatus consist of Nd-YAG laser and an optical multichannel analyzer (OMA) system with wavelength coverage of 12 nm for each data acquisition. The laser beam was focused onto surface of the soil pellet for creating plasma. The plasma emission was detected by the OMA system. It was found that there are many Mg spectral lines could be detected. After having identification of the detected emission spectral lines, it was confirmed Mg appeared at various different wavelengths in the measurement window. There are many Mg spectral lines can be detected, thus confirming the capability of LIBS technique. Moreover, further assessment should be conducted to find the emission lines fit best for carrying out analysis of Mg in soil.

Keywords: LIBS technique, Salts, Magnesium, Mg spectral lines, Soil

ABSTRAK

Dalam studi awal ini, teknik spektroskopi plasma laser (laser induced breakdown spectroscopy, LIBS) telah digunakan untuk mendeteksi garis-garis emisi garam-garam, khususnya magnesium, Mg dari sampel tanah. Sampel telah diambil dari Aceh dan telah dibuat dalam bentuk pelet. Perangkat LIBS terdiri dari laser Nd-YAG dan sebuah sistem analiser kanal banyak (sistem OMA) dengan cakupan panjang gelombang pada tiap akuisisi data adalah 12 nm. Berkas difokuskan pada permukaan pelet tanah untuk pembuatan plasma. Emisi dari plasma tersebut kemudian dideteksi dengan sistem OMA. Telah ditemukan bahwa banyak garis spektral emisi Mg dapat dideteksi dengan jelas. Setelah identifikasi garis-garis spektral emisi yang terdeteksi tersebut, telah dikonfirmasi kehadiran garis-garis emisi spektral Mg pada panjang gelombang-panjang gelombang berbeda pada celah pengukuran 380 nm. Banyak garis emisi spektral Mg dapat dideteksi, yang mengkonfirmasi kemampuan teknik LIBS untuk deteksi garam Mg. Selanjutnya, pengkajian lanjutan harus dilakukan untuk mendapatkan garis emisi yang paling cocok untuk membuat analisa Mg dalam tanah.

Katakunci: LIBS, garam, magnesium, garis-garis emisi Mg, tanah

1. PENDAHULUAN

Analisa kandungan garam dalam tanah pertanian sangat penting, karena kandungan garam dalam tanah sangat berpengaruh pada kesehatan tanaman yang pada gilirannya berpengaruh besar pada produktifitas lahan pertanian [1-2]. Selain untuk kepentingan pertanian, kandungan garam dalam tanah di daerah pemukiman juga penting diketahui karena kandungan garam dalam lingkungan memicu proses korosi pada bangunan [3-5]. Analisa garam ini akan terasa lebih penting untuk tanah-tanah yang mengalami perubahan atau gangguan besar. Gangguan besar ini misalnya dapat terjadi karena ada bencana alam atau bencana lainnya. Kawasan pantai khususnya daerah-daerah yang pernah dilanda tsunami mengalami perubahan kandungan garam yang sangat signifikan. Gempa besar yang berpusat di Samudera India 26 Desember 2004, yang di Indonesia lebih dikenal sebagai gempa Aceh, telah memicu tsunami raksasa yang tidak hanya memakan korban jiwa yang sangat banyak, namun juga telah berdampak sangat parah pada lingkungan.

Bencana tsunami tersebut membawa air laut dan juga sedimen serta bahan-bahan lain ke dataran yang sangat luas dan panjang, meliputi banyak negara di dunia di daerah-daerah yang dilanda tsunami tersebut. Dalam suatu studi pengujian kandungan sampel tanah di kawasan pantai di Thailand [6-8] dan Aceh [9] setelah bencana tsunami tersebut menemukan bahwa kandungan garam (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl and SO_4^{-2}) dan juga logam berat (Cd , Cu , Zn , Pb , Hg dan As) dalam sampel-sampel tanah tersebut sangat tinggi. Oleh karena itu kontaminasi garam dalam tanah di kawasan pantai yang pernah dilanda tsunami harus dimonitor secara berkala dan dibandingkan dengan tanah-tanah yang tidak pernah dilanda tsunami. Dalam studi-studi tersebut, pengujian dilakukan menggunakan teknik kimia basah [6-7], teknik *Fourier transform infrared* (FTIR) *spectroscopy*, *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *atomic absorption spectroscopy* (AAS)[8]. Teknik-teknik analitik tersebut memerlukan persiapan sampel yang rumit dan melelahkan, serta tidak memungkinkan dilakukan pengujian secara *in situ*. Sementara itu, fakta menunjukkan kawasan yang dilanda tsunami sangat luas sehingga jumlah sampel untuk dianalisa akan sangat banyak. Teknik-teknik analitik di atas jelas menjadi tidak cocok dan tidak praktis untuk tujuan ini. Oleh karena itu, sebuah teknik analitik baru yang dapat digunakan untuk inspeksi cepat polusi kawasan yang dilanda tsunami secara berkala perlu dikembangkan.

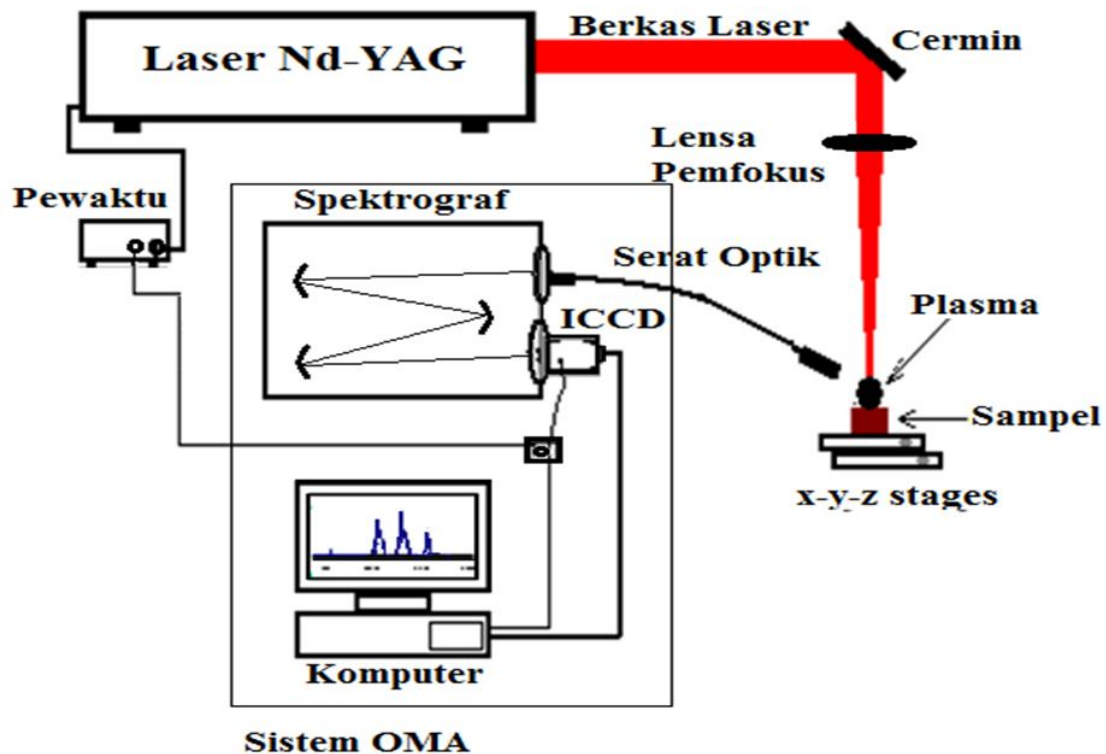
Teknik spektroskopi plasma laser (*laser-induced breakdown spectroscopy*, LIBS) adalah sebuah teknik analitik baru yang sedang berkembang pesat dan diperkirakan akan menjadi bintang masa depan teknik analitik [10]. Teknik ini dapat digunakan untuk menganalisa berbagai jenis sampel dalam berbagai fasa dengan cepat tanpa persiapan

sampel yang rumit [11-12]. Karenanya teknik berpotensi untuk digunakan pada analisa kontaminasi sedimen dalam tanah yang pernah dilanda tsunami. Pada penelitian terdahulu LIBS telah berhasil digunakan untuk mendeteksi logam berat dalam tanah [13] dan batubara [14]. Pada penelitian ini akan diuji kemampuan teknik LIBS untuk mendeteksi garam dalam tanah, dengan tujuan akhirnya adalah pendeteksian garam-garam dalam tanah yang pernah dilanda tsunami. Namun mengingat jumlah garam yang akan dianalisa cukup banyak, yaitu B, Ca, Cl, K, Mg, dan Na, dan masing-masing garam memiliki begitu banyak garis emisi spektral [15], maka pada tahap awal studi dilakukan untuk mendeteksi garam magnesium, Mg dalam tanah yang tidak dilanda tsunami untuk mengidentifikasi garis-garis emisi spektralnya. Sehingga setelah studi awal ini diharapkan dapat diidentifikasi garis-garis emisi spektral Mg yang muncul dalam spektroskopi plasma laser dan dapat digunakan untuk analisa kualitatif dan kuantitatif.

2. METODE PENELITIAN

Skema dasar susunan perangkat LIBS diperlihatkan dalam Gambar 1. Sistem LIBS ini terdiri sebuah laser neodmium yttrium aluminum garnet, Nd-YAG (Quanta Ray; LAB SERIES; $\lambda=1,064$ nm; $E=500$ mJ, $\Delta t=8$ ns, $f=10$ Hz) dan sebuah detektor optik (sebuah sistem analyzer banyak kanal (*optical multichannel analyzer*, OMA). Detektor optik initerdiri dari sebuah spektrograf (McPherson model 2061; panjang fokus 1,000 mm; konfigurasi f/8.6 Czerny-Turner) dan sebuah piranti terkopel muatan yang diperkuat (*intensified charge coupled device*, ICCD) yang memiliki 1024x256 piksel (Andor I*Star), dengan luas penampang 26-mm kuadrat (960 x 256 piksel aktif). Energi berkas laser dapat divariasikan dalam jangkauan 1 mJ sampai 500 mJ tiap pulsa dengan pengaturan tegangan masukan dioda laserpempompa. Pengaturan energi berkas laser selanjutnya dilakukan dengan menggunakan seperangkat filter sehingga energi berkas laser dibuat tetap sebesar 40 mJ selama pengukuran.

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari kawasan pertanian di daerah Aceh yang tidak terkena tsunami. Sampel tanah tersebut dikeringkan dan kemudian dibersihkan dari daun-daun dan akar-akar tanaman sedemikian rupa sehingga yang tertinggal hanya tanah saja tanpa akar atau daun-daunan. Sampel ini kemudian ditekan dan dibuat dalam bentuk pelet dengan diameter 15 mm dan ketebalan 3 mm. Pelet tanah tersebut kemudian ditempatkan pada tempat sampel dalam bilik sampel. Meskipun pada dasarnya, gas penyangga dalam bilik sampel dapat diganti sesuai keperluan, namun selama pengukuran ini, gas penyangga sekeliling sampel yang digunakan adalah udara pada tekanan 1 atmosfer, yang merupakan kondisi khas yang diadopsi dalam teknik LIBS.



Gambar 1 Susunan Perangkat Penelitian

Berkas laser difokuskan pada permukaan pelet menggunakan lensa pemfokus ($f=+150$ mm) untuk membangkitkan plasma. Emisi yang dipancarkan oleh plasma tersebut kemudian diukur dan direkam menggunakan sistem OMA. Data emisi garis-garis spektral tersebut kemudian disimpan untuk dianalisa guna mengetahui garis-garis emisi spektral garam Mg. Pengukuran dilakukan pada celah-celah pengukurandengan panjang gelombang tengah dengan perkiraan kemunculan garis-garis emisi Mg paling kuat (tinggi) intensitasnya, yaitu 380nm.

3. HASIL DAN DISKUSI

Dari hasil penelusuran pada basis data spektrum emisi atomik ditemukan ratusan garis emisi Mg. Setelah dilakukan penyaringan dengan hanya melihat garis-garis yang ada data intensitas relatifnya, maka ada 269 garis emisi dari Mg dengan intensitas relatif terendah 1 dan tertinggi 45. Garis-garis emisi ini tersebar dari panjang gelombang 200 nm sampai 900 nm [15]. Pada dasarnya tujuan akhir penelitian ini adalah untuk mendapatkan garis-garis emisi spektral Mg yang cocok untuk analisa spektrokimia, karenanya pengujian pertama telah dilakukan untuk mendeteksi garis-garis emisi spektral Mg yang

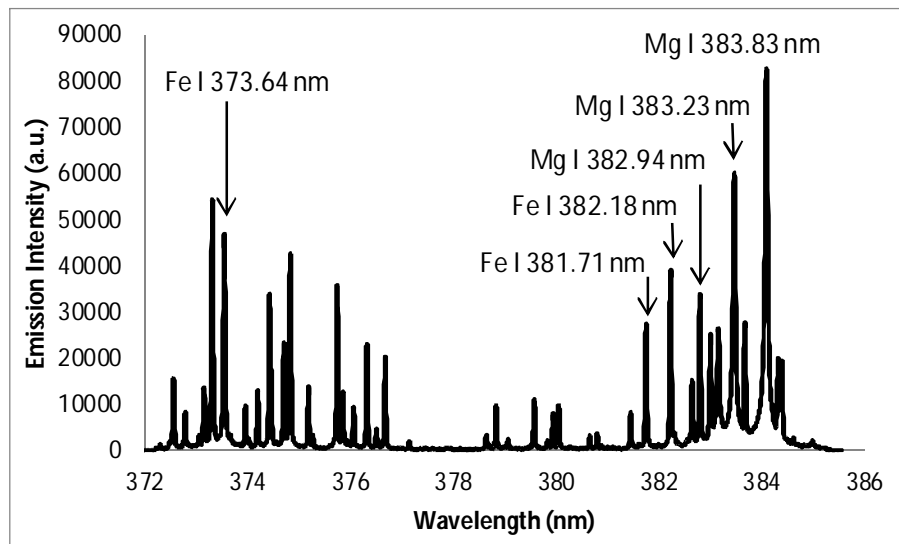
paling kuat intensitas emisinya di daerah cahaya tampak, 300-700 nm. Pada jangkauan cahaya tampak, 300 – 700 nm ada sebanyak 124 garis emisi spektral Mg dengan intensitas relatif berkisar dari 1 sampai 45. Mengingat perbedaan intensitas relatif yang sangat besar, maka pada tahap awal hanya garis-garis dengan intensitas relatif yang tinggi yang akan dideteksi. Garis-garis emisi spektral Mg dengan intensitas relatif tinggi yaitu yang memiliki intensitas relatif lebih besar dari ≥ 8 ditunjukkan dalam Tabel 1. Jumlah garis-garis emisi tersebut adalah 30 garis, yang tersebar merata dalam jangkauan panjang gelombang cahaya tampak (optik), mulai dari 309 nm sampai 682 nm, yang terdiri dari garis-garis emisi atomik (Mg I) dan garis-garis emisi ionik (Mg II).

Tabel 1 Garis-garis emisi spektral Mg dengan intensitas relatif kuat dalam jangkauan panjang gelombang cahaya tampak (300 – 700 nm) yang ambil dari basis data yang dipublikasi oleh NIST [15]

No	Ion	Panjang Gelombang (nm)	Intensitas Relatif	No	Ion	Panjang Gelombang (nm)	Intensitas Relatif
1	Mg I	309.12	20	20	Mg II	442.80	8
2	Mg I	309.30	22	21	Mg II	443.40	9
3	Mg I	309.69	24	22	Mg II	448.11	14
4	Mg II	310.47	9	23	Mg II	448.13	13
5	Mg II	310.48	8	24	Mg I	457.11	28
6	Mg I	332.99	17	25	Mg I	470.30	30
7	Mg I	333.21	19	26	Mg I	473.00	10
8	Mg I	333.67	20	27	Mg I	516.73	42
9	Mg II	353.88	8	28	Mg I	517.27	44
10	Mg II	354.95	7	29	Mg I	518.36	45
11	Mg I	382.94	36	30	Mg II	526.42	8
12	Mg I	383.23	38	31	Mg I	552.84	40
13	Mg I	383.83	40	32	Mg I	571.11	30
14	Mg II	384.82	8	33	Mg I	631.87	10
15	Mg I	398.68	8	34	Mg I	631.92	9
16	Mg I	405.75	10	35	Mg II	634.67	10
17	Mg I	416.73	15	36	Mg II	654.60	11
18	Mg I	435.19	20	37	Mg II	678.79	8
19	Mg II	439.06	10	38	Mg II	681.93	8

Gambar 2 memperlihatkan spektrum emisi yang diambil pada jangkauan gelombang pengukuran yang berpusat pada panjang gelombang 379 nm. Pada jangkauan gelombang pengukuran ini ada beberapa garis emisi atomik Mg dengan intensitas tinggi secara teoritis diperkirakan akan muncul. Sesuai dengan basis data yang

disajikan dalam tabel 1 di atas, garis-garis emisi tersebut adalah Mg I 382.94 nm, Mg I 383.23 nm dan Mg I 383.83 nm dengan intensitas relatif masing-masing adalah 36, 38 dan 40. Pada Gambar 2, terlihat bahwa ketiga garis emisi atomik Mg I tersebut dapat diamati dengan jelas dalam spektrum dimaksud dimana garis emisi Mg I 383.83 nm memperlihatkan intensitas emisi paling tinggi kemudian diikuti oleh intensitas garis Mg I 383.23 nm dan Mg I 382.94 nm yang bersesuaian dengan pola intensitas garis-garis tersebut dalam basis data NIST [15].



Gambar 2 Spektrum emisi yang dideteksi dari plasma yang diinduksi laser pada sampel tanah. Spektrum emisi ini diukur dengan jangkauan panjang gelombang yang berpusat pada panjang gelombang 380 nm.

Secara umum, seperti dilihat dalam Gambar 2, intensitas emisi ketiga garis emisi atomik Mg tersebut (Mg I 382.94 nm, Mg I 383.23 nm dan Mg I 383.83 nm) sangat tinggi. Selain garis-garis emisi Mg I, dalam Gambar 2 tersebut dapat diamati juga banyak garis-garis emisi lain. Setelah dilakukan identifikasi dan konfirmasi sebagian garis-garis emisi tersebut adalah garis-garis emisi atomik Fe I, yaitu Fe I 373.64 nm, Fe I 381.71 nm dan Fe I 382.18 nm. Garis-garis emisi atomik Fe juga memiliki intensitas emisi yang sangat tinggi dan terpisah dengan baik (isolasi) dari garis-garis emisi lain, sehingga cocok sebagai garis analit besi. Sementara garis-garis emisi atomik Mg (Mg I 382.94 nm, Mg I 383.23 nm dan Mg I 383.83 nm) meskipun memiliki intensitas tinggi namun garis-garis emisi tersebut tidak terpisah baik, ada beberapa garis emisi lainnya dengan intensitas yang lebih rendah muncul sangat dekat bahkan berhimpit dengan garis Mg I 382.94 nm, Mg I 383.23 nm dan

Mg I 383.83 nm. Hal ini berpengaruh dalam penentuan emisi latar (*background*) untuk penentuan intensitas garis emisi analit. Pada dasarnya, melakukan untuk sebuah analisa kuantitatif menggunakan teknik LIBS, garis emisi analit terbaik adalah garis emisi yang memiliki intensitas emisi yang paling tinggi, garis emisi analit tersebut tidak mengalami saturasi (kejenuhan) dan juga garis analit terpisah tersebut dengan baik dari garis-garis emisi lain (terisolasi) atau tidak ada interferensi atau tumpang tindih (berhimpit) dengan garis emisi lain. Memperhatikan garis-garis emisi atomik Mg I pada jangkauan panjang gelombang 380 nm tersebut, meskipun memiliki intensitas emisi yang sangat tinggi, namun garis-garis emisi tersebut tidak terisolasi dengan baik. Dengan demikian garis-garis Mg I pada jangkauan panjang gelombang 380 nm ini tidak cocok sebagai garis analit, sehingga perlu dilakukan pengamatan lanjutan untuk garis-garis emisi Mg lain seperti ditunjukkan dalam Tabel 1 pada jangkauan-jangkauan panjang gelombang lain.

4. KESIMPULAN

Pada studi awal ini, garis-garis emisi Mg dapat dideteksi dengan jelas pada salah satu jangkauan panjang gelombang cahaya tampak, yaitu 372 -384 nm. Namun tidak semua garis-garis tersebut dapat digunakan untuk tujuan analitik. Garis-garis Mg atomik yang berhasil dideteksi dan diidentifikasi dalam studi awal ini, Mg I 382.94 nm, Mg I 383.23 nm dan Mg I 383.83 nm, tidak cocok untuk dijadikan garis analitik, karena garis-garis emisinya tidak terisolasi dengan baik. Untuk mendapatkan garis-garis emisi Mg yang cocok untuk analisa spektrokimia, maka studi ini akan dilanjutkan pada jangkauan-jangkauan panjang gelombang lainnya pada eksperimen-eksperimen berikutnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis (Nasrullah Idris) menyampaikan terimakasih atas dukungan dana penelitian ini dari Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Pendidikan Tinggi (DIKTI) Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (KEMENRISTEKDIKTI) mulai tahun 2014 sampai tahun 2015.

6. PUSTAKA

- [1]. Hayward H E dan Berstein L. Plant-growth relationships on salt-affected soils. The Botanical Review, October–December, 1958, 24 (8-10), pp 584-635.
- [2]. Parida A K dan Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2005;60 (3): 324–349

- [3]. Zivicaa V dan Bajzab, A. Acidic attack of cement based materials: a review. Part 1. Principle of acidic attack. *Construction and Building Materials*. 2001; 15:331-340.
- [4]. Zivicaa V dan Bajzab A. Acidic attack of cement based materials: a review. Part 2. Factors of rate of acidic attack and protective measures. *Construction and Building Materials*. 2002; 16:215–222.
- [5]. Zivicaa V dan Bajzab A. Acidic attack of cement based materials: a review. Part 3: research and test methods. *Construction and Building Materials*. 2004; 18:683–688.
- [6]. Szczuciński W N, Chaimanee P, Niedzielski G, Rachlewicz D, Saisuttichai T, Tepsuwan Lorenc S and Siepak J. *Polish J. of Environ. Stud*. 2006; 15(5), 793-810.
- [7]. Szczuciński W N, Niedzielski P, Rachlewicz G, Sobczynski T, Ziola A, Kowalski A, Lorenc S and Siepak J. *Environ. Geol*. 2005; 49, 321–331
- [8]. United Nations Environment Programme (UNEP). After The Tsunami Rapid Environmental Assessment, http://www.unep.org/tsunami/tsunami_rpt.asp. 2005.
- [9]. Chaerun S K, Whitman W B, Wirth S J, and Ellerbrock R H, the 2009 National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation, Billings, MT, Revitalizing the Environment: Proven Solutions and Innovative Approaches May 30 – June 5, 2009. R.I. Barnhisel (Ed.) Published by ASMR, 3134 Montavesta Rd., Lexington, KY 40502.
- [10]. Winefordner J D, Gomushkin I B, Correll T, Gibb E, Smith B W, and Omenetto N. *Journal of Analytical Atomic. Spectrometry*. 2004; 19, 106-108.
- [11]. Cremers D A and Radziemski L J. *Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*. 2006. John Wiley and Sons, Ltd, England.
- [12]. Miziolek A W, Palleschi V, and Schechter I (Eds). *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)*. 2006. Fundamentals and Applications. Cambridge University Press, New York.
- [13]. Idris N, Kagawa K, Sakan F, Tsuyuki K dan Miura S. Analysis of heavy metal pollution in soil using transversely excited atmospheric CO₂ laser-induced plasma by trapping the soil in microstructured holes on metal subtargets. *Appl. Spectrosc*. 2007; 61 (12) 1344-1351.
- [14]. Idris N, Ramli M, Mahidin, Hedwig R, Pardede M, Suliyanti M M, Kurniawan K H. Direct Analysis of Trace Elements in Coal by Means of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). *Asian Journal of Physics*. 2012; 21(1) 25-32.
- [15]. Kramida, A., Yu. Ralchenko, J. Reader, and NIST ASD Team (2014). NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.2), [Online]. Available: <http://physics.nist.gov/asd> [2015, April 30]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI SIFAT OPTIK DARI $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$
MENGGUNAKAN SPEKTROFOTOMETER ULTRAVIOLET VISIBLE
FABRICATION AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ USED
ULTRAVIOLET VISIBLE SPECTROPHOTOMETER**

Rahmi Dewi^{1*}, Krisman¹, Detri Yulitah¹, Zuhdi²

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Riau Pekanbaru^{1*}
Kampus Binawidya Simpang Panam Pekanbaru
Prodi Fisika, FKIP Universitas Riau Pekanbaru²
drahmi2002@yahoo.com

ABSTRACT

The production of $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ (BST) with composition $x=0.1$ 0.2 and 0.3 with the difference temperature of 550 , 600 and $650^\circ C$ on glass substrat with sol-gel method has been done succesfully. The aim of this research is to obtain the absorbancy and BST substance transmittancy with difference composition and temperature. The characterization was done by using Ultraviolet-Visible spectrophotometer. For composition $x=0.1$ the maximum absorbancy value on temperature 550 , 600 dan $650^\circ C$ on each part are respectively $0.105a.u.$, $0.076a.u.$ and $0.077a.u.$ For composition $x=0.2$ the maximum absorbancy value is $0.195a.u.$, $0.174a.u.$, and $0.132a.u.$ For composition $x=0.3$ the maximum absorbancy value is $0.316a.u.$, $0.147a.u.$ and $0.108a.u.$ The maximum transmittancy value for $x=0.1$ on temperature $550^\circ C$, $600^\circ C$ and $650^\circ C$ on each part are respectively 97.9% , 97.7% and 96.6% , for composition $x=0.2$, each transmittancy value are 90.7% , 98.1% and 94.8% . Meanwhile for composition $x=0.3$ each transmittancy value is 88.5% , 80.3% and 93.7% . Those results indicate that the difference of temperature influences the absorbancy BST and the more composition of Srontium(Sr) is used, the bigger absorbancy is produced. For transmittancy value, BST is inversely proportional to absorbancy value.

Keywords: Barium Strontium Titanate, Absorbancy, Transmittancy, Annealing, Sol-Gel, Spectroscopy Ultraviolet-Visible(Uv-Vis)

ABSTRAK

Pembuatan $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ (BST) dengan komposisi $x=0,1$ $0,2$ dan $0,3$ dengan suhu yang berbeda-beda masing-masing 550 , 600 dan $650^\circ C$ pada substrat kaca dengan metode Sol-gel telah berhasil dilakukan. Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai absorbansi dan transmitansi bahan BST dengan komposisi dan suhu yang berbeda. Karakterisasi dilakukan menggunakan spektrofotometer Ultraviolet-Visible. Untuk komposisi $x=0,1$ nilai absorbansi maksimumnya pada suhu 550 , 600 dan $650^\circ C$ masing-masing adalah $0,108a.u.$, $0,132a.u.$, dan $0,076a.u.$, untuk komposisi $x=0,2$ nilai absorbansi maksimumnya $0,147a.u.$, $0,174a.u.$, $0,077a.u.$, dan untuk komposisi $x=0,3$ nilai absorbansi maksimumnya $0,316a.u.$, $0,195a.u.$, $0,105a.u.$ Nilai transmitansi maksimum untuk $x=0,1$ pada suhu 550 , 600 dan $650^\circ C$ masing-masing adalah $97,9\%$, $97,7\%$, dan $96,6\%$ dan untuk $x=0,2$ nilai masing-masing transmitansinya adalah $90,7\%$, $98,1\%$, $94,8\%$ sedangkan untuk komposisi $x=0,3$ masing-masing nilai transmitansinya adalah $88,5\%$, $80,3\%$, dan $93,7\%$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan suhu mempengaruhi absorbansi yang didapat dan semakin besar komposisi Srontium (Sr) yang digunakan maka semakin besar absorbansi yang dihasilkan dan untuk nilai transmitansi berbanding terbalik dengan nilai absorbansi.

Kata Kunci: Barium Strontium Titanat, Absorbansi, Transmitansi, Annealing, Sol-Gel, Spektroskopi Ultraviolet-Visible(UV-Vis).

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju dan semakin modern terutama dalam dunia elektronika menarik para pengguna untuk mendapatkan devais elektronik yang berukuran kecil tetapi memiliki peforma yang maksimal. Salah satu komponen elektronik yang memegang peranan penting dalam hal ini adalah lapisan tipis ferroelektrik. Penggunaan untuk fabrikasi dalam bentuk lapisan tipis dapat sangat luas dipergunakan hal ini karena sifa-sifat bahan ferroelektrik yang dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan serta mudah diintegrasikan dalam bentuk devais.

Ferroelektrik merupakan bahan dielektrik yang mempunyai polarisasi spontan serta mempunyai kemampuan mengubah polarisasi internalnya dengan menggunakan medan listrik yang sesuai. Beberapa material ferroelektrik yang sering digunakan adalah: Barium Strontium Titanate (BST), Lead Zirconium Titanate (PZT), Barium Titanate (BaTiO_3) dan Strontium Titanate (SrTiO_3) [1]. Beberapa material lapisan tipis ferroelektrik yang banyak dikembangkan oleh para peneliti pada saat ini antara lain PbSrTiO_3 , BaZrTiO_3 , BaSrTiO_3 . Barium Stronsium Titanat (BST) adalah salah satu material ferroelektrik, material ini menjadi kandidat untuk aplikasi memori, baik *Dynamics Random Access Memory* (DRAM) dan *Ferroelectric Random Access Memory* (FRAM). Material ini banyak diteliti karena mempunyai sifat-sifat yang menarik yaitu konstanta dielektrik tinggi, loss dielektrik rendah, densitas kebocoran rendah. Pada umumnya BST memiliki relaksasi dielektrik yang signifikan dan fenomena ini mempengaruhi sifat listrik dari kapasitor yang dibuat dengan bahan dielektrik [2].

Karakteristik polarisasi non-linear dari BST ketika arus listrik DC diberikan dan membentuk kurva histeresis menjadikan BST sebagai salah satu kandidat untuk tunable microwave dan phase shifter. Karakteristik sifat kelistrikan dari BST banyak dipengaruhi oleh metode pembuatan film, jenis material doping, suhu annealing dan ukuran grain [3]. Keuntungan penggunaan adalah sebagai memori permanen yang mampu menekan kehilangan informasi selama proses berulang [4].

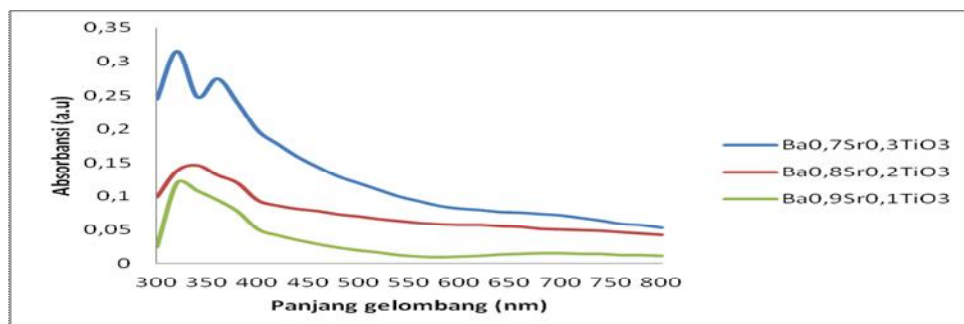
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat optik yang berupa absorbansi dan transmitansi dari bahan material $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ dengan komposisi $x=0,1;0,2$ dan $0,3$ yang dibuat diatas substrat kaca dengan metode sol-gel dan dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer Ultraviolet Visible (Uv-Vis).

2. METODOLOGI PENELITIAN

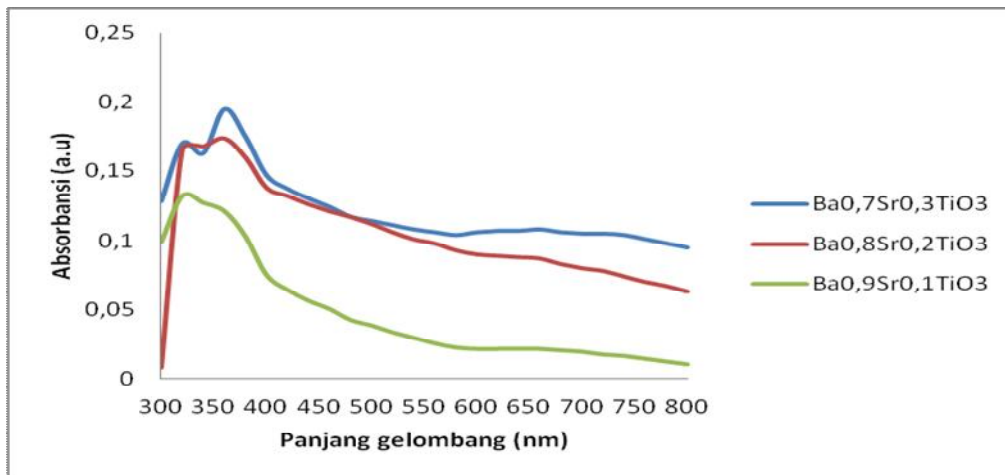
Pembuatan larutan $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ menggunakan metode sol-gel dengan komposisi $x=0,1, 0,2$ dan $0,3$ perbandingan masing-masing komposisi adalah $0,9:0,1:1$, $0,8:0,2:1$ dan $0,7:0,3:1$. Larutan $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ dibuat dengan campuran serbuk barium karbonat ($BaCO_3$), serbuk stronsium karbonat ($SrCO_3$), serbuk titanium (TiO_2) serta beberapa pelarut seperti air suling dan acetic acid dengan perbandingan $40:60$. Timbang serbuk menggunakan timbangan digital. Larutkan $BaCO_3$, $SrCO_3$ dan TiO_2 di botol kaca yang berbeda stirring masing-masing larutan sampai tercampur semua kemudian larutkan $BaCO_3$ dan $SrCO_3$ terlebih dahulu, setelah itu baru campurkan TiO_2 . Larutkan $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ pada botol kaca yang sudah berisi magnetic stirrer dan stirring masing-masing larutan diatas hot plate, setelah masing-masing larutan tercampur tambahkan acetyl acetone 5 tetes, stirring lagi sampai semua larutan tercampur kemudian teteskan BST diatas substrat kaca yang sudah disterilisasi, letakkan diatas spin coater dengan kecepatan 3500 rpm , pengaturan kecepatan dimaksudkan untuk memberikan percepatan agar larutan pada substrat BST yang ditetaskan terdistribusi homogen (rata) diseluruh permukaan substrat [5]. Setelah di spin coating panaskan sample dengan suhu 350°C kemudian furnace masing-masing komposisi BST pada suhu $550, 600$ dan 650°C . Sample yang sudah difurnace kemudian dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer Ultraviolet-Visible (Uv-Vis) dengan panjang gelombang 300 sampai dengan 800 nm .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

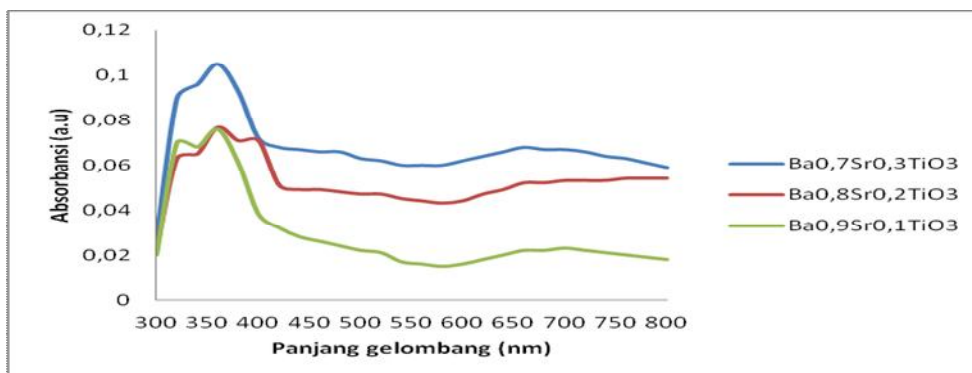
Penelitian ini membahas mengenai larutan BST dan hasil penelitian yang meliputi variasi suhu, konsentrasi dan karakterisasi hasil penelitian menggunakan spektroskopi Ultraviolet-Visible. Konsentrasi dan suhu yang berbeda merupakan salah satu cara untuk menghasilkan nilai sampel yang berbeda-beda.



Gambar 1. Spektrum absorbansi optik dari sampel $Ba_{0,7}Sr_{0,3}TiO_3$, $Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO_3$ dan $Ba_{0,9}Sr_{0,1}TiO_3$ pada suhu 550°C .



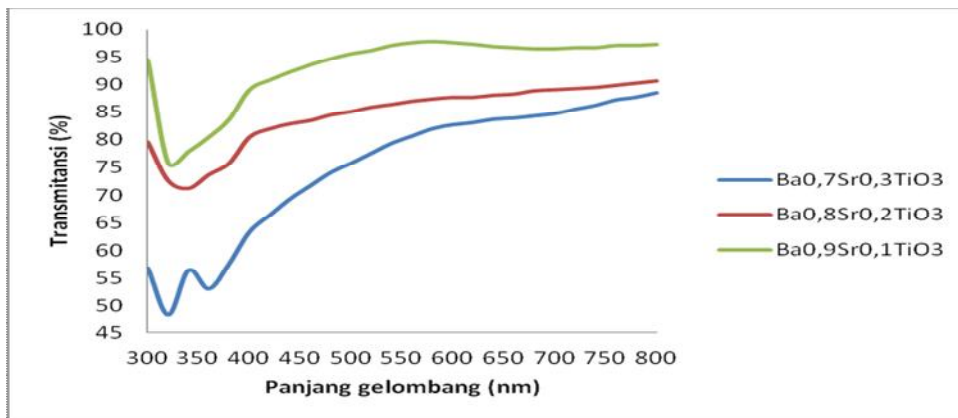
Gambar 2. Spektrum absorpsi optik dari sampel Ba_{0,7} Sr_{0,3} TiO₃, Ba_{0,8} Sr_{0,2} TiO₃ dan Ba_{0,9} Sr_{0,1} TiO₃ pada suhu 600°C.



Gambar 3. Spektrum absorpsi optik dari sampel Ba_{0,7} Sr_{0,3} TiO₃, Ba_{0,8} Sr_{0,2} TiO₃ dan Ba_{0,9} Sr_{0,1} TiO₃ pada suhu 650°C.

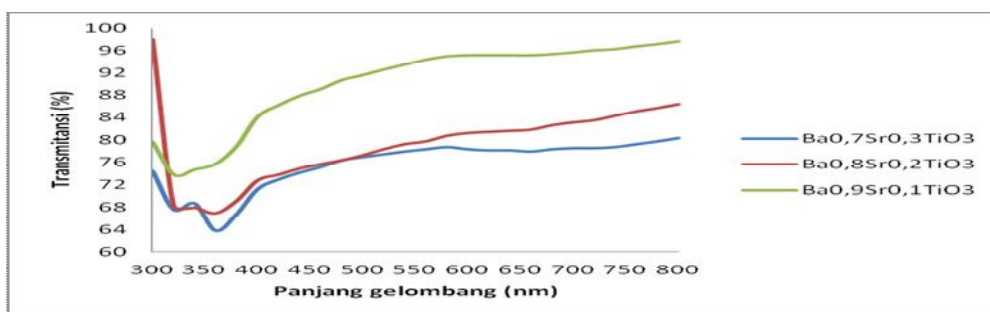
Gambar 1,2 dan 3 menunjukkan grafik hubungan absorpsi dengan panjang gelombang pada komposisi yang berbeda dengan suhu yang berbeda. Pada setiap grafik menunjukkan bahwa pada komposisi Ba_{0,7}Sr_{0,3}TiO₃ memiliki nilai absorpsi lebih tinggi. Pada suhu 550°C Gambar 1 sample Ba_{0,7}Sr_{0,3}TiO₃ memiliki nilai absorpsi tertinggi yaitu 0,316 a.u pada suhu 600°C, Gambar 2 nilai absorpsi tertingginya 0,195 a.u, Gambar 3 pada suhu 650°C nilai absorpsi tertingginya 0,105 a.u. Pada komposisi Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO₃ nilai absorpsi tertinggi pada gambar 1,2 dan 3 dengan suhu 550, 600 dan 650°C yaitu masing-masing 0,147 a.u pada panjang gelombang 340 nm, 0,174 a.u pada panjang gelombang 360 nm dan 0,077 a.u pada panjang gelombang 360 nm. Pada Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO₃ nilai absorpsi tertinggi pada Gambar 1,2, dan 3 dengan suhu 550, 600 dan 650°C yaitu masing-masing 0,108 a,u pada panjang gelombang 340 nm, 0,132 a.u pada panjang gelombang 320 nm, 0,076a.u pada panjang gelombang 360 nm.

Absorbansi yang dihasilkan semakin kecil ini karena suhu yang digunakan semakin besar, ketika suhu yang digunakan semakin besar maka nilai absorbansi semakin kecil ini disebabkan karena bahan yang telah dipanaskan menjadi lebih rapat dan pergerakan partikel-partikel semakin besar jadi cahaya yang diteruskan tidak seluruhnya diserap oleh bahan melainkan lebih banyak dihamburkan. Tinggi rendahnya absorbansi tersebut ditentukan dari banyak sedikitnya partikel atau besar kecilnya partikel, karena semakin banyak partikel dan semakin besar partikel maka absorbansinya semakin tinggi, begitu juga sebaliknya semakin sedikit partikel dan semakin kecil partikel maka absorbansinya semakin rendah. Selain pengaruh suhu ternyata perbandingan komposisi juga mempengaruhi nilai absorbansi yang dihasilkan, karena semakin besar komposisi Stronsium yang digunakan semakin besar nilai absorbansi yang dihasilkan [6].



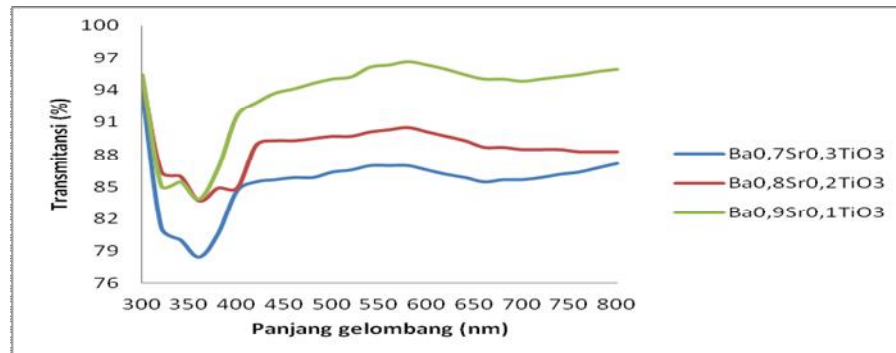
Gambar 4. Spektrum transmittansi optik dari sampel Ba_{0,7} Sr_{0,3} TiO₃, Ba_{0,8} Sr_{0,2} TiO₃ dan Ba_{0,9} Sr_{0,1} TiO₃ pada suhu 550°C.

Gambar 4 menjelaskan bahwa pada kurva Ba_{0,7}Sr_{0,3}TiO₃ nilai transmittansi tertinggi terjadi pada panjang gelombang 780 nm yaitu 87,7 %, sedangkan pada Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO₃ nilai transmittansi tertinggi nya terjadi pada panjang gelombang 300 nm yaitu 90,7 % dan pada Ba_{0,9}Sr_{0,1}TiO₃ nilai transmittansi tertingginya pada panjang gelombang 800 nm yaitu 97,9 %.



Gambar 5. Spektrum transmittansi optik dari sampel Ba_{0,7} Sr_{0,3} TiO₃, Ba_{0,8} Sr_{0,2} TiO₃ dan Ba_{0,9} Sr_{0,1} TiO₃ pada suhu 600°C.

Gambar 5 menjelaskan bahwa kurva $\text{Ba}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{TiO}_3$ nilai transmitansi tertinggi terjadi pada panjang gelombang 800 nm yaitu 80,3 % sedangkan pada $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ nilai transmitansi tertinggi nya terjadi pada panjang gelombang 300 nm yaitu 98,1 % dan pada $\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1}\text{TiO}_3$ nilai transmitansi tertingginya pada panjang gelombang 800 nm yaitu 97,7 %.



Gambar 6. Spektrum transmitansi optik dari sampel $\text{Ba}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{TiO}_3$, $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ dan $\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1}\text{TiO}_3$ pada suhu 650°C

Gambar 6 menjelaskan bahwa kurva $\text{Ba}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{TiO}_3$ nilai transmitansi tertinggi terjadi pada panjang gelombang 300 nm yaitu 93,7 % sedangkan pada $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ nilai transmitansi tertingginya terjadi pada panjang gelombang 300 nm yaitu 94,8 % dan pada $\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1}\text{TiO}_3$ nilai transmitansi tertinggi nya pada panjang gelombang 580 nm yaitu 96,6 %.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian BST menggunakan alat Spektrofotometer Ultraviolet-Visible didapatkan nilai absorbansi. Semakin tinggi suhu yang digunakan pada saat diannealing (550°C , 600°C , 650°C) maka semakin kecil nilai absorbansi yang dihasilkan. Transmittansi yang didapatkan memiliki nilai berbanding terbalik dari hasil absorbansi, semakin kecil nilai absorbansi maka semakin besar nilai transmittansinya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syafutra.H. 2008. Penguatan fotokonduktivitas berbasis berbahan ferroelektrik $\text{Ba}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{TiO}_3$ yang didadad Tantalum Pentoksida (BSTT) diatas substrat Si (100) Type-p dan substrat TCO Type-705. Skripsi. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- [2] Halder,S. 2005. Crystallization Temperature Limit of $(\text{Ba},\text{Sr})\text{TiO}_3$ Thin Films Prepared by a Non Oxocarbonate Phase Forming CSD Rout,*Journal of sol gel science and technology*, 33, 299-306.

- [3] Tae, G H. 2006. *Cu-Doping effect on the dielectric and insulation properties of so-gel derived $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ Thin film*. Journal of Korean Physical Society, Vol 49, pp.S571-S574
- [4] Seno, H.A. 2008. *Efek fotovoltaiik dan pieroelektrik $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$ (BST) yang didadah nobium (BNST) menggunakan metode chemical solution deposition*.
- [5] Rahmi D., 2009. Filem Nipis Nanozarah Barium Strontium Titanat Sebagai Sensor Jarak. Tesis Dr.Fal. Universiti Kebangsaan Malaysia.
- [6] Tian. H. Y., Helen L.W.C., Chung L.C., Kwangsoo.N 2003. *The effects of composition gradients of $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ thin films on their microstructures, dielectric and optical properties Materials science and Engineering B103 pp.246-252*

**ESTIMASI KETEBALAN STRUKTUR BATUAN DI TIKU BAGIAN UTARA
KECAMATAN TANJUNG MUTIARA KABUPATEN AGAM MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE**

**ESTIMATION OF THE ROCK STRUCTURES THICKNESS AT NORTH TIKU
TANJUNG MUTIARA AGAM USING GEOELECTRIC RESISTIVITY METHOD WITH
DIPOLE-DIPOLE CONFIGURATION**

Ira Kusuma Dewi⁽¹⁾, Adree Octova⁽²⁾, Akmam⁽³⁾

Prodi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi⁽¹⁾,
lerha.kd@gmail.com, Jl. Raya Jambi – Muara Bulian KM. 15 Mendalo Darat 36361
Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Padang^(2,3).

ABSTRACT

Tiku (Tanjung Mutiara-Agam) is located at 0.03LS and 100.22°BT. Based on the geological map in Agam regency (S.Gafoer.1996), the geological structure generally in area is alluvial deposits consisting of silt, sand and gravel. The geological map does not explain geological structure for each region. Therefore, researcher did research to find out geological structure at this area. This research did used geoelectric resistivity method with configuration of dipole-dipole to find out the thickness from each layers structure. Geoelectrical method is one of geophysical methods to learn the subsurface structure based on electrical properties of the medium. Current is injected into the earth through current electrodes and the potential difference generated is measured through potential electrodes. The measurement were conducted many as two tracks consist of five sounding points. Data are obtained from measurements are apparent resistivity and AB/2 was processed using Ipi2win software to get resistivity and the thickness of rock layer under sounding point. The result is the rock shaping geological structure at this place are iron sand, alluvial, basalt, mixture of iron sand and alluvial, mixture of gravel and silt. The thickness of rock structure is varied from 2,23 m to 70,3 m.

ABSTRAK

Tiku Tanjung Mutiara Agam terletak pada 0.03° LS dan 100.22° BT. Berdasarkan peta geologi di daerah Kabupaten Agam (S.Gafoer, 1996), secara umum struktur geologi pada daerah tersebut adalah endapan alluvial yang terdiri dari lanau, pasir dan kerikil. Peta geologi tersebut tidak menjelaskan secara jelas struktur geologi untuk masing-masing wilayah. Oleh karena itu, peneliti melakukan penelitian untuk mengetahui struktur lapisan batuan di daerah tersebut. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Dipole-dipole untuk mengetahui ketebalan dari masing-masing struktur lapisan tersebut. Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari struktur lapisan bawah permukaan berdasarkan sifat kelistrikan suatu medium. Arus diinjeksikan ke dalam bumi melalui elektroda arus dan beda potensial yang dihasilkan diukur melalui elektroda potensial. Pengukuran yang dilakukan sebanyak 2 lintasan terdiri dari 5 titik *sounding*. Data yang diperoleh dari pengukuran berupa nilai tahanan jenis semu dan AB/2 diolah menggunakan software Ipi2win sehingga diperoleh nilai tahanan jenis dan ketebalan perlapisan batuan yang terdapat di bawah titik *sounding*. Hasilnya adalah bahwa jenis batuan yang membentuk struktur geologi pada daerah tersebut adalah pasir besi, alluvial, basalt, campuran aluvial dengan pasir besi dan pasir kerikil bercampur lanau. Ketebalan dari struktur batuan bervariasi dari 2,23 m sampai 70,3 m.

Katakunci : Struktur geologi, Konfigurasi Dipole-dipole, metode Geolistrik, Ipi2win

1. PENDAHULUAN

Struktur geologi adalah bagian dari ilmu geologi yang mempelajari struktur batuan sebagai hasil dari proses deformasi. Struktur geologi tersusun atas jenis batuan dan mineral. Struktur geologi yang terbentuk dapat menentukan keadaan morfologi bumi. Keberagaman struktur geologi yang terbentuk dapat menghasilkan keadaan morfologi bumi yang berbeda.

Kecamatan Tanjung Mutiara Tiku merupakan kecamatan yang berada di Kabupaten Agam. Kecamatan ini terletak pada koordinat $0,03^{\circ}$ LS dan $100,22^{\circ}$ BT. Secara umum struktur geologi dari Nagari Tiku Bagian Utara Kecamatan Tanjung Mutiara adalah endapan alluvial yang terdiri dari lanau, pasir dan kerikil (S.Gafoer, 1996). Terdapatnya endapan sedimen yang terbentuk pada aliran sungai berupa pasir besi.

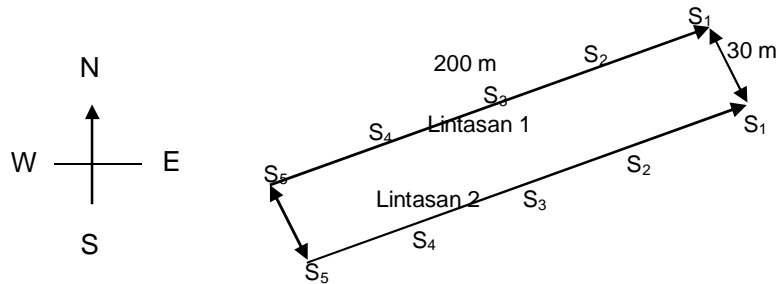
Menurut S.Gafoer (1996), adanya peta geologi yang menjelaskan struktur geologi di daerah Kabupaten Agam. Namun peta geologi tersebut belum menjelaskan secara jelas struktur geologi untuk masing-masing wilayah. Struktur geologi pada daerah Nagari Tiku Bagian Utara Kecamatan Tanjung Mutiara belum pernah diteliti sebelumnya. Hal ini dapat dilihat dengan belum adanya peta geologi yang menjelaskan struktur geologi secara detail untuk masing-masing wilayah.

Struktur geologi dapat diketahui dengan cara melakukan eksplorasi menggunakan metode geolistrik tahanan jenis. Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang cukup efektif dalam menentukan struktur bawah permukaan bumi. Caranya adalah dengan mengalirkan arus listrik ke dalam bumi dan mendeteksi responnya (berupa potensial) di permukaan. Hasil pengukuran potensial di permukaan tergantung kepada susunan elektroda yang digunakan. Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi Dipole-dipole (Telford.1976) .

Berdasarkan alasan diatas penulis melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui struktur batuan yang terdapat di Durian Kapeh Kenagarian Tiku Utara Kecamatan Tanjung Mutiara Kabupaten Agam khususnya pada daerah peneltian. Selain itu penelitian juga bertujuan untuk menentukan ketebalan dari masing-masing struktur batuan yang terdapat di lokasi penelitian.

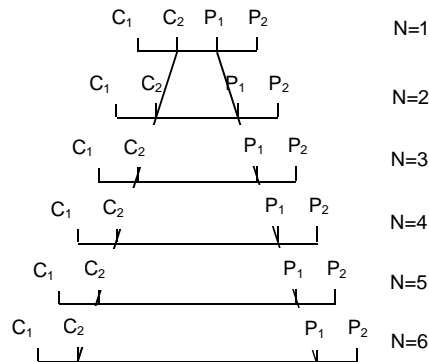
2. METODE PENELITIAN

Pengukuran yang dilakukan di dalam penelitian sebanyak 2 lintasan dengan setiap lintasan terdiri dari lima titik *sounding*. Setiap lintasan diletakkan sejajar dan berurutan yang bertujuan untuk melihat variasi sebaran nilai tahanan jenis pada masing-masing lintasan. Lintasan tersebut terletak antara barat dengan selatan atau barat daya.



Gambar 1. Rancangan Lintasan Pengukuran

Pengukuran yang dilakukan adalah *resistivity sounding*. Panjang lintasan pengukuran adalah 200 m dengan jarak antara setiap lintasan adalah 30 m. Posisi titik *Sounding 1* berada pada 0 m, *Sounding 2* pada 50 m, *Sounding 3* pada 100 m, *Sounding 4* pada 150 m dan *Sounding 5* pada 200 m.



Gambar 2. Susunan Elektroda pada *Vertikal Sounding* Konfigurasi Dipole-dipole

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabel yang diukur dalam penelitian adalah kuat arus (I) dan beda potensial (V). Setelah diukur, data tersebut dihitung untuk mendapatkan nilai faktor geometri (K) dan tahanan jenis (ρ) dengan persamaan sebagai berikut :

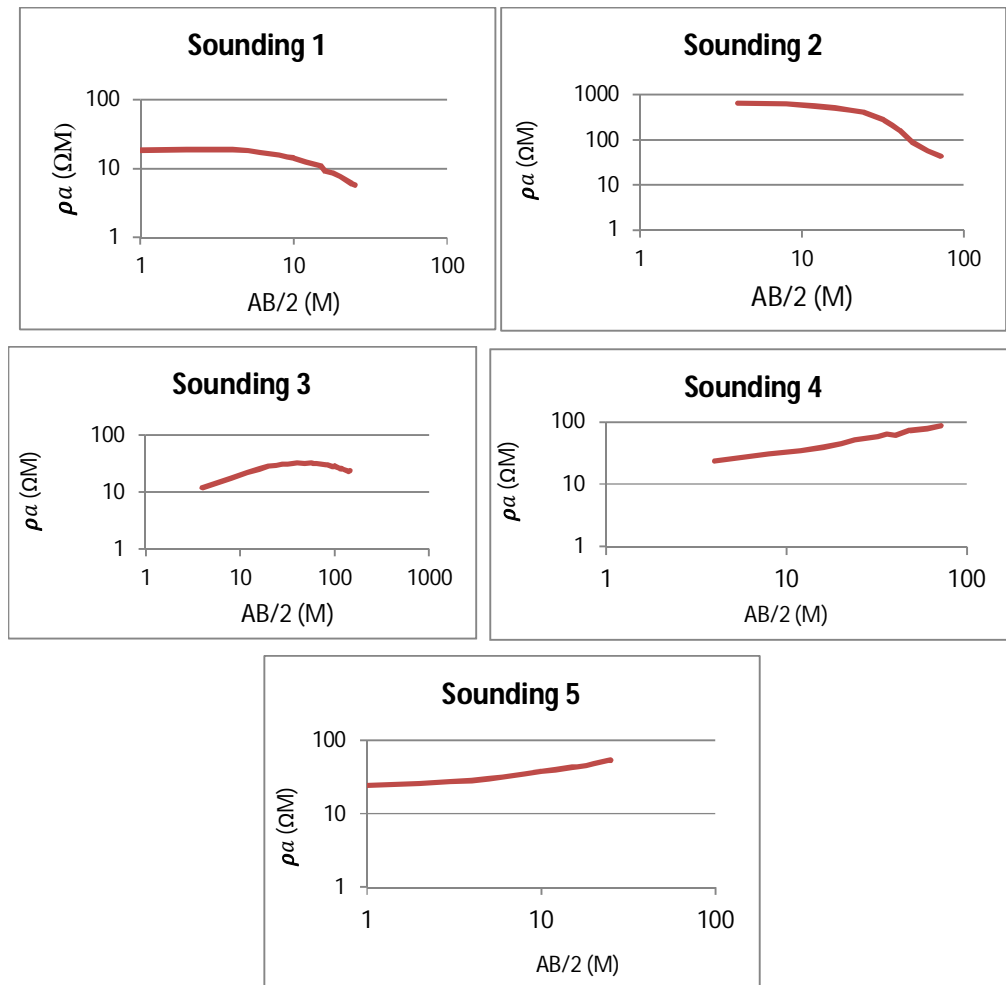
$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Jarak $AB/2$ merupakan kedalaman dari pengukuran titik *sounding* yang dilakukan. Nilai jarak antara C_2 dengan P_1 ($AB/2$) dan tahanan jenis semu (ρ_a) dimasukkan ke dalam software Ipi2win akan menghasilkan grafik hubungan antara nilai tahanan jenis semu (ρ_a) terhadap jarak antara C_2 dengan P_1 . Grafik tersebut dapat menentukan jumlah, nilai tahanan jenis semu dan ketebalan dari lapisan batuan yang terbentuk.

1. Lintasan 1

Lintasan 1 terdiri dari lima titik *sounding* yaitu S1, S2, S3, S4, S5. Arah pengukuran lintasan 1 adalah South-west. Kedalaman pada Sounding 1,2,3,4,dan 5 adalah 25 m, 72 m, 144, 72 m dan 25 m. Grafik hubungan antara tahanan jenis semu terhadap jarak antara C2 dan P1 ($AB/2$) dihasilkan dari penggunaan software Ipi2win masing-masing titik *sounding*.



Gambar 3. Grafik hubungan antara tahanan jenis semu (ρ_a) terhadap jarak C2 dengan P1 ($AB/2$) lintasan 1 *Sounding 1*, *Sounding 2*, *Sounding 3*, *Sounding 4* dan *Sounding 5*.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3 bahwa pada S1 diduga terdiri dari dua lapisan dimana lapisan pertama memiliki tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 18,39 Ωm dengan ketebalan 5,35 m. Pada lapisan kedua dengan nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 8,14 Ωm dengan ketebalan 19,65 m. Pada S2 diduga terdiri dari tiga lapisan dimana lapisan pertama memiliki tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 668,00 Ωm dengan ketebalan 5,06 m. Pada lapisan kedua nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 8,14 Ωm dengan ketebalan 17,60 m, sedangkan

pada lapisan ketiga memiliki nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 31,4 Ω m dengan ketebalan 49,34 m.

Pada S3 diduga terdiri dari tiga lapisan dimana lapisan pertama memiliki tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 11,12 Ω m dengan ketebalan 3,83 m. Pada lapisan kedua nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 36,12 Ω m dengan ketebalan 51,75 m, sedangkan pada lapisan ketiga memiliki nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 18,83 Ω m dengan ketebalan 88,42 m. Pada S4 diduga terdiri dari tiga lapisan dimana lapisan pertama memiliki tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 18,6 Ω m dengan ketebalan 2,4 m. Pada lapisan kedua nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 40,00 Ω m dengan ketebalan 12,20 m, sedangkan pada lapisan ketiga memiliki nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 117,00 Ω m dengan ketebalan 57,4 m. Pada S5 diduga terdiri dari dua lapisan dimana lapisan pertama memiliki tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 23,43 Ω m dengan ketebalan 4,11 m. Pada lapisan kedua nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 103,60 Ω m dengan ketebalan 20,89 m.

Setelah nilai tahanan jenis semu setiap lapisan diketahui maka kita dapat memprediksi jenis batuan yang menyusun lapisan tersebut. Jenis batuan tersebut dapat ditentukan berdasarkan nilai tahanan jenis yang terdapat dalam batuan dan mineral (Tabel 1). Berdasarkan penelitian Gafoer 1996 bahwa struktur geologi di daerah penelitian berupa endapan alluvial yang terdiri dari lanau, pasir dan kerikil. Dari Tabel 1, nilai tahanan jenis dari alluvial berkisar antara 30-800 Ω m dan nilai tahanan jenis insitu ditetapkan dalam antara 0,51-20 Ω m.

Tabel 1. Resistivitas Beberapa Batuan dan Mineral (Telford.1976)

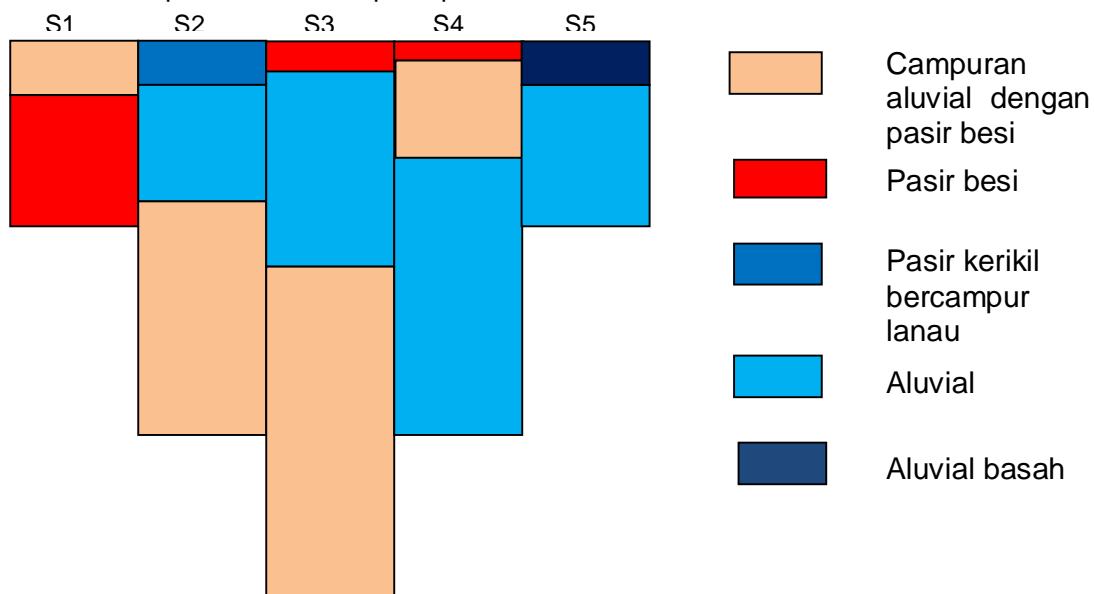
No	Batuan & Mineral	Resistivity (Ω m)	No	Batuan & Mineral	Resistivity (Ω m)
1	Hematite	$3,5 \times 10^{-5} - 10^4$	5	Campuran pasir kerikil dan lanau	300 – 2400
2	Limonite	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^7$	6	Aluvial dan pasir	30-800
3	Magnetite	$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^3$	7	Pasir berbutir kasar	2400
4	Baalt	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$	8	Air laut	0,2

Berdasarkan hasil interpretasi dari grafik yang dihasilkan pada Lintasan 1 sounding 1, 2, 3, 4, dan 5, maka kita dapat memprediksikan jenis batuan dari masing-masing lapisan. Secara singkat struktur batuan yang terbentuk pada Lintasan 1 dituliskan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Struktur Batuan yang Terbentuk pada Lintasan 1

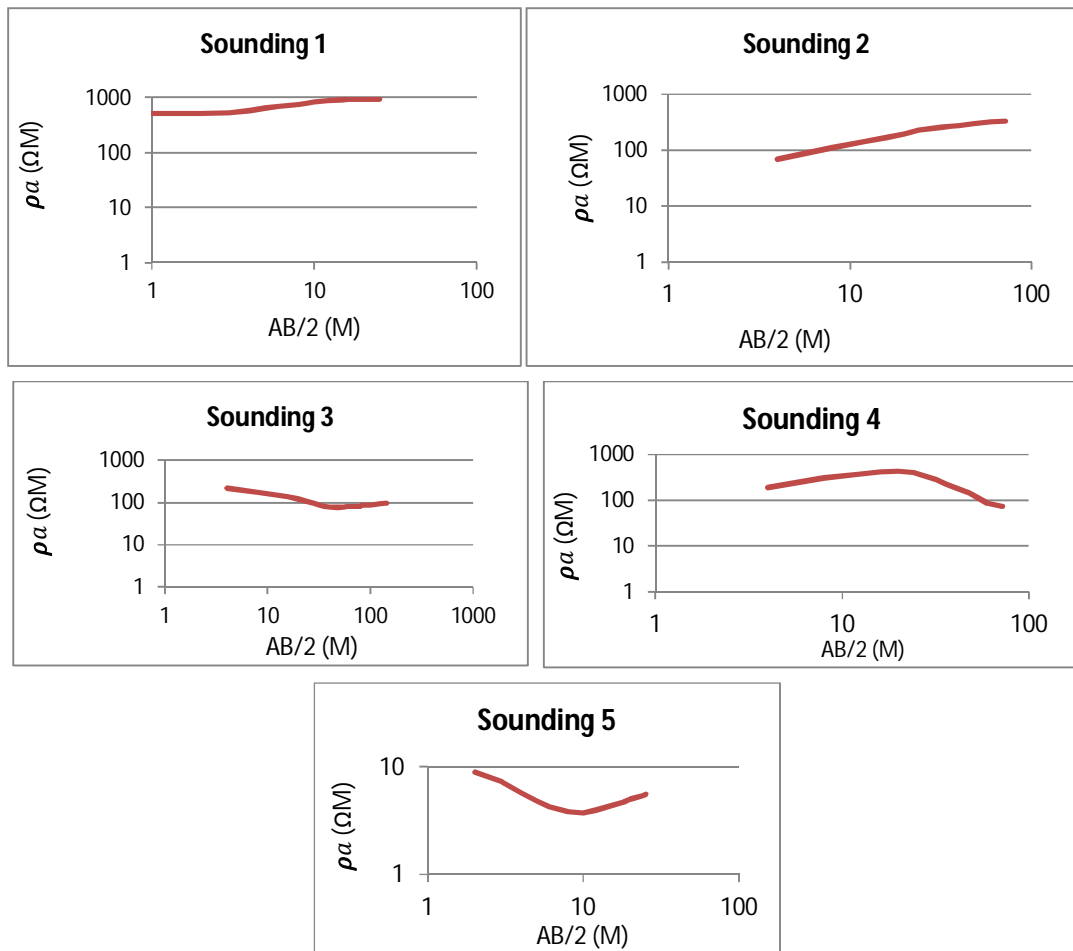
No	Titik Sounding	Lapisan ke	Ketebalan (m)	Reisitivity (ohm M)	Jenis Batuan
1	1	1	5,35	18,39	Campuran aluvial dengan pasir besi
2		2	19,65	8,14	Pasir besi
3	2	1	5,06	668	Pasir kerikil terdapat lapisan lanau
4		2	17,60	513	Aluvial
5		3	49,34	31,40	Campuran aluvial dengan pasir besi
6	3	1	3,83	11,12	Pasir besi
7		2	51,75	36,12	Aluvial
8		3	88,42	18,83	Campuran aluvial dengan pasir besi
9	4	1	2,40	18,6	Pasir besi
10		2	12,20	40,00	Campuran aluvial dengan pasir besi
11		3	57,40	117,00	Aluvial
12	5	1	4,11	23,43	Aluvial basah
13		2	20,89	103,6	Aluvial

Tabel diatas menjelaskan bahwa pada lima titik sounding yang terdapat pada lintasan 1 dengan nilai tahanan jenis semu (ρ_a) dapat diduga jenis batuan yang terdapat pada masing-masing lapisan. Pada umumnya pada lintasan 1 jenis batuan terdiri dari campuran aluvial dengan pasir besi, pasir besi, aluvial, Pasir kerikil terdapat lapisan lanau. Peta litologi batuan yang terbentuk pada lintasan 1 terlihat dengan jelas setiap lapisannya dalam Gambar 4. Pada lintasan 1 diduga banyak endapan aluvial dibandingkan dengan pasir besi dan pasir kerikil terdapat lapisan lanau.



Gambar 4. Peta Litologi Batuan pada Lintasan 1

Lintasan 2



Gambar 5. Grafik hubungan antara tahanan jenis semu (ρ_a) terhadap jarak C2 dengan P1 ($AB/2$) lintasan 2 Sounding 1, Sounding 2, Sounding 3, Sounding 4 dan Sounding 5.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 bahwa pada S1 diduga terdiri dari tiga lapisan dimana lapisan pertama memiliki tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 515,20 Ωm dengan ketebalan 3,28 m. Pada lapisan kedua dengan nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 1062,00 Ωm dengan ketebalan 14,9 m, sedangkan pada lapisan ketiga memiliki nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 80 Ωm dengan ketebalan 6,82 m. Pada S2 diduga terdiri dari tiga lapisan dimana lapisan pertama memiliki tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 64,57 Ωm dengan ketebalan 2,80 m. Pada lapisan kedua nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 415,80 Ωm dengan ketebalan 9,95 m, sedangkan pada lapisan ketiga memiliki nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 131,9 Ωm dengan ketebalan 59,25 m.

Pada S3 diduga terdiri dari tiga lapisan dimana lapisan pertama memiliki tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 273 Ωm dengan ketebalan 17,3 m. Pada lapisan kedua nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 18,7 Ωm dengan ketebalan 5,21 m, sedangkan pada lapisan ketiga

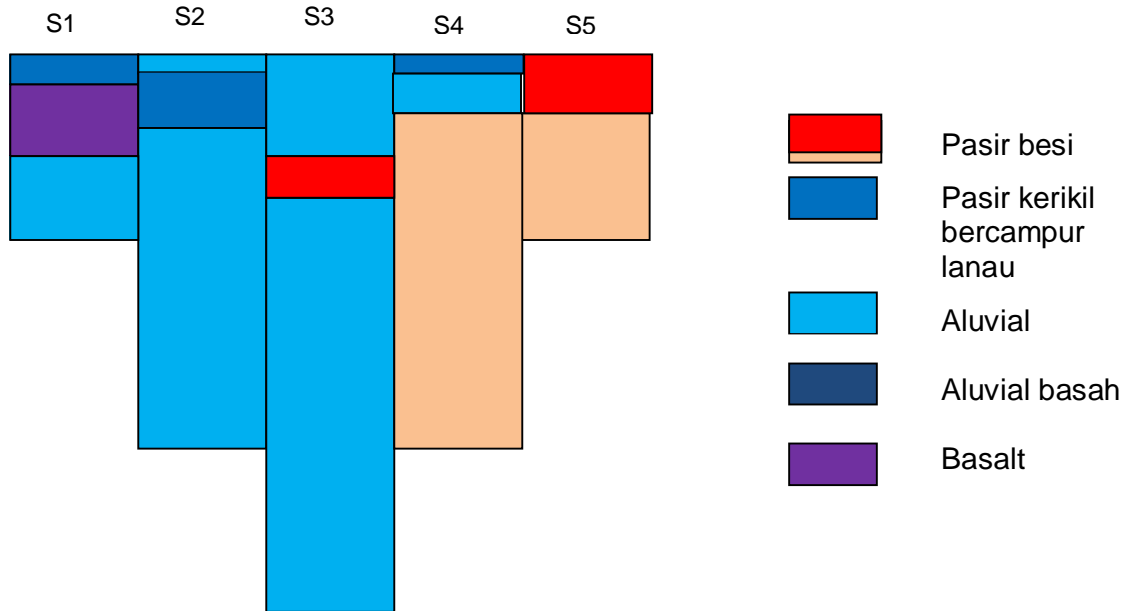
memiliki nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 103 Ω m dengan ketebalan 121,49 m. Pada S4 diduga terdiri dari tiga lapisan dimana lapisan pertama memiliki tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 116 Ω m dengan ketebalan 2,4 m. Pada lapisan kedua nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 678 Ω m dengan ketebalan 12,9 m, sedangkan pada lapisan ketiga memiliki nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 33,9 Ω m dengan ketebalan 56,7 m. Pada S5 diduga terdiri dari dua lapisan dimana lapisan pertama memiliki tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 4,41 Ω m dengan ketebalan 2,23 m. Pada lapisan kedua nilai tahanan jenis semu (ρ_a) adalah 9,35 Ω m dengan ketebalan 22,77 m.

Setelah nilai tahanan jenis semu setiap lapisan diketahui maka kita dapat memprediksi jenis batuan yang menyusun lapisan tersebut. Jenis batuan tersebut dapat ditentukan berdasarkan nilai tahanan jenis yang terdapat dalam batuan dan mineral (Tabel 1). Secara singkat struktur batuan yang terbentuk pada Lintasan 2 dituliskan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Struktur Batuan yang Terbentuk pada Lintasan 2

No	Titik Sounding	Lapisan ke	Resistivity (ohm m)	Ketebalan (m)	Jenis Batuan
1	1	1	515,20	3,28	Pasir kerikil terdapat lapisan lanau
2		2	1062	14,90	Basalt
3		3	800	6,82	Aluvial
4	2	1	64,57	2,80	Aluvial
5		2	415,8	9,95	Pasir kerikil terdapat lapisan lanau
6		3	131,90	59,20	Aluvial
7	3	1	273	17,30	Aluvial
8		2	18,7	5,21	Pasir besi
9		3	103	121,90	Aluvial
10	4	1	116	2,4	Pasir kerikil terdapat lapisan lanau
11		2	678	12,9	Aluvial
12		3	33,9	56,7	Campuran aluvial dengan pasir besi
13	5	1	4,41	2,23	pasir besi
14		2	9,35	22,77	Campuran aluvial dengan pasir besi

Tabel diatas menjelaskan bahwa pada lima titik sounding yang terdapat pada lintasan 2 dengan masing nilai tahanan jenis semu (ρ_a) dapat diduga jenis batuan yang terdapat pada masing lapisan. Pada umumnya pada lintasan 2 jenis batumannya terdiri dari campuran aluvial dengan pasir besi, pasir besi, aluvial, Pasir kerikil terdapat lapisan lanau dan basalt.



Gambar 6. Peta Litologi Batuan pada Lintasan 2

Peta litologi batuan yang terbentuk pada lintasan 2 terlihat dengan jelas setiap lapisannya dalam Gambar 6. Pada lintasan 2 diduga banyak endapan aluvial dibandingkan dengan pasir besi dan pasir kerikil terdapat lapisan lanau dan basalt.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil bahwa

1. Jenis batuan yang membentuk struktur geologi di bawah permukaan pada umumnya terdiri dari pasir besi, pasir kerikil terdapat lapisan lanau, basalt, aluvial yang bercampur air.
2. Dari hasil pengukuran ditemukan pasir besi dimana sesuai dengan yang terdapat di lokasi penelitian.
3. Ketebalan dari jenis batuan untuk masing-masing lapisan bervariasi dari ketebalan 2,4 meter sampai 17,4 meter.

SARAN

Untuk daerah dengan kedalaman geologi berupa aluvial dibutuhkan alat dengan tegangan keluaran yang besar dan dalam pengukuran geolistrik harus menghindari noise yang dapat mengganggu pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Bapak Akmam yang telah membimbing selama penelitian berlangsung. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada Dinas Pekerjaan Umum yang telah meminjamkan alat geolistrik yang dibutuhkan dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Akamam. 2002. ***Petunjuk Elastisitas Zat Padat dan Batuan Apek Geofisikanya dan Metode Geolistrik Tahanan Jenis***. Jurusan MIPA Universitas Negeri Padang

Darwis, George H. 1984. ***Structural Geology of Rock and Region***. John Wiley & Sons, Inc. Canada.

Departemen Pemerintah Kabupaten Agam. 2007. Website Pemerintah Kabupaten Agam, URL : <http://agamkab.co.id>.

Foster, J. Robert. 1976. ***Geology***. Charles E. Merrill Publishing Company, A. Bell & Howell Company. America.

S. Gafoer & T., C. Amin. 1996. Peta ***Geologi Lembar Padang***. Sumatera Barat. Bandung : Puslitbang.

Foster, J. Robert. 1976. ***Geology***. Charles E. Merrill Publishing Company, A. Be & Howell Company. America.

Karemu, Ngangsu. ***Batuan-Batuan di Bumi (Jenis dan Terbentuknya)*** [http ://GeoWacana.htm](http://GeoWacana.htm).

Mufit, F. 2005. Laporan Penelitian : Studi Sifat Magnetik pada Endapan Pasir Besi di Pantai Pariaman dan Upaya Pemanfaatannya untuk Bahan Industri Padang : Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi.

Reynold, J.M. 1997. ***An Introduction to Applied and Environmental Geophysics***. Bandung : Puslitbang.

Telford, W.M., 1976. ***Applied Geophysics***. Chambridge University Pers. London.

Hendrajaya, Lilik & Arif, Idam. 1990. ***Geolistrik Tahanan Jenis***. Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA, ITB. Bandung

PENGEMBANGAN ALAT EKSPERIMEN UNTUK PRAKTIKUM ELEKTRONIKA DASAR PADA TOPIK TRANSISTOR BIPOLAR

DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL TOOLS TO LAB WORK FOR BASIC ELECTRONICS ON THE TOPIC BIPOLAR TRANSISTOR

M. Rahmad^{1*}, Azizahwati², Ernidawati³

Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Riau, Pekanbaru^{1,2,3)}

e-mail: yemma.mr2012@gmail.com; Alamat Jl. Catra Raya Blok F.30/176 RT02 RW14
Tampan Permai, Kelurahan Tuah Karya, Pekanbaru. 28293

ABSTRACT

This research purpose to develop effective tools experiments on lab work for basic electronic on the topic bipolar transistor. The research place in the Laboratory of Physics Education FKIP, Riau University. The subject of tests as many as 14 students. Analysis of the data used is descriptive analysis by calculating the index of each indicator of the worthiness of the experimental tools. Based on the analysis of data obtained a description of the experimental tools that validator appreciate the well, which is characterized by an average score of 3.33, which means the content validity of the experimental tools is expressed very high. The average index of practicality is 3.36, it means practicality of the tools and guidance of experiments is expressed very high. Thus, the tools and guidance experiment Basic Electronics developed for application experiment transistor in this research has validity and practicalities are very high, so the tools and guidance experiment application of a bipolar transistor as a current amplifier and AC voltage amplifier, otherwise effectively used in the experiment bipolar transistors application.

Keywords : *experimental tools, bipolar transistor, amplifier, validity and practicality*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat eksperimen yang efektif untuk praktikum elektronika dasar pada topik transistor bipolar. Tempat penelitian ini di Laboratorium Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Riau. Subjek ujicoba sebanyak 14 orang mahasiswa. Analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif dengan cara menghitung indeks dari setiap indikator kelayakan alat eksperimen. Berdasarkan hasil analisis data diperoleh gambaran bahwa validator mengapresiasi alat eksperimen dengan baik, yang ditandai dengan rata-rata skor sebesar 3,33, yang berarti validitas isi dari alat eksperimen ini dinyatakan sangat tinggi. Indeks rata-rata praktikalitas sebesar 3,36 artinya praktikalitas alat dan penuntun eksperimen dinyatakan sangat tinggi. Dengan demikian, alat dan penuntun eksperimen Elektronika Dasar yang dikembangkan untuk percobaan aplikasi transistor dalam penelitian ini memiliki validitas dan praktikalitas yang sangat tinggi, sehingga alat dan penuntun eksperimen aplikasi transistor sebagai penguat arus dan penguat tegangan AC, dinyatakan efektif digunakan dalam percobaan aplikasi transistor bipolar.

Kata Kunci : *alat eksperimen, transistor bipolar, penguat, validitas dan praktikalitas*

1. PENDAHULUAN

Elektronika merupakan ilmu yang mempelajari berbagai komponen yang pada umumnya beroperasi pada arus lemah melalui pengendalian aliran elektron (muatan listrik) dalam suatu peralatan seperti komputer dan peralatan elektronik lainnya. Ilmu yang mempelajari konsep dalam komponen elektronika merupakan cabang ilmu fisika, sedangkan bentuk desain dan pembuatan sirkuit elektroniknya adalah bagian dari teknik elektro, teknik komputer, dan ilmu/teknik elektronika dan instrumentasi [1], [2].

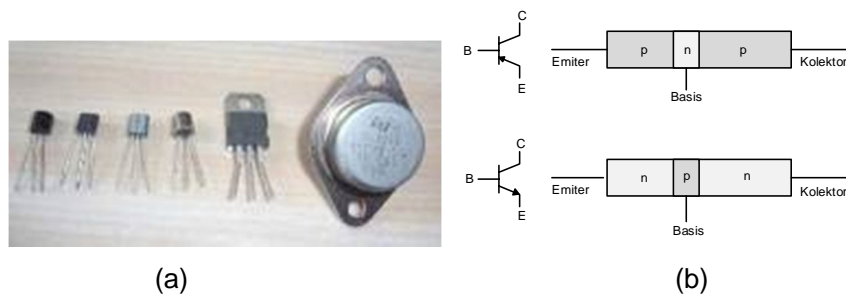
Begitu pesatnya perkembangan dunia elektronika, namun pada umumnya orang tidak mudah memahami konsep yang membangun sebuah perangkat elektronika, meskipun peralatan tersebut sudah digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Demikian juga bagi mahasiswa pendidikan fisika terdapat kecenderungan kesulitan mempelajari konsep dan rangkaian elektronika, padahal salah satu mata kuliah wajib pada kurikulum pendidikan fisika yaitu Elektronika Dasar yang disajikan 3 SKS Teori dan 1 SKS praktikum, dimaksudkan untuk menanamkan konsep-konsep dasar elektronika dari konsep teori dan rangkaian untuk dapat diaplikasikan baik dalam praktikum maupun aplikasi dalam keseharian [3]. Beberapa penyebab sulitnya mahasiswa memahami konsep elektronika dasar antara lain: 1) kurangnya perangkat alat dalam pembelajaran elektronika, 2) minimnya pengetahuan dasar konsep elektronika, 3) praktikum yang dilaksanakan ternyata masih mengalami kesulitan dan belum mampu merangkum seluruh konsep elektronika secara maksimal, 4) teori dan rangkaian elektronika cenderung dianggap sulit.

Faktor-faktor tersebut sangat berpengaruh terhadap proses dan hasil belajar mahasiswa dalam perkuliahan Elektronika Dasar. Hal ini tentu saja terkait dengan motivasi belajar mahasiswa terhadap elektronika dasar yang masih rendah. Dosen dapat menciptakan dorongan dalam proses belajar mengajar melalui metode yang menarik sehingga akan timbul motivasi, ingin bekerja keras, dan berusaha menyelesaikan tugas dengan baik [4].

Salah satu materi Elektronika Dasar yang selalu sulit dipahami mahasiswa yaitu konsep transistor bipolar terutama sekali dalam praktikum, meskipun telah dibuat suatu rangkaian aplikasi dasar transistor [5], namun belum memenuhi kriteria sebagaimana yang dikembangkan oleh tim ITB menggunakan Transistor FET [6]. Rumusan permasalahan yang mendasari penelitian ini adalah bagaimanakah pengembangan alat eksperimen yang efektif untuk pengujian aplikasi transistor bipolar? Oleh karena itu perlu dirancang alat eksperimen yang untuk praktikum elektronika dasar pada topik transistor bipolar, sebagai upaya meningkatkan kemampuan psikomotor mahasiswa dalam menggunakan alat eksperimen dan memahami rangkaian elektronika. Tujuan penelitian

ini adalah untuk mengembangkan alat eksperimen yang dapat digunakan dalam praktikum Elektronika Dasar pada topik transistor bipolar sebagai penguat arus dan penguat tegangan ac.

Transistor merupakan suatu komponen elektronika yang terbuat dari bahan semikonduktor dan dapat digunakan sebagai penguat, rangkaian *switching*, stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya seperti untuk rancangan panel surya [7]. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, dimana berdasarkan arus atau tegangan inputnya, memungkinkan pengaliran sinyal listrik yang sangat akurat dari rangkaian sumber listriknya atau adanya efek arus terobosan pada transistor [8]. Beberapa bentuk transistor bipolar dapat dilihat pada Gambar 1 (a).

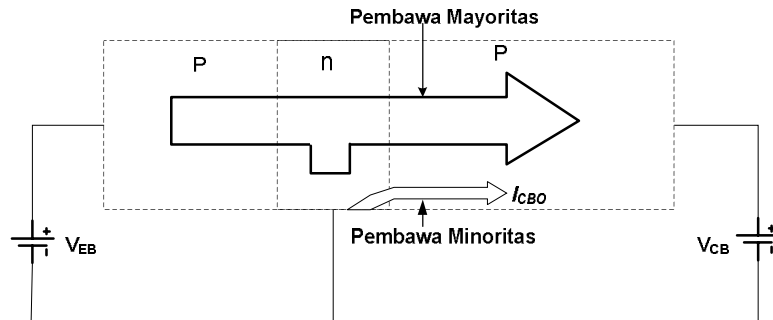


Gambar 1. Beberapa bentuk transistor bipolar dan simbolnya

Transistor terdiri dari tipe p dan diapit oleh dua bahan tipe n (transistor NPN) atau tipe n dan diapit oleh dua bahan tipe p (transistor PNP). Struktur dan simbol transistor bipolar dapat dilihat pada Gambar 1 (b). Transistor memiliki tiga terminal keluaran yaitu 1) kolektor (C) yang diberi tingkat doping sangat tinggi, 2) emitor (E) diberi doping tinggi tetapi lebih rendah dibanding kolektor, dan 3) basis (B) didoping sangat rendah. Semakin rendah tingkat doping suatu bahan semikonduktor, maka semakin kecil konduktivitasnya, hal ini karena jumlah pembawa mayoritasnya lebih sedikit [1].

Pembiasan transistor menyebabkan arus emitor (I_E) sebagian kecil dilewatkan ke basis (I_B) dan sebagian besar lainnya diteruskan kolektor (I_C). Sesuai dengan hukum Kirchhoff memenuhi persamaan $I_E = I_C + I_B$. Karena besarnya arus I_C antara 0,90 sampai 0,998 dari arus I_E , maka dalam praktek umumnya dibuat $I_E \cong I_C$. Di samping ketiga macam arus tersebut yang disebabkan karena aliran pembawa mayoritas, di dalam transistor juga terdapat aliran pembawa lainnya yang relatif sangat kecil yakni disebabkan oleh pembawa minoritas. Arus ini sering disebut dengan arus bocor atau I_{CBO} (arus kolektor basis dengan emitor terbuka). Pembiasan pada transistor umumnya diberi bias mundur V_{CB} di persambungan kolektor-basis yang akan mengalirkan arus bocor (I_{CBO}). Arus bocor ini sangat peka terhadap temperatur, yakni akan naik dua kali untuk setiap kenaikan temperatur 10°C [1]. Sedangkan diagram aliran arus I_E , I_B , dan I_{CBO} dalam

transistor dapat dilihat pada Gambar3. Pada gambar tersebut terlihat bahwa arus kolektor merupakan penjumlahan dari arus pembawa mayoritas dan arus pembawa minoritas, yaitu $I_C = I_{C \text{ mayoritas}} + I_{CBO \text{ minoritas}}$.



Gambar 2. Diagram aliran arus pada pembiasan transistor tipe PNP

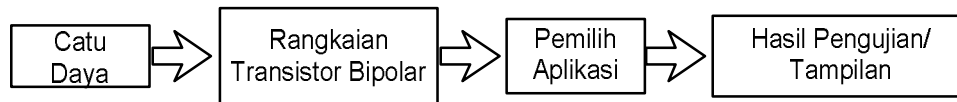
Transistor memiliki tiga konfigurasi dan untuk tingkat penguatan, konfigurasi yang banyak digunakan adalah konfigurasi common emitter, karena rangkaian tersebut memiliki penguatan h_{FE} yang lebih besar dari satu. Rangkaian common emitter pada dasarnya dapat dirangkai pada suatu *project board*, namun cenderung mengalami kesulitan dalam melakukan pengukuran. Mardhavan [9] telah merancang rangkaian untuk percobaan pada tiga konfigurasi rangkaian transistor bipolar, namun belum ditunjukkan sebagai suatu alat percobaan terpadu. Sebuah alat percobaan dikatakan efektif apabila memenuhi ketentuan dari berbagai aspek seperti aspek validitas, praktikalitas, efisiensi, keamanan dan estetika. Validitas adalah kesesuaian suatu alat untuk mencapai tujuan pembelajaran. Artinya media yang dihasilkan harus benar-benar dapat menjamin pencapaian informasi yang sesuai konsep yang dipelajari oleh peserta [10]. Validitas terdiri dari validitas isi yang menyatakan relevansi antara gejala yang dapat diamati pada penggunaan media dengan konsep yang dipelajari, dan berikutnya validitas konstruksi yaitu kesesuaian bentuk, format suatu model dengan tujuan penggunaan. Validitas konstruksi secara teknis mengacu kepada desain media.

Kepraktisan media adalah aspek yang terkait kemudahan dalam penggunaannya, seperti kemudahan mempersiapkan, menggunakan, mengemas, merawat, menyimpan dan memperbaiki jika terjadi kerusakan. Kepraktisan juga ditinjau dari kemudahan peserta menggunakan dan memahami konsep melalui media. Selain itu, beberapa aspek dalam pembuatan media/alat perlu menjadi perhatian seperti efisiensi menyangkut penghematan dari segi biaya, waktu, tempat dan tenaga. Aspek keamanan dan estetika meliputi keamanan bagi pengguna tenaga pendidik dan peserta didik. Manfaat media pembelajaran antara lain :1) menarik dan memperbesar perhatian pemakai, 2) mengurangi dan menghilangkan verbalisme, 3) mengatasi perbedaan pengalaman

belajar, 4) membantu memberikan pengalaman belajar yang sulit, dan 5) mengatasi batas-batas ruang dan waktu [11].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama enam bulan, dari bulan Juni 2014 sampai November 2014 dan lokasi penelitian di kampus Binawidya FKIP Universitas Riau. Rancangan penelitian yang digunakan adalah penelitian pengembangan *R&D (Research and Development)* yaitu studi pendahuluan, pengembangan model, dan ujicoba model [12]. Desain alat eksperimen rangkaian transistor bipolar menurut diagram blok Gambar 3. Alat dan bahan yang digunakan terdiri dari alat aplikasi transistor, multimeter digital, multimeter analog, miliampermeter, osiloskop analog, generator fungsi, dan transistor dengan berbagai tipe.



Gambar 3. Diagram blok alat eksperimen rangkaian transistor bipolar

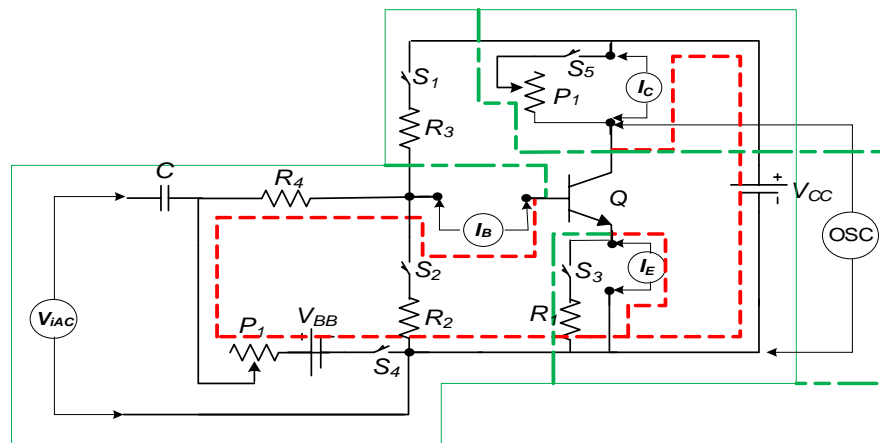
Efektifitas alat dan penuntun eksperimen pada penelitian ini berdasarkan dua aspek, yakni aspek validitas dan aspek praktikalitas. Validitas alat eksperimen divalidasi oleh tiga orang dosen pengasuh mata kuliah elektronika dasar dan validitas empiris melalui pengujian secara empiris ketepatan (akurasi) dan ketelitian (presisi) pengukuran pada setiap butir percobaan yang dikembangkan. Uji praktikalitas menyangkut tingkat kemudahan penggunaan alat dan kemudahan penuntun eksperimen oleh praktikan, penilaiannya dilakukan melalui: 1) Penilaian oleh 3 orang validator dengan pengamatan terhadap aktivitas praktikan dalam ujicoba eksperimen terbatas untuk 14 orang peserta (mahasiswa). 2) Penilaian oleh praktikan setelah melakukan ujicoba eksperimen.

Instrumen yang digunakan untuk pengujian validitas terdiri atas validitas isi dan validitas empiris, sedangkan pengujian praktikalitas alat dan penuntun eksperimen dilaksanakan dengan melakukan uji praktikalitas empiris dan praktikalitas menurut respon praktikan. Data yang diperlukan dikumpulkan melalui tiga cara yakni uji empiris, observasi dan angket. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif, yakni dengan menghitung indeks dari setiap indikator kelayakan alat eksperimen. Indikator-indikator yang digunakan untuk menentukan efektivitas instrumen eksperimen dalam penelitian ini adalah validitas dan praktikalitas menggunakan kategori: 1) sangat tinggi ($>3-4$), 2) tinggi ($>2-3$), 3) rendah ($>1-2$), dan 4) sangat rendah (≤ 1), dengan ketentuan bahwa suatu

perangkat atau instrumen percobaan dinyatakan efektif apabila dengan menggunakan perangkat tersebut tujuan percobaan dapat dicapai [13].

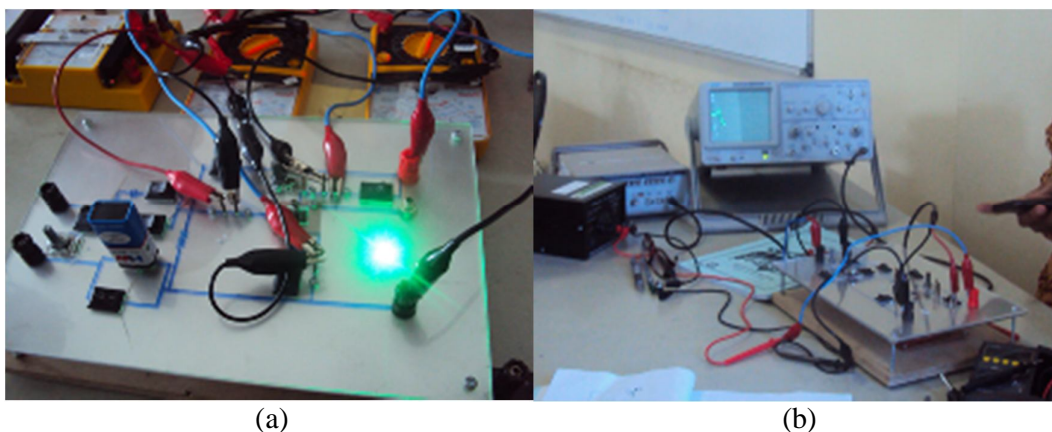
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat eksperimen Elektronika Dasar yang dihasilkan memiliki dua fungsi pengujian yakni untuk penguat arus dan penguat tegangan AC. Skematik rangkaian aplikasi transistor menurut Gambar 4. Garis merah (garis putus-putus) menunjukkan jalur transistor penguat arus dan garis hijau menunjukkan jalur transistor penguat tegangan AC.



Gambar 4. Rangkaian aplikasi transistor sebagai penguat arus dan tegangan AC.

Bentuk alat yang telah dirancang ditunjukkan pada Gambar 5 dengan Gambar 5 (a) saat pengujian sebagai rangkaian penguat arus dan Gambar 5 (b) sebagai rangkaian penguat tegangan AC.



(a) (b)
Gambar 5. Alat aplikasi transistor

Rangkaian Gambar 5 (a). digunakan untuk menguji fungsi transistor sebagai penguat arus, karena adanya perubahan kecil pada arus basis menimbulkan perubahan besar pada arus yang mengalir dari kolektor ke emiter transistor. Perbandingan arus

kolektor dengan arus basis merupakan besar penguatan arus (h_{FE}). Pengukuran nilai I_c dan I_e untuk tiap I_b diperoleh dengan memutar tahanan variabel, dengan hasil pengukuran menurut Tabel 1. Hasil pengujian alat aplikasi transistor sebagai penguat arus dengan menggunakan transistor BC 417 diperoleh nilai penguatan 128,2 hingga 131,4. Nilai tersebut mendekati penguatan rata-rata transistor BC 417 yakni 133.

Tabel 1. Hasil pengukuran arus dengan alat aplikasi transistor

No	Pengukuran Arus			Penguatan
	$I_b(\mu A)$	$I_c(mA)$	$I_e(mA)$	h_{FE}
1	800	104,0	105,0	130,00
2	790	102,0	102,2	129,10
3	780	100,0	100,1	128,20
4	760	98,0	99,0	128,95
5	720	95,0	95,0	131,94
6	700	92,0	92,1	131,40
7	680	88,5	88,2	130,10
8	670	88,0	88,0	131,30

Gambar 5 (b) yang merupakan rangkaian aplikasi transistor sebagai penguat tegangan AC untuk menguji fungsi transistor sebagai penguat tegangan AC, dengan menambahkan tahanan beban pada bagian kolektor. Jika terjadi perubahan arus basis, maka terjadi penguatan arus kolektor yang dipengaruhi oleh tahanan beban. Pada pengujian alat sebagai penguat tegangan AC, digunakan generator fungsi sebagai sinyal masukan ac. Tegangan masukan, dan tegangan keluaran diukur dengan menggunakan osiloskop untuk R_L yang berbeda-beda. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran tegangan ac pada frekuensi 100 Hz

No	$R_L(k\Omega)$	$V_i(volt)$	$V_o(volt)$
1	266,7	0,16	0,64
2	286,6	0,16	0,58
3	293,4	0,16	0,68
4	296,2	0,16	0,71

Berdasarkan hasil pengujian sebagai penguat tegangan AC didapatkan bahwa penguatannya tergantung dari besarnya harga R_L (potensiometer) dan untuk transistor BC 417 mampu memperkuat sinyal masukan hingga empat kali.

Melalui penelitian ini, revisi telah dilakukan sesuai dengan saran dan opini kontributor, hingga dihasilkan alat eksperimen sebagai produk akhir penelitian. Pada tahap akhir, kontributor menyatakan telah merasa puas dengan capaian yang diperoleh. Oleh karena itu produk penelitian dapat dinyatakan layak untuk digunakan dalam eksperimen. Pengujian kelayakan dilakukan melalui analisis data pada dua aspek yakni validitas dan praktikalitas.

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh bahwa para validator memberikan apresiasi yang sangat tinggi terhadap alat eksperimen, yang ditandai dengan rata-rata skor sebesar 3,33. Berdasarkan tabel kategori validitas isi, maka perangkat percobaan ini dinyatakan sangat tinggi. Selanjutnya hasil pengumpulan data secara empiris, diperoleh hasil analisis seperti pada Tabel 4.

Tabel 3. Rekapitulasi validitas isi

No	Indikator	Skor ^{*)}			Rata-rata
		V ₁	V ₂	V ₃	
1	Keberfungsian	3	3	3	3,00
2	Ukuran Instrumen	4	3	4	3,67
3	Kesederhanaan	3	3	3	3,00
4	Kemudahan	3	3	3	3,00
5	Keamanan	3	3	3	3,00
6	Ketepatan	3	3	3	3,00
7	Nilai ekonomis	4	4	4	4,00
8	Nilai edukatif dan psikologis	4	4	4	4,00
Rata-rata					3,33

^{*)} Skor oleh validator V₁, V₂ dan V₃

Tabel 4. Rekapitulasi validitas empirik.

No	Aspek Yang Diamati	Akurasi	Presisi	Validitas
1	Pengukuran arus basis	T	T	T
2	Pengukuran arus kolektor	T	T	T
3	Pengukuran arus emitor	T	T	T
4	Penguatan arus	ST	ST	ST
5	Pengukuran tegangan masukan	ST	ST	ST
6	Pengukuran tegangan keluaran	T	T	T
7	Pengukuran frekuensi masukan	ST	ST	ST
8	Pengukuran frekuensi keluaran	T	T	T

Berdasarkan Tabel 3 dan 4, diperoleh bahwa prototip alat eksperimen aplikasi transistor yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat dinyatakan valid untuk eksperimen aplikasi transistor sebagai penguat arus dan tegangan AC. Selanjutnya hasil penilaian praktikalitas oleh validator pada ujicoba eksperimen terbatas, sesuai Tabel 5.

Melalui hasil analisis pada tabel 5, diperoleh bahwa validator mengapresiasi alat eksperimen dengan baik, yang ditandai oleh indeks praktikalitas rata-rata sebesar 3,40. Selanjutnya berdasarkan hasil pengumpulan data melalui angket respon/opini praktikan terhadap alat dan penuntun eksperimen, diperoleh bahwa aspek yang dirasakan masih mengalami sedikit kesulitan dalam penggunaan alat karena dalam satu alat tersebut terdapat dua fungsi sehingga praktikan harus memahami jalur masing-masing terlebih dahulu, namun secara umum praktikan memberikan respon yang tinggi. Data dan analisis respon praktikan terhadap alat dan penuntun eksperimen yang diujicobakan dalam penelitian ini terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Penilaian praktikalitas oleh praktikan

No	Deskripsi	Skor rata-rata
1.	Alat eksperimen mudah digunakan	3,00
2.	Gejala fisis yang dipelajari mudah diamati	3,36
3.	Gejala fisis yang muncul sesuai konsep pelajaran	3,36
4.	Arus basis dapat diukur dengan mudah	2,75
5.	Arus kolektor dapat diukur dengan mudah	3,29
6.	Arus emitor dapat diukur dengan mudah	3,29
7.	Tegangan masukan dapat diukur dengan mudah	3,50
8.	Tegangan keluaran dapat diukur dengan mudah	3,50
9.	Alat eksperimen membantu pemahaman konsep	3,36
10.	Panduan pengoperasian alat mudah dipahami dan dilaksanakan	3,14
Rata-rata		3,26

Tabel 6 menunjukkan bahwa praktikalitas perangkat praktikum penilaian praktikan dikategorikan sangat tinggi. Hasil analisis data praktikalitas empiris dan respon praktikan, diperoleh indeks rata-rata praktikalitas sebesar 3,26. Sesuai dengan kriteria yang ditetapkan pada penilaian pada aspek ini, maka praktikalitas alat dan penuntun eksperimen dapat dinyatakan sangat tinggi.

Berdasarkan analisis data yang telah diuraikan, diperoleh bahwa alat dan penuntun eksperimen yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki validitas dan praktikalitas yang sangat tinggi. Sesuai dengan kriteria penarikan kesimpulan yang ditetapkan, maka alat dan penuntun eksperimen penelitian ini dapat dinyatakan efektif dengan kategori sangat tinggi.

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Berdasarkan hasil penelitian ini, disimpulkan bahwa alat dan penuntun eksperimen aplikasi transistor sebagai penguat arus dan penguat tegangan AC yang dikembangkan telah memenuhi kriteria kelayakan untuk digunakan sebagai salah satu alat eksperimen Elektronika Dasar, ditandai dengan indeks validitas pada kategori sangat tinggi, dan indeks praktikalitas dengan kategori tinggi. Pengembangan alat dan penuntun eksperimen aplikasi transistor ini diharapkan dapat memberikan solusi dalam praktikum Elektronika Dasar pada topik transistor bipolar. Alat ini memiliki peluang untuk dikembangkan menjadi lebih baik sehingga dapat dimanfaatkan dalam eksperimen elektronika dasar. Kelemahan pada alat ini adalah kesulitan pada pengukuran arus basis karena sangat kecil, sehingga diperlukan kecermatan dan ketekunan untuk dalam pengukuran. Alat dapat dikembangkan dengan sistem koneksi yang lebih baik.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada Bapak Dekan FKIP yang telah memberikan dukungan melalui hibah DIPA FKIP Universitas Riau tahun 2014, sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Malvino, A.P. *Electronic Principles*. USA: McGraw-Hill Companies; 2007.
- [2]. Wikipedia. Transistor. 2011. (24 November 2014)diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/berkas:transistor>.
- [3]. Rahmad, M. dan Muhammad Sahal. Pengembangan Media Rangkaian Dasar Aplikasi Transistor Bipolar. Medan: Prosiding SEMIRATA Bisang MIPA BKS-PTN Wilayah Barat di; 2012.
- [4]. Budiardjo, Lily. *Hakiki Metode Instruksional*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi; 2001.
- [5]. Rahmad, M. Yessy Angelia dan Muhammad Sahal, Perancangan Rangkaian Aplikasi Dasar Transistor. *Jurnal Geliga Sains Pendidikan Fisika UR*, Pekanbaru, 2007; 1(1): 38-44.
- [6]. Tim Lab. ITB. *Karakteristik Penguat Transistor FET*. Bandung: ITB; 2014.
- [7]. Ima Maysha, Bambang Trisno, Hasbullah. Pemanfaatan Tenaga Surya Menggunakan Rancangan Panel Surya Berbasis Transistor 2N3055 dan Thermoelectric Cooler. *Jurnal Electrans*. 2013;12(2): 89 – 96. Diakses dari <http://jurnal.upi.edu/electrans>.
- [8]. Lilik Hasanah, Khairurrijal. Arus Terobosan pada Transistor Dwikutub Struktur Hetero Si/Si_{1-x}Gex/Si Anisotropik Melewati Basis Tergradasi (*Graded Base*), *Berkala Fisika*. 2010;13(2):67- 72.
- [9]. Mardhavan, B.. *Laboratory Experiment EE348EL*. California: University of Southern; 2014.
- [10]. Suharsimi Arikunto. *Dasar-dasar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara; 1999.
- [11]. Latuheru, J.D. *Media Pembelajaran*. Jakarta: Depdikbud DIKTI-PPLPTK; 1989.
- [12]. Sukmadinata, N.S. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Remaja Rosdakarya; 2007.
- [13]. Euis Sustini. *Pengelolaan dan Teknik Laboratorium Fisika*. Bandung: ITB; 2002.

**PEMBELAJARAN FISIKA UMUM I BERBASIS ARGUMENTASI ILMIAH UNTUK
MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP**
**SCIENTIFIC ARGUMENTS BASED GENERAL PHYSICS I LEARNING TO IMPROVE UNDERSTANDING
OF THE CONCEPT**

Sondang R Manurung

State University of Medan or UNIMED,
Jalan Willem Iskandar, Pasar V Medan Estate, Medan, Sumatera Utara 20221, Indonesia
sondangrina@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui gambaran respons dari partisipan terhadap pembelajaran fisika umum I berbasis argumentasi. Metode penelitian adalah *research and development* dengan 2 tahap. Metode penelitian pada tahap pertama adalah pelaksanaan studi pendahuluan tentang argumentasi ilmiah dan perencanaan terhadap mahasiswa yang mengikuti perkuliahan fisika umum I. Lokasi dan Subjek Penelitian di Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Medan, dengan melibatkan 40 mahasiswa pada semester ganjil 2013/ 2014. Artikel ini membahas tentang hasil penelitian tahap I, yaitu menjangk data- data untuk membentuk draft pembelajaran. Ada empat metode pengambilan data yaitu: kuesioner, kelompok fokus, interviu (terhadap mahasiswa dan dosen) dan kumpulan dokumen dan analisis. Hasil penelitian pada tahap pertama adalah ditemukan analisa wacana argumentasi dalam pelajaran sains didekati dari dua perspektif yang berbeda. Pertama, analisis difokuskan pada cara-cara bagaimana kualitas argumen ditentukan. Dibutuhkan kerangka analitik untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi argumentasi, dalam rangka mengetahui terjadi perubahan atau perbaikan yang terus menerus dalam pedagogis. Selain itu penting juga dikembangkan alat-alat evaluasi argumentasi peneliti bersama dosen, sehingga dosen dapat merespon diskusi mahasiswa secara formatif. Kerangka analisis yang cocok adalah model Toulmin dalam konteks ini disebut Toulmin Argument Pattern (TAP). Model ini telah digunakan sebagai dasar penentuan karakter argumentasi dalam pelajaran sains dan digunakan dalam skema pengkodean lainnya. Perangkat pembelajaran argumentasi yang diharapkan dapat dilakukan adalah: a) Sintaks Argumentasi, b) Kisi-kisi, c) Lembar Kerja Argumentatif Kelompok, d) Lembar Observasi Argumentasi Kelompok, e) Panduan berargumentasi dalam perkuliahan fisika umum I.

Kata kunci: argumentasi, kuesioner, interviu, dokumen, TAP

Abstract

The purpose of this study is to describe the response of participants to the argumentation based first general physics learning. The research method is a research and development with 2 stages. Methods of research in the first stage is the implementation of a preliminary study on scientific argumentation and planning for students who attend public physics I lectures. Location and Subject Research in the Department of Physics, State University of Medan, involving 40 students. This article discusses the results of the first stage study, namely data- capture the data to form a draft of learning. There are four methods of data collection are: questionnaires, focus groups, interviews (for students and lecturers) and a collection of documents and analysis. The results of the study are found argumentation discourse analysis in science is approached from two different perspectives. First, the analysis focused on the ways in which the quality of the arguments specified. It takes an analytical framework to identify and evaluate arguments, in order to determine changes or continuous improvement in the pedagogical. The second is important also developed evaluation tools researchers argue with the teachers, so that teachers can respond to students' formative discussions. Suitable analytical framework is a model Toulmin (1958) in this context referred to Toulmin Argument Pattern (TAP). This model has been used as the basis for determining the character of argumentation in science and used in other coding schemes. Learning device argument is expected to be carried out are: a) syntax argument, b) Grating, c) Argumentative Group Worksheet, d) Observation Sheet Argument group, e) Free argued in general physics lecture I

Keywords: argument, questionnaires, interviews, documents, TAP

Pendahuluan

Mata kuliah Fisika Umum I merupakan prasyarat bagi kelompok mata kuliah keahlian program studi pada program S-1 Program Studi Pendidikan Fisika dan Program Studi Fisika. Setelah mengikuti perkuliahan ini mahasiswa diharapkan mampu menguasai pengetahuan dasar mekanika, gerak rotasi, kesetimbangan benda tegar, usaha dan energi, momentum dan impuls, mekanika fluida, teori kinetik gas dan termodinamika (Jurusan Fisika, 2007). Salah satu tujuan mahasiswa calon guru mempelajari Fisika Umum adalah untuk mengembangkan pengetahuan, keterampilan, dan sikap percaya diri sehingga dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari dan sebagai bekal untuk melanjutkan pada jenjang selanjutnya. Pengajaran Fisika Umum juga dimaksudkan untuk pembentukan sikap yang positif terhadap fisika (Hogan & Maglienti, 2001). Pernyataan ini mengandung makna bahwa mahasiswa dapat menerapkan konsep-konsep dan prinsip-prinsip fisika dalam kehidupan sehari-hari (Bricker & Bell, 2000).

Dosen yang mengajar Fisika Umum juga diharapkan dapat menumbuhkan sikap positif terhadap fisika serta membangkitkan minat mereka terhadap fisika. Kompetensi yang diharapkan mengisyaratkan bahwa pengembangan konsep fisika dapat dicapai melalui proses pembelajaran baik di kelas maupun di laboratorium (Manurung, 2013; Carey *et al*, 1989). Perkuliahan Fisika Umum di jurusan pendidikan fisika FMIPA Unimed pada umumnya terlihat dosen-dosen masih mendominasi pembelajaran. Dosen-dosen mengajarkan materi dengan metode ceramah dan tanya jawab. Mahasiswa kurang dilatihkan untuk mampu memecahkan masalah dan permasalahan yang diberikan kurang mengacu pada masalah-masalah kontekstual yang dekat dengan kehidupan, tidak mengembangkan kemampuan "*reasoning*" (Manurung, 2011).

Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan di atas adalah tersedianya suatu program pembelajaran yang berbasis argumentasi ilmiah yang menarik dan dapat mengarahkan mahasiswa berkonsentrasi pada isi pembelajaran. Dalam pembelajaran bidang sains dikenal dua istilah yaitu penjelasan dan argumentasi (Berland & Reiser, 2009; Brudvik, ; 2006). Penjelasan adalah bagaimana dan/atau mengapa sesuatu terjadi (Chinn & Brown, 2000). Secara khusus, para ilmuwan menjelaskan fenomena dengan menentukan bagaimana atau mengapa sesuatu terjadi dengan kondisi dan konsekuensi dari peristiwa yang diamati (Nagel, 1961). Argumentasi adalah kegiatan tertulis atau lisan yang bertujuan untuk membenarkan atau membela sudut pandang untuk memperoleh suatu keputusan atau sikap (van Eemeren *et al.*, 1996., Boulter & Gilbert, 1995). Mengapa argumentasi penting di kelas sains? Sains bertujuan untuk mengembangkan pemahaman siswa, serta bagaimana sains dan saintis bekerja (Demirbag & Gunel 2014.,

Vellom & Anderson, 1999., Bell & Linn, 2000). Kegiatan argumentasi dapat digunakan dalam kelas sains untuk mencerminkan praktek (Erduran & Maria, 2008). Dalam hal ini pembelajaran dikembangkan untuk mendukung mahasiswa dalam membenarkan penjelasan mereka tentang fenomena ilmiah dengan dukungan argumentasi yang kuat. Erduran *et al* (2004), Kuhn & Udell (2003), dan Toulmin (2003) menyatakan kemampuan argumentasi yang kuat apabila memiliki komponen-komponen argumentasi dalam TAP. Pembelajaran berbasis argumentasi dapat meningkatkan kemampuan berpikir penalaran, meningkatkan profesi guru sains, meningkatkan literasi sains (Kuhn, 2010).

Metode Penelitian

Metode penelitian pada tahap pertama adalah pelaksanaan studi pendahuluan tentang argumentasi ilmiah dan perencanaan terhadap mahasiswa yang mengikuti perkuliahan fisika umum I. Lokasi dan Subjek Penelitian di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Medan, dengan melibatkan 40 mahasiswa pada semester ganjil 2013/2014. Subjek penelitian yang terdiri dari mahasiswa ini dibagi menjadi delapan kelompok yang terdiri dari lima orang mahasiswa untuk setiap kelompoknya. Dari penelusuran daerah asal mahasiswa yang mengikuti perkuliahan fisika umum I diketahui bahwa sebagian besar mahasiswa tersebut berasal dari suku Batak dan Melayu yang tersebar dari beberapa daerah seperti Tapanuli, Mandailing, Karo, Langkat, Simalungun, Deli Serdang dan Binjai. Pada umumnya penduduk di daerah memiliki sifat dan sikap lebih terbuka dalam menyampaikan suatu tanggapan dan argumentasi pada saat berkomunikasi. Selain itu, penduduk setempat juga lebih vokal dan bersuara keras dalam berkomunikasi. Indikator dan Instrumen Penelitian, Pada tahapan studi pendahuluan dikembangkan instrumen yang diperlukan untuk studi lapangan seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Instrumen Tahapan Penelitian

Aspek	Indikator	Sumber data	Instrumen	Waktu
Persepektif sosiokultural dalam berargumentasi pada mata kuliah fisika umum I Jurusan Fisika Unimed	Discourse move terkait dengan argumentasi ilmiah	Proses perkuliahan	Lembar observasi (pengamatan) yang dilakukan oleh pakar pendidikan	Pada saat perkuliahan dengan topik Usaha dan Energi
Sikap dan pandangan Dosen	Sikap dan pandangan dosen terhadap pelaksanaan perkuliahan berbasis argumentasi ilmiah	Dosen	Lembar angket dan wawancara	Sebelum implementasi model Argumentasi

Sikap dan pandangan Mahasiswa	Sikap dan pandangan Mahasiswa terhadap pelaksanaan perkuliahan berbasis argumentasi ilmiah	Mahasiswa	Lembar angket dan wawancara	Sebelum implementasi model Argumentasi
Argumentasi ilmiah dalam pelaksanaan perkuliahan	Pemanfaatan kegiatan argumentasi ilmiah dalam perkuliahan	Proses perkuliahan Dosen dan mahasiswa	Lembar observasi Kuisiner Rambu-rambu Wawancara	Sebelum implementasi model argumentasi ilmiah

Dimodifikasi dari Robert & Campbell, 2013

Hasil Penelitian

Lembar Tanggapan Argumentatif Awal (LTAA) diberikan kepada tiga pakar yang berkompeten di bidang asesmen dan materi fisika umum, dan diperoleh beberapa catatan penting tentang saran dan tanggapan terhadap pengembangan model argumentatif seperti ditunjukkan pada Tabel 2 yang dirangkum dari hasil wawancara dan pengisian lembar tanggapan

Tabel 2. Tanggapan dan saran Pakar terhadap model pembelajaran berbasis Argumentasi ilmiah

Substansi	Pakar 1	Pakar 2	Pakar 3
Sintak Argumentasi	Lebih tepat jika disusun sintaks argumentasi yang disesuaikan dengan perkuliahan	Upayakan menggunakan kalimat yang lebih efisien	Integrasikan pembelajaran berbasis argumentasi pada RPP. Sesuaikan terhadap alokasi waktu perkuliahan
Kisi-kisi	Sangat diperlukan indikator keterampilan berargumentasi ilmiah	Kisi-kisi dalam hal argumentasi ilmiah disesuaikan terhadap kompetensi dasar pada mata kuliah fisika umum I	Kisi-kisi argumentasi ilmiah supaya disesuaikan dengan sintak pembelajaran
Lembar Kerja Argumentatif Kelompok	Disusun instrumen kerja yang mendukung pengembangan argumentasi ilmiah mahasiswa	Dikembangkan aktifitas yang mendukung sikap argumentatif peserta kuliah	Sesuaikan dengan kondisi dan latar belakang peserta kelompok
Lembar Observasi Argumentasi Kelompok	Sangat diperlukan untuk mengetahui aktifitas nyata peserta kelompok	Gunakan skala pengukuran observasi secara umum	Dilengkapi dengan pilihan kalimat atau aktifitas yang dapat menggambarkan kondisi dan arah sikap argumentasi ilmiah
Panduan berargumentasi dalam perkuliahan	Diperlukan pengantar dan arah rambu-rambu dalam	Sebaiknya ditanamkan dan dibudayakan dalam setiap perkuliahan pada umumnya	Sebagai tahap awal diharapkan jadi model untuk semua perkuliahan berbasis sains.

Substansi	Pakar 1	Pakar 2	Pakar 3
fisika umum I	berargumentasi ilmiah		
Tanggapan lainnya	Implementasi dalam pelaksanaan perkuliahan berbasis argumentasi ilmiah sangat dinanti sebagai hasil yang telah dibakukan	Studi pendahuluan diharapkan lebih tajam ditelaah yang selanjutnya dilakukan analisis secara mendalam melalui diskusi dengan beberapa ahli dan pakar lainnya. Perlu juga dilakukan uji coba terhadap beberapa subjek untuk memperoleh ketajaman model.	Ini masih merupakan studi awal. Diperlukan jalan panjang untuk memperoleh pengakuan akademik.

Secara umum validator tersebut menilai bahwa pembelajaran berbasis argumentasi ilmiah di kelas inkuiri sangat diharapkan dapat mengubah paradigma berpikir mahasiswa sehingga konsep-konsep yang terkandung dalam mata kuliah akan lebih mudah dapat dipahami. Dari ke-lima substansi yang diajukan peneliti untuk ditanggapi validator diperoleh hasil bahwa argumentasi ilmiah sangat perlu untuk dikembangkan dalam pelaksanaan perkuliahan khususnya fisika umum I. Validator juga mengharapkan ada suatu panduan khusus tentang argumentasi ilmiah pada mata kuliah fisika umum I. Dalam hal ini, argumentasi ilmiah yang akan dikembangkan supaya disesuaikan dengan kompetensi dasar pada materi fisika umum I. Diperlukan juga indikator-indikator untuk keterampilan berargumentasi ilmiah sehingga dalam pelaksanaan berargumen dapat mencapai tujuan pembelajaran yakni memahami konsep fisika umum I. Untuk dapat mengukur suatu aktifitas dapat dinyatakan telah sesuai dengan pengembangan argumentasi ilmiah tentu diperlukan lembar observasi. Lembar observasi ini diperuntukkan pada pengamatan kelompok yang dibentuk. Lembar observasi tersebut harus disusun sesuai pada kondisi kelas, kelompok dan dapat memudahkan pengamat memberi penilaian terhadap aktifitas yang diamati. Hasil pada tahap penelitian awal ini juga telah dikonfrontasi dengan studi literatur dari Erduran *et al* (2004) yang menyatakan bahwa seluruh wacana argumentasi yang berkembang dapat diakses dengan menggunakan *coding system* untuk mempermudah ketika mengakses keterampilan argumentasi individu dan kelompok yang berkembang dalam wacana argumentasi, dimana posisi anggota kelompok mengelilingi *standpoint*. Pernyataan claim dikodekan dengan menarik garis dari anggota kelompok menuju standpoint atau menuju anggota kelompok lainnya. Komponen argumentasi yang berkembang ditulis dengan lambang huruf (K = *Claim*, CK = *Counter Claim*, W = *Warrant*, B = *Backing* dan R = *Rebuttal*). Teknik pengkodean dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pengkodean dalam Asesmen Argumentatif

Kode huruf	Makna	Deskripsi	Fitur linguistic
K/CK	Claim/ Counter Claim	Bila anggota mengembangkan claimnya berdasarkan standpoint	Saya setuju dengan..... Saya mendukung..... Menurut saya..... sudah tepat..... Atau Saya tidak setuju..... Saya tidak sependapat dengan..... Menurut saya..... tidak sesuai.....
W	Warrant	Bila anggota membuat jaminan sebagai pembenaran claim yang dibuatnya	Saya setuju dengan..... karena..... Mengapa saya mendukung..... karena..... Hal yang membuat saya tidak setuju adalah.....
B	Backing	Bila anggota menyajikan data-data atau fakta untuk mendukung warrant yang dibuatnya	Berdasarkan yang pernah saya alami.... Menurut apa yang terdapat di buku.... Bila kita lihat fakta-fakta tentang.... Dari teori yang saya baca.... Saya pernah mendengar tentang.... Fenomena/data/fakta berikut ini membuktikan....
R	Rebuttal	Bila anggota melakukan penyanggahan terhadap pernyataan anggota lainnya	Saya tidak setuju.... Saya tidak sependapat dengan.... Menurut saya.... Tidak sesuai Pernyataan anda nampaknya tidak tepat....
RW	Rebuttal terhadap Warrant	Bila anggota melakukan penyanggahan terhadap warrant anggota lainnya	Saya tidak setuju dengan alas an anda.... Dasar yang anda kemukakan nampaknya tidak mendukung....
RB	Rebuttal terhadap Backing	Bila anggota melakukan penyanggahan terhadap backing anggota lainnya	Sebenarnya saya setuju dengan alas an hanya tentang.... Yang tidak tepat....
?	Dukungan meragukan	Bila anggota memberikan komentar terhadap pernyataan (K/W/B/R) tetapi tidak jelas atau tidak menunjukkan posisinya	Bagi saya.... Saya tidak bisa menyetujui atau tidak.... Saya tidak tahu.... Mungkin saya sependapat.... Barangkali yang benar adalah....

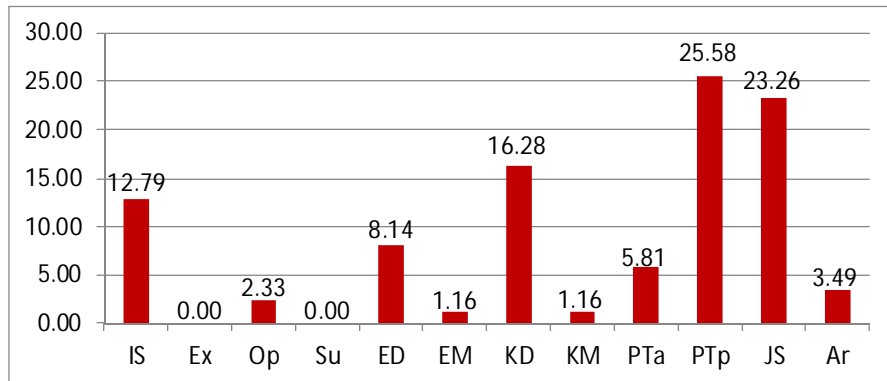
Tingkat kerumitan jalur interaksi dalam berargumentasi ilmiah menentukan kualitas pola wacana argumentasi yang dianalisis berdasarkan indikator bukti pembenaran seperti yang dikembangkan oleh Erduran et al (2004) dan Kuhn, & Reiser (2005) yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Analisis Kualitas argumentasi ilmiah berdasarkan bukti dan pembenaran (Erduran *et al.*, 2004)

Level 1	1	Argumentasi berisi argumen dengan satu <i>claim</i> sederhana melawan suatu <i>claim</i> yang melawan <i>claim</i> bertentangan lainnya
Level 2	2	Argumentasi berisi argumen dengan satu <i>claim</i> melawan suatu <i>claim</i> lain dengan data pendukung tidak berisi sanggahan
Level 3	3	Argumentasi berisi suatu rangkaian <i>claim</i> atau <i>claim</i> berlawanan dengan data pendukung dan sedikit sanggahan
Level 4	4	Argumentasi menunjukkan argumen dengan suatu sanggahan yang jelas serta memiliki beberapa <i>claim</i> dan konter <i>claim</i>
Level 5	5	Argumentasi menyajikan argumen yang diperluas dengan lebih dari satu sanggahan

Diadaptasi dari: Enderle *et al.*, 2010)

Pengembangan dan contoh penerapan sistem pengkodean dengan alur hubungan setiap komponen argumentasi akan menggunakan karakteristik *standpoint*, *sequences* (inisiasi, pengembangan, penguatan), *coding system* dan jumlah kelas. Standpoint merupakan titik awal pada strategi pengembangan argumentasi. Dalam hal ini mahasiswa diminta untuk mengembangkan argumen dalam konteks kesetujuan atau ketidak setujuan terhadap standpoint dengan mempertimbangkan komponen argumentasi ilmiah erdasarkan TAP (*Toulmin Argumentation Pattern*). Hasil Kemunculan Koding wacaba dapat ditunjukkan Gambar 1.



Keterangan:

IS	: <i>information seeking</i>	KD	: Klarifikasi Dosen
Ex	: <i>expositional</i>	KM	: Klarifikasi Mahasiswa
Op	: <i>oppositional</i>	PTa	: Pertanyaan Terbuka
Su	: <i>supportive</i>	PTp	: Pertanyaan Tertutup
ED	: Eksplanasi Dosen	JS	: Jawaban Singkat
EM	: Eksplanasi Mahasiswa	Ar	: Arahan

Gambar 1. Persentase Frekuensi Kemunculan Koding Wacana selama Perkuliahan

Hasil analisis kuantifikasi terhadap pengamatan pelaksanaan proses perkuliahan secara utuh menunjukkan bahwa hanya information seeking (12,79%) dan oppositional (2,33%) yang muncul, sementara discourse move argumentasi yang lain (expositional, supportive) tidak muncul. Dari hasil pengamatan juga diketahui bahwa jenis pertanyaan yang dikembangkan dalam perkuliahan lebih berupa pertanyaan tertutup (25,58%) dibandingkan dengan pertanyaan terbuka atau pertanyaan yang berbentuk permasalahan (5,81%). Selanjutnya ditemukan bahwa *discourse move* eksplanasi dosen lebih banyak dilakukan oleh dosen (8,14%) dibandingkan dengan eksplanasi yang dilakukan oleh mahasiswa (1,16%). Sementara untuk discourse move klarifikasi juga masih didominasi oleh dosen (16,28%), sedangkan mahasiswa melakukan klarifikasi masih jauh dibawah yang dilakukan oleh dosen yakni sebesar 1,16%. Respon mahasiswa yang berkembang masih terbatas pada jawaban-jawaban singkat yakni sebanyak 23,26% dan masih sedikit mengajukan wacana berisi argumentasi. Selain itu nampak pula bahwa dosen lebih mendominasi perkuliahan, yang ditunjukkan oleh akumulasi discourse move yang dilakukan dosen sebanyak 66,28% (hasil penjumlahan seluruh discourse move yang dilakukan dosen). Fenomena lain adalah kurang berkembangnya wacana yang merangsang mahasiswa untuk terlibat aktif dalam diskusi. Wacana didominasi oleh *discourse move* "pertanyaan tertutup" dosen yakni sebanyak 25,58%. Pertanyaan tertutup ini tidak menghasilkan jawaban yang berisi wacana argumentasi dengan dukungan pemahaman konsep, namun mahasiswa hanya memberikan jawaban singkat yang dirangkum sebanyak 23,26%.

Berdasarkan studi pendahuluan, perencanaan, pengamatan (observasi) dan penyebaran angket keseluruh mahasiswa yang mengikuti perkuliahan fisika umum I diperoleh hasil yang menggambarkan bahwa pelaksanaan pembelajaran berbasis argumentasi untuk kelas inkuiri masih hal yang baru dan perlu ditelaah lebih mendalam dan berkelanjutan untuk memperoleh metode alternatif dalam meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa khususnya mahasiswa semester satu. Menindak lanjuti keadaan ini Sandoval (2005)., Sandoval & Reiser (2004)., Kuhn & Reiser, (2006) dan Zohar & Nemet (2002) menyatakan pembelajaran sains berdasarkan argumentasi memiliki wacana argumentasi yang mengandung aspek epistemik untuk memahami konsep, memerlukan bimbingan scaffolding. Berdasarkan studi pendahuluan dari berbagai sumber diperoleh bahwa pembelajaran fisika umum berbasis argumentasi ilmiah memerlukan adanya pernyataan awal sebagai titik sentral argumentasi (*standpoint* atau *starting point*), sesuai dengan yang ditunjukkan oleh Clark & Sampson (2006) , Driver *et al* (2000) menyatakan bahwa proses selanjutnya dilakukan melalui tahapan-tahapan (*scaffolding*) **inisiasi**, **pengembangan** dan **penguatan** kemudian dianalisis dengan menggunakan pengkodean

(*system coding*). *Standpoint* atau *starting point* merupakan suatu pernyataan kontroversial yang terkait dengan tema atau materi yang sedang dibahas, sehingga dapat merangsang berkembangnya wacana argumentasi. dalam hal ini *standpoint* atau *starting point* memainkan peranan yang sangat penting dalam mengawali suatu dialektik klasikal khususnya dalam praktek argumentasi (Osborne *et al* 2004). Untuk kepentingan ini *standpoint* dalam argumentasi disesuaikan dengan materi fisika umum I yang sedang dibahas. Perangkat pembelajaran argumentasi yang diharapkan dapat dilakukan dalam studi pendahuluan ini adalah: a) Sintaks Argumentasi, b) Kisi-kisi, c) Lembar Kerja Argumentatif Kelompok, d) Lembar Observasi Argumentasi Kelompok, e) Panduan berargumentasi dalam perkuliahan fisika umum I

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Berland L, Reiser B. Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*. 2009, 93(1):26-55.
- [2]. Boulter CJ, Gilbert JK.. Argument and science education. In P. J. M. Costello & S. Mitchell (Eds.), *Competing and consensual voices: The theory and practices of argument*. Clevedon: Multilingual Matters Ltd. 1995, 23(1):207-219
- [3]. Bricker L, Bell P. Conceptualizations of argumentation from science studies and the learning sciences and their implications for the practices of science education. *Science Education*. 2008, 92: 473-498
- [4]. Bell P, Linn MC. Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*. 2000, 22 (8): 797–817.
- [5]. Brudvik C. Assessing the Impact of a Structured Argumentation Board on the Quality of Student' Argumentatif Writing Skill, Proceeding of the 14th *International Conference on Computer in Education*: 2006:141-148, Amsterdam: IOA Press
- [6]. Carey S, Evans R, Honda M, Jay E, & Unger, C. 'An Experiment Is When You Try It and See If It Works': A study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*. 1989, 11: 514-529.
- [7]. Clark D B, Sampson V. *Evaluating argumentation in science: New assessment tools*. Paper presented at the International Conference of the Learning Sciences. Bloomington, Indiana. 2006, July.
- [8]. Chinn C, Brown DE. Learning in science: A comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching*. 2000. 37(2), 109-138.
- [9]. Demirbag M, Gunel M. Integrating Argument-Based Science Inquiry With Modal Representations: Impact On Science.. Achievement, Argumentation, and Writing Skills* Educational Sciences: Theory & Practice. Tersedia: Research Center www.edam.com.tr/estp. 2010
- [10]. Driver R, Newton P, Osborne J. Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*. 2000, 84: 287-312.
- [11]. Enderle P, Walker JP, Dorgan C, Sampson V. Assessment of Scientific Argumentation in the Classroom: An Observation Protocol. *Paper presented at the 2010 Annual International Conference for the National Association for Research in Science Teaching*. Philadelphia, PA March. 2010, 22: 2010
- [12]. Erduran S, Maria, P J. *Argumentation in Science Education*, London: Springer. 2008.

- [13]. Erduran S, Simon S, Osborne J. TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*.2004, 88: 915–933.
- [14]. Hogan K, Maglienti. Comparing the Epistemological Underpinnings of Pupils' and Scientists' Reasoning about Conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*. 2001, 8(6): 663-687.
- [15]. Jurusan Fisika, MIPA Unimed . *Kurikulum Program Pendidikan Fisika FMIPA Unimed*.2007.
- [16]. Knight AM, McNeill K, Corrigan S, Barber J. Student assessments for reading and writing scientific arguments. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco.2013.
- [17]. Kuhn L, Reiser B. *Students constructing and defending evidence-based scientific explanations*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas. 2005.
- [18]. Kuhn D, Udell W. The development of argument skills. *Child development*. 2003, 74(5): 1245-1260.
- [19]. Kuhn D. Teaching and learning science as argument. *Science Education*. 2011, 94: 810-824
- [20]. Manurung S R. Laporan Field Study. Tugas Mata kuliah Pengembangan program pendidikan IPA. 2011
- [21]. Manurung S R. *Pengembangan Pembelajaran Kinematika Melalui Hiperteks Berdasarkan Pedagogi Pemecahan Masalah Bermuatan Argumentasi Toulmin*. Disertasi. .Bandung: UPI. 2013
- [22]. Nagel E. *The structure of science: Problems in the logic of science education*. New York, NY: Harcourt, Brace, & World, Inc. 1961
- [23]. Osborne J, Erduran S, Simon S. Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. *Journal of Research in Science Teaching*. 2004,41(10): 994-1020.
- [24]. Robert R., Campbell T. Constructing arguments: Investigating pre-service science teachers' argumentation skills in a socio-scientific context *Science Education International*. 2013, 24 (2): 195-211
- [25]. Toulmin, S. *The Uses of Argument*, , 2nd ed, Cambridge, England: Cambridge University Press, 2003
- [26]. Vellom R P, Anderson C W. Reasoning about data in middle school science. *Journal of Research in Science teaching*. 1999,36(2): 179-199.
- [27]. Zohar A, Nemet, F. Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*. 2002, 25: 689–725.

IMPLEMENTASI BUKU AJAR FISIKA BERMUATAN NILAI-NILAI KARAKTER PADA KELAS XI SEMESTER 1 DI SMA KOTA PADANG

IMPLEMENTATION OF PHYSICS TEACHING BOOK CONTAINED CHARACTER VALUES AT FIRST SEMESTER XI GRADE IN SENIOR HIGH SCHOOL OF PADANG.

Yenni Darvina^{1*}, Masril², Murtiani³

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang, Padang^{1*}

E-mail : ydarvina@yahoo.com , HP: 081363292084

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang, Padang²

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang, Padang³

ABSTRACT

The implementation of character education in schools has been done in the learning process. Optimal implementation can be achieved by supporting learning material contain with character values. In reality, up to now, the learning material is not optimal, especially in teaching textbooks that contain character values. Therefore, the valid, practical and effective of the teaching book contain character values are needed. The quality textbooks can be produced trough the research and development using four D models with consist of define, design, development, and disseminate. The developed teaching book is validated and then effectiveness and practicality test also carrier out. The effectiveness is determined based on the pretest and posttest. The practicality of the book is obtained using questionnaire data from the teachers. Based on the research result, the average practicalities and effectiveness is 86.1% and 61.74%, respectively. The practicalities of the book is excellent category and effectiveness have is strong influence.

Keywords : Character value, teaching materials, research and development .

ABSTRAK

Implementasi pendidikan karakter di sekolah dilaksanakan secara terintegrasi melalui proses pembelajaran. Agar pelaksanaannya lebih optimal, harus ditunjang oleh perangkat pembelajaran bermuatan nilai-nilai karakter. Namun kenyataannya di sekolah perangkat pembelajaran yang ada belum optimal, terutama dalam bentuk buku ajar yang bermuatan nilai-nilai karakter. Oleh sebab itu perlu adanya buku ajar bermuatan nilai-nilai karakter yang valid, praktis dan efektif untuk digunakan. Untuk menghasilkan buku ajar yang berkualitas maka dilakukan penelitian Pengembangan model 4-D dengan tahapan pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*development*), dan penyebaran (*dessiminate*). Sebelum dilaksanakan tahap akhir berupa penyebaran, terlebih dahulu dilakukan uji validitas oleh validator. Setelah diperoleh Buku ajar yang valid selanjutnya dilakukan uji terbatas terhadap produk Buku ajar bermuatan nilai-nilai karakter yang dibuat, sehingga diperoleh efektifitas dan praktikalitasnya. Uji terbatas dilakukan dengan statistik *one group pretest-posttest design*. Untuk mengetahui efektifitasnya digunakan tes Hasil Belajar yang diberikan 2 kali yaitu sebelum uji terbatas (*pretest*) dan setelah uji terbatas (*Postest*). Praktikalitas buku ajar diperoleh dari angket yang disebarakan pada guru yang terpilih sebagai sampel. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh rata-rata nilai praktikalitas 86,1 (kategori sangat baik) dan rata-rata nilai efektifitasnya 61,74 % (kategori berpengaruh kuat).

Katakunci: nilai karakter, bahan ajar, penelitian pengembangan

1. PENDAHULUAN

Hasil dari proses pendidikan tidak hanya dilihat dari segi prestasi yang tinggi tetapi juga dari sikap dan karakter mulia yang diperlihatkan oleh peserta didik. Pengertian karakter adalah sifat pribadi yang relatif stabil pada diri individu yang menjadi landasan bagi penampilan perilaku dalam standar nilai dan norma yang tinggi^[1]. Seseorang dikatakan berkarakter apabila sifat-sifat yang muncul dalam sikap atau perilakunya sehari-hari telah melekat pada individu tersebut.

Karakter yang melekat pada diri seseorang merupakan hasil dari pembiasaan dan juga hasil ketauladanan dalam kehidupannya sehari-hari. Oleh sebab itu karakter yang harus ditanamkan pada setiap individu adalah nilai-nilai karakter yang baik. Penanaman nilai-nilai karakter perlu dilakukan sedini mungkin, mulai dari dalam rumah tangga, masyarakat dan sekolah.

Pendidikan karakter merupakan salah satu fokus tujuan pendidikan di Indonesia. Pentingnya pendidikan karakter dikarenakan semakin menurunnya etika, moral peserta didik dan semakin maraknya kenakalan pelajar, seperti tawuran. Tujuan dari pendidikan karakter di sekolah pada dasarnya adalah membentuk bangsa yang tangguh, kompetitif, berakhlak mulia, bermoral, bertoleran, bergotong royong, berjiwa patriotik, berkembang dinamis, berorientasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang semuanya dijiwai oleh iman dan takwa kepada Tuhan yang Maha Esa berdasarkan Pancasila^[2]. Implementasi pendidikan karakter di sekolah adalah dengan cara mengintegrasikannya pada pembelajaran yang berlangsung di kelas.

Untuk mendapatkan hasil pendidikan berkarakter yang optimal dibutuhkan pendukung yang lengkap. Untuk itu semua komponen *stakeholders* harus dilibatkan, termasuk komponen-komponen pendidikan itu sendiri diantaranya adalah kurikulum, proses pembelajaran dan penilaian, penanganan atau pengelolaan mata pelajaran, pengelolaan sekolah, pelaksanaan aktivitas atau kegiatan ko-kurikuler, pemberdayaan sarana prasarana, pembiayaan, dan keterlibatan seluruh warga dan lingkungan sekolah. Salah satu sarana dalam pembelajaran berkarakter adalah berupa perangkat pembelajaran bermuatan nilai-nilai karakter, diantaranya berupa buku ajar bermuatan nilai-nilai karakter.

Seharusnya pada saat ini semua buku ajar yang digunakan di sekolah telah memasukkan nilai-nilai karakter di dalamnya. Namun kenyataannya belum seluruh buku ajar memasukkan nilai-nilai karakter. Salah satu mata pelajaran di SMA yang belum memiliki buku ajar bermuatan nilai-nilai karakter adalah Fisika. Oleh sebab itu perlu dibuat

buku ajar Fisika bermuatan nilai-nilai karakter agar pembelajaran lebih optimal. Buku ajar Fisika bernilai karakter yang diteliti dibatasi untuk SMA kelas XI Semester 1.

Rancangan buku ajar bernilai karakter yang akan dibuat adalah dalam bentuk Buku Ajar Fisika SMA Kelas XI Semester 1 yang di dalamnya terintegrasi lembar kerja siswa (LKS). Buku ajar yang akan dibuat terdiri dari beberapa komponen yang terdiri dari petunjuk belajar, kompetensi yang akan dicapai, isi materi, informasi pendukung, latihan-latihan, lembar kerja, lembar tes, kunci jawaban, dan umpan balik^[4].

Perbedaan buku ajar bermuatan nilai-nilai karakter dibanding buku ajar biasa, adalah adanya nilai-nilai karakter yang digali dari materi ajar dan nilai-nilai karakter yang harus dilatihkan selama pembelajaran yang dituliskan secara eksplisit pada buku ajar tersebut. Nilai karakter yang dimasukkan dalam buku ajar ini adalah nilai-nilai karakter yang sesuai dengan tuntutan Kompetensi Inti (KI) dan Kompetensi Dasar (KD) pada silabus mata pelajaran Fisika. Nilai-nilai karakter ini perlu dilatihkan pada peserta didik selama proses pembelajaran. Selain itu, pelaksanaan pendidikan karakter berpedoman pada nilai-nilai karakter yang ditetapkan oleh Kemendiknas. Nilai-nilai yang dikembangkan dalam pendidikan budaya dan karakter bangsa diidentifikasi dari sumber-sumber seperti Agama, Pancasila, Budaya dan Tujuan Pendidikan Nasional. Berdasarkan keempat sumber nilai itu, teridentifikasi 18 nilai untuk pendidikan budaya dan karakter bangsa seperti religius, jujur, toleransi, disiplin, kerja keras, kreatif, mandiri, demokratis, rasa ingin tahu, semangat kebangsaan, cinta tanah air, menghargai prestasi, bersahabat/komunikatif, cinta damai, gemar membaca, peduli lingkungan, peduli sosial dan tanggung jawab^[2].

Selain karakter yang telah ada di atas, pembentukan nilai-nilai karakter bangsa dapat ditambahkan dari aspek keilmuan^[3]. Aspek keilmuan digali dari materi ajar Fisika yang diberikan disekolah. Nilai-nilai karakter yang digali dari materi Fisika tersebut adalah berupa perenungan nilai-nilai karakter dari materi yang dibahas, yang ditambahkan pada akhir pembahasan suatu materi. Aplikasi dari nilai-nilai karakter yang digali dari materi Fisika dicontohkan langsung pada proses kehidupan sehari-hari. Diharapkan pembelajaran Fisika yang dilaksanakan dengan menggunakan buku ajar bernilai karakter ini akan lebih bermakna.

Kelayakan suatu buku ajar ditentukan dari kevalidan, kepraktisan dan keefektifannya. Validitas merupakan penilaian terhadap rancangan suatu produk, apakah sudah tepat. Validasi produk dapat dilakukan oleh beberapa pakar atau tenaga ahli yang sudah berpengalaman untuk menilai kelemahan dan kekuatan produk yang dihasilkan^[5].

Uji validitas dari isi Buku Ajar Fisika SMA Kelas XI Semester 1 telah dilakukan oleh validator dengan nilai validitasnya 90,64 yang tergolong sangat valid. Namun untuk praktikalitas dan efektivitasnya belum diuji. Oleh sebab itu akan diteliti: Berapakah nilai rata-rata dari praktikalitas dan efektivitas Buku Ajar Fisika SMA bermuatan nilai-nilai karakter untuk Kelas XI Semester 1? Penelitian dilakukan dalam bentuk uji terbatas di beberapa SMA Kota Padang. Oleh sebab itu diberi judul Implementasi Buku Ajar Fisika Bermuatan Nilai-nilai Karakter Pada Kelas XI Semester 1 di SMA Kota Padang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah *Research and Development (R&D)*, menggunakan model 4-D (*four D model*). Tahap-tahap penelitian pengembangan yang dilakukan adalah pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*development*), dan penyebaran (*dessiminate*)^[5].

Penelitian ini telah melewati tiga tahapan yaitu pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*development*). Pada tahap pengembangan (*development*) telah dilakukan validasi. Berdasarkan saran-saran dari validator telah dilakukan revisi awal. Selanjutnya pada bagian ini akan dilakukan uji coba terbatas dalam rangka menentukan keefektifan buku ajar yang dikembangkan. Dalam waktu bersamaan juga dilakukan uji praktikalitas dengan cara memberikan angket pada beberapa orang guru yang terpilih sebagai sampel. Berdasarkan analisis uji coba terbatas dan saran dari guru, selanjutnya dilakukan revisi kedua sehingga diperoleh buku ajar yang lebih berkualitas. Diharapkan sebelum dilakukan tahapan ke empat berupa penyebaran (*dessiminate*), telah diperoleh buku ajar Fisika SMA Kelas XI Semester 1 yang valid, praktis, dan efektif. Pada makalah ini hanya dilaporkan uji praktikalitas dan efektivitasnya saja.

Desain buku ajar Fisika SMA Kelas XI Semester 1 bermuatan nilai-nilai karakter terdiri dari beberapa komponen yaitu petunjuk belajar, kompetensi yang akan dicapai, isi materi, informasi pendukung, latihan-latihan, lembar kerja, lembaran tes, kunci jawaban, umpan balik dan renungan materi. Buku ajar yang telah dibuat diujikan praktikalitasnya oleh guru SMA yang terpilih sebagai sampel. Untuk mendapatkan nilai praktikalitas, maka diberikan angket yang memuat empat komponen yaitu isi bahan ajar, sajian dalam bahan ajar, manfaat bahan ajar dan peluang bahan ajar.

Penilaian terhadap pernyataan dari angket praktikalitas diukur menggunakan skala *likert* dengan rentangan 1 sampai 5. Nilai tersebut selanjutnya dikonversi menjadi nilai dari 0 sampai 100. Nilai yang diperoleh kemudian ditentukan kriteria baik atau tidaknya

suatu aspek, sesuai kriteria atau kategori yang ditetapkan yaitu: 0-20 katagori tidak baik (TB), 21-40 katagiri kurang baik (KB), 41-60 katagori cukup baik (CB), 61-80 katagori baik (B) dan 81-100 sangat baik (SB)^[5].

Untuk mengetahui efektifitas dari Buku ajar Fisika SMA kelas XI Semester 1 bermuatan nilai-nilai karakter maka dilakukan uji terbatas pada tiga buah SMA di kota Padang yang dipilih secara random. Masing-masing sekolah dipilih sampel satu kelas secara random. Pada penelitian ini terpilih kelas XI MIA₁ untuk SMA N 5, kelas XI MIA₃ untuk SMA N 6 dan kelas MIA₅ untuk SMA N 7 Padang. Pelaksanaannya dalam bentuk penelitian *one group pretest-posttest design*. Dalam uji terbatas pada peserta didik diberikan buku ajar Fisika SMA kelas XI Semester 1 bermuatan nilai-nilai karakter yang akan digunakan dalam pembelajaran. Pembelajaran dilaksanakan sesuai dengan Kurikulum 2013 yaitu dengan pendekatan saintifik. Nilai hasil belajar dari *pretest* dan *posttest* diolah menggunakan analisis Regresi^[6] untuk taraf kepercayaan 95%. Dari koefisien determinasi diketahui besar pengaruh penggunaan buku ajar Fisika SMA kelas XI semester 1 bermuatan nilai karakter terhadap hasil belajarnya.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dibahas tentang praktikalitas dan efektifitas produk buku ajar Fisika SMA bernilai karakter untuk Kelas XI semester 1 yang telah dikembangkan.

3.1. Praktikalitas Buku Ajar Fisika SMA Kelas XI semester 1 bermuatan nilai-nilai Karakter.

Buku ajar Fisika SMA bermuatan nilai-nilai karakter dibuat sesuai dengan desain yang telah ditetapkan yaitu meliputi: cover, petunjuk belajar, pendahuluan, kompetensi yang akan dicapai, peta konsep, content atau isi materi pelajaran, informasi pendukung, latihan-latihan, lembar kerja Siswa (LKS), evaluasi, respon balikan dan daftar pustaka. Pada bagian-bagian tertentu seperti pada LKS dan lembar diskusi dituliskan nilai-nilai karakter yang perlu dilatihkan selama pembelajaran berlangsung. Diakhir uraian materi pelajaran, terdapat nilai-nilai karakter yang digali dari materi Fisika yang dapat membantu siswa memahami materi agar lebih bermakna dan dapat diaplikasikannya dalam kehidupan sehari-hari. Pada makalah ini akan dibahas praktikalitas dari Buku Ajar Fisika SMA Bermuatan nilai-nilai Karakter Untuk Kelas XI Semester 1.

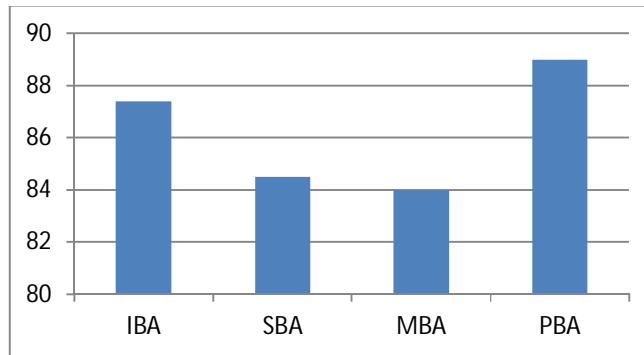
Aspek yang dinilai dengan angket kepraktisan penggunaan buku ajar bermuatan nilai-nilai karakter adalah tentang isi buku ajar (IBA), sajian buku ajar (SBA), manfaat buku ajar (MBA), dan peluang buku ajar (PBA). Kepraktisan buku ajar dinilai oleh melalui

angket yang disebarakan pada guru Fisika SMA di Kota Padang yang terpilih sebagai sampel. Hasil penilaian guru terhadap praktikalitas buku ajar yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai rata-rata Praktikalitas Buku Ajar Fisika SMA Kelas XI semester 1 bermuatan nilai-nilai karakter

No	Pernyataan	Skor rata-rata	Nilai
A	Isi Bahan Ajar		
1	Sesuai dengan setiap standar kompetensi	4,7	94
2	Sesuai dengan setiap kompetensi dasar	4,7	94
3	Relevan untuk siswa kelas XI semester 1	4,4	88
4	Substansi materi pada bahan ajar benar	4,0	80
5	Mengandung nilai-nilai karakter	4,1	82
6	Soal beserta contoh soal telah sesuai dengan kompetensi	4,3	86
	Nilai rata-rata isi bahan ajar	4,37	87,4
B	Sajian Bahan Ajar		
1	Urutan penyajian baik	4,4	88
2	Pemberian motivasi baik	4,2	84
3	Sudah terlihat nilai-nilai karakter dari materi fisika	4,4	88
4	Informasi yang diberikan lengkap	3,9	78
	Nilai rata-rata sajian bahan ajar	4,225	84,5
C	Manfaat Bahan Ajar		
1	Bahan ajar efisien digunakan dalam mengajar	4,5	90
2	Bahan ajar dapat mengaktifkan siswa belajar	4,2	84
3	Bahan ajar dapat memperlihatkan karakter siswa melalui proses pembelajaran	3,8	76
4	Bahan ajar dapat memotivasi siswa	3,9	78
5	Bahan ajar dapat membuat pelajaran lebih menarik dan bermakna	4,4	88
6	Bahan ajar dapat meningkatkan penguasaan materi fisika pada siswa	4,4	88
	Nilai rata-rata manfaat bahan ajar	4,2	84
D	Peluang Bahan Ajar		
1	Bahan ajar dapat meningkatkan kemandirian siswa dalam belajar	4,6	92
2	Bahan ajar dapat digunakan sebagai sumber belajar tambahan bagi guru dan siswa	4,5	90
3	Soal-soal dalam bahan ajar dapat mengukur tingkat penguasaan materi pelajaran pada siswa	4,4	88
4	Bahan ajar dapat digunakan untuk kegiatan remedial dan pengayaan	4,3	86
	Skor rata-rata peluang bahan ajar	4,45	89
	Nilai rata-rata kepraktisan penggunaan buku ajar		86,1

Berdasarkan Table 1 selanjutnya nilai rata-rata praktikalitas buku ajar Fisika SMA kelas XI semester 1 dapat dinyatakan dalam bentuk grafik seperti Gambar 1.



Gambar 1. Nilai rata-rata kepraktisan penggunaan buku ajar

Gambar 1 memperlihatkan nilai rata-rata kepraktisan penggunaan buku ajar berupa empat komponen praktikalitas yaitu isi bahan ajar (IBA), sajian dalam bahan ajar (SBA), manfaat bahan ajar (MBA) dan peluang bahan ajar (PBA). Keempat komponen tersebut memperoleh nilai rata-rata 86,1 yang termasuk katagori sangat baik. Dengan arti kata praktikalitas buku ajar Fisika SMA Kelas XI semester 1 bermuatan nilai-nilai karakter yang dikembangkan tergolong sangat baik kepraktisan dalam pengguaannya. Namun dari beberapa komentar yang diberikan guru masih perlu dilakukan revisi terhadap produk yang dihasilkan.

Berdasarkan tanggapan guru-guru terhadap buku ajar yang diuji praktikalitasnya, perlu dilakukan revisi untuk beberapa hal. Dari segi isi dan sajian bahan ajar dilakukan revisi dan tambahan terhadap beberapa substansi materi agar informasi yang diberikan lebih lengkap dan sesuai dengan tingkat dan karakteristik siswa SMA. Revisi yang dilakukan yaitu dalam bentuk tambahan tingkat kedalaman pembahasan untuk beberapa materi, tambahan untuk materi pendukung dan tambahan soal-soal uji kompetensi.

Manfaat bahan ajar secara keseluruhan tergolong sangat baik, hal ini terlihat dari komentar siswa setelah pembelajaran berakhir. Dengan dijelaskannya nilai-nilai karakter dari materi Fisika yang dibahas diakhir pembelajaran, siswa terlihat lebih antusias dan merasakan pembelajaran lebih bermakna. Siswa berkomentar mereka semakin menyadari pentingnya belajar Fisika dan merasakan bahwa banyak aspek kehidupan menggunakan prinsip-prinsip dan karakter dari materi Fisika. Sehingga secara tidak langsung siswa semakin merasakan keagungan Tuhan dalam kehidupannya

3.2. Efektifitas Buku Ajar Fisika SMA Kelas XI semester 1 bermuatan nilai-nilai Karakter.

Efektifitas buku ajar Fisika SMA Kelas XI semester 1 bermuatan nilai-nilai Karakter yang dibuat, diteliti melalui uji terbatas pada 3 buah SMA di Kota Padang yaitu SMA N 5, SMA N 6 dan SMA N 7. Dari hasil analisis regresi linier terhadap nilai pretest dan posttest diperoleh nilai r hitung lebih besar dari r tabel untuk tingkat kepercayaan 95%. Hasil ini menginformasikan bahwa terdapat pengaruh yang berarti dari penggunaan bahan ajar terhadap hasil belajar siswa SMA pada ketiga sekolah sampel.

Berdasarkan analisis terhadap koefisien determinasi diperoleh besar pengaruh buku ajar terhadap hasil belajar pada masing-masing sekolah sebesar 77,44% untuk SMA N 5, 37,21% untuk SMA N 6 dan 70,56% untuk SMA N 7. Nilai rata-rata pengaruh buku ajar Fisika SMA kelas XI semester 1 bermuatan nilai-nilai karakter terhadap hasil belajar siswa adalah sebesar 61,74 %. Harga ini memperlihatkan bahwa penggunaan buku ajar Fisika SMA kelas XI semester 1 bermuatan nilai-nilai karakter berpengaruh kuat terhadap hasil belajar. Dengan kata lain buku ajar Fisika SMA kelas XI semester 1 bermuatan nilai-nilai karakter efektif digunakan untuk meningkatkan hasil belajar Fisika siswa SMA di kota Padang.

Dari tiga sekolah sampel pada SMA N 6 terlihat bahwa pengaruh penggunaan bahan lebih rendah dibanding sekolah lainnya yaitu hanya 37,21%. Hal ini mungkin disebabkan karena sebagian besar siswa SMA tersebut mengikuti les diluar sekolah sehingga mereka lebih siap untuk menghadapi pelajaran, sehingga diwaktu diberi tes awal nilainya lebih baik, sehingga peningkatannya terhadap posttest tidak terlalu tinggi.

Berdasarkan komentar siswa dan tanggapan guru setelah uji terbatas terhadap implementasi buku ajar dilakukan, dapat disimpulkan bahwa buku ajar Fisika SMA kelas XI semester 1 bermuatan nilai-nilai karakter sangat berpeluang untuk dimanfaatkan sebagai salah satu buku sumber dalam mata pelajaran Fisika di SMA. Kelebihan buku ini dibanding dengan buku sumber Fisika lainnya adalah terdapatnya nilai-nilai karakter yang dapat dilatihkan selama proses pembelajaran dan penggalan nilai-nilai karakter dari materi ajar itu sendiri yang membuat pembelajaran lebih bermakna.

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Dari penelitian implementasi Buku Ajar Fisika SMA Kelas XI Semester 1 bermuatan nilai-nilai karakter melalui uji terbatas di SMA Kota Padang menghasilkan nilai rata-rata praktikalitas 86,1 dengan katagori sangat baik dan efektifitas 61,74 dengan katagori berpengaruh kuat terhadap hasil belajar.

Prospek dari buku ajar Fisika SMA Kelas XI semester 1 bermuatan nilai-nilai Karakter yang dibuat sangat baik, karena penggunaan buku ini dalam pembelajaran berpengaruh kuat terhadap hasil belajar dan memiliki praktikalitas yang sangat baik. Dengan demikian buku ini dapat disarankan sebagai salah satu buku sumber dalam pembelajaran Fisika di SMA.

Kelebihan buku ini dibanding buku ajar Fisika lainnya adalah telah mengintegrasikan nilai-nilai karakter yang perlu dilatihkan selama proses pembelajaran sesuai dengan KI dan KD. Selain itu juga dilengkapi dengan penggalan nilai-nilai karakter dari materi Fisika yang dibahas. Hal ini dapat menambah pemahaman guru dan peserta didik terhadap materi ajar serta pembelajaran lebih bermakna. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa nilai-nilai karakter tidak saja dapat digali dari nilai-nilai agama dan budaya bangsa, namun pembentukan nilai-nilai karakter siswa dapat diperkuat dari aspek keilmuan yaitu nilai-nilai karakter yang terkandung dalam materi ajar itu sendiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan pada penyandang dana HIBAH BERSAING 2015 yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Proyitno dan Khaidir, Afriva, 2011. *Model Pendidikan Karakter Cerdas*: UNP Press. Padang
- [2] Pusat Kurikulum, 2010. *Pengembangan Pendidikan Budaya dan Karakter Bangsa*. Jakarta: Kemendiknas.
- [3] Elfindri, Lilik Hendra Jaya. 2012. *Pendidikan Karakter Kerangka, Metode dan Aplikasi Untuk Pendidik dan Professional*. Jakarta : Baduose Media.
- [4] Depdiknas. 2008. *Panduan Pengembangan Bahan Ajar*. Jakarta: Dikjen Pendidikan Dasar Dan Menengah.
- [5] Riduwan dan Sunarto. 2007. *Pengantar Statistika untuk Penelitian : Pendidikan, Sosial, Komunikasi, Ekonomi, dan Bisnis*. Bandung: Alfabeta.
- [6] Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

**MONITORING KERUSAKAN DAGING IKAN
MENGUNAKAN SISTEM LARIK SENSOR GAS
MONITORING OF DECAY IN MEAT FISH USING GAS SENSOR ARRAY SYSTEM**

Boni Pahlano Lapangporo^{1*}

Universitas Tanjungpura, Pontianak^{1*}
boni8poro@gmail.com

ABSTRACT

The research on monitoring of decay in meat fish using gas sensor array system has been carried out. The system was created with the aim of creating an alternative tool that can simplify the process of classification and recognition of aroma that is expected to determine the level of freshness in fish. The designed system consists of three kinds, namely sensing systems, electronic system and data processing systems. Sensing system is an array of gas sensors that function to respond to scent samples were measured in terms of the output voltage of the sensor. Electronic systems such as the microcontroller circuit that serves to process the sensor output data to be sent to a computer via a USB port. Designed system can monitor the decay of meat fish in the open air for 12 hours. It can be seen from the significant change in voltage of most of the sensor used.

Keywords: gas sensor array, the freshness of the fish, the microcontroller

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai monitoring kerusakan daging ikan menggunakan sistem larik sensor gas. Sistem ini dibuat dengan tujuan untuk menciptakan alat alternatif yang dapat mempermudah proses klasifikasi dan pengenalan aroma yang diharapkan akan dapat menentukan tingkat kesegaran pada ikan. Sistem yang dirancang ini terdiri atas 3 macam, yaitu sistem pengindera, sistem elektronik dan sistem pengolahan data. Sistem pengindera berupa larik sensor gas yang berfungsi untuk merespon aroma sampel yang diukur dalam bentuk tegangan keluaran sensor. Sistem elektronik berupa rangkaian mikrokontroler yang berfungsi untuk mengolah data keluaran sensor untuk dikirim ke komputer melalui port USB. Sistem yang dibangun dapat memonitoring kerusakan pada daging ikan yang dibiarkan di udara terbuka selama 12 jam. Hal tersebut dapat dilihat dari perubahan tegangan yang signifikan dari sebagian besar sensor yang digunakan.

Kata Kunci: larik sensor gas, kesegaran ikan, mikrokontroler

1. PENDAHULUAN

Daging ikan merupakan salah satu makanan pokok yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat pada umumnya. Hal tersebut dikarenakan ikan memiliki kandungan protein, mineral dan gizi yang tinggi sehingga akan berdampak baik bagi kesehatan orang yang mengonsumsinya.

Dewasa ini, hasil-hasil perikanan khususnya ikan laut seringkali memiliki kualitas yang kurang baik. Hal tersebut dikarenakan kendala pada proses pendistribusian dari tempat penangkapan sampai ke tangan konsumen. Hal tersebut mengakibatkan

seringkali para konsumen mendapatkan ikan dalam kondisi yang tidak segar. Bahkan tidak jarang, hasil-hasil perikanan oleh para distributor dicampur dengan bahan-bahan berbahaya seperti formalin dengan tujuan untuk mengelabui para konsumen.

Untuk menjawab tantangan akan kebutuhan alat uji kesegaran ikan, maka dikembangkanlah suatu sistem yang dapat memonitoring kerusakan pada daging ikan. Sistem ini terdiri dari tiga bagian, yaitu sistem pengindera yang berupa larik sensor gas, sistem elektronik untuk proses akuisisi data dan sistem pengolahan data. Prinsip kerja dari sistem larik sensor gas ini mirip dengan sistem penciuman manusia di mana uji kualitas hasil perikanan dilakukan berdasarkan aroma yang dihasilkan oleh daging ikan tersebut tersebut [1].

Berbagai penelitian telah dilakukan guna menguji kualitas makanan menggunakan sistem larik sensor gas antara lain, untuk menentukan apakah suatu produk makanan sudah memasuki masa kadaluarsa [2], kontrol kualitas terhadap minuman beralkohol, standarisasi kualitas teh [3], monitoring terhadap kerusakan susu [4], monitoring tingkat kematangan buah [5], monitoring proses fermentasi teh hitam [6], untuk membedakan berbagai jenis anggur [7], untuk menaksir tingkat kesegaran sarden [8], untuk penyortiran jus buah segar secara cepat [9] dan sebagainya. Dalam penelitian ini sistem larik sensor gas akan digunakan untuk memonitoring kerusakan daging ikan nila (*Oreochromis Niloticus*) yang dikondisikan mulai dari keadaan segar sampai dengan setelah 12 jam dibiarkan di udara terbuka.

2. METODE PENELITIAN

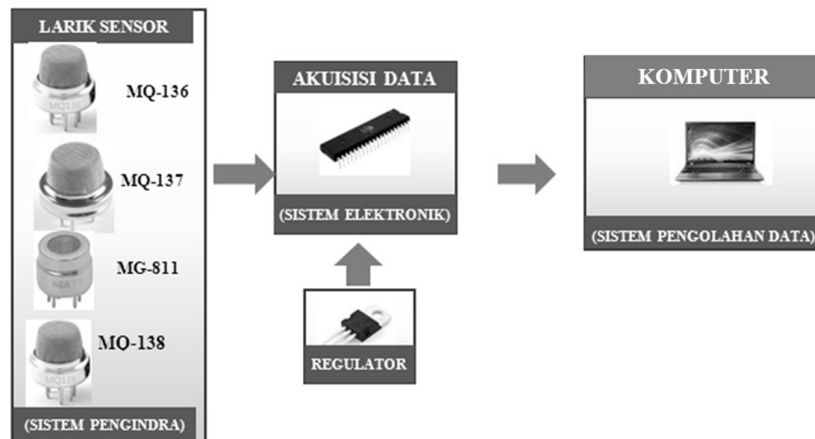
Tahapan penelitian ini dimulai dengan merancang sistem larik sensor gas dan perancangan sistem elektronik untuk proses akuisisi data melalui USB *port*.

2.1 Larik Sensor Gas

Larik (*array*) dapat diartikan sebagai beberapa benda yang disusun menurut aturan tertentu. Dalam pembahasan mengenai larik sensor gas, maka benda yang disusun tersebut adalah sensor-sensor gas. Suatu larik sensor gas dapat diartikan sebagai kumpulan sensor gas yang digunakan untuk mengumpulkan informasi mengenai bahan yang sedang diuji. Dalam aplikasi yang melibatkan zat kimia, sensor-sensor gas ini terdiri dari sensor-sensor yang berbeda dengan sensitivitas yang berbeda-beda pula. Larik sensor gas dipakai untuk mengonversi informasi kimia yang terdapat pada gas sampel menjadi sinyal-sinyal yang dapat terukur. Sensor-sensor tersebut diakses secara individual dan secara hampir bersamaan pada alat yang digunakan. Oleh sebab itu, dalam prosedur operasinya sensor-sensor tersebut dapat digunakan sebagai elemen sensor yang independen [10].

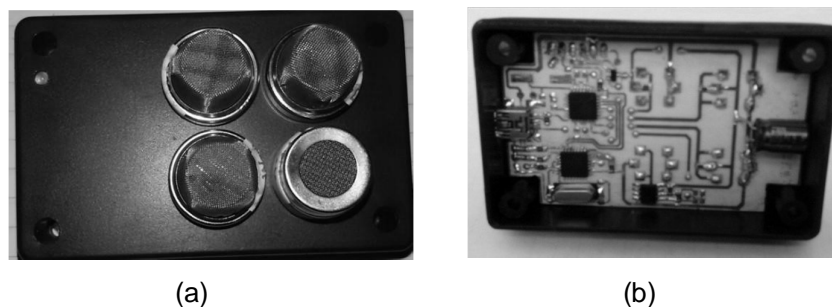
2.2 Rancangan Sistem

Secara garis besar, skema dari sistem larik sensor gas yang akan dirancang ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Skema sistem larik sensor gas secara keseluruhan

Pendeteksi gas dibangun menggunakan empat buah sensor gas. Larik sensor gas yang dirancang dan dibangun diharapkan dapat mendeteksi tegangan gas yang dihasilkan dari sampel ikan, antara lain alkohol, metana, hydrogen sulfide dan karbondioksida. Keempat kelompok gas tersebut dapat dideteksi dengan masing-masing sensor gas MQ-136, MQ137, MQ-138 dan MG-811. Unit pemroses yang digunakan dalam penelitian ini adalah mikrokontroller ATmega328P. Proses akuisisi data dilakukan secara langsung menggunakan komunikasi serial melalui sambungan USB (*Unit Serial Bus Controller*) mini. Gambar 2 menunjukkan rangkaian sensor gas dan sistem elektronik yang telah berhasil dirancang.



Gambar 2. (a) Larik sensor gas (b) Sistem elektronik

2.3 Prinsip Kerja Rangkaian Elektronik

Prinsip kerja pada rangkaian elektronik yang terdiri dari rangkaian mikrokontroler dan larik sensor gas secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Ketika pertama kali sistem diaktifkan maka mikrokontroler akan melakukan konfigurasi penggunaan *port*, komunikasi serial, ADC (*Analog to Digital Converter*) serta mendeklarasikan berapa *variable*.
2. Proses selanjutnya mikrokontroler melakukan kalibrasi sensor yakni dengan melakukan pengambilan data setiap sensor sebanyak *sampling* data yang telah ditentukan yakni sebanyak 35 sampel.
3. Langkah berikutnya sistem akan mengkalkulasi waktu (periode) selama 1 detik, untuk mengirim data pembacaan sensor. Jika waktu 1 detik telah terpenuhi maka mikrokontroler akan mengambil data sensor.
4. Proses pembacaan data sensor dilakukan pada 4 sensor sekaligus. Data keempat sensor tersebut akan di-*filter* dengan *filter average* yakni *filter* nilai tengah, penggunaan *filter average* dikarenakan output tegangan analog pada keempat sensor gas berupa tegangan analog (berbentuk bergelombang).
5. Setelah proses *filtering* selesai maka data keempat sensor akan dikirim dengan format pengiriman data A123B456C789D000, nilai A123 merupakan nilai ADC terfilter dari sensor MQ136 sedangkan B456 untuk data sensor MQ137, C789 untuk data sensor MQ138 dan D000 adalah untuk data MG811.

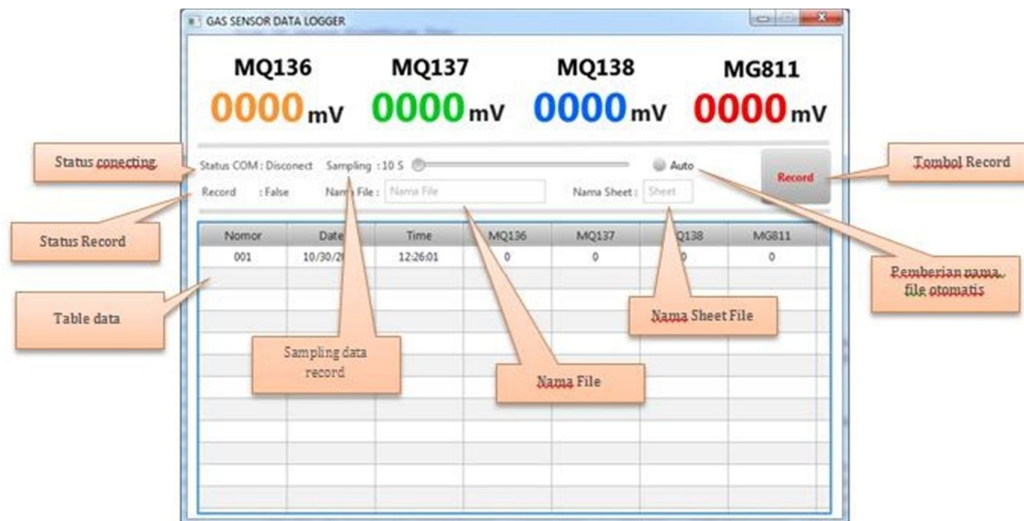
2.4 Prinsip Kerja pada Perangkat Komputer

Prinsip kerja pada perangkat komputer secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Aplikasi antarmuka antara rangkaian elektronik dengan computer yang dibuat dapat berjalan pada system operasi Linux dan Windos. Pada system operasi Windos diperlukan java JDK sebagai *platform* pendukung.
2. Ketika aplikasi dijalankan maka akan menampilkan *form login*. *Form login* terdiri dari *user*, *password* serta *captcha*. *username* dan *password* di-*setting* secara permanen yakni *username:admin* sedangkan *password:1234* sedangkan masukan *captcha* akan berubah-ubah secara acak.
3. Jika proses *login* berhasil dilakukan, maka secara otomatis akan masuk pada *form* utama yang berisikan data pembacaan sensor dan tabel data. Didalam *form* utama tersebut terdapat beberapa pengaturan seperti *slider* dan *button record*. Aplikasi didesain dalam kondisi terhubung otomatis pada COM5 dengan setting *baudrate* 9600bps.

4. Proses *auto connect* dilakukan oleh timer dengan rentang waktu 200ms pengiriman data PING ke bagian mikrokontroler.

Data yang dikirim oleh mikrokontroler akan diolah pada bagian aplikasi, data akan *diparsing* untuk ditampilkan pada tabel. Proses pengisian tabel data dilakukan jika data yang masuk sejumlah pengaturan pada *slider*. Sedangkan untuk *record* data akan dilakukan secara otomatis apabila tombol *record* telah di-klik sebelumnya.



Gambar 3. Tampilan akuisisi data pada komputer

Data hasil pembacaan keempat sensor gas akan tersimpan pada hardisk komputer dalam format Microsoft excel. Tampilan program akuisi data pada komputer ditunjukkan oleh gambar 3.

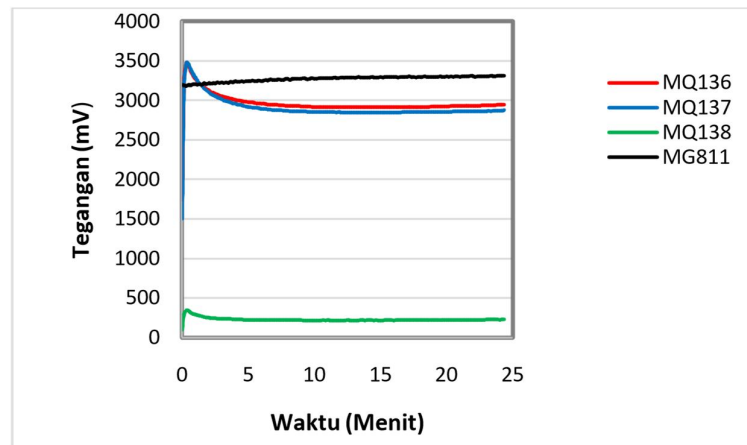
3. Hasil dan Diskusi

3.1 Uji Kestabilan Sensor

Uji kestabilan sensor dilakukan agar dapat mengetahui kapan waktu yang tepat untuk melakukan akuisisi data terhitung sejak larik sensor gas dinyalakan. Teknis uji kestabilan sensor adalah dengan mengukur tegangan keluaran masing-masing sensor ketika ditempatkan pada ruangan yang tertutup rapat sehingga tegangan yang terukur oleh larik sensor gas merupakan tegangan udara tanpa sampel.

Pengujian kestabilan sensor dilakukan dengan selang waktu pengukuran 10 detik. Sensor dikatakan stabil apabila nilai tegangan yang terukur tidak berubah (stabil) karena pada ruang tertutup tidak ada sirkulasi udara (gas) sehingga tidak memungkinkan terjadinya perubahan konsentrasi gas. Grafik hasil uji kestabilan sensor ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor mulai stabil setelah

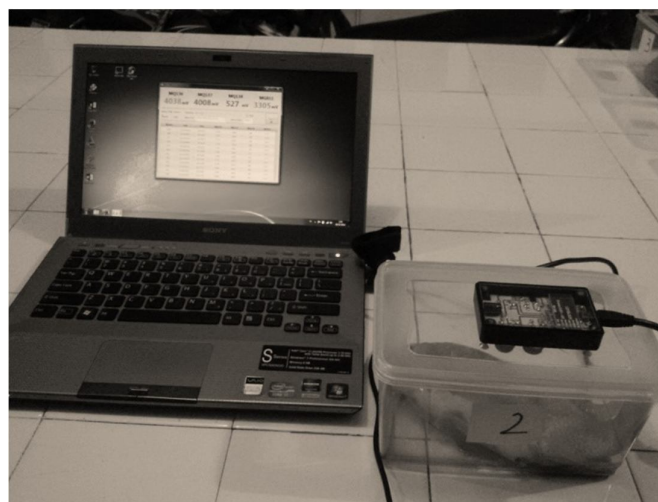
dinyalakan selama 10 menit. Dengan demikian proses akuisisi data harus dilakukan setelah waktu 10 menit terlewati.



Gambar 4. Hasil pengujian kestabilan sensor gas

3.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran sensor pada sampel uji. Sampel uji yang digunakan terdiri dari ikan nila kualitas segar (ikan yang baru dipanen) yang kemudian dibiarkan selama 12 jam di udara terbuka. Selanjutnya aroma ikan diukur dan pengukuran diulang kembali setiap 3 jam. Dari pengukuran aroma tersebut, akan diperoleh 5 data aroma ikan yang tingkat kesegarannya berbeda-beda, mulai dari pengukuran jam ke-0, jam ke-3, jam ke-6, jam ke-9 dan jam ke-12. Proses pengukuran aroma ikan dilakukan dengan menempatkan sampel ikan dalam wadah tertutup dan meletakkan sistem larik sensor gas dibagian atas wadah dengan bagian larik sensor gas berada di dalam wadah. Proses pengukuran aroma ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Proses pengukuran aroma ikan

Pengukuran aroma ikan dalam kondisi segar sampai dengan kondisi setelah 12 jam dilakukan sebanyak 25 kali dengan pengulangan dilakukan setiap 11 detik. Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa tegangan keluaran sensor untuk setiap pengambilan data semakin lama semakin bertambah. Hal tersebut dikarenakan kondisi gas yang belum jenuh ketika wadah sampel ditutup. Semakin lama jumlah gas yang memenuhi wadah semakin bertambah, sehingga tegangan keluaran sensor semakin meningkat. Rata-rata nilai tegangan keempat sensor untuk sampel ikan dari keadaan segar sampai keadaan setelah 12 jam di udara terbuka ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Nilai rata-rata hasil pengukuran aroma sampel ikan

No	Jenis sampel ikan	MQ136	MQ137	MQ138	MG811
1	segar	2652	2514	145	3295
2	setelah 3 jam	2873	2779	187	3256
3	setelah 6 jam	3162	3082	235	3279
4	setelah 9 jam	3417	3296	287	3294
5	setelah 12 jam	3732	3631	383	3313

Dari Tabel 1 terlihat bahwa rata-rata keluaran tegangan sensor kecuali untuk sensor MG-811 semakin meningkat seiring dengan semakin lamanya sampel ikan dibiarkan di udara terbuka. Peningkatan yang signifikan nampak pada sensor MQ-136, sensor MQ-137 dan sensor MQ-138. Hal ini menunjukkan terjadinya peningkatan gas hydrogen sulfide (H_2S), ammonia NH_3 , phenylmethane, acetone, ethanol dan methanal pada sampel ikan yang dibiarkan di udara terbuka. Sementara itu, peningkatan tegangan pada sensor MG-811 tidak begitu signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa gas karbondioksida yang dihasilkan oleh sampel ikan jumlahnya relatif sedikit bila dibandingkan dengan jenis gas lainnya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Secara keseluruhan sistem larik sensor gas dapat bekerja dengan baik dalam memonitor kerusakan pada daging ikan. Hal ini terlihat dari perubahan tegangan yang signifikan pada sebagian sensor (kecuali sensor MG-811) ketika dilakukan untuk mengukur aroma ikan yang berbeda tingkat kesegarannya.

5. PUSTAKA

- [1] Peris, M. dan Gilabert, L.E., 2009, A 21st Century Technique for Food Control: Electronic Nose, *Analytica Chimia Acta*, 638, 1-15.
- [2] Marsili, R., 2002, *Combining Mass Spectrometry and Multivariate to Make a Reliable and Versatile Electronic Nose 349, Fragrance, and Odor Analysis*, Marcel Dekker, Newyork.
- [3] Dutta R., Kashwan, K.R., Bhuyan, M., Hines, E.L. dan Gardner, J.W., 2003, Electronic Nose Based Tea Quality Standardization, *Neural Network*, 16, 847-853.
- [4] Capone, S., Epifani M., Quaranta F. dan Siciliano P., 2001, Monitoring of Rancidity of Milk by Means of an Electronic Nose and Dynamic PCA Analysis, *Sensor and Actuator B*, 78, 174-179.
- [5] Brezmes J., Llobet E., Vilanova X., Saiz G. dan Correig X., 2000, Fruit Ripeness Monitoring Using an Electronic Nose, *Sensors and Actuator B*, 69, 223-229.
- [6] Bhattacharya, N., Seth S., Tudu B., Tamuly P., Jana A., Ghosh D., Rajib, B. dan Bhuyan, M., 2007, *Journal of Food Engineering*, 80, 1146-1156.
- [7] Garcia M., Aleixandre M., Gutierrez J. dan Horrillo, M. C., 2006, Electronic Nose for Wine Discrimination, *Sensors and Actuators B*, 113, 911-916.
- [8] El Barbri, N., Llobet, E., El Bari, N., Correig X. dan Bouchikhi, B., 2008, Application of a Portable Electronic Nose System to Assess The Freshness of Moroccan Sardines, *Materials Science and Engineering C*, 28, 666-670
- [9] Mielle P. dan Marquis F., 2001, One-Sensor Electronic Olfactometer for Rapid Sorting of Fresh Fruit Juices, *Sensors and Actuators B*, 76, 470-476.
- [10] Jati, H. A. P. dan Lelono, D., Deteksi dan Monitoring Polusi Udara Berbasis Array Sensor Gas, *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems*, 2013 Oct;3(2):147-156.

**PENGARUH SUHU KALSINASI DALAM SINTESIS KARBON AKTIF KULIT
DURIAN TERHADAP EFEKTIVITAS ADSORBSI LOGAM Zn DAN Cu PADA
AIR SUNGAI LANDAK KABUPATEN LANDAK KALIMANTAN BARAT
(CALCINATION TEMPERATURE IN SYTHESIZING ACTIVE CARBON OF
DURIAN SHELL EFFECT ON ADSORPTION EFFECTIVENESS OF Zn AND Cu
ON LANDAK RIVER AT LANDAK DISTRICT IN WEST KALIMANTAN)**

Dwiria Wahyuni^{1*}, Irfana Diah Faryuni¹, Abdurrahman Bahtiar¹

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak^{1*}
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak Kalimantan Barat 78124
dwiriawahyuni@physics.untan.ac.id

ABSTRACT

Activated carbon of durian shell has successfully synthesized with Potassium Hydroxide (KOH) as the activator. Objection of this research was to study the effectiveness of activated carbon from durian shell which was calcinated at different temperature in order to adsorb Zn and Cu in the water. In this research, the samples of the water were taken from the Landak River, located in the Senggang village at Landak district. The coordinates of sampling position was 0°36'2,7"N and 110°1'39,7"BT. The process of synthesis of activated carbon was divided into two phases : carbonization and activation. In the carbonization phase, the durian shell was heated at temperature 400°C for two hours. Meanwhile, in the activation phase, the calcination temperature were varied that were: 500°C, 600°C, 700°C, 800°C and 900°C for two hours. The optimal adsorption of Zn and Cu in water occurred in water which mixed with activated carbon which was calcinated at temperature 600°C and above. The Zn content decreased from 0.397 mg/L to less than 0.001 mg/L with adsorption effectiveness 99.75%, while the Cu content decreased from 0.063 mg/L to less than 0.001 mg/L with adsorption effectiveness 98.41%.

Keywords: Durian shell, Activated carbon, Calcination, Adsorption, Zn, Cu.

ABSTRAK

Telah disintesis karbon aktif dari kulit durian dengan Kalium Hidroksida (KOH) sebagai aktivator. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari efektivitas karbon aktif dari kulit durian yang dikalsinasi pada suhu yang berbeda untuk adsorpsi Zn dan Cu dalam air. Dalam penelitian ini, sampel air diambil dari sungai Landak, terletak di desa Senggang di Kabupaten Landak. Koordinat posisi sampling 0°36'2,7"N dan 110°1'39,7"BT. Proses sintesis karbon aktif dibagi menjadi dua fase: karbonisasi dan aktivasi. Pada tahap karbonisasi, potongan kulit durian dipanaskan pada suhu 400°C selama dua jam. Sementara, pada tahap aktivasi suhu kalsinasi adalah: 500°C, 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C selama dua jam. Adsorpsi optimal Zn dan Cu dalam air terjadi pada air yang dicampur dengan karbon aktif yang dikalsinasi pada suhu 600°C dan di atasnya. Kadar Zn menurun dari 0,397 mg/L menjadi kurang dari 0,001 mg/L dengan efektivitas adsorpsi 99,75%, sedangkan kadar Cu menurun dari 0,063 mg/L menjadi kurang dari 0,001 mg/L dengan efektivitas adsorpsi 98,41%.

Katakunci: Kulit durian, Karbon aktif, Kalsinasi, Adsorpsi, Zn, Cu.

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, perkembangan teknologi yang pesat akan mendorong pertumbuhan industri yang memiliki andil terhadap pencemaran lingkungan. Perindustrian yang berdiri banyak menghasilkan limbah cair dengan kadar pencemaran di atas batas minimal yang telah ditetapkan oleh pemerintah^[1]. Salah satu contohnya adalah penggunaan logam berat dalam bentuk garam-garam untuk keperluan industri merupakan penyebab utama meningkatnya pencemaran logam berat di perairan^[2].

Sungai yang telah mengalami pencemaran logam yang diakibatkan adanya aktivitas penambangan ilegal salah satunya adalah Sungai Landak yang terletak di Kabupaten Landak. Akibat penambangan secara ilegal, air sungai di Kecamatan Menyuke Hilir Kabupaten Landak mengandung logam Fe dengan kadar yang melebihi batas yang ditetapkan oleh pemerintah^[3]. Selain mengandung logam Fe, air Sungai Landak juga mengandung logam Zn dan Cu. Berdasarkan data yang telah diperoleh dari Badan Riset dan Standardisasi Industri Pontianak, bahwa kadar logam Zn dan Cu pada air sungai tersebut masing-masing sebesar 0,397 mg/L dan 0,063 mg/L^[4]. Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah No.82/2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, bahwa kadar maksimum logam Zn, dan Cu yang diperbolehkan masing-masing adalah 0,05 mg/L dan 0,02 mg/L^[5].

Kontaminasi logam berat di badan perairan dapat mengganggu ekosistem perairan dan dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup. Keracunan logam Zn dapat menyebabkan gangguan kesehatan, seperti gejala *ledygioma*, *seminoma*, serta *chorioepithelioma*^[6]. Sedangkan logam Cu dapat menimbulkan kerusakan otak dan penurunan fungsi kerja ginjal^[2]. Oleh sebab itu perlu perhatian khusus terhadap besarnya kandungan kadar logam Zn dan Cu yang terkandung pada air Sungai Landak yaitu upaya dalam penurunan kadar logam tersebut. Salah satu alternatif yang dapat digunakan dalam menurunkan kadar logam tersebut adalah dengan menggunakan karbon aktif kulit durian.

Penelitian tentang pemanfaatan karbon aktif dari kulit durian sebagai adsorben telah dilakukan sebelumnya yaitu sebagai adsorben logam Fe pada air sungai Landak dan adsorben logam Fe pada air gambut dengan aktivator larutan kalium hidroksida^{[3][7]}. Dengan memanfaatkan kulit durian sebagai karbon aktif dapat mengatasi dua permasalahan sekaligus, yaitu dapat mengurangi volume sampah kulit durian serta dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat pada air sungai Landak.

2. BAHAN DAN METODA

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain tanur, oven pemanas, alat-alat gelas, neraca digital, spektrofotometer dan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain kulit durian, kalium hidroksida, akuades dan air Sungai Landak.

Sintesis karbon aktif kulit durian diawali dengan proses pengeringan kulit durian pada suhu 175°C selama satu jam. Setelah proses pengeringan selesai, kulit durian kemudian dikarbonisasi pada suhu 400°C selama dua jam. Karbon kulit durian yang dihasilkan dari proses karbonisasi kemudian diaktivasi dengan mencampurkan larutan KOH dengan konsentrasi 25% dengan waktu kontak selama 24 jam dengan rasio antara karbon dan aktivator sebesar 2:1^[7]. Kemudian karbon dicuci menggunakan akuades hingga pH netral. Karbon yang telah dicuci, dioven kembali pada suhu 105°C selama tiga jam. Karbon aktif yang telah dioven kemudian dikalsinasi secara terpisah pada suhu 500°C , 600°C , 700°C , 800°C , dan 900°C selama dua jam.

Pengujian karbon aktif kulit durian dilakukan dengan mencampurkan 1,0 g karbon aktif kulit durian yang telah diperoleh dari masing-masing suhu kalsinasi yang berbeda dengan 100 mL sampel air Sungai Landak selama 24 jam.

Untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif kulit durian dalam menyerap logam Zn dan Cu pada air dapat dilakukan dengan menghitung efektivitas adsorpsi pada Persamaan 1:

$$\eta = \frac{A - B}{A} \times 100\% \quad (1)$$

dengan η adalah efektivitas adsorpsi, A dan B masing-masing adalah kadar logam Zn dan Cu sebelum dan sesudah penambahan karbon aktif kulit durian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sintesis Karbon Aktif Kulit Durian

Sintesis karbon aktif kulit durian dilakukan dengan mencampurkan karbon kulit durian dengan aktivator KOH dengan konsentrasi 25% selama 24 jam. Penambahan aktivator pada aktivasi kimia adalah untuk meningkatkan jumlah dan ukuran pori karbon aktif agar kapasitas adsorpsi karbon aktif semakin meningkat. Selain itu, aktivasi kimia juga dapat merusak unsur-unsur non-karbon (substansi pengotor) yang masih terdapat di dalam karbon yang menutupi permukaan pori. Setelah proses aktivasi, karbon kemudian dibilas dan dipanaskan pada suhu 105°C selama tiga jam. Reaksi yang terjadi selama proses pemanasan dapat dilihat pada Persamaan 2:



Dengan terlepasnya CO_2 dan H_2O pada Persamaan 2 memungkinkan kedua molekul tersebut bereaksi dengan material karbon pada karbon aktif kulit durian. Reaksi

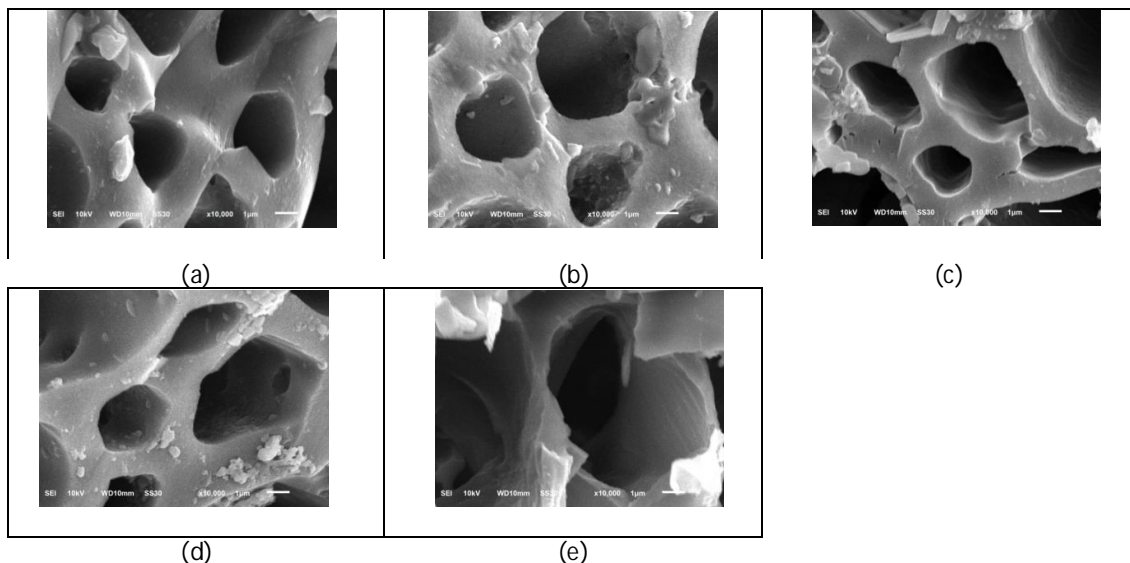
yang terjadi antara molekul CO₂ dan H₂O terhadap material karbon kulit durian seperti Persamaan 3 dan 4:



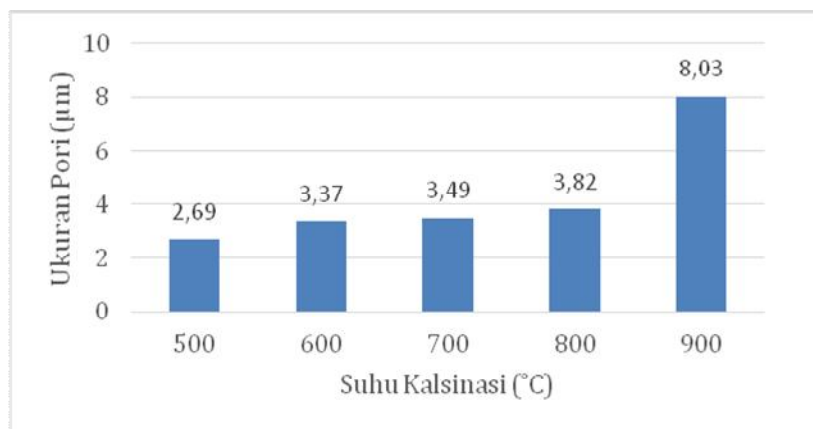
Karbon aktif yang bereaksi dengan CO₂ dan H₂O pada proses pemanasan akan menghasilkan CO yang masih menempel pada permukaan karbon aktif dan melepas gas CO dan H₂ dari permukaan aktif gugus karbon tersebut. CO yang masih menempel pada permukaan karbon aktif tersebut merupakan substansi pengotor yang masih menutupi permukaan pori karbon aktif sehingga mengurangi kapasitas adsorpsi karbon aktif. Pori yang terbentuk selama proses pemanasan karbon setelah diaktivasi kimia akan membentuk struktur mikropori karbon aktif karena gas CO di permukaan karbon aktif masih menghalangi dan menutupi struktur pori karbon aktif.

3.2 Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM)

SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dan ukuran pori karbon aktif yang terbentuk selama proses aktivasi. Hasil karakterisasi karbon aktif kulit durian menggunakan SEM pada variasi suhu kalsinasi dapat dilihat pada Gambar 1. Analisis dan karakterisasi karbon aktif dilakukan menggunakan perbesaran 10.000 kali untuk mengamati morfologi permukaan dan ukuran pori karbon aktif setiap kenaikan suhu kalsinasi. Hasil ukuran rata-rata pori karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Mikrograf SEM karbon aktif kulit durian pada suhu kalsinasi (a) 500°C, (b) 600°C, (c) 700°C, (d) 800°C, dan (e) 900°C



Gambar 2. Grafik hubungan antara kenaikan suhu kalsinasi terhadap ukuran pori karbon aktif kulit durian

Dari Tabel 1, diperoleh hubungan antara kenaikan suhu kalsinasi terhadap ukuran pori karbon aktif kulit durian yang dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, setiap kenaikan suhu kalsinasi, maka ukuran pori juga akan meningkat. Hal ini disebabkan dengan meningkatkan suhu kalsinasi, substansi pengotor yang masih menutupi permukaan pori pada saat karbonisasi dan aktivasi kimia menguap dan meninggalkan permukaan karbon aktif sehingga membentuk pori baru bahkan memperluas ukuran pori yang telah terbentuk pada proses sebelumnya.

Tabel 1. Ukuran pori karbon aktif

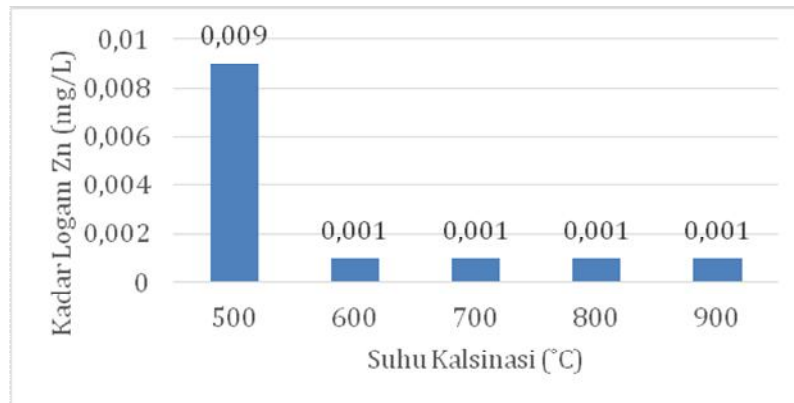
Suhu Kalsinasi (°C)	Ukuran Pori (µm)
500	2,69
600	3,37
700	3,49
800	3,82
900	8,03

3.3 Analisis Adsorpsi Logam Zn dan Cu oleh Karbon Aktif Kulit Durian

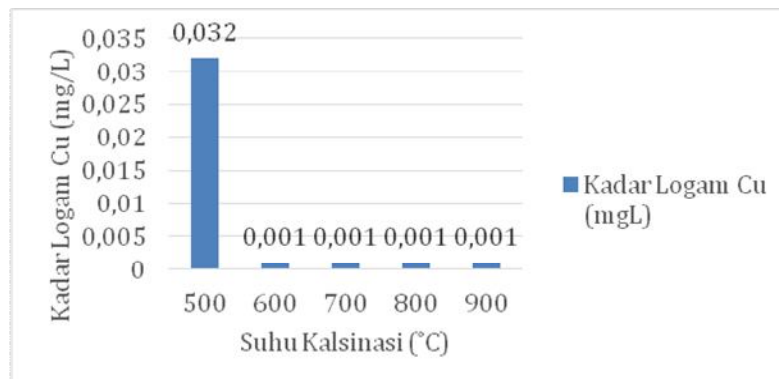
Pada penelitian ini, sampel air yang diambil dari Sungai Landak yang terletak di Desa Senggang Kabupaten Landak dengan koordinat pengambilan sampel berada di titik 0°36'2,7" LU dan 110°1'39,7" BT. Penurunan kadar logam Zn dan Cu dengan menggunakan karbon aktif kulit durian dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Bahtiar, *dkk.* pada tahun 2015, bahwa kadar logam Fe pada air Sungai Landak berkurang seiring dengan peningkatan suhu kalsinasi. Berdasarkan Gambar 4 dan 5 terlihat adanya

kecenderungan penurunan secara drastis kadar logam Zn dan Cu pada sampel setelah penambahan karbon aktif kulit durian. Banyaknya logam Zn dan Cu yang diadsorbsi oleh karbon aktif pada penelitian ini berpengaruh terhadap pembacaan skala kadar logam oleh spektrofotometer. Hal ini mengakibatkan keterbatasan pembacaan skala oleh alat tersebut. Efektivitas adsorbsi logam Zn dan Cu oleh karbon aktif kulit durian dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 3. Grafik hubungan antara kenaikan suhu kalsinasi terhadap penurunan kadar logam Zn



Gambar 4. Grafik hubungan antara kenaikan suhu kalsinasi terhadap penurunan kadar logam Cu

Tabel 2. Efektivitas adsorbsi logam Zn dan Cu

Suhu Kalsinasi (°C)	Efektivitas Adsorbsi (%)	
	Zn	Cu
500	97,73	49,21
600	99,75	98,41
700	99,75	98,41
800	99,75	98,41
900	99,75	98,41

Pada Tabel 2, efektivitas penurunan kadar logam Zn setelah penambahan karbon aktif pada suhu kalsinasi 500°C mencapai 97,73%, sedangkan pada logam Cu hanya 49,21%. Dari analisis tersebut diasumsikan bahwa ukuran atom adsorbat sangat berpengaruh dalam proses adsorpsi. Radius atau jejari atom untuk logam Zn dan Cu masing-masing sebesar 1,31 Å dan 1,38 Å^[8]. Sedangkan ukuran pori karbon aktif yang terbentuk pada suhu kalsinasi 500°C sebesar 2,69 µm (26900 Å). Hal ini membuktikan bahwa ukuran pori karbon aktif lebih besar dibanding ukuran atom untuk kedua jenis logam di atas (Zn dan Cu). Dibanding dengan radius Cu, logam Zn memiliki radius yang lebih kecil oleh sebab itu persentase efektivitas adsorpsi logam Zn lebih besar dibanding logam Cu. Hal tersebut menyebabkan efektivitas penyerapan logam Zn terhadap karbon aktif yang dikalsinasi pada suhu 500°C mencapai 97,73%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa karbon kulit durian berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben logam Zn dan Cu. Efektivitas adsorpsi karbon aktif dalam menyerap logam Zn sebesar 99,75% dan logam Cu sebesar 98,41% yang terjadi pada suhu kalsinasi 600°C hingga 900°C.

5. PUSTAKA

- [1]. Kwartiningsih, E., dan Setiarini, N. (2005): *Adsorpsi Logam Cu dari Limbah Elektroplating Menggunakan Karbon Aktif dalam Kolom Fixed Bed*. Ekuilibrium Vo.4 No.2 Hal:78-84. UNS.
- [2]. Darmono (1995): *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI-Press. Jakarta.
- [3]. Bahtiar, A., Faryuni, I.D., dan Jumarang, M.I. (2015): *Adsorpsi Logam Fe Menggunakan Adsorben Karbon Kulit Durian Teraktivasi Larutan Kalium Hidroksida*. Jurnal Prisma Fisika Volume III No.1 Hal: 5-8. ISSN: 2337-8204. FMIPA UNTAN. Pontianak.
- [4]. Badan Riset dan Standardisasi Industri Pontianak (2014): *Surat Tanda Uji Sampel Air Sungai Landak*. Pontianak.
- [5]. Peraturan Pemerintah No.82 (2001): *Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*.
- [6]. Orginawati,K. (2002): *Konsep Ekotoksilogi Limbah B-3 dan Kesehatan*. Disampaikan dalam Diklat Pengolahan Limbah B-3. 13-17 Mei 2002. Serpong.
- [7]. Apriani, R., Faryuni, I.D., dan Wahyuni, D. (2013): *Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap Kualitas Karbon Aktif Kulit Durian sebagai Adsorben Logam Fe pada Air Gambut*. Jurnal Prisma Fisika, Vol.1 No.2 Hal.82-86.

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura.
Pontianak.

- [8]. Kittel, C. (2005): *Introduction to Solid State Physics. Eighth Edition*. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.

PERHITUNGAN DEBIT ALIRAN PADA SISTEM ALIRAN TERBUKA MELALUI PENGUKURAN TINGGI MUKA AIR MENGGUNAKAN TRANSDUSER ULTRASONIK

(FLOW CALCULATION OF OPEN CHANNEL SYSTEM THROUGH MEASUREMENT OF WATER LEVEL USING ULTRASONIC TRANSDUCER)

Gurum A P, Kalpataru I dan Warsito

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No 1, Bandar Lampung 35145
Email: gurum4in@yahoo.com, warsito@fmipa.unila.ac.id

ABSTRACT

Flow measurement capability is needed to determine the potential of water resources in a watershed area, to evaluate the availability of water, and simulation on flood early warning system. Calculation of the water flowing in an open channel system is more complex than a closed channel. This is due to various factors such as channel-forming material, the degree of irregularity, the variation in cross-section, the influence of inhibitors, and the degree of the curve to be reckoned, and called as the manning coefficient. The amount of flow in an open channel system will have a direct impact on the water level changes. The Chezy equation will make it to be easier in the real time flow rate measurement by knowing the water level value. In this study, it has been developed a method to measure the water level using an ultrasonic transducer and to calculate the flow rate of the river flow by simulating the coefficient of manning. The realized system has an error in water level measurement of 1.16% and flow calculation error of 2.42%.

Keywords: Open channel, manning coefficient, river flow, ultrasonic transducer.

ABSTRAK

Kemampuan pengukuran debit aliran sangat diperlukan untuk mengetahui potensi sumberdaya air di suatu wilayah aliran sungai, mengevaluasi ketersediaan air, dan simulasi pada sistem peringatan dini banjir. Perhitungan besarnya debit air yang mengalir pada saluran sistem open channel lebih kompleks dibandingkan saluran tertutup (close channel). Hal ini disebabkan berbagai factor seperti bahan pembentuk saluran, derajat ketidakteraturan, variasi penampang, besarnya pengaruh penghambat, dan derajat kelokan yang harus diperhitungkan, dan disebut sebagai koefisien manning. Besarnya debit aliran pada sistem open channel akan berdampak langsung pada perubahan level permukaan aliran. Persamaan Chezy akan memudahkan untuk pengukuran debit aliran secara real time melalui pengukuran tinggi permukaan aliran. Pada penelitian ini telah dikembangkan alat yang mampu mengukur level muka aliran sekaligus besarnya debit aliran sungai menggunakan sinyal ultrasonik dengan memperhitungkan koefisien manning. Alat yang dibuat memiliki kesalahan pengukuran tinggi muka air sebesar 1,16 % dan kesalahan perhitungan debit sebesar 2,42%.

Kata kunci : Open channel, koefisien manning, debit aliran

1. PENDAHULUAN

Pengukuran debit aliran sangat diperlukan untuk mengetahui potensi sumberdaya air di suatu daerah aliran sungai. Hal ini dapat terkait dengan pengaruh fungsi guna lahan terhadap pemenuhan kebutuhan air [1], mengevaluasi ketersediaan air pada suatu daerah serta pengawasan terhadap munculnya limpasan air yang berlebihan atau banjir [2]. Guna kebutuhan informasi tersebut, maka data debit harus tetap disandingkan dengan data besarnya curah hujan, infiltrasi air ke dalam tanah menjadi simpanan air tanah (*groundwater storage*) yang selanjutnya menjadi aliran dasar (*base flow*) [3].

Metode perhitungan besarnya debit air yang mengalir pada saluran sistem *open channel* menjadi lebih kompleks dibandingkan saluran tertutup (*close channel*). Hal ini disebabkan berbagai faktor seperti bahan pembentuk saluran, derajat ketidakteraturan, variasi penampang, besarnya pengaruh penghambat, dan derajat kelokan yang harus diperhitungkan, disebut sebagai koefisien *mannning* (*mannning coeficient*) [4]. Besarnya debit aliran pada sistem *open channel* akan berdampak langsung pada perubahan level permukaan aliran. Adanya persamaan *Chezy* memudahkan pengukuran debit aliran secara *real time* melalui pengukuran tinggi permukaan aliran tersebut.

Debit Aliran Air pada Daerah Open Channel

Sungai merupakan salah satu contoh saluran terbuka (*open channel*) yang berarti permukaannya bebas dipengaruhi oleh tekanan udara bebas ($P_{atmosfer}$). Karena sungai memiliki saluran penampang melintang dan kemiringan memanjang berubah-ubah maka sungai diklasifikasikan sebagai *Nonprismatic Channel*. Perhitungan saluran terbuka biasanya lebih rumit daripada saluran tertutup (*closed channel*) seperti saluran pipa. Hal ini disebabkan karena sungai memiliki bentuk penampang yang tidak teratur, sulit menentukan kekasaran saluran (pada sungai biasanya berbatu sedangkan pada dasar pipa cenderung licin) dan kesulitan pengumpulan data di lapangan. Kecepatan aliran pada saluran terbuka tersebut kemudian dirumuskan pada Persamaan 1 [4]:

$$Q = C\sqrt{RS} \quad (1)$$

dengan: Q = kecepatan aliran (kaki per sekon atau fps)

R = jari-jari hidrolis (kaki)

S = kemiringan dasar saluran

C = koefisien Chezy (faktor tahanan aliran tanpa satuan)

Menurut Robert Manning nilai C masih dipengaruhi oleh R , yaitu sebesar:

$$C = \frac{1.49}{n} R^{1/6} \quad (2)$$

dengan: n = koefisien Manning

Jika persamaan tersebut disesuaikan berdasarkan Satuan Internasional (SI), maka persamaan Manning menjadi [5]:

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3)$$

Jika diketahui keliling basah P (*wetted perimeter*) dan $R = A/P$, persamaan 3 dapat ditulis menjadi:

$$Q = \frac{1}{n} A^{5/3} P^{-2/3} S^{1/2} \quad (4)$$

dengan: P = keliling basah (m)

Koefisien Manning

Koefisien Manning (n) merupakan fungsi kekasaran dari bahan dinding saluran yang sangat memengaruhi besarnya kecepatan rata-rata pada saluran. Nilai kekasaran saluran merupakan kombinasi dari beberapa faktor seperti kekasaran permukaan saluran, jenis tumbuh-tumbuhan, ketidakberaturan penampang melintang saluran, trace saluran, pengendapan dan penggerusan, hambatan ukuran dan bentuk saluran, serta taraf air dan debit. Suatu cara untuk memperkirakan nilai n berdasarkan beberapa faktor di atas menggunakan persamaan 5 [6].

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \quad (5)$$

dengan:

n_0 = nilai dasar n untuk saluran yang halus, seragam dan halus menurut bahan – bahan alamiah yang dikandungnya.

n_1 = nilai yang ditambahkan ke n_0 untuk mengoreksi efek ketidakaturan permukaan.

n_2 = nilai untuk variasi bentuk dan ukuran penampang saluran.

n_3 = nilai untuk hambatan.

n_4 = nilai untuk kondisi tetumbuhan dan aliran.

m_5 = faktor koreksi bagi belokan-belokan saluran.

Nilai-nilai koefisien manning dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tetapan Koefisien n-Manning untuk Persamaan 4 [4].

Keadaan Saluran		Nilai-Nilai	
Bahan pembentuk	Tanah	n_0	0,020
	Batu pecah		0,025
	Kerikil halus		0,024
	Kerikil kasar		0,028
Derajat ketidak- teraturan	Sangat Kecil	n_1	0,000
	Sedikit		0,005
	Sedang		0,010
	Besar		0,020
Variasi penampang melintang saluran	Bertahap	n_2	0,000
	Kadang-kadang berganti		0,005
	Sering berganti		0,010-0,015
Efek relatif dari hambatan	Dapat diabaikan	n_3	0,000
	Kecil		0,010-0,015
	Cukup		0,020-0,030
	Besar		0,040-0,060
Tetumbuhan	Rendah	n_4	0,005-0,010
	Sedang		0,010-0,025
	Tinggi		0,025-0,050
	Sangat tinggi		0,050-0,100
Derajat kelokan	Kecil	m_5	1,000
	Cukup		1,150
	Besar		1,300

Dewasa ini telah banyak dikembangkan alat pendeteksi kenaikan level tinggi muka air sungai baik secara konvensional atau dengan sinyal ultrasonik. Informasi kecepatan rambat yang diperoleh dari osiloskop berupa waktu tempuh (Δt) dan jarak tempuh (l) gelombang ultrasonik dapat dihitung dengan persamaan 6 [7].

$$v = \frac{2l}{\Delta t} \quad (6)$$

Dimana pancaran gelombang ultrasonik dari transmitter yang menempuh jarak dalam waktu tertentu hingga diterima kembali oleh receiver setelah dipantulkan oleh muka air. Jarak yang ditempuh gelombang ultrasonik tersebut yang kemudian diolah sebagai data level ketinggian muka air. Alat tersebut baru mampu memperkirakan apakah akan banjir atau tidak berdasarkan level ketinggian muka air dan belum mampu memperkirakan debit air sungai yang mengalir saat banjir [8].

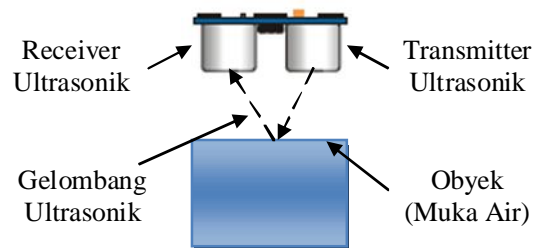
Berdasarkan pemikiran tersebut, maka telah direalisasikan suatu alat yang tidak hanya dapat digunakan untuk mengukur ketinggian air tetapi juga dapat menghitung debit air pada sistem *open channel*, sehingga dapat

membantu memperkirakan seberapa besar banjir yang akan datang. Pada penelitian ini digunakan *Ultrasonic Distance Sensor* dengan modul PING))) untuk mengukur level tinggi muka air. Selanjutnya dengan persamaan *Manning*, data pengukuran tinggi air tersebut digunakan untuk menghitung debit air sungai yang mengalir. Pengukuran level tinggi muka air dilakukan pada sistem aliran *open channel*, yaitu di sungai yang telah ditalud.

2. METODE PENELITIAN

Pengukuran Tinggi Muka Air dengan Ultrasonik

Metode yang digunakan untuk mengukur tinggi muka air dengan ultrasonik berfrekuensi 40 kHz menggunakan prinsip *echosounder* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.

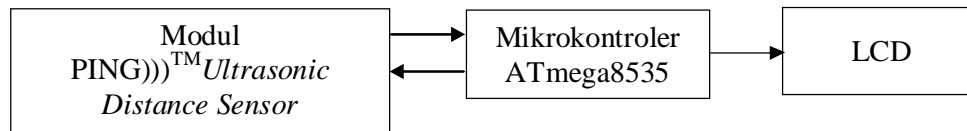


Gambar 1. Metode *echosounder* untuk mengukur level tinggi muka air

Gelombang ultrasonik ini merambat melalui udara dengan kecepatan kurang lebih 344 m/s. Jarak minimal antara *transmitter-receiver* dengan permukaan air adalah 2 cm dengan jarak maksimal 300 cm [9].

Perancangan perangkat keras

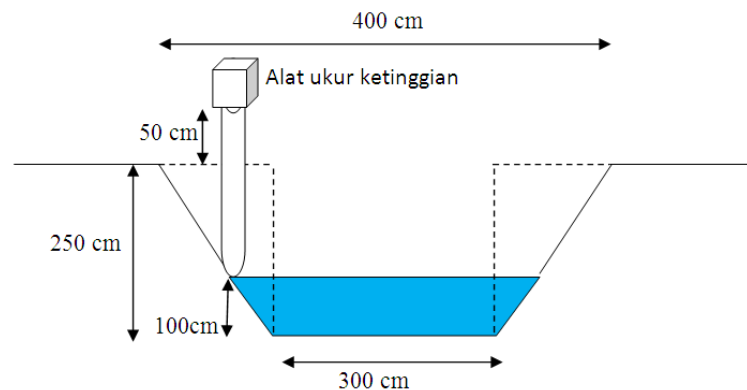
Perangkat keras yang digunakan terdiri dari modul PING)))TM *Ultrasonic Distance Sensor*, mikrokontroler ATmega8535 dan LCD. Adapun perancangan tahapan kerja perangkat keras tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Perancangan Sistem Pengukur Level Tinggi Muka Air dan Debit Air

Pengukuran dan pengambilan data

Pengukuran diambil pada bagian sungai yang telah ditalud yang terletak di Desa Sukajaya Kelurahan Rajabasa Raya Kecamatan Raja Basa Bandar Lampung. Talud memiliki penampang melintang berbentuk trapesium yang dapat dilihat pada Gambar 3.

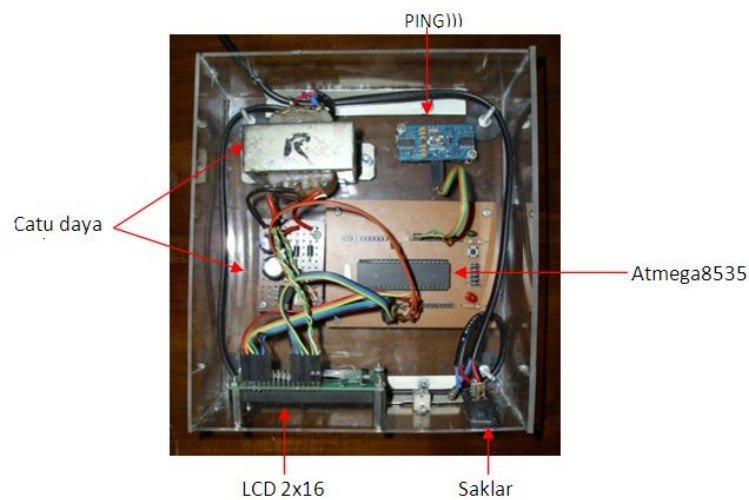


Gambar 3. Penampang Melintang Suatu Sungai Buatan

Talud dimana bjek penelitian pengukuran dilakukan memiliki ketinggian air rata-rata setiap tahunnya sekitar 100 cm. Keadaan dinding penampang saluran juga ditetapkan sebagai berikut: bahan pembentuk saluran adalah batu pecah ($n_0 = 0,025$), derajat ketidakteraturan saluran sangat kecil ($n_1 = 0,000$), bentuk dan ukuran penampang melintang saluran berubah secara bertahap ($n_2 = 0,000$), hambatan aliran saluran biasanya berasal dari tumpukan sampah yang cukup banyak ($n_3 = 0,020$), tetumbuhan yang biasa dijumpai di sungai adalah rerumputan dan kadang-kadang akar pohon ($n_4 = 0,010$) serta derajat kelokan sungai yang telah ditalud cukup kecil ($m_5 = 1,100$). Dengan demikian besarnya nilai koefisien Manning n untuk saluran dalam penelitian ini menurut persamaan (5) adalah 0,0605. Saluran tersebut memiliki kemiringan dasar saluran S yang telah ditetapkan sebesar 0,001.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

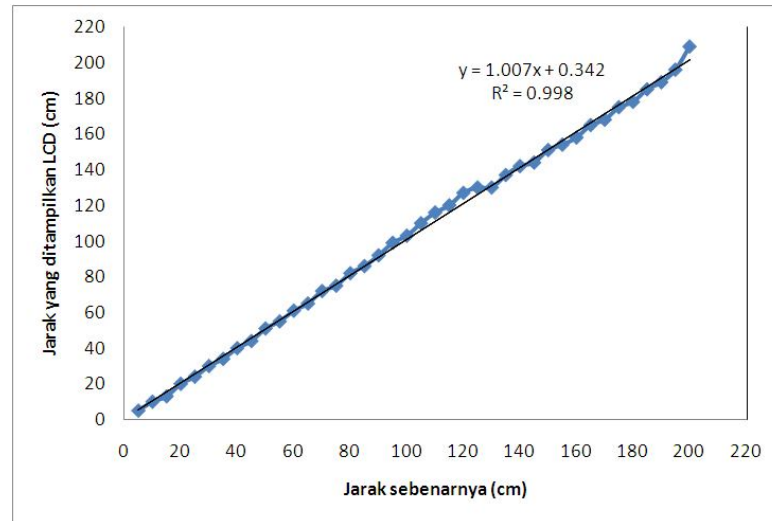
Alat yang dibuat dalam penelitian ini adalah alat yang dapat digunakan untuk mengukur tinggi muka air sungai dengan memanfaatkan pantulan gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh PING))), sebagaimana tampak pada Gambar 4. Hasilnya diproses oleh mikrokontroler Atmega8535 dan ditampilkan pada LCD. Dengan bantuan persamaan Manning, alat ini juga dapat digunakan untuk menghitung debit air sungai.



Gambar 4. Foto Rangkaian Alat Ukur Tinggi Muka Air dan Debit Air Sungai Tampak Atas

Kalibrasi Alat Ukur Jarak

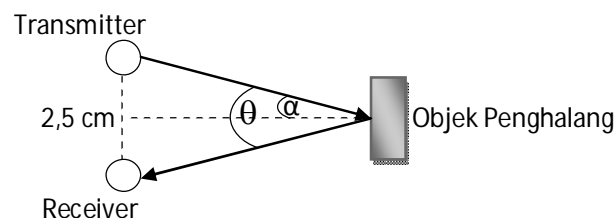
Gambar 5 adalah hasil perbandingan pengukuran jarak yang dihasilkan oleh alat dengan jarak sebenarnya. Kalibrasi ini dilakukan dengan mengukur jarak obyek pemantul yang digerakkan mendekati alat yang telah dibuat menggunakan mistar ukur.



Gambar 5. Grafik Lineritas Pengukuran Jarak

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan adanya beberapa buah titik yang sedikit menyimpang ke atas dari garis kelinearan alat yaitu saat benda berada pada jarak 105 cm terbaca 110 cm, jarak 110 cm terbaca 116 cm, jarak 115 cm terbaca 120 cm, jarak 120 cm terbaca 127 cm, dan jarak 125 cm terbaca 130 cm, serta pada jarak 200 cm terbaca 209 cm. Kesalahan ini disebabkan nilai pembulatan (*quantisation*) pada ADC yang terdapat pada ATmega8535. Nilai kesalahan rata-rata pengukuran seluruhnya sebesar 2,079%.

Hal yang perlu diperhatikan pada saat mengukur jarak benda adalah memastikan bahwa benda tersebut berada pada rentang jarak 2 cm sampai 300 cm. Dalam kenyataannya, pengukuran mulai mampu memberikan respon mulai pada 5 cm. Hal ini disebabkan batasan jarak terdekat dipengaruhi oleh besarnya sudut yang dibentuk oleh gelombang datang dan gelombang pantul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sudut yang dibentuk Pantulan Ultrasonik saat Benda Dekat

Gambar 6 menunjukkan pengaruh posisi benda terhadap sudut yang dibentuk. Pada saat objek penghalang berada cukup jauh dari PING))) maka besarnya sudut θ menjadi sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Pada keadaan seperti ini, lintasan gelombang datang dan lintasan gelombang pantul dapat dianggap berada pada satu garis lurus sehingga persamaan umum $x = \frac{v \cdot t}{2}$ dapat digunakan untuk mengukur jarak. Namun jika objek penghalang terlalu dekat dengan PING))) maka sudut θ menjadi semakin besar dan tidak mungkin diabaikan begitu saja. Besarnya sudut θ adalah 2x besar sudut datang α . Dengan mencari besar sudut datang α terlebih dahulu maka dapat ditentukan besar sudut θ . Besarnya sudut datang α adalah:

$$\alpha = \arctan^{-1} \frac{1,25 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} \approx 14^\circ$$

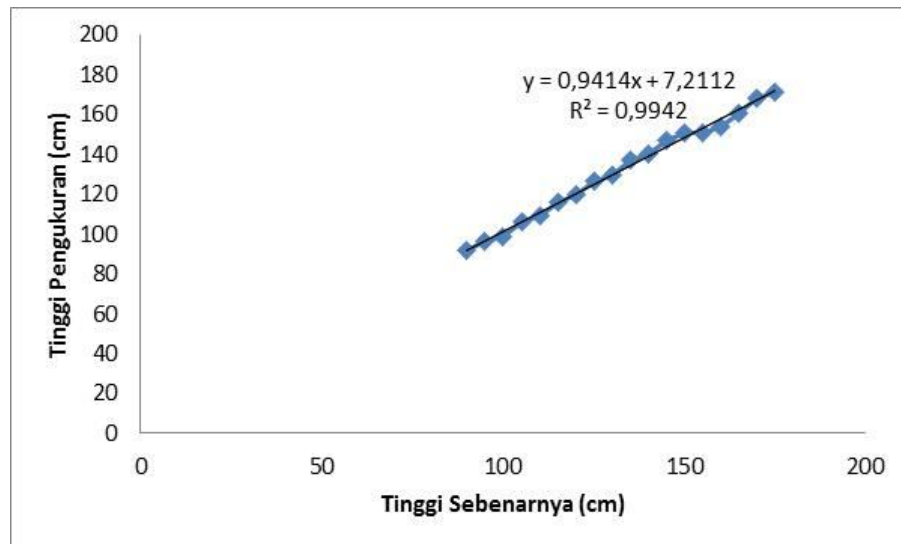
Nilai sudut θ saat benda berada pada jarak 5 cm dari PING))) adalah 28° . Jika jarak kurang dari 5 cm, maka besarnya sudut akan melebihi 28° . Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Warsito dkk [10].

Dari Tabel 2 terlihat bahwa sistem alat dapat bekerja dengan baik untuk mengukur ketinggian muka air sungai dengan nilai kesalahan yang kecil. Namun terjadi penyimpangan yang jauh ketika alat menghasilkan nilai debit air.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Alat

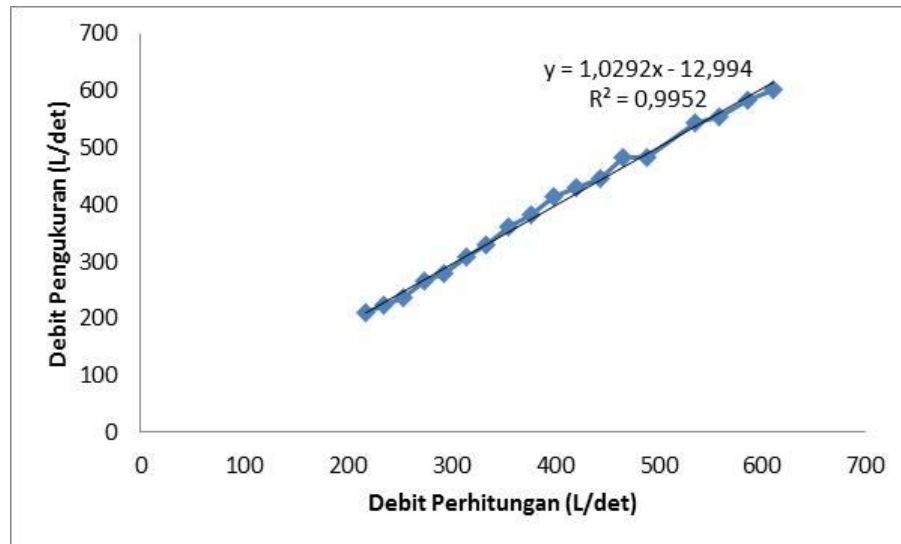
No	Tinggi Muka Air Sungai (cm)		Debit Air Sungai (Liter/detik)	
	Sebenarnya	Pengukuran	Perhitungan	Pengukuran
1	90	92	217	210
2	95	96	235	223
3	100	99	254	238
4	105	106	274	265
5	110	109	293	280
6	115	116	314	309
7	120	120	334	330
8	125	127	355	361
9	130	130	377	381
10	135	137	399	413
11	140	140	421	429
12	145	144	443	447
13	150	151	466	483
14	155	154	489	499
15	160	161	535	544
16	165	164	558	555
17	170	168	586	583
18	175	171	611	602

Penyimpangan tersebut dikarenakan ketidaksesuaian tipe data yang dideklarasikan dengan data perhitungan sebenarnya. Tipe data yang dideklarasikan adalah tipe data *integer* (bilangan bulat) sehingga hasil pembagian pecahan akan selalu dibulatkan. Sedangkan tipe data yang digunakan dalam perhitungan adalah bilangan desimal yang akan tetap memperhatikan angka-angka di belakang koma desimal. Tabel 2 menyajikan hasil pembulatan pengukuran dengan program dan juga hasil perhitungan yang telah dibulatkan menurut aturan pembulatan ilmiah. Besarnya kesalahan pengukuran debit oleh alat adalah 2,4%. Sedangkan besarnya kesalahan pengukuran tinggi muka air adalah 1,169%. Grafik pengukuran tinggi muka air disajikan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Linearitas Pengukuran Tinggi Muka Air Sungai.

Hasil pengukuran debit air sungai juga dapat ditampilkan seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Linearitas Pengukuran Debit Air Sungai.

Pada Gambar 8, terdapat rentangan yang cukup jauh di antara titik 500 dan 600 debit perhitungan. Hal ini dikarenakan alat mengukur debit air pada ketinggian 150 cm sebesar 483 L/det yang berarti sama dengan debit air pada ketinggian 155 cm yaitu sebesar 483 L/det.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat yang telah dibuat dapat digunakan untuk mengukur ketinggian muka air sungai. Besarnya kesalahan pengukuran debit aliran adalah 2,4%. Sedangkan besarnya kesalahan pengukuran tinggi muka air adalah 1,169%. Beberapa pengembangan yang perlu dilakukan yaitu penambahan perangkat alarm sehingga alat dapat langsung memberi peringatan jika ketinggian muka air telah mendekati batas tertinggi guna kewaspadaan masyarakat terhadap bencana. Alat dapat dilengkapi juga dengan catu daya yang bersumber dari baterai sehingga alat dapat dipasang pada daerah yang tidak terjangkau sumber listrik PLN.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada DP2M Dikti atas support dana penelitian ini dalam skema Hibah Strategis Nasional.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Mahzum M M, Mardyanto M A, 2014. Analisis Ketersediaan Sumber Daya Air dan Upaya Konservasi SUB DAS Brantas Hulu Wilayah Kota Batu. *Seminar Nasional Pascasarjana XIV – ITS, Surabaya, 7 Agustus 2014.*
- [2]. Maryono, Agus.2005. *Menangani Banjir, Kekeringan dan Lingkungan.* Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- [3]. Mock, F.J, Dr 1973, *Land Capability Appraisal Indonesia , Water Availability Appraisal*, UNDP/FAO, Bogor.
- [4]. Chow, Ven Te.1997. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics).* Jakarta: Erlangga.
- [5]. Raju, K. G. Ranga. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka* Jakarta: Erlangga.
- [6]. Issacson, E. J., Stocker, J. J., and Troesch, B. A. 1954. *Numerical Solution of Flood Prediction and River Regulation Problems Report No 1 MM-205.* New York University: Institute of Mathematical Sciences.
- [7]. Gurum AP. 2011. Analisa dan Pengukuran Massa Jenis Cairan Menggunakan Sinyal Ultrasonik Transduser Tunggal. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi-IV.* Hotel Marcopolo, Bandar Lampung, 29 – 30 November 2011.
- [8]. Ratna S., Warsito dan Darmawan, A., Rancang bangun model pemantauan tinggi muka air sungai menggunakan telemetri radio, *Jurnal Electrician*, Vol. 2 No. 1, 2008.
- [9]. Kurniawan, Yuda. 2010. *Implementasi Ultrasonic Level Detector pada Sistem Monitoring Tanki Pendam pada SPBU.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [10]. Warsito, Kalpataru I, Sri Wahyu S and Gurum AP. 2012. Study of inclination angle of reflector object in simple water level instrument using 40kHz ultrasonic transducer. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* Vol: 42/1/2012

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MONITORING GEOLISTRIK TIME-LAPSE
UNTUK MEMANTAU DAERAH RAWAN LONGSOR DI KOTA PADANG
DENGAN MENGGUNAKAN METODA GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER**

**DEVELOPMENT OF GEOELECTRIC TIME-LAPSE MONITORING
TECHNOLOGY TO MONITOR THE SLIDING PRONE IN PADANG USING
GEOELECTRIC METHODS WENNER CONFIGURATION**

Mahrizal^{1*}, Ahmad Fauzi², Akmam³

Jurusan Fisika FMIPA UNP, Padang^{1*}
mahrizalmz@gmail.com Komp Permata Biru Blok F No. 15
Batang Kabung Koto Tangah PADANG 25172 HP 085658434825
Jurusan Fisika FMIPA UNP, Padang.²
Jurusan Fisika FMIPA UNP, Padang.³

ABSTRACT

Recently, the landslide disasters often hit the city of Padang. In order to overcome the landslide problem, it is necessary to do a comprehensive research and to observe the physical appearance and the structure of the subsurface rocks in areas prone to slide. Until now, the physical appearance and the structure of the subsurface rocks in Padang City have not been disclosed yet. The study aim to identify the presence of sliding plane in areas prone to slide. The Data collection was performed at the Bukit Lantiak located in Seberang Palinggam Village, South Padang District, city of Padang. Data in the form of a cross section 2D models with different colors were obtained using the Wenner configuration is processed with RES2DINV software. Each color indicates the values of certain types resistivity. The data interpretation of 1st track is as follows. First tracks is located at coordinates $0.00^{\circ} 58' 3.7''$ S and $100^{\circ} 22' 5.6''$ E to $0.00^{\circ} 58' 3.9''$ S and $100^{\circ} 22' 10.1''$ E. Sounding point located at coordinates $0.00^{\circ} 58' 3.9''$ S and $100^{\circ} 22' 10.1''$ E. The length of first track is 315 meter with electrode spacing of 5 meter. Based on resistivity values that obtained on first track it is identified that there are 4 types of rock constituent. There are Clay, Sandstone, Limestone, and Andesite. Interpretation of the results showed in first track is sliding plane.

Key words : Landslide disasters, physical appearance and structure of the subsurface rocks, geoelectric resistivity method, Wenner configuration, sliding plane.

ABSTRAK

Akhir-akhir ini bencana longsor sering melanda Kota Padang. Agar masalah longsor ini bisa ditangani secara menyeluruh oleh pihak yang terkait maka perlu dilakukan penelitian secara komprehensif serta melihat gambaran sifat fisis dan struktur batuan bawah permukaan di daerah rawan longsor. Hingga kini, bagaimana gambaran sifat fisis dan struktur batuan bawah permukaan di Kota Padang belum banyak diungkapkan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi adanya bidang gelincir di daerah rawan longsor. Pengambilan data dilakukan di Bukit Lantiak yang masuk Kelurahan Seberang Palinggam Kecamatan Padang Selatan Kota Padang. Data yang diperoleh dengan menggunakan Konfigurasi Wenner ini diolah dengan bantuan software RES2DINV berupa penampang model 2D yang memiliki warna yang berbeda-beda. Masing-masing warna menunjukkan rentangan nilai tahanan jenis tertentu. Hasil interpretasi data untuk Lintasan 1 ini adalah sebagai berikut. Lintasan 1 terletak pada Koordinat $0.00^{\circ} 58' 3.7''$ LS dan $100^{\circ} 22' 5.6''$ BT sampai $0.00^{\circ} 58' 3.9''$ LS dan $100^{\circ} 22' 10.1''$ BT. Titik sounding berada pada koordinat $0.00^{\circ} 58' 3.9''$ LS dan $100^{\circ} 22' 10.1''$ BT. Panjang Lintasan 1 adalah

315 m dengan spasi elektroda 5 m. Berdasarkan nilai resistivitas yang diperoleh pada Lintasan 1 diidentifikasi terdapat 4 jenis batuan penyusun yaitu Clay, Sandstone, Limestone, dan Andesit. Hasil interpretasi menunjukkan di Lintasan 1 terdapat bidang gelincir.

Kata kunci : Bencana longsor, sifat fisis dan struktur batuan bawah permukaan, metoda geolistrik tahanan jenis, konfigurasi Wenner, bidang gelincir

1. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini bencana longsor sering melanda Kota Padang. Agar masalah longsor ini bisa ditangani secara menyeluruh oleh pihak yang terkait maka perlu dilakukan penelitian secara komprehensif serta melihat gambaran sifat fisis dan stuktur batuan bawah permukaan di daerah rawan longsor. Hingga kini, bagaimana gambaran sifat fisis dan stuktur batuan bawah permukaan di Kota Padang belum banyak diungkapkan.

Pemerintah Provinsi Sumatera Barat telah mengidentifikasi kerentanan bahaya longsor baik secara fisik maupun non-fisik. Kerentanan secara fisik adalah belum ada tanda-tanda bahaya pada lokasi bahaya longsor, belum ada peta resiko longsor dan belum terpasang alat peringatan dini. Sedangkan kerentanan non-fisik dari bahaya longsor adalah masyarakat tidak terdidik untuk menghindari bahaya longsor, keterbatasan lahan pembuatan pemukiman baru, sistem kepemilikan tanah yang melibatkan budaya lokal dan kekurangan kemampuan masyarakat untuk mencegah, menjinakan, mencapai kesiapan dan menanggapi dampak bahaya longsor.

Ancaman bahaya longsor di Sumatera Barat pada umumnya dan Kota Padang pada khususnya bersumber pada banyaknya pemukiman masyarakat yang terletak di kaki lereng bukit serta jalan-jalan raya strategis dibangun pada lereng-lereng bukit yang cukup terjal. Pada musim hujan, banyak daerah-daerah tersebut mengalami kejadian longsor. Jika hal ini dibiarkan terus-menerus maka akan mengganggu masyarakat dalam melaksanakan aktivitas sehari-hari.

Pemprov Sumatera Barat telah menyusun sebuah rencana penanggulangan bencana periode 2008-2012 melalui Perda No. 115 tahun 2008 [1]. Dengan beragamnya potensi bencana yang ada di Provinsi Sumatera Barat, maka dibutuhkan skala prioritas dalam pengurangan risikonya. Skala prioritas dikelompokkan dalam 3 tingkat yang mana masing-masing tingkat ditentukan berdasarkan faktor kemungkinan terjadi bencana, kerentanan masyarakat, dan kapasitas sumber daya yang dimiliki. Ketiga tingkatan tersebut adalah Tingkat Resiko Satu yaitu paling mendesak untuk ditangani, Tingkat Resiko Dua yaitu segera harus ditangani dan Tingkat Resiko Tiga yaitu dapat ditangani secara bertahap. Tingkat Resiko Satu adalah jika potensi jumlah korban dan

kerugian/kerusakan yang timbul amat besar dengan potensi terjadinya bencana amat tinggi. Longsor termasuk dalam kategori Tingkat Resiko Dua yang harus segera ditangani.

Beberapa upaya yang telah dilakukan pemerintah dalam mengantisipasi bencana longsor adalah membuat rambu-rambu rawan longsor dan menempatkan alat-alat berat pada titik-titik yang sering terjadi longsor. Meskipun demikian usaha ini dinilai oleh banyak kalangan belum menuntaskan permasalahan karena longsor terjadi pada daerah tersebut secara berulang-ulang. Oleh karena itu, diperlukan sebuah penelitian yang komprehensif yang melibatkan kepakaran dan alat-alat serta perangkat lunak yang memadai.

Salah satunya daerah di Kota Padang yang sering terkena bencana longsor adalah daerah sekitar Gunung Padang. Gunung Padang merupakan rangkaian dari Bukit Gado-Gado, Bukit Air Manis dan Bukit Putuih. Gunung Padang terletak di Kelurahan Mato Aie, Kecamatan Padang Selatan, morfologi daerahnya terdiri perbukitan dengan ketinggian sedang, serta memiliki kemiringan lereng rata-rata 30° - 65° (Brotodiharjo *et al*, 2001). Kejadian longsor lahan di Gunung Padang banyak menimbulkan kerugian bagi masyarakat, berupa hancurnya bangunan, kerusakan prasarana fisik, dan korban meninggal dunia, seperti yang terjadi pada tanggal 31 juli 2001 dan tahun 2009. Mengingat rawannya daerah Gunung Padang terhadap bencana longsor lahan, maka perlu dilakukan penyelidikan metode geolistrik time-lapse untuk memantau perkembangan daerah rawan longsor setiap saat.

Salah satu pemicu terjadinya bencana longsor adalah curah hujan yang tinggi. Secara teori, nilai tahanan jenis suatu batuan bergantung kepada kandungan air. Apakah metode geolistrik time-lapse dapat mengetahui perubahan nilai tahanan jenis batuan setelah dan sebelum hujan hingga kini belum terungkap. Di Indonesia, penelitian ini adalah yang pertama mengembangkan teknologi monitoring geolistrik time-lapse untuk memantau daerah rawan longsor khususnya akibat musim. Jika penelitian ini berhasil maka akan didapatkan sebuah "frontier technology" dalam bidang geolistrik untuk memantau perkembangan daerah rawan longsor setiap saat.

Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng. Secara umum kejadian longsor disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor pendorong dan faktor pemicu. Faktor pendorong adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi material sendiri, sedangkan faktor pemicu adalah faktor yang menyebabkan bergeraknya material tersebut. Tanah longsor terjadi pada permukaan bumi berupa lereng atau secara fisisnya berupa wilayah yang berbentuk bidang miring.

Tim Bakornas Penanggulangan Bencana Nasional (2007) memperkenalkan definisi longsor, gangguan kestabilan lereng, proses pemicu longsor, kajian bahaya longsor, gejala dan peringatan dini bencana longsor, parameter-parameter fisika bencana longsor, upaya mitigasi dan karakteristik bencana longsor sebagai berikut [2]. Longsoran merupakan salah satu jenis gerakan massa tanah atau batuan, ataupun percampuran keduanya, menuruni atau keluar lereng akibat dari terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Ada 6 jenis tanah longsor, yakni: longsoran translasi, longsoran rotasi, pergerakan blok, runtuhnya batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan. Jenis longsoran translasi dan rotasi paling banyak terjadi di Indonesia. Sedangkan longsoran yang paling banyak memakan korban jiwa manusia adalah aliran bahan rombakan.

Beberapa peneliti terdahulu telah menggunakan metode geolistrik untuk memetakan daerah rawan longsor. Jaya (2005) telah menentukan bidang gelincir pada daerah rawan longsor melalui pengukuran karakteristik kelistrikan bumi dengan daerah studi kasus di Kecamatan Prigen, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Hasilnya adalah tiap-tiap lapisan didominasi oleh jenis tanah lanauan dan pasir yang mempunyai harga resistivitas dari 15-150 Ohmmeter, hasil ini bersesuaian dengan data bor. Sudut bidang gelincir yang ditemukan adalah $37,65^\circ$ dan $22,7^\circ$. [3]. Suhendra (2005) menentukan geometri bidang gelincir di jalur jalan raya antara Wanareja –Majenang di Km. 90,4 Desa Cikukun Kecamatan Wanareja Banyumas Propinsi Jawa Tengah menggunakan metoda geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner–Schlumberger. Berdasarkan nilai tahanan jenis yang diperoleh di Desa Cikukun yaitu $7,2 \Omega\text{m} - 9,5 \Omega\text{m}$ dari penampang 2D geolistrik terlihat ada tiga bidang gelincir dan di Desa Cirongge diperoleh nilai tahanan jenis dari $2,6 \Omega\text{m} - 3,5 \Omega\text{m}$ serta dari penampang 2-D geolistrik terlihat ada dua bidang gelincir yang mempengaruhi gerakan tanah dengan kedalaman yang bervariasi antara 2 sampai 9 m [4]. Drahor, et.al., (2006) mengaplikasikan teknik tomografi resistivitas listrik 2D untuk menyelidiki longsor lahan di distrik Söke dari Aydın, Turki. Sebuah kajian pemodelan resistiviti sintetis 2D dilakukan untuk memahami respon dari resistivitas longsorlahan sebelum survei dilakukan. Hasil resistiviti dan lubang bor mengindikasikan keberadaan sebuah patahan disampingnya. Data resistiviti dari lintasan yang diukur sepanjang poros longsorlahan mengungkapkan adanya sebuah rekahan di permukaan [5]. Yilmaz (2007) menyelidiki longsorlahan Gürbulak, Trabzon, arah timur laut Turki menggunakan metode penampang bayangan resistivitas listrik 2D. Penyelidikan diarahkan untuk menentukan ketebalan material yang bergerak, bidang gelincir dan evaluasi airtanah yang berhubungan dengan terjadinya longsorlahan. Hasil resistiviti dan informasi geologi dari longsor lahan menemukan bahwa bodi longsor lahan mempunyai

derajat yang berbeda dan derajat saturasi tinggi dan bidang gelincir berada pada kedalaman 10 m [6]. Sule, et.al., (2007) menggunakan metode resistivity dan GPS dalam memantau longsoran di daerah Panawangan, Ciamis, Indonesia. Hasil penelitian ini menemukan bahwa nilai resistiviti Halang didominasi oleh *clay* dan formasi didominasi oleh *breccia* dapat menjelaskan perbedaan hasil-hasil inversi dari data resistiviti dimana bidang antarmuka pada masing-masing formasi berlaku sebagai bidang gelincir. Nilai resistivitas rendah menunjukkan kemungkinan *incharge* air permukaan. Sedangkan beberapa nilai resistivitas rendah yang ditemukan di daerah penelitian dapat berlaku sebagai trigger untuk terjadinya longsoran. Hasil survai GPS menunjukkan adanya pergerakan tanah daerah penelitian dengan pergeseran horizontal maksimum 175 mm dan pergeseran vertikal maksimum 6 m. Ini mengindikasikan bahwa kombinasi kedua metode potensial untuk memantau longsoran [7]. Colangelo, et.al., (2008) menerapkan tomografi resistivitas listrik 2D untuk menyelidiki longsoran aktif di daerah Basilicata, arah tenggara Italia. Modal, et.al., (2008) menggunakan metode tomografi resistivitas listrik 2D resolusi tinggi untuk mengkarakterisasi longsoran aktif di Garhwal Hialaya, India. Tomogram resistivity mengidentifikasi keberadaan zona bidang gelincir pada kedalaman 10-20 m dari permukaan tanah [8].

Selanjutnya, Lapenna, et.al., (2012) mengembangkan algoritma data inverse tomografi untuk monitoring longsor di bagian selatan Italia. Hasilnya adalah metode geolistrik robust ini secara efektif diaplikasikan untuk memberikan kontribusi terhadap fase dalam siklus manajemen bencana [9]. Sule, et.al., (2007) telah menggunakan kombinasi metode resistiviti dan GPS untuk menyelidiki longsor di Area Panawangan-Ciamis, Indonesia. Hasilnya menunjukkan gerakan berarti dari tanah dalam area yang diselidiki dengan pergeseran horizontal maksimum 175 mm dan pergerakan vertikal maksimum 6 mm [7]. Travelletti, et.al., (2011) menggunakan metode tomografi resistivity listrik time-lapse untuk memonitor perembesan dan aliran air bawah permukaan dalam tanah longsor dengan batuan pasir bercampur clay. Hasil penelitian mengidentifikasi sebuah pengurangan berarti dalam resistiviti sampai 18% dibandingkan dengan keadaan awal dalam skema hujan. Penelitian ini mendemonstrasikan bahwa metode tomografi resistivity listrik time-lapse berpotensi memonitor perembesan air pada bidang miring pasir bercampur clay [10].

Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa meskipun metode geolistrik telah digunakan secara luas untuk menyelidiki karakteristik daerah rawan longsor, namun pengembangan teknologi monitoring geolistrik time-lapse untuk memantau perkembangan daerah rawan longsor masih sangat sedikit. Di Indonesia, metode geolistrik time-lapse ini

adalah yang pertama diterapkan untuk memantau perkembangan daerah rawan longsor dalam selang waktu tertentu.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di Kota Padang yaitu di Bukit Lantiak yang termasuk Kelurahan Seberang Palinggam Kecamatan Padang Selatan.

2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam survai geolistrik dan geologi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat yang digunakan dalam survei geolistrik dan geologi

No	Nama Alat	Spesifikasi	Kegunaan	Jumlah
1	Automatic Resistivity System GF Instruments	Model Ares-G4	Mengukur nilai tahanan jenis batuan bawah permukaan	1 buah
2	GPS	Garmin V	Mengukur posisi	1 buah
3	Altimeter	Pauline	Mengukur ketinggian	1 set
4	Mobil	CC>1800	Alat transportasi lapangan	1 buah
5	Kamera digital	Optikal zoom	Pemotretan titik-titik amat	1 buah
6	Palu geologi	-	Pengetukan batuan	1 buah
7	Kompas	Utara-selatan	Menentukan arah amat	1 buah

2.3. Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

Peralatan utama yang digunakan untuk mendapatkan nilai tahanan jenis adalah *Automatic Resistivity System GF Instruments* (ARES) dengan spesifikasi Model Ares-G4 buatan Republik Cheko. Peralatan ini adalah milik Universitas Negeri Padang (Jurusan Fisika FMIPA) yang diperoleh dari bantuan DIKTI akibat musibah Gempabumi Padang tanggal 30 September 2010. Alat ini dilengkapi dengan software RES2D asli. Teknik pengumpulan data yang akan digunakan adalah konfigurasi Wenner untuk melihat perubahan nilai tahanan jenis secara vertikal.

Titik-titik pengamatan ditentukan berdasarkan peta topografi, peta jalan dan pengetahuan geologi daerah tersebut. Sebelum pelaksanaan pengukuran di lapangan, disiapkan alat dan bahan sebagai berikut: peta jalan, peta tofografi, peta geologi, Automatic Resistivity System GF Instruments, altimeter, alat ukur posisi (Global

Positioning System), kamera foto, jam, alat komunikasi dan alat transportasi. Pengukuran nilai tahanan jenis di setiap stasiun diikuti dengan pengukuran ketinggian, dan pengukuran posisi stasiun serta dilanjutkan dengan memfoto posisi stasiun. Alat yang digunakan untuk mengukur posisi stasiun adalah GPS sedang alat untuk mengukur ketinggian adalah altimeter.

2.4 Teknik Analisa Data Geolistrik

Pengolahan data lapangan hasil pengukuran geolistrik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak RES2D. Pada tahap ini dicoba untuk menampilkan Model 2-D yang menggambarkan nilai tahanan jenis batuan pada kedalaman tertentu. Untuk menyakinkan kualitas hasil pemodelan, nilai tahanan jenis dan kedalaman sebenarnya yang pertama sekali dihitung digunakan untuk mendapatkan nilai tahanan jenis dan kedalaman semu terhitung berikutnya. Proses ini dilakukan terus menerus (iterasi) sampai didapatkan hasil yang terbaik.

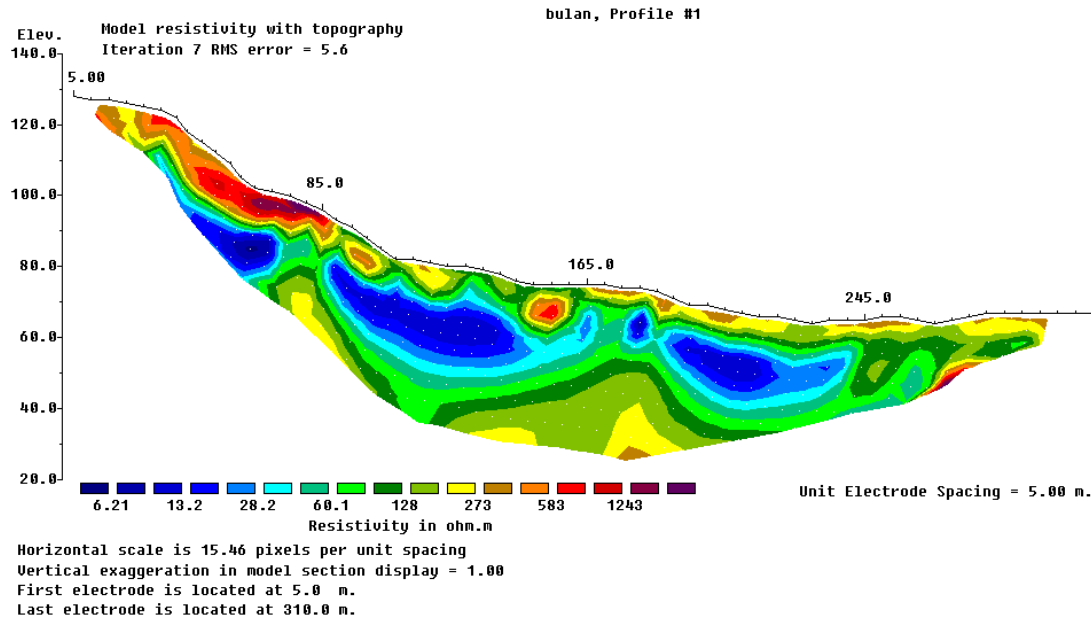
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengukuran Geolistrik dengan menggunakan *Automatic Resistivity System GF Instruments* Konfigurasi Wenner dapat dikelompokkan dalam data maksimum (Maks) dan minimum (Min) yang terdiri atas data kuat arus I (dalam mA), data selisih potensial V (dalam mV) dan data hambatan jenis ρ_a (dalam ohm.meter), seperti dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai kuat arus, beda potensial dan hambatan jenis Lintasan 1

No.	Lintasan	Nilai	I (mA),	V (mV)	ρ_a (ohm.meter).
1	1	Maks	457.65	365.8	1178.71
		Min	4.88	20.06	31.92





. Data yang diperoleh dengan menggunakan Konfigurasi Wenner ini diolah dengan bantuan software RES2DINV berupa penampang model 2D yang memiliki warna yang berbeda-beda seperti dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Penampang Model 2D Lintasan 1 dengan Topografi.

Masing-masing warna menunjukkan rentangan nilai tahanan jenis tertentu, yang dapat diinterpretasi sebagai jenis mineral geologi tertentu seperti dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil interpretasi material di Lintasan 1

KODE WARNA	Tahanan jenis (Ωm)	MATERIAL
	6,21-60,1	CLAY
	60,10-273,00	SANDSTONE
	273,00-583,00	LIMESTONE
	583,00-1243,00	ANDESIT

Hasil interpretasi data untuk Lintasan 1 ini adalah sebagai berikut. Lintasan 1 terletak pada Koordinat $0.00^{\circ} 58' 3.7''$ LS dan $100^{\circ} 22' 5.6''$ BT sampai $0.00^{\circ} 58' 3.9''$ LS dan $100^{\circ} 22' 10,1''$ BT. Titik sounding berada pada koordinat $0.00^{\circ} 58' 3.9''$ LS dan $100^{\circ} 22' 10,1''$ BT. Panjang Lintasan 1 adalah 315 m dengan spasi elektroda 5 m. Berdasarkan nilai resistivitas yang diperoleh pada Lintasan 1 diidentifikasi terdapat 4 jenis batuan penyusun yaitu Clay, Sandstone, Limestone, dan Andesit. Hasil interpretasi

menunjukkan di Lintasan 1 terdapat bidang gelincir yang membentang dari posisi $x = 15$ m sampai $x = 85$ m masing-masing dengan ketinggian 118 mdpl sampai 86 mdpl, dengan ketebalan 32 m.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan nilai resistivitas yang diperoleh pada Lintasan 1 diidentifikasi terdapat 4 jenis batuan penyusun yaitu Clay, Sandstone, Limestone, dan Andesit. Hasil interpretasi menunjukkan di Lintasan 1 terdapat bidang gelincir.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Saya sangat berterima kasih kepada pihak penyandang dana Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi “Pengembangan Teknologi Monitoring Geolistrik Time-Lapse Untuk Memantau Daerah Rawan Longsor Di Kota Padang” ini yaitu Kementerian Riset dan Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dana untuk kebutuhan penelitian ini. Kemudian terima kasih juga saya ucapkan kepada Kepala Laboratorium Geofisika FMIPA UNP dan Wali Alat Automatic Resistivity System GF Instruments yang telah mengizinkan saya untuk menggunakan peralatan ARES dan memberikan bimbingan teknis cara pengolahan data Geolistrik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemprov Sumbar, 2008, Rencana Penanggulangan Bencana Provinsi Sumbar 2008-2012.
- [2] BAKORNAS PB, 2007, Pengenalan Karakteristik Bencana Dan Upaya Mitigasinya, Di Indonesia, ISBN 978-979-96016-2-9, Direktorat Mitigasi, Kalakhar BAKORNAS PB, Jakarta
- [3] Jaya, M.S., 2005, Penentuan Bidang Gelincir Pada Daerah Rawan Longsor Melalui Pengukuran Karakteristik Kelistrikan Bumi, ITS-Research, ITS Library.
- [4] Suhendra, 2005, Penyelidikan daerah rawan gerakan tanah dengan metode geolistrik tahanan jenis (studi kasus : longsor di desa cikukun), Jurnal Gradien Vol.1 No.1 Januari 2005 : hal. 1-5.
- [5] Drahor, M.G., Göktürkler, G., Berge, M.A., and Kurtulmuş, T. Ö., 2006, Application of electrical resistivity tomography technique for investigation of landslides: a case from Turkey, Environmental Geology, Volume 50, Number 2 / May, 2006, Pages 147-155.
- [6] Yilmaz, S., 2007, Investigation of Gürbulak Landslide Using 2D Electrical Resistivity Image Profiling Method (Trabzon, Northeastern Turkey), Journal of Environmental & Engineering Geophysics, June 2007, v. 12; issue. p. 199-205.

- [7] Sule, R., Syamsuddin, Sitorus, F., Sarsito, D.A., and Sadisun, I.A., 2007, The Utilization Of Resistivity And Gps Methods In Landslide Monitoring: Case Study At Panawangan Area – Ciamis, Indonesia, PROCEEDINGS JOINT CONVENTION BALI The 32nd HAGI, The 36th IAGI, and The 29th IATMI Annual Conference and Exhibition, 2007.
- [8] Colangelo, G., Lapenna, V., Loperte, A., Perrone, A., and Telesca, L., 2008, 2D electrical resistivity tomographies for investigating recent activation landslides in Basilicata Region (Southern Italy), ANNALS OF GEOPHYSICS, VOL. 51, N. 1, February 2008
- [9] Lapenna, V., Perrone, A., Piscitelli, S., 2012, Electrical Tomography for landslide monitoring: state-of-the-art and an overview of recent results in Southern Italy, EMSEV 2012 Gotemba Kogen Resort, Gotemba, Japan October 1–4, 2012.
- [10] Travelletti, J., Sailhac, P., Malet, J.P., Grandjean, G., and Ponton, J., 2011, Hydrological response of weathered clay-shale slopes: water infiltration monitoring with time-lapse electrical resistivity tomography, HYDROLOGICAL PROCESSES Hydrol. Process. (2011)

**SISTEM PENGATURAN SUHU PADA RUANG PENGERINGAN BAHAN
PANGAN BERBASIS MIKROKONTROLER AT89S51 DAN PC.
THE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN A COMESTIBLE DRYER BOX
USING AT89S51 MICROCONTROLLER AND PC.**

Marhaposan Situmorang
Departemen Fisika FMIPA USU, Medan
mar_posan@yahoo.co.id, Jln. Bioteknologi 1, Kampus USU, 20115

ABSTRACT

One of comestible dryer box was constructed with dimension of 50 x 20 x 30 cm. The box is equipped with heater, LM 35 temperature sensor, dc motor, blower and fan. The range of temperature operation (maximum and minimum achieved temperature) can be adjusted by sending data from PC to microcontroller using serial standar RS 232. By using data from PC , the microcontroller will compare data with the value of measured temperature using LM 35 and then the result will be used to turn on or off heater, to open or close the box door and to turn off or on the blower. The results of drying ear mushrooms shows that the quality and colour after drying is related with the used range of temperature operation, the given heater power and also the length of drying time

Keywords: Drying System, AT89S51 microcontroller, RS232

ABSTRAK

Telah dikonstruksi sebuah ruang pengeringan bahan pangan dimensi 50x20x30 cm. Ruangan dilengkapi dengan pemanas, sensor suhu LM35, motor, blower dan kipas. Jangkauan operasi pemanasan (suhu batas atas dan bawah) dapat diubah menggunakan PC yang datanya dikirim ke mikrokontroler melalui standar serial RS232. Berdasarkan data dari PC, mikrokontroler akan membandingkannya dengan nilai suhu yang diukur oleh LM35 dan selanjutnya akan menghidupkan/mematikan pemanas, menutup/membuka pintu dan mematikan/menghidupkan blower. Hasil pengeringan pada bahan pangan jamur kuping menunjukkan bahwa warna dan kualitas bahan sangat dipengaruhi oleh nilai jangkauan operasi suhu pengeringan, besarnya daya yang diberikan pemanas dan lama pengeringan.

Kata kunci: Sistem Pengeringan, Mikrokontroler AT89S51, RS232.

1. PENDAHULUAN.

Salah satu proses yang diperlukan pada pengolahan hasil panen pertanian agar dapat disimpan atau yang diperlukan untuk pengolahan lanjutan adalah proses pengeringan. Hasil pertanian seperti daun tembakau, teh, cacao, padi, jamur kuping, dan lainnya, umumnya dikeringkan secara konvensional yaitu dengan menjemur dibawah sinar matahari. Hasil pengeringan, secara konvensional belum dapat memberikan hasil yang memadai dalam hal kualitas, karena intensitas sinar matahari tidak dapat diatur dan kemungkinan adanya awan/hujan yang sangat mengganggu dalam proses pengeringan.

Sebagai pengganti cara konvensional, berbagai proses pengeringan telah dilakukan menggunakan energi listrik dan gas dengan cara mengalirkan udara panas melewati ruangan dengan laci – laci yang disusun berisi bahan yang hendak dikeringkan. Untuk membuat agar suhu ruangan pengeringan dapat dikendalikan digunakan mikrokontroler untuk mengatur suhu udara panas tersebut [1,2], Mikrokontroler lebih disukai karena relatif murah dibandingkan dengan penggunaan PLC pada industri. Keakuratan

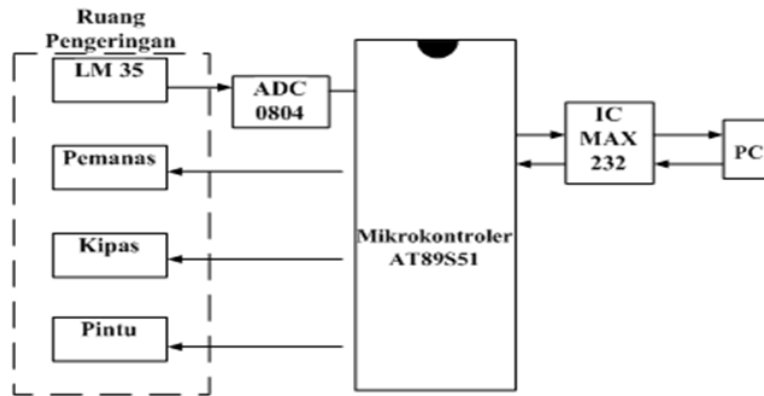
pengaturan suhu dengan mikrokontroler juga banyak diterapkan untuk mengatur suhu dalam bidang pengobatan (terapi) melalui pengaturan suhu yang dilakukan pada bagian kepala pada manusia [3]. Umumnya suhu ruangan pengeringan diatur pada jangkauan operasi suhu yang cukup besar seperti dari 50°C sampai 100°C dan dari 30°C sampai 80°C [1], karena udara panas dialirkan masuk melewati laci dan kemudian keluar setelah memanaskan bahan pada laci. Jangkauan yang digunakan hanya bertujuan agar kandungan air dari bahan yang dikeringkan dapat dikeluarkan. Izan [4] melakukan pengeringan menggunakan tray dryer dengan suhu udara panas yang masuk sebesar 50,60 dan 70°C dan laju debit udara sebesar 0,0078 m³/dtk, 0,0156 m³/dtk dan 0,0234 m³/dtk. Pada kondisi ini pengaturan dilakukan terhadap pemanasan udara masuk sehingga diperoleh suhu udara panas sesuai yang diinginkan, tanpa mengatur nilai jangkauan suhu operasi. Pada sisi lain bila jangkauan suhu operasi ruang pengeringan diubah, hasil pengeringan akan berbeda, seperti pada pengeringan teh, kopi dan cacao [1].

Di dalam tulisan ini, dirancang sistem pengeringan dalam sistem tertutup dimana saat proses pemanasan tidak ada udara masuk dari luar. Udara dalam keadaan tertutup di dalam ruangan dipanaskan dan disebarkan merata menggunakan kipas pada nilai jangkauan suhu operasi yang dapat diubah menggunakan PC. Pemanasan yang terjadi selama pada jangkauan operasi akan menguapkan air dari bahan dan setelah nilai suhu batas atas dicapai pemanas mati dan pintu akan terbuka dan selanjutnya udara panas hasil penguapan dikeluarkan menggunakan blower dan akan menurunkan suhu ruangan.. Penurunan suhu ruangan setelah mencapai batas bawah akan menutup pintu, mematikan blower dan mengulangi kembali proses pemanasan. Jadi proses pengeringan hanya terjadi pada jangkauan suhu yang ditetapkan melalui nilai masukan dari PC. Dengan sistem pengeringan tertutup ini diharapkan akan diperoleh variasi hasil pengeringan berdasarkan jangkauan suhu operasi, dengan pemberian daya yang berbeda sehingga kondisi yang paling cocok dapat diperoleh spesifik untuk pengeringan bahan pangan tertentu.

2. METODOLOGI.

Sistem pengeringan dirancang seperti yang ditunjukkan pada diagram blok Gambar 1. Mikrokontroler diberikan masukan nilai batas atas dan batas bawah suhu yang dikirim dari PC yang selanjutnya disimpan pada memori dengan alamat tertentu. Mikrokontroler juga menerima masukan nilai suhu ruangan pengeringan dari pengukuran sensor LM35 setelah dikonversi ke digital oleh ADC 0804. Nilai dari suhu ruang pengeringan akan dibandingkan oleh program didalam mikrokontroler dengan nilai batas atas dan batas bawah suhu yang dikirim dari PC. Hasil perbandingan dari nilai suhu

tersebut akan menentukan bentuk keluaran dari mikrokontroler untuk menghidupkan atau mematikan pemanas, blower dan membuka atau menutup pintu. Nilai suhu yang diukur sensor LM35, juga akan dikirim ke PC melalui standar serial RS 232 untuk ditampilkan pada monitor.

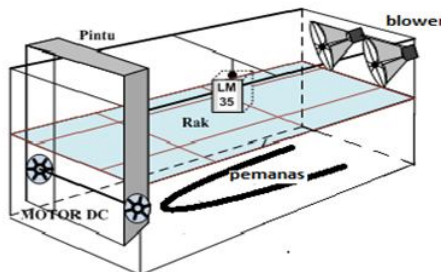


Gambar 1. Diagram blok sistem pengeringan

3. PERANCANGAN SISTEM PENGERINGAN.

3.1 RANCANGAN RUANG PENGERINGAN.

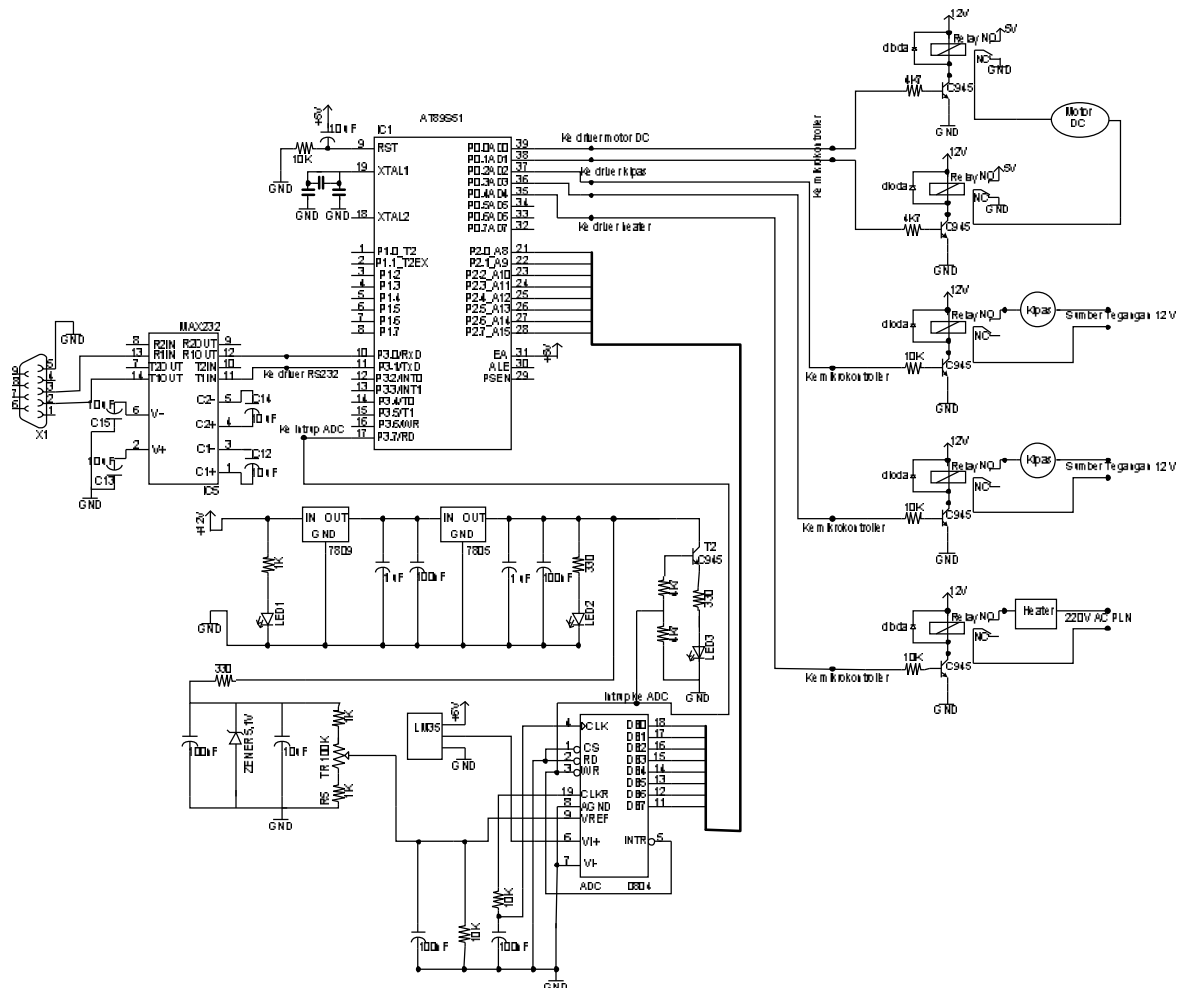
Ruang pengeringan dirancang berbentuk kotak persegi panjang dengan dimensi panjang 50 cm, lebar 20 cm dan tinggi 30 cm yang dibuat dari bahan perspek. Pada dasar kotak terdapat pemanas dan pada salah satu ujung kotak dibuat pintu yang dapat dibuka/ditutup menggunakan motor dc. Pada bagian samping kotak di dalam ruang dipasang kipas untuk membuat sirkulasi aliran udara di dalam kotak; sehingga sewaktu pemanasan, kalor yang diberikan pemanas dapat disebarkan merata di dalam ruangan dalam kondisi pintu tertutup. Pada bagian tengah kotak digantungkan sensor suhu LM35 untuk mengukur suhu ruangan. Pada ujung kotak lainnya terdapat blower untuk mengeluarkan uap panas dari dalam kotak yang dihasilkan selama pemanasan pada jangkauan suhu mulai dari nilai batas bawah sampai nilai batas atas. Skematik alat pengering dengan rak tempat bahan yang hendak dikeringkan diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Ruang Pengeringan

Untuk mengatur seluruh proses pada sistem pengeringan digunakan mikrokontroler AT89S51 dan PC. Nilai batas atas dan nilai batas bawah suhu dikirim dari PC ke mikrokontroler melalui standar serial RS 232. Tegangan yang diukur oleh sensor LM 35 akan diubah menjadi digital oleh ADC 0804 dalam mode *free running* dan kemudian dikonversi menjadi decimal yang sesuai dengan nilai suhu ruang yang diukur. Program kemudian akan membandingkan nilai pengukuran suhu tersebut dengan nilai yang diperoleh dari PC. Hasil perbandingan nilai tadi akan digunakan untuk mengirim kondisi 1 atau 0 ke Port keluaran mikrokontroler untuk menghidupkan atau mematikan pemanas, blower ataupun membuka atau menutup pintu.

PC dan mikrokontroler dihubungkan secara serial melalui IC MAX 232 dan DB9 dan konfigurasi hardware secara lengkap diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi Hardware Peralatan

Komunikasi antara PC dan mikrokontroler dilakukan melalui USB pada PC dan Port 3.0 (RxD) dan Port 3.1 (TxD) pada mikrokontroler. Nilai batas atas dan batas bawah suhu dikirim dari PC melalui USB dan diteruskan ke konverter USB ke DB9 dan dilewatkan melalui IC MAX 232 dan akhirnya diterima mikrokontroler melalui Port 3.0 (RxD). Program pada mikrokontroler akan menyimpan nilai tersebut pada memori untuk dapat dibandingkan dengan nilai suhu ruangan yang diukur oleh LM35. Mikrokontroler akan mengirim nilai suhu yang diukur LM35 melalui Port 3.1 (TxD) dan diteruskan melalui IC MAX 232 dan konverter DB9 ke USB untuk ditampilkan pada monitor PC.

3.2.2 PENGATURAN SUHU RUANGAN DAN PENGERINGAN.

Untuk pengaturan suhu ruangan, pada mikrokontroler diisikan program yang akan membandingkan suhu batas atas dan suhu batas bawah dengan nilai suhu yang diukur sensor LM35. Nilai awal suhu batas atas dan suhu batas bawah sudah ada diisikan pada awal pemrograman sebagai nilai tetap yang akan dieksekusi oleh program saat mikrokontroler dihidupkan. Nilai ini akan diubah bila dari PC dikirim nilai batas atas dan nilai batas bawah yang baru.

Mekanisme penutupan dan pembukaan pintu ruangan diatur menggunakan motor DC yang dihubungkan dengan P0.0 dan P0.1 pada mikrokontroler. Pintu dibuka melalui perintah *setb P0.0* dan ditutup dengan perintah *setb P0.1* yang diteruskan ke *driver relay* untuk mengatur arah arus pada motor DC untuk putar kanan atau kiri dalam waktu tunda tertentu. Blower dihidupkan melalui perintah *setb* pada P03 dan P04 yang diteruskan ke *driver relay* untuk memutar motor DC pada blower. Pemanas dihidupkan melalui perintah *setb P0.5* yang diteruskan ke *driver relay* untuk mengaktifkan saklar yang terhubung ke daya listrik. Besarnya daya yang diberikan oleh pemanas dapat diubah menggunakan *Triac* yang pengaturannya dilakukan menggunakan potensiometer.

Saat mikrokontroler dihidupkan, akan diperiksa apa ada nilai batas suhu yang baru. Jika tidak ada maka akan digunakan nilai tetap yang sudah ada di dalam program. Suhu ruangan diukur oleh sensor LM 35 dan setelah dikonversi menjadi digital oleh ADC 0804 diteruskan ke mikrokontroler pada Port 2. Data digital yang sudah diterima mikrokontroler akan dibandingkan dengan nilai suhu batas atas dan batas bawah yang ada pada memori mikrokontroler. Pada start awal, suhu yang diukur LM35 masih dibawah batas bawah dan batas atas sehingga hasil perbandingan akan menghidupkan pemanas dengan cara mengirim bit 1 (*high*) untuk menghidupkan saklar, menutup pintu, sedangkan blower mati dengan pengiriman bit 0 pada driver blower. Selama pemanas dihidupkan, pemanasan akan berlangsung sampai tercapai suhu batas atas.

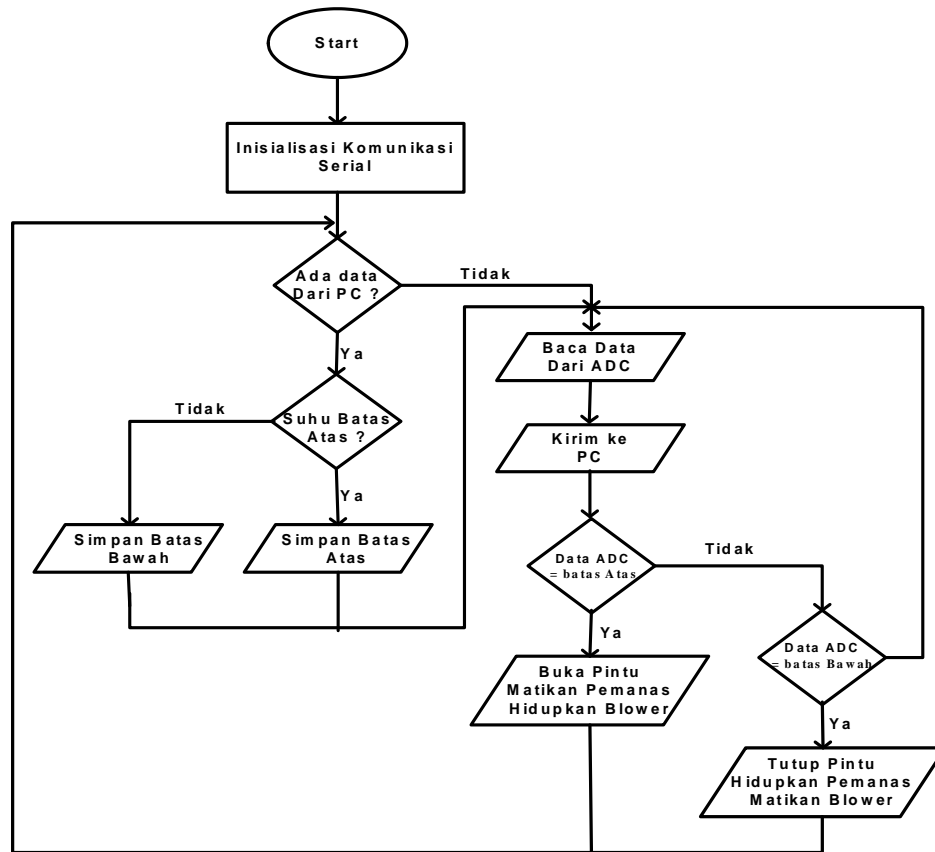
Pada saat suhu ruangan sudah berada pada batas atas, program akan membuka pintu mematikan pemanas dan kemudian menghidupkan blower. Pada proses ini aliran udara akibat blower akan mengeluarkan uap air hasil penguapan dari bahan yang dikeringkan selama pemanasan di dalam ruang pengeringan; sehingga dengan sendirinya suhu ruangan akan turun. Saat suhu ruangan diturunkan, suhu batas bawah akan dicapai dan hasil perbandingan nilai suhu akan membuat program kembali menutup pintu, menghidupkan pemanas/kipas, mematikan blower dan proses pemanasan kembali dilakukan sampai dicapai suhu batas atas. Setelah batas atas dicapai, uap air dikeluarkan kembali, suhu turun, dipanaskan kembali, demikian akan terjadi pengulangan yang dikendalikan mikrokontroler secara otomatis.

3.3 RANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Perangkat lunak yang digunakan terdiri dari Visual Basic 6.0 (VB6.0) yang diisikan pada PC dan Bahasa Assembly MCS 51 diisikan pada mikrokontroler. Rancangan perangkat lunak pada PC diperlihatkan dengan diagram alir pada Gambar 4. Untuk mengimplementasikan diagram alir dibuat, suatu *Graphical User Interface* (GUI) menggunakan MS Comm Control 6.0 dengan baudrate 9600 dan menset Timer dengan interval 100 μ s pada VB6.0. Rancangan perangkat lunak pada mikrokontroler diperlihatkan dengan diagram alir pada Gambar 5. Untuk mengimplementasikan diagram alir pada mikrokontroler dibuat program dalam Bahasa Assembly MCS 51 dengan menset baudrate 9600 agar komunikasi serial antara mikrokontroler dapat berlangsung.



Gambar 4. Diagram alir VB 6.0 pada PC



Gambar 5. Diagram Alir MCS 51 pada Mikrokontroler AT89S51

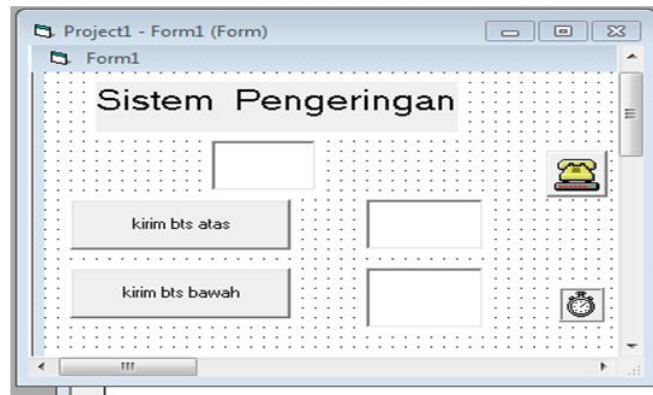
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Foto peralatan ruang pengeringan sesuai dimensinya berikut rangkaian elektronik pengendali diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Foto peralatan ruang pengeringan

Peralatan diuji dengan cara mengeksekusi program pada mikrokontroler dan memulai komunikasi serial antara PC dan mikrokontroler dengan mengeksekusi program VB 6.0 pada PC. Program pada PC dieksekusi dengan menampilkan dan mengeksekusi GUI yang didesain pada monitor PC seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. GUI pada monitor PC

Pengiriman data melalui GUI dilakukan dengan cara memberi nilai batas atas dan nilai batas bawah suhu yang diinginkan yang diisikan pada kolom text dan kemudian dieksekusi untuk dikirim ke mikrokontroler dengan cara mengklik kolom command "kirim bts atas" dan command "kirim bts bawah". Proses pemanasan ruangan berlangsung dengan bekerjanya pemanas dan kipas serta pintu ditutup. Nilai suhu ruangan selama pemanasan ditampilkan pada kolom text pada GUI yang diperbaharui setiap 100 μ s.

Proses pemanasan berlanjut dan dibutuhkan waktu agak lama untuk memanaskan ruangan sampai dicapai nilai batas atas. Ketika nilai suhu ruangan yang tertampil pada GUI sama dengan nilai suhu batas atas yang sudah ditetapkan, pintu terbuka, pemanas dan kipas mati dan blower secara otomatis berputar. Saat blower hidup, udara panas dikeluarkan dan suhu ruangan dengan cepat turun mencapai nilai suhu batas bawah; jadi untuk proses ini blower tidak terlampaui lama hidup dan selanjutnya pintu kembali ditutup, pemanas dan kipas kembali hidup, pemanasan untuk mencapai nilai batas atas kembali berlangsung. Berfungsinya seluruh komponen peralatan ini menunjukkan bahwa alat pengering sudah bekerja dengan baik sesuai dengan yang diinginkan.

Untuk mengamati hasil pengeringan terhadap bahan pangan, alat pengering dioperasikan untuk mengeringkan jamur kuping segar yang kandungan airnya tinggi sebesar 90% dari berat basah [4]. Kandungan air tersebut perlu dikeluarkan supaya tidak terjadi reaksi-reaksi kimia dan aktivitas mikroorganisme yang dapat merusak kualitas jamur kuping. Proses pengeringan pada jamur kuping dengan demikian merupakan hal yang sangat penting agar dapat diperoleh kualitas dan warna yang baik sehingga tahan

untuk disimpan. Kondisi jamur kuping kering yang baik diperlukan untuk kebutuhan manusia karena jamur ini bermanfaat sebagai sumber protein pada manusia dan berfungsi sebagai anti oksidan dan anti kanker [5].

Pengujian pertama dilakukan pada jamur kuping segar yang dicuci dengan air sampai bersih kemudian disebarkan pada wadah dan dibiarkan beberapa saat untuk mengeringkan sisa air. Jamur seberat 300 gr ditimbang menggunakan timbangan digital Nagata tipe LCS kapasitas 12 Kg x 1 gr. Selanjutnya jamur dimasukkan kedalam ruang pengeringan dan disebarkan merata pada laci untuk uji coba pengeringan.. Jangkauan suhu pengeringan diatur dari PC sebesar 45 sampai 50°C. Pemberian daya diatur menggunakan petensiometer yang disambungkan pada Triac. Besar Arus (Amp) dan tegangan(Volt) yang diberikan Triac pada pemanas diukur menggunakan Multimeter Digital dan hasil pengukuran memberikan daya sebesar 14 Watt. Pemanasan dengan daya 14 Watt berlangsung selama 4 jam yang diamati memakai jam tangan biasa. Hasil pengeringan setelah 4 jam ditimbang dan diperoleh berat kering sebesar 219 gr. Warnanya masih merah yang menunjukkan kandungan air masih tinggi. Pengujian kedua dilakukan untuk jamur kuping segar seberat 300 gr dengan mengubah daya menjadi 41 Watt. Setelah pengeringan 4 jam diperoleh berat kering sebesar 174 gr dengan warna agak merah. Demikian selanjutnya dilakukan untuk daya 140 Watt dan 242 Watt dengan perolehan berat kering 98 dan 86 gr. Warna kering jamur sudah mengarah ke coklat kemerahan namun kandungan airnya masih tinggi. Hasil pengeringan pada jangkauan suhu 45 sampai 50°C selama 4 jam diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengeringan pada jangkauan suhu 45-50°C

Daya (Watt)	Waktu (menit)	Berat Kering (g)	Warna
14	240	219	merah
41	240	174	agak merah
140	240	98	agak merah
242	240	86	coklat kemerahan

Pengujian selanjutnya dilakukan untuk jangkauan suhu ruang pengeringan sebesar 55-60°C. Sampel jamur segar dengan berat 300 gr dikeringkan dengan daya 12 Watt selama 4 jam, kemudian untuk sampel segar dengan daya 43 Watt selama 4 jam dan untuk sampel berikut dengan daya 147, 245 Watt. Berat kering yang diperoleh untuk masing – masing nilai variasi daya adalah 205, 151, 84 dan 69 gr. Warna yang diperoleh untuk berat kering 69 gr adalah warna coklat yang menunjukkan kadar air sudah memenuhi

nilai standar. Hasil pengeringan pada jangkauan suhu 55 sampai 60°C selama 4 jam diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengeringan pada jangkauan suhu 55-60°C

Daya (Watt)	Waktu (menit)	Berat Kering (g)	Warna
12	240	205	merah
43	240	151	agak merah
147	240	84	agak coklat
245	240	69	coklat

Pada tabel 1 dan 2 terlihat bahwa dengan pemberian kalor dalam nilai daya kecil sampai puluhan Watt, belum membuat perubahan warna yang berarti, warnanya masih kelihatan merah dan hasil penyimbangan berat kering jamur menunjukkan kandungan air masih cukup besar disekitar 40 sampai 50%. Kondisi ini tentu tidak diinginkan karena walaupun warnanya cukup menarik, tetapi adanya kandungan air yang masih tinggi akan merusak kualitas jamur selama waktu penyimpanan sebelum dikonsumsi.

Dari kedua jangkauan suhu yang dioperasikan tersebut hasil yang memenuhi standar pengeringan (20% dari berat segar) [4] telah diperoleh pada jangkauan suhu pemanasan 55 - 60°C selama 4 jam. Pengeringan pada jangkauan suhu 45 - 50° C menunjukkan kandungan air masih tinggi dengan berat kering sekitar 30% berat segar, sehingga masih diperlukan penambahan waktu pengeringan agar diperoleh berat kering sesuai standar.

Dari perolehan hasil untuk kedua jangkauan suhu pemanasan tersebut terlihat bahwa jangkauan suhu operasi, daya dan lama pengeringan sangat berperan untuk menghasilkan warna yang diinginkan dan untuk mencapai berat kering sesuai standar. Aplikasi pengeringan dengan jangkauan suhu berbeda dapat diterapkan untuk pengeringan daun teh , cacao, kopi, kacang dan yang lainnya untuk perolehan aroma dan rasa yang mungkin berbeda dengan proses pengeringan dengan jangkauan suhu yang berbeda. Proses tersebut dapat dilakukan menggunakan alat yang dirancang.

5. KESIMPULAN

Alat yang dirancang telah dapat bekerja mengatur suhu ruang pengeringan pada suatu nilai jangkauan suhu tertentu dengan memvariasikan daya dan waktu pengeringan. Nilai jangkauan suhunya dapat diubah menggunakan GUI pada monitor PC. Uji pengeringan pada bahan pangan jamur kuping menggunakan jangkauan suhu 45 - 50° C dan 55 - 60°C dengan pasokan daya 250 Watt selama 4 jam memberikan hasil yang berbeda

terutama dengan warna setelah pengeringan. Warna jamur kuping dengan jangkauan 45 - 50⁰ C lebih mendekati warna aslinya dibandingkan dengan jangkauan 55- 60⁰C. Jangkauan suhu pengeringan dengan demikian merupakan hal yang berpengaruh terhadap warna akhir jamur kuping setelah pengeringan.

6. PUSTAKA.

- [1]. Javanmard M., Abbas K.A.,and Arvin F, A Microcontroller - Based Monitoring System for Batch Tea Dryer, Journal of Agricultural Science1.2 2009 Dec;1(2); 101-106.
- [2]. Francis Enejo Idachaba, Design of Intel 8751 Microcontroller-based System for Monitoring and Control of a Thermal Process, IETE Journal of Research, 2010 Jul-Aug;56(4); 189-192.
- [3]. Metin K.,Rasit A.,and Inan G, A New Microcontroller-Based Human Brain Hypothermia System, Journal of Medical Systems, 2005 October;29(5); 501-512.
- [4]. Izan, Pengeringan Jamur Kuping Dengan Tray Dryer, Tesis S2, Sistem Teknik UGM, Perpustakaan UGM Yogyakarta,2012.
- [5].Nunung Marlina, Budi Daya Jamur Kuping, Kanisius Yogyakarta, 2001

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL TEMPERATUR UNTUK PROSES PENDINGINAN MENGGUNAKAN TERMoeLEKTRIK

DESIGN AND CONSTRUCTION OF TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR COOLING PROCESS USING THERMOELECTRIC

Meqorry Yusfi¹, Wilka putra², Derisma²

¹ Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas

² Jurusan Sistem Komputer FTI Universitas Andalas

Jln. Kampus Limau Manis Kota Padang 25163

Email : meqorry@fmipa.unand.ac.id

ABSTRACT

It has been designed and constructed a temperature control system in a 50x15x25cm box. System is designed using thermoelectric as a cooler element. SHT11 as a sensor will read temperature data and continue the data to ATmega8535 microcontroller then it will be displayed in LCD. Setting point will be inputted in keypad, if setting point different with the real data then thermoelectric module will be activated. PID method is used to control the temperature. The minimum temperature is $-0,2^{\circ}\text{C}$ at the cooling side. The optimum PID parameter for this system is $K_p = 200$, $K_i = 2$, dan $K_d = 20$. The testing has been done for a couple of condition which resulting different rise time and settling time but it showed the control system has been working good for several conditions.

Keywords: Thermoelectric, SHT11, PID control

ABSTRAK

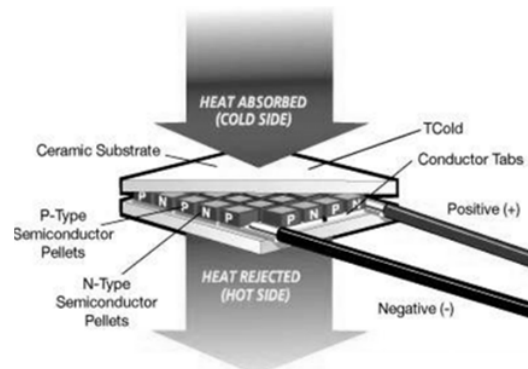
Telah dirancang bangun sebuah sistem kontrol temperatur pada sebuah box yang berukuran 50x15x25 cm. Sistem dirancang dengan menggunakan termoelektrik sebagai elemen pendingin. SHT11 yang berfungsi sebagai sensor akan membaca data temperatur kemudian data diteruskan ke mikrokontroler ATmega8535 dan ditampilkan pada LCD. Setpoint akan diberikan pada keypad, jika setpoint berbeda dengan data temperatur yang sebenarnya maka akan terjadi proses pendinginan dengan mengaktifkan modul termoelektrik. Pengontrolan terhadap modul termoelektrik dilakukan menggunakan metode PID agar temperatur yang dituju menjadi stabil. Hasil pengujian modul termoelektrik secara langsung diperoleh temperatur minimum yang dapat dicapai pada sisi dingin adalah $-0,2^{\circ}\text{C}$. Parameter PID yang paling optimal untuk sistem adalah $K_p = 200$, $K_i = 2$, dan $K_d = 20$. Pengujian dilakukan untuk beberapa kondisi yang menghasilkan rise time dan settling time yang berbeda-beda yang memperlihatkan sistem kontrol sudah bekerja dengan baik.

Kata kunci : Termoelektrik, SHT11, kontrol PID

1. PENDAHULUAN

Penggunaan elemen peltier pada sistem kontrol temperatur telah banyak dipakai untuk berbagai aplikasi. Elemen peltier / termoelektrik (TEC) dipakai karena dapat digunakan untuk proses pemanasan atau pendinginan [1]. Termoelektrik menggunakan

beberapa termokopel yang disusun seri yang memudahkan perpindahan panas. Umumnya bagian luar komponen ini dibungkus sejenis keramik tipis yang berisikan batang-batang bismuth telluride di dalamnya. Material tersebut adalah suatu semikonduktor yang didalamnya ditambahkan suatu zat tambahan. Zat tambahan tersebut bertujuan untuk memberikan kelebihan elektron bebas (N-type semikonduktor) atau memberikan kekurangan elektron bebas (P-type semikonduktor). Skema elemen perltier dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema Elemen peltier [4]

Elektron dari material yang kekurangan elektron (*P-type material*) bergerak ke material yang kelebihan elektron (*N-type material*). Dalam keadaan ini maka konektor akan menyerap energi sehingga sisi ini akan menjadi sisi dingin dari peltier. Di lain pihak, ketika elektron bergerak dari *N-type* menuju *P-type*, maka konektor akan melepas energi sehingga sisi ini akan menjadi sisi panas dari peltier. Perbedaan temperatur inilah yang akan menghasilkan beda tegangan. Tegangan pada modul termoelektrik (V) adalah [2]:

$$V = a_m(T_h - T_c) + IR_m \quad (1)$$

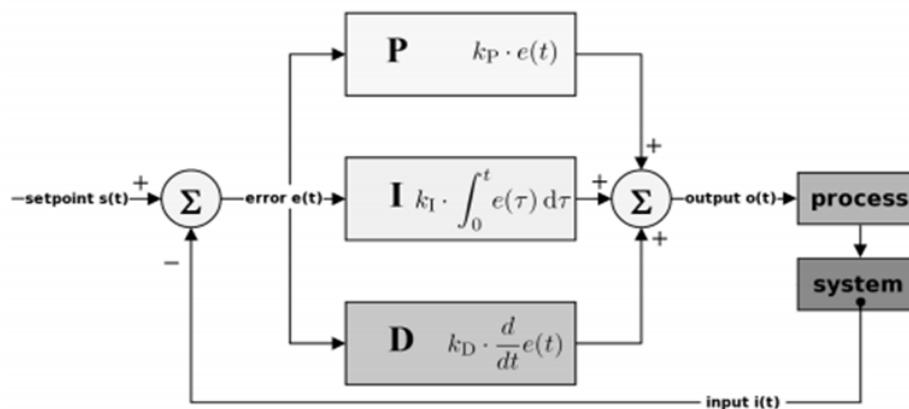
dimana R_m adalah resistansi elektris (Ohm) , a_m adalah koefisien seeback ($V/^{\circ}C$), T_h temperatur pada sisi panas ($^{\circ}C$), T_c temperatur pada sisi dingin($^{\circ}C$) dan I adalah arus yang melalui elemen peltier (A). Persamaan 1 tersebut menggambarkan, modul peltier bergantung kepada perbedaan temperatur pada kedua sisi($T_h - T_c$).

Pendeteksian perbedaan temperatur yang dihasilkan oleh elemen pertier menggunakan SHT11. SHT11 merupakan modul sensor suhu dan kelembaban relatif yang berbasis sensor SHT11 dari Sensirion. Modul ini dapat digunakan sebagai alat pengindra suhu dan kelembaban dalam aplikasi pengendali suhu dan kelembaban ruangan maupun aplikasi pemantau suhu dan kelembaban relatif ruangan.

Kontrol PID

PID merupakan kombinasi dari 3 buah kontroler yaitu Proporsional, Integral dan Derivatif. Keuntungan yang terdapat pada ketiga pengendali tersebut tergabung pada kontrol PID [5]. Kontrol PID memiliki beberapa kegunaan diantaranya : terdapat umpan balik, memiliki kemampuan dalam menghilangkan steady state error melalui pengendali integral, dapat melakukan prediksi terhadap kemungkinan kedepannya melalui pengendali derivatif. Kontrol PID banyak digunakan pada seluruh kegiatan industri dalam bentuk yang berbeda-beda [6].

Diagram blok PID dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram blok PID [3]

Secara umum algoritma kontrol PID dapat kita gambarkan dalam persamaan berikut [3][7] :

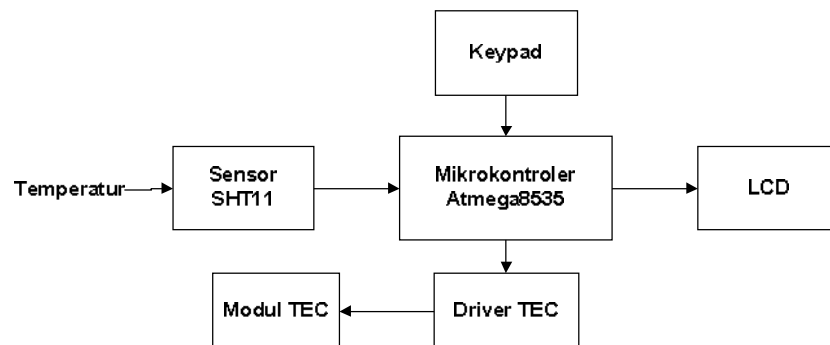
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} T_d \quad (2)$$

Dengan u sebagai variabel kontrol, e sebagai eror kontrol ($e = \text{setpoint} - \text{output}$). K_p , K_i dan K_d adalah konstanta untuk proposional integral dan derivative.

2. METODE PENELITIAN

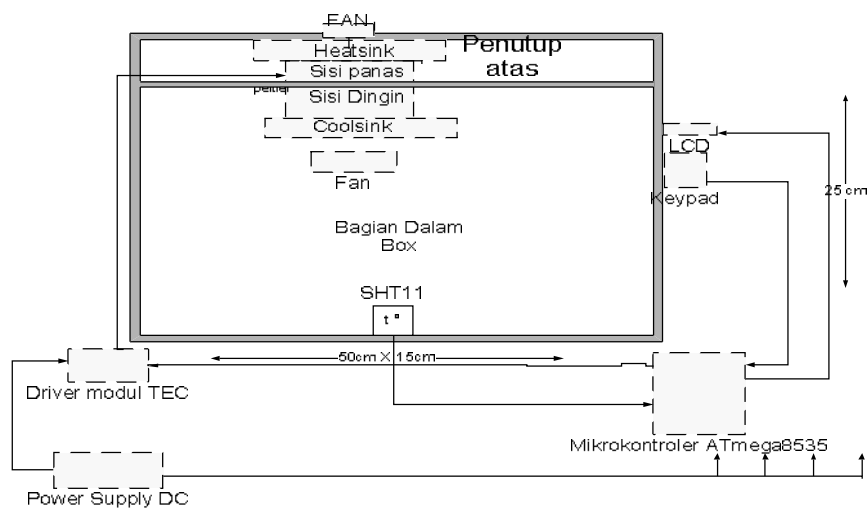
Perancangan alat sistem kontrol temperatur untuk pendinginan ruangan meliputi perancangan *hardware* dan *software*. Diagram blok perancangan *hardware* dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar terlihat bahwa Sensor SHT11 akan membaca data temperatur ruang kemudian data diteruskan ke mikrokontroler Atmega8535 dan ditampilkan di LCD. Keypad berfungsi untuk memberikan input *setting* temperatur yang diinginkan. Jika temperatur yang terbaca berbeda dengan setting temperatur maka proses pendinginan akan dilakukan dengan mengaktifkan modul TEC melalui driver TEC. Modul

TEC yang dipakai yaitu TEC1-12706 merupakan salah satu modul termoelektrik yang bekerja dengan menggunakan arus DC yang berfungsi sebagai elemen pendingin temperatur ruang. Modul TEC akan beroperasi berdasarkan besar daya yang diberikan oleh *driver*. Modul dirangkai dengan *heatsink*, *coolsink* dan kipas agar proses pendinginan optimal.



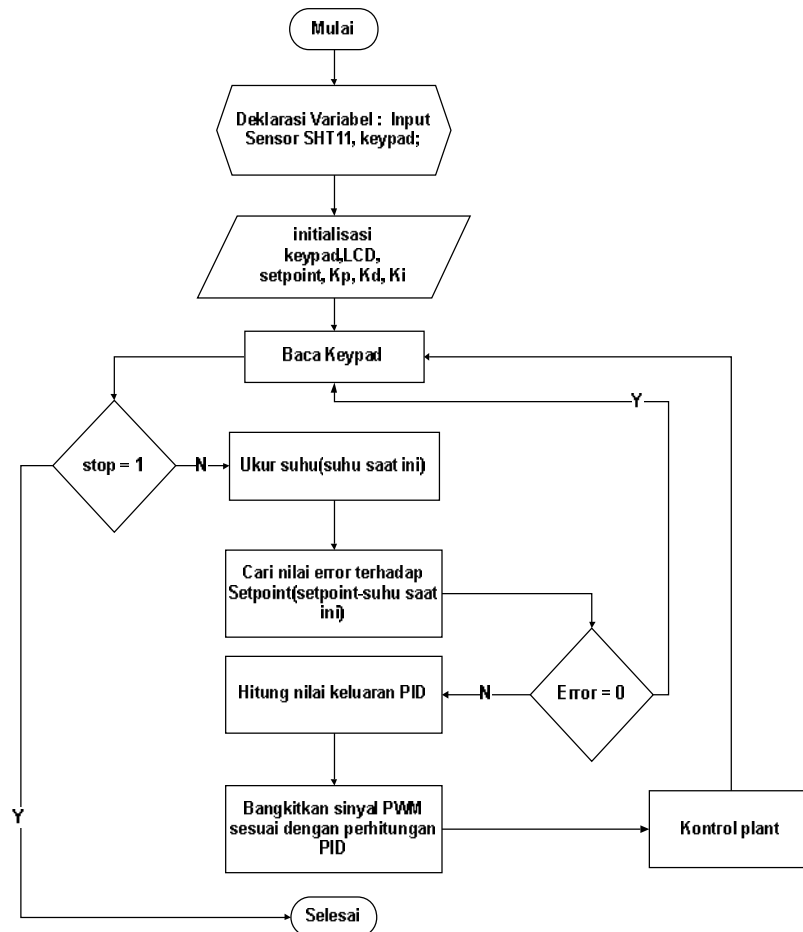
Gambar 3 Diagram Blok perancangan *hardware*

Perancangan mekanis dari sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4. Dimensi dari box adalah sekitar 50x15x25 cm, dengan elemen peltier yang terpasang dengan *heatsink* pada kedua sisinya. Box akan dilengkapi dengan modul kontrol, catu daya, sensor, LCD, dan *keypad*.



Gambar 4 Skema Rancangan Alat

Perancangan *software* dibuat untuk mengontrol temperatur dengan menggunakan metode PID. *Flowchart* dari sistem kontrol temperatur untuk proses pendinginan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 *Flowchart* Kontrol Temperatur

3. HASIL DAN ANALISA

3.1 Pengujian Pengaruh Tegangan pada Pendinginan Termoelektrik

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari termoelektrik dalam mendinginkan atau menurunkan temperatur dengan memvariasikan nilai tegangan yang digunakan. Pengujian dilakukan dengan mengukur temperatur secara langsung pada sisi

dingin termoelektrik dengan menggunakan thermometer. Data diambil selama 100 detik. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Data Pengujian Temperatur Sisi Dingin Termoelektrik

Waktu(s)	Temperatur Termoelektrik (°C)	
	V=11,5V, I= 3A	V= 4,84V, I=1,2 A
0	31,1	30,6
10	21,5	27,5
20	12,5	23,1
30	6,5	20,4
40	3,6	18,2
50	1,5	16,8
60	0,4	16,2
70	0	16
80	-0,2	15,8
90	-0,1	15,6
100	0	15,3

Dari data pada Tabel 1 dapat kita lihat bahwa perbedaan nilai tegangan akan berdampak terhadap kemampuan dari termoelektrik dalam melakukan proses pendinginan. Dari percobaan pertama menggunakan tegangan sekitar 11,5 V dengan arus 3A, sisi dingin termoelektrik dapat mencapai temperatur hingga -0.2°C . Berbeda dengan pada saat tegangan diberikan sebesar 4,84V dengan arus 1,2A, sisi dingin termoelektrik hanya mampu mencapai temperatur 15.3°C untuk waktu pendinginan selama 100 detik. Laju pendinginan dengan nilai tegangan yang lebih besar juga berlangsung lebih cepat dibandingkan nilai tegangan yang kecil.

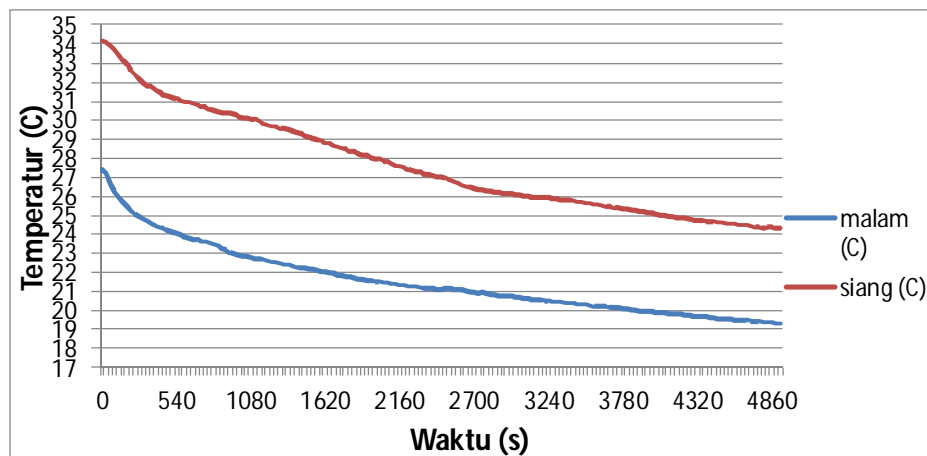
3.2 Pengujian Respon *Open Loop* Sistem

Setelah dilakukan pengujian langsung pada sisi dingin termoelektrik, maka elemen peltier dipasang pada alat seperti pada Gambar 6. Pada setiap sisi termoelektrik akan dipasang logam sebagai media penyaluran suhu. Sisi dingin untuk bagian dalam box, serta sisi panas sebagai pembuang panas pada bagian luar. Logam yang digunakan adalah alumunium yang relatif cepat dalam mengantarkan panas atau dingin.



Gambar 6 Alat secara keseluruhan

Sebelum dilakukan proses pengontrolan, dilakukan pengujian thermoelektrik secara *open loop*, atau tanpa sistem kontrol. Pengujian dilakukan pada dua kondisi lingkungan yang berbeda. Pertama pada kondisi siang, temperatur pada siang hari dalam rentang 30-34°C. Kondisi kedua malam hari dengan temperatur lingkungan berada dalam rentang 26-29°C. Hasil pengujian pendinginan box dapat kita lihat pada gambar 7



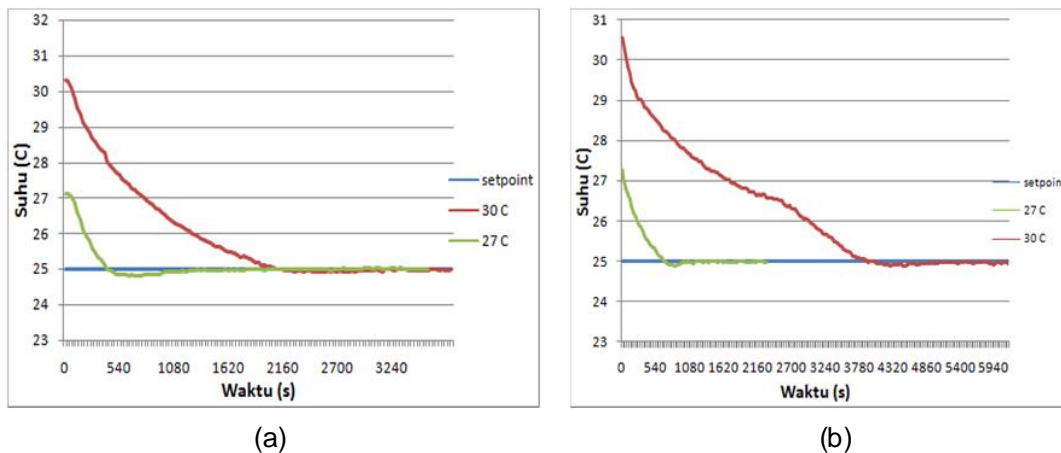
Gambar 7 Grafik Pengujian pendinginan pada box

Dari Gambar 7 diatas dapat kita lihat bahwa pada saat siang hari alat dapat menurunkan temperatur hingga mencapai 25°C dalam kurun waktu 4080 detik dengan kecepatan rata-rata 0,002°C/s. Pada saat malam hari dalam kurun waktu tersebut alat dapat mencapai hingga temperatur 19,88°C. Jika temperatur lingkungan masih berkisar antara 30-34°C maka alat dapat menurunkan hingga temperatur 24°C batas maksimumnya. Begitupun dengan keadaan pada malam hari, jika temperatur masih berada dalam rentang 26-29°C maka alat dapat menurunkan temperatur hingga 18°C. Hal

ini disebabkan oleh pengaruh dari temperatur lingkungan. Selain mempengaruhi secara langsung terhadap temperatur dalam box, temperatur lingkungan juga mempengaruhi pembuangan panas pada sisi panas termoelektrik, yang berdampak pada dingin yang dihasilkan oleh sisi dingin termoelektrik.

3.3 Pengujian Respon kontrol PID

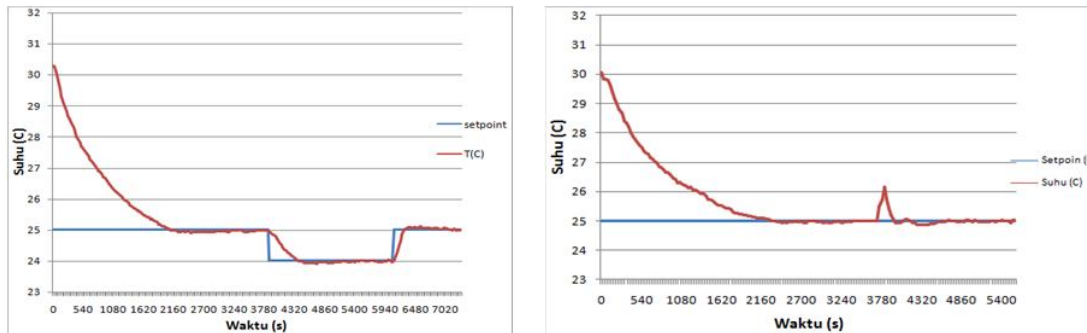
Setelah mendapatkan penalaan parameter PID yang paling optimal dengan menggunakan metode *trial and error* atau coba-coba yaitu $K_p = 200$, $K_i = 2$, dan $K_d = 20$, selanjutnya dilakukan pengujian respon sistem terhadap objek. Objek yang digunakan dalam pengujian ini adalah beberapa jenis obat-obatan dan minuman kaleng/botol. Pengujian dilakukan untuk beberapa kondisi temperatur lingkungan untuk masing-masing objek yaitu antara 27°C sampai 33°C .



Gambar 8 (a) Pengujian Respon Sistem untuk Objek Obat (b) Pengujian Respon Sistem untuk Objek Minuman

Pada Gambar 8(a) Pengujian respon sistem untuk objek obat, saat suhu lingkungan sekitar 30°C respon sistem menghasilkan *overshoot* sebesar 0,4% dan *steady state error* sebesar 0,19% dengan *rise time* 2100 detik dan *settling time* 3300 detik. Pada keadaan 27°C terdapat lebih besar *overshoot* yaitu sebesar 0,8% dan *steady state error* sebesar 0,06% dengan *rise time* 420 detik dan *settling time* 1260 detik. Sedangkan pada Gambar 8(b) Pengujian respon sistem untuk objek minuman, pada saat suhu awal 27°C *rise time* yang dibutuhkan sistem adalah sebesar 690 detik dan *settling time* sebesar 1140 detik. *Overshoot* yang dihasilkan sekitar 0,44% dengan *steady state error* sebesar 0,07%. Ketika suhu awal 30°C , *rise time* dari sistem adalah 3930 detik dan *settling time* 5010. *Overshoot* yang dihasilkan sebesar 0,48% dengan *steady state error* 0,15%. Pada kedua grafik diatas dapat kita lihat, objek obat lebih cepat dalam mencapai *steady state error* daripada objek minuman, namun memiliki *overshoot* yang lebih besar.

Pengujian respon sistem kontrol PID yang berikutnya dilakukan dengan melakukan perubahan nilai *setpoint* serta memberikan gangguan pada sistem selama proses pendinginan berlangsung. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Pengujian respon sistem jika (a) *setpoint* berubah (b) terjadi gangguan

Pada Gambar 9 terlihat bahwa sistem kontrol pendinginan ruangan telah berhasil memberikan respon yang baik pada keadaan dimana *setpoint* nya berubah-ubah (a) atau diberikan gangguan dari luar seperti jika box dibuka (b). Keadaan tersebut mengakibatkan temperatur lingkungan akan masuk ke dalam box menyebabkan temperatur jadi naik seketika, namun jika ditutup kembali, maka sistem kontrol PID akan bekerja untuk menstabilkan temperatur kembali sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa

1. Nilai tegangan yang lebih besar memiliki laju pendinginan lebih cepat dibandingkan nilai tegangan yang kecil. Nilai temperatur minimum pada sisi dingin termoelektrik dapat mencapai temperatur hingga -0.2°C untuk tegangan yang besar (11,5 V).
2. Penurunan temperatur pada siang hanya mencapai 25°C dalam kurun waktu 4080 detik dengan kecepatan rata-rata $0,002^{\circ}\text{C/s}$.
3. Parameter $K_p = 200$, $K_i = 2$, $K_d = 20$ pada sistem kontrol pendinginan ruang telah bekerja dengan baik untuk beberapa keadaan dengan terbukti mampu mencapai *setpoint* kembali jika diberikan gangguan.

Beberapa perbaikan dirasa masih perlu dilakukan untuk meningkatkan kinerja alat dan pengembangannya lebih lanjut. Oleh sebab itu, penulis memberikan beberapa saran diantaranya :

1. Menggunakan sensor lain yang dapat menghasilkan eror yang lebih kecil, seperti SHT15 dan RTD pt 100.
2. Penggantian sistem kontrol untuk meningkatkan respon yang lebih baik

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Pathak, Abinav and Goel, Vikas. *Heat Pump Design Using Peltier Element for Temperature Control of The Flow Cell*. International Journal of Computer Science, Engineering and Applications(IJCSEA). 2013 June; 3(3): 41-47.
- [2.] Gabert, Anders. *Temperature Stabilization of Electronics Module*. Master's Thesis. Dept. Of Computer Science and Electrical Engineering Lulea University of Technology. 2006.
- [3.] Nieswand, Simon. *A Peltier Cooling System for SiPM Temperature Stabilization*. Bachelor's Thesis. Aachen University. 2012.
- [4.] Tellurex Corporation. *An introduction to thermoelectric*. Tellurex Corporation. Miami. 2006
- [5.] Ogata, Katsuhiko. *Modern Control Engineering 5th Edition*. Prentice-Hall : New Jersey. 2010.
- [6.] Astrom, Karl J and Hagglund,Tore. *PID Controller : Theory, Design, and Tuning 2nd Edition*. Instrument Society of Amerika : USA. 1995.
- [7.] Lindu Bhakti, tatag et all. *Design of Bovine Semen Temperature Controller Using PID*. International Journal of Computational Engineering Research. November 2012; 2(7): 52-58.

PENENTUAN KANDUNGAN UNSUR LOGAM PADA KERANG (*BIVALVIA*) DI DAERAH PESISIR PANTAI KABUPATEN TAPANULI TENGAH

CONTENT DETERMINATION OF HEAVY METAL COMPOSITION IN SHELL FISH (*BIVALVIA*) IN THE COASTAL BEACH AREA OF CENTRAL TAPANULI REGENCY

Rahmatsyah¹, Julyha²

^{1,2}Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Medan
Jl. Willeam Iskandar Pasar V Medan Estate (20221)
Email : rahmatunimed@gmail.com

ABSTRACT

A research of heavy metal composition at the coastal beach area of Central Tapanuli Regency had been done. This research aimed to know the heavy metal composition in sea water parameters, eggshell, and shellfish samples by using X-Ray Diffraction (XRD) and Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The obtained results are the highest metal composition in sea water samples was at the station I with concentration of Copper (Cu) is 19.3 mg / l and the highest concentration of iron (Fe) was at station V is 11.9 mg / l. The results of element composition of eggshell included 19.0% CaO, 67.6% C, 10.2% Iron (Fe) and 3.1% Copper (Cu). The highest metal composition of shellfish sample was at station III with concentration of Copper (Cu) is 162 mg / kg and the highest concentration of iron (Fe) of 15.1 mg / kg was at station II. This showed either sea water, shell or shellfish had been accumulated by heavy metals. Consuming this sea shells which has been accumulated by heavy metals exceeding the threshold set by MENKLH 2004 will have an impact on health.

Keywords: *Base Sediment, Eggshells, Shellfish*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian analisis kandungan logam berat di daerah pesisir pantai Kabupaten Tapanuli Tengah. Dengan tujuan untuk mengetahui kandungan logam berat Fe dan Cu cangkang kerang dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), parameter air laut, dan daging kerang dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil yang diperoleh dari kandungan logam pada sampel air laut tertinggi berada pada stasiun I dengan konsentrasi Tembaga (Cu) yaitu 19,3 mg/l dan konsentrasi Besi (Fe) tertinggi berada pada stasiun V yaitu 11,9 mg/l. Hasil kandungan unsur cangkang kerang meliputi CaO sebesar 19.0 %, C sebesar 67.6 %, Besi (Fe) sebesar 10.2% dan Tembaga (Cu) sebesar 3.1 %. Kandungan logam pada sampel daging kerang tertinggi berada pada stasiun III dengan konsentrasi Tembaga (Cu) yaitu 162 mg/kg dan konsentrasi Besi (Fe) tertinggi berada pada stasiun II yaitu 15,1 mg/kg. Hal ini menunjukkan baik air laut, cangkang kerang dan daging kerang telah terakumulasi logam berat jika mengkonsumsi kerang laut yang melebihi batas ambang yang telah ditetapkan oleh MENKLH 2004 tersebut akan berdampak bagi kesehatan.

Kata kunci : *Air laut, Cangkang kerang, Daging kerang*

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Tapanuli Tengah merupakan salah satu kabupaten yang berada di Pantai Barat Sumatera, memiliki luas 2.194,98 km² (219.498 Ha) terletak pada koordinat 1°11'00" - 2°22'0" Lintang Utara, serta 98°07' - 98°12' Bujur Timur. Tapanuli Tengah memiliki beberapa sektor industri yang dapat memberikan pendapatan daerah yang cukup signifikan seperti industri pertanian mencapai 25,05 %, industri pertambangan mencapai 0,01 %, industri pengolahan mencapai 8,42 %, industri listrik dan air bersih mencapai 0,70 %, industri bangunan mencapai 5,26 %, industri perdagangan mencapai 21,22 %, industri transportasi mencapai 11,51 %. [1]

Wilayah perairan kabupaten Tapanuli Tengah khususnya daerah Pondok Batu Sumatera Utara merupakan daerah penuh dengan aktivitas penduduk dan perindustrian. Pada tahun 2013 penduduk Kabupaten Tapanuli Tengah meningkat dari 318.908 jiwa menjadi 324.006 jiwa naik sebesar 1,59 %. Jumlah perusahaan terdiri dari 1802 perusahaan. perusahaan – perusahaan kecil yang bergerak diberbagai bidang, dengan bidang usaha pengasinan ikan yang paling banyak pada tahun 2013 yaitu sebesar 186 perusahaan [1]. Hal ini terlihat dari air laut yang kotor serta bau busuk disekitar tempat tersebut. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas air dan kelangsungan hidup biota laut di daerah tersebut. Daerah pesisir Kabupaten Tapanuli Tengah. Aktivitas penduduk serta perusahaan – perusahaan yang bergerak tersebut diperkirakan telah berperan dalam peningkatan kandungan logam berat yang terbesar di perairan tersebut melalui buangan limbahnya.

Faktor negatif dari pertumbuhan industri diatas kurang mendapat perhatian masyarakat adalah kandungan logam berat yang telah tercemar pada biota laut. Hal ini diperjelas dengan laporan Sekretaris Barisan Muda Keluarga Besar Masyarakat Tapanuli Tengah Sibolga mengaku sangat prihatin dengan kondisi pesisir pantai Tapanuli Tengah dan Sibolga, kondisi perairan laut Sibolga Tapanuli Tengah yang semakin tercemar. Kondisi laut Sibolga Tapanuli Tengah ini sudah parah, karena sudah banyak tercemar, baik oleh sampah rumah tangga, limbah industri maupun limbah dari tumpahan minyak-minyak kapal. Akibatnya, populasi ikan yang merupakan salah satu primadona mata pencaharian masyarakat akan semakin langka [2].

Hasil penelitian pada 2006 [3] menunjukan bahwa semakin tinggi konsentrasi logam berat Cu dan Pb dalam media akan menunjukan penurunan filtrasi pada kerang terhadap *Skeletonema sp* yang terdapat didalamnya hal tersebut menunjukan bahwa logam tersebut berpengaruh buruk terhadap kerang apabila dikonsumsi terus menerus oleh manusia maka sifat bioakumulatif inilah yang menyebabkan kerang harus

diwaspadai. Pada tahun 2004 [4] menyatakan, kerang adalah salah satu hewan laut yang paling efisien mengakumulasi logam berat. Hal ini disebabkan, kerang hidup di lapisan sedimen dasar perairan, bergerak sangat lambat dan makanannya adalah detritus di dasar. Pengaruhnya seperti yang terjadi di Jepang berupa penyakit Minamata (*Minamata Disease*) pada tahun 1950-an membawa korban akibat keracunan logam berat melalui konsumsi hewan tersebut dari laut. Hal yang sama dilakukan tahun 2011 [5] dari beberapa kerang di Nigeria telah terkontaminasi oleh logam berat. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa hewan-hewan laut dan tiram, memiliki potensi tinggi untuk berkonsentrasi logam berat. Tahun 2012 [6], terdapatnya logam berat pada ikan dan kerang seperti *mercury*, *arsenic*, *cadmium*, *plumbum* di kawasan Selat Malaka. Hasil penelitian di daerah pesisir Sibolga- Tapteng, menurut penelitian pada tahun 2011 [7] air laut di pesisir pantai Sibolga masih di bawah baku mutu air laut untuk biota, pH daerah pesisir pantai Sibolga diperoleh 8,6 - 8,8 dengan rata-rata 8,7. Nilai pH baku mutu air laut untuk wisata bahari sekitar 7,0 – 8,5. Untuk perikanan pH berkisar 6 – 8,5. Ph di suatu perairan normal berkisar 6,0 – 9,0. Demikian pula [8] pesisir pantai Sibolga terkatagori diatas nilai ambang batas tetapi masih termasuk dalam katagori perairan normal. Nilai baku mutu air laut untuk wisata bahari adalah >6 m, sehingga air laut di pesisir pantai Sibolga termasuk daerah yang tercemar,serta air laut pesisir pantai Sibolga hampir setengah beraroma bau. Berdasarkan permasalahan- permasalahan diatas maka dilakukan penelitian di daerah kawasan industri pesisir pantai Tapanuli Tengah.

2. METODE PENELITIAN

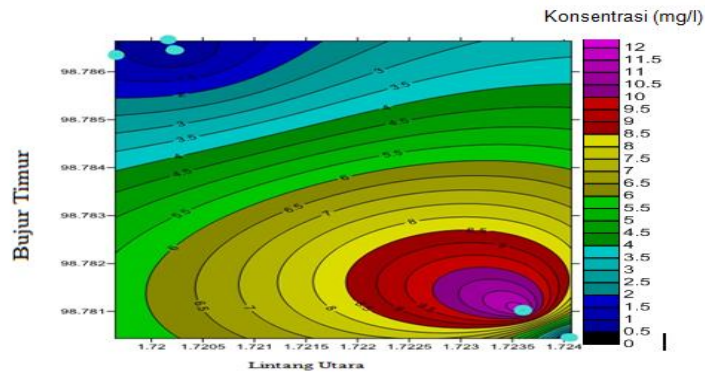
Lokasi penelitian pengambilan parameter air laut, cangkang kerang dan daging kerang menunjukkan, dibagian Utara dan di bagian Timur berbatasan langsung dengan kawasan industri. Di bagian Selatan berbatasan dengan kawasan penduduk. Analisis parameter air laut dan daging kerang dilakukan dengan menggunakan peralatan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) type Shimadzu AA-7000 di Balai Riset dan Standarisasi Industri Medan. Analisis cangkang kerang dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) type shimadzu 6100 dilakukan di Laboratorium Fisika Material Universitas Negeri Medan. Dengan terlebih dahulu sampel dihaluskan dengan Ball Milling selama 1 jam dengan speed 200 rpm, kemudian sampel di uji dengan XRD, dan dianalisa dengan program *Match 2*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

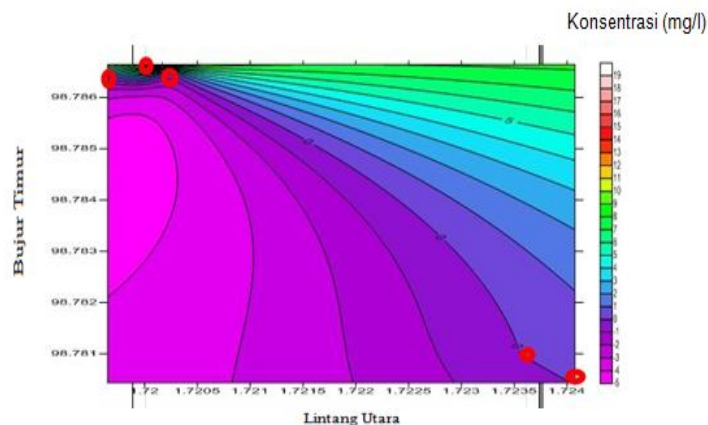
3.1 Parameter Air Laut

Hasil analisa parameter air laut yang dilakukan dengan pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) menghasilkan kandungan logam Besi (Fe) minimum

pada stasiun IV sebesar 0,02 mg/l dan maksimum pada stasiun V sebesar 11,9 mg/l. Hal ini melebihi batas baku mutu air laut yang telah ditetapkan oleh MENKLH 2004 [9] yaitu sebesar 1,0 mg/l (Gambar 1). Sedangkan konsentrasi Tembaga (Cu) tertinggi berada pada stasiun I yaitu 19,3 mg/l, dengan hasil teramati pada kontur gambar 2.



Gambar 1. Kontur kandungan Besi (Fe) pada air laut Konsentrasi (mg/l)

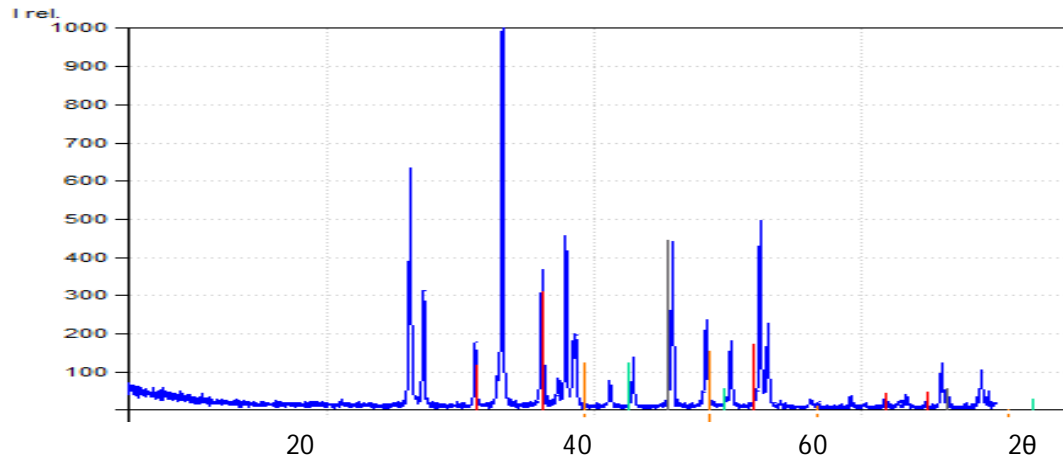


Gambar 2. Kontur kandungan tembaga (Cu) pada air laut

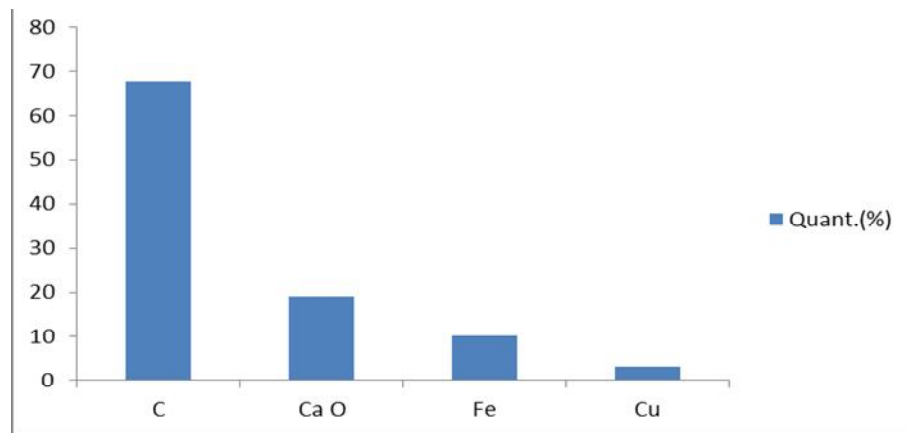
3.2. Hasil Pengujian Cangkang Kerang

Hasil pengujian sampel cangkang kerang dengan difraksi sinar -X (XRD) teramati CaO sebesar 19.0 %, C sebesar 67.6 %, Besi (Fe) sebesar 10.2% dan Tembaga (Cu) sebesar 3.1 %. Hal ini menunjukkan kulit kerang terbuat dari sejenis kapur dan di buat oleh *Mollusca* sendiri. Saat *Mollusca* bertambah besar, kerangnya juga bertambah besar dan tebal. Hal ini teramati pada garis pertumbuhannya yang di tandai dengan lekukan yang memanjang secara paralel pada tepi luarnya. Garis pertumbuhan itu terdapat pada kulit kerang. Cangkang Kerang tercemar jika mengandung unsur-unsur lain selain CaCO_3 ,

jika makhluk hidup khususnya manusia yang mengkonsumsi biota laut tersebut telah tercemar logam berat akan berdampak bagi kesehatannya.

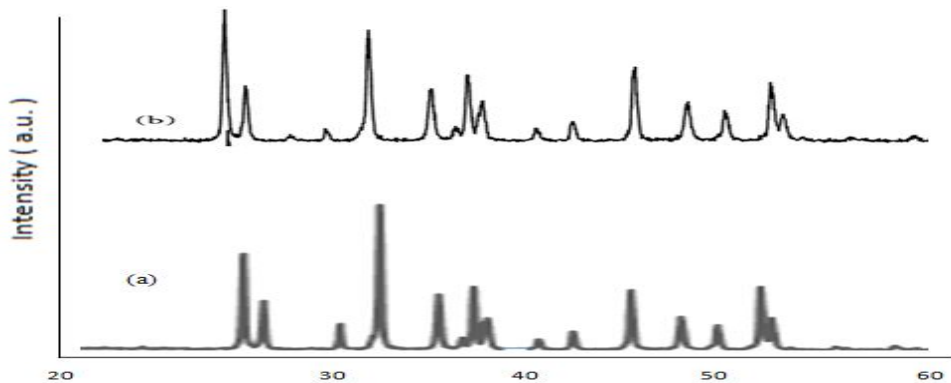


Gambar 3. Pola XRD kandungan cangkang kerang



Gambar 4. Grafik Kandungan Unsur pada Cangkang Kerang

Analisa menunjukkan format aragonit CaCO_3 dalam sampel yang dibandingkan dengan suatu karbonat zat kapur standard diffractogram dengan puncak dari serbuk cangkang kerang ditemukan dengan tahap aragonit JCPDS 00-0010628.

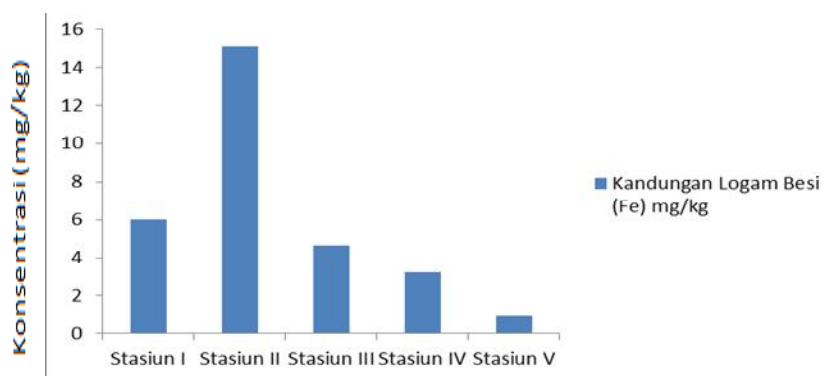


Gambar 5. Grafik perbandingan struktur CaCO_3 dalam (a) fase aragonit pada cangkang kerang dengan (b) fase aragonit berdasarkan JCPDS

Menunjukkan puncak dominan sesuai dengan bentuk aragonit dari CaCO_3 dalam fase aragonit dari *Joint Committee of Powder Diffraction Society* (JCPDS) file no. 00-001-0628. Hal ini sesuai berdasarkan analisa program *Match 2* menunjukkan kalsium karbonat (CaCO_3) pada cangkang kerang aragonit dengan sistem kristal orthorombik dengan nilai unit cell $a = 4.9614 \text{ \AA}$, $b = 7.9671 \text{ \AA}$, dan $c = 5.7404 \text{ \AA}$, Intensitas sebesar 1.16 dan densitas 2.929 g/cm^3 .

3.3. Hasil Pengujian Daging Kerang

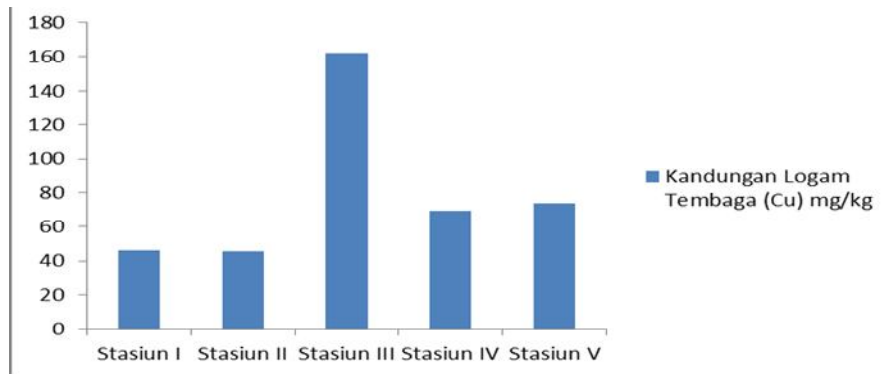
Hasil penelitian pengujian sampel kerang dilakukan di Balai Riset dan Standarisasi Industri Medan dengan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* type Shimadzu AA-7000 teramati pada gambar 6.



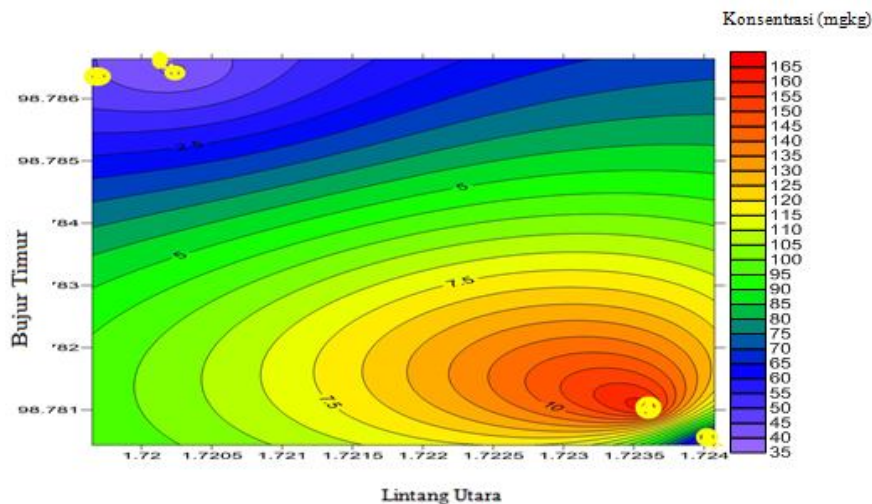
Gambar 6. Kandungan unsur logam besi (Fe) pada daging kerang

Konsentrasi Besi (Fe) tertinggi berada pada stasiun II yaitu $15,1 \text{ mg/kg}$ dan konsentrasi Besi (Fe) terendah terdapat pada stasiun V yaitu $0,98 \text{ mg/kg}$. Keberadaan logam berat pada daging kerang dipengaruhi oleh air laut dan sedimentasi dasar tempat hidupnya kerang. Hal ini berkaitan pula dengan air laut dan sedimentasi dasar yang

dipengaruhi oleh industri yang berada di sekitar perairan Tapanuli Tengah tersebut beroperasi sudah lama sehingga dari tahun ke tahun masukan dari limbah yang dikeluarkan akan menyebabkan terakumulasinya logam berat seperti besi dan tembaga. Hal ini disebabkan air laut bersifat dinamis maka konsentrasi logam berat dalam air dapat berfluktuasi sehingga tinggi rendahnya konsentrasi logam berat berbeda - beda setiap stasiun.



Gambar 7. Kandungan unsur logam Cu pada daging kerang



Gambar 8. Peta kontur kadar tembaga (Cu) daging kerang

Hasil analisis logam berat Cu diperoleh pada industri III dan V yaitu antara 73.8-162 mg/kg sehingga industri III dan V termasuk ke dalam kategori perairan yang tercemar oleh logam tembaga. Logam berat tembaga (Cu) merupakan salah satu polutan di perairan laut yang berasal dari berbagai buangan industri, limbah rumah tangga atau pertanian. Dalam konsentrasi yang sangat rendah, Cu menjadi logam esensial bagi organisme namun dalam konsentrasi yang lebih tinggi dapat bersifat toksik bagi organisme laut termasuk pada kerang. Tingginya konsentrasi Tembaga (Cu) pada stasiun

III, disebabkan karena letaknya sekitar daerah industri. Daerah Industri ini mempunyai aktivitas yang sangat banyak sehingga masukan Tembaga (Cu) ke perairan akan semakin besar. Sumber bahan pencemar yang terdapat di stasiun ini yaitu berasal dari aktivitas pabrik yang membuang limbah cair yang mengandung Tembaga (Cu). Buangan limbah sehingga memberikan andil yang cukup besar dalam peningkatan konsentrasi logam berat di perairan sedangkan stasiun III merupakan pelabuhan yang banyak menghasilkan sumber pencemaran seperti sisa buangan minyak kapal. Hal ini sesuai dengan pendapat pada tahun 1991[10] menyatakan bahwa keberadaan logam berat dalam perairan di pengaruhi oleh pola arus. Arus perairan dapat menebarkan logam berat yang terlarut dalam air laut permukaan ke segala arah. Hal ini sesuai pula dengan pendapat Ismail 1997 [11] bahwa konsentrasi logam berat pada bivalva dibedakan menurut ukurannya. Semakin besar ukuran bivalva maka akan mengakumulasi logam berat dalam konsentrasi yang lebih tinggi. Dalam [12] menambahkan bahwa umumnya konsentrasi yang lebih tinggi pada mollusca mengikuti ketidakmampuannya mengatur logam dengan umumnya. Pada tahun 1984 [13] mengemukakan bahwa variasi konsentrasi logam berat bergantung pada lokasi perairan, musim, arus, kedalaman dan jarak atau dekatnya dari pantai. Kerang Dara dari perairan Tapanuli Tengah ini berbahaya bila dikonsumsi oleh manusia, kandungan Tembaga (Cu) yang terdapat pada Kerang Dara di perairan Pondok Batu Tapanuli Tengah sudah di atas ambang batas yang telah ditetapkan oleh Badan Standarisi Nasional yaitu sebesar 20 mg/kg untuk Tembaga (Cu).

4. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada Kelurahan Pondok Batu Kabupaten Tapanuli Tengah, Nelayan Tapanuli Tengah, Balai Riset dan Standarisasi Industri Medan, Laboratorium material dan Laboratorium fisika bumi Universitas Negeri Medan.

5. KESIMPULAN

Kandungan logam pada sampel air laut tertinggi berada pada stasiun I dengan konsentrasi Cu yaitu 19,3 mg/l dan konsentrasi Besi (Fe) tertinggi berada pada stasiun V yaitu 11,9 mg/l. Melebihi batas maksimum yang telah ditetapkan, unsur-unsur logam yang terkandung dalam cangkang kerang dengan menggunakan XRD antara lain C sebesar 67.6 %, CaO sebesar 19.0 %, Cu sebesar 3.1% dan Fe sebesar 10.2 , kandungan logam pada sampel daging kerang tertinggi berada pada stasiun III dengan konsentrasi Cu yaitu 162 mg/kg dan konsentrasi Fe tertinggi berada pada stasiun II yaitu 15,1 mg/kg.

6. PUSTAKA

- [1]. Badan Pusat Statistik Kabupaten Tapanuli Tengah. *Tapanuli Tengah Dalam Angka*. 2014. Kabupaten Tapanuli Tengah.
- [2]. Medan Bisnis. *Laut Sibolga Tapteng Mulai Tercemar*. 2013. Medan Bisnis Daily
http://medanbisnisdaily.com/news/read/2013/07/23/41906/laut_sibolga_tapteng_mula_tecemar
- [3]. Suryono., Chrisna Adhi. *Kecepatan Filtrasi Kerang Hijau Perna Viridis terhadap Skeletonema sp pada Media Tercemar Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu)*. 2006. Ilmu Kelautan hal 153-157.
- [4]. Sitorus, H. *Analisis Beberapa Karakteristik Lingkungan Perairan Yang Mempengaruhi Akumulasi Logam Berat Timbal Dalam Tubuh Kerang Darah Di Perairan Pesisir Timur Sumatera Utara*. 2004. Jilid 11. No 1: 53-60.
- [5]. Odum, E. P. *Dasar-Dasar Ekologi*. 1971. Edisi Ketiga. Gadjah Mada University Press, Original English Edition, Fundamental of Ecology Thurd Edition.1 Yokyakarta.
- [6]. Alina. *Heavy Metals (Mercury, Arsenic, Cadmium, Plumbum) In Selected Marine Fish And Shellfish Along the Straits of Malacca*. 2012. : International Food Research Journal, 19(1): 135-140.
- [7]. Juliani, R. *Pola Penentuan Parameter Kerusakan Terumbu Karang Di Daerah Sibolga*. 2011. Universitas Negeri Medan : Medan
- [8]. Lumbanraja, W. *Penentuan Parameter Fisika dan Kimia Air Laut di Sekitar Pantai Pulau Poncan Sibolga Sumatera Utara*. 2011. Universitas Negeri Medan.
- [9]. MENKLH. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: 51/MENLH/2004*. 2004. tentang penetapan baku mutu air laut dalam himpunan peraturan di bidang lingkungan hidup. Jakarta.
- [10]. Hoshika, A. T., Shiozawa, K. *Heavy Metal Pollution in Sediment from the Seto Island, Japan*. 1991. Marine Pollution. Bull. 23 : 101 –105.
- [11]. Ismail, A., Ramli, R. *Trace metals in sediments and mollusks from an estuary receiving pig farms effluent*. 1997. Environmental Technology.18: 509–515.
- [12]. Anonimus. *Trace Metal in The Aquatic Environmental. Fourth International Conference*, 19 – 23 May 1997. University Putra Malaysia, University Kebangsaan Malaysia, Kuala Lumpur. 121 pp.
- [13]. Sanusi, H.S., Hutagalung, H.P., Razak, H. *Hubungan Antara Umur, Kadar Air Raksa (Hg) dan Kadmium (Cd) Yang Terakumulasi Oleh Kerang Hijau (Mystylus viridis L) Yang Dibudidayakan di Perairan Teluk Jakarta*. 1984. IPB Bogor.

**PENGUNAAN GEOLISTRIK RESISTIVITI UNTUK IDENTIFIKASI STRUKTUR
BAWAH PERMUKAAN BATUAN ANTARA LAU KETUKEN DAN LAU
BEKERAH DI DESA SULKAM KABUPATEN LANGKAT**

**APPLICATION OF GEOELECTRICAL RESISTIVITY TO IDENTIFY
SUBSURFACE STRUCTURE BETWEEN LAU KETUKEN AND LAU BEKERAH
IN SULKAM LANGKAT REGENCY**

Rita Juliani^{1*}, Timbangan Sembiring², Mester Sitepu³, Motlan⁴

Universitas Negeri Medan, Medan^{1*}

julianiunimed@gmail.com, Sutomo Ujung No 169 Medan

Universitas Sumatera Utara, Medan^{2,3}

Universitas Negeri Medan, Medan⁴

ABSTRACT

Study on the application of geoelectrical resistivity to identify subsurface structure between lau Bekerah and lauKetuken in Sulkam, Langkat Regency has been conducted. Measurement was performed by using resistivity meter Automatic Resistivity System (ARES) -G4 v4.7, SN: 0609135 Wenner-Schlumberger configurations with a line length of 155 meters and the electrodes spacing are 5 meters. The data was processed using Res2Dinv software to show the subsurface rock structures measured. Results obtained from the geophysical data in association with the geo-electric core hole and geological data show that the subsurface dispersal patterns is dominated by limestone with resistivity values ranging from 500-10.000 Ωm , clay layer with the value of 0-100 Ωm , tuffs with resistivity values of 200-1000 Ωm and top soil layers with a value of 250- 500 Ωm .

Keywords: geo-electric, resistivity, limestone, lau

ABSTRAK

Telah dilakukan penggunaan geolistrik resistivitimeter untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan batuan di antara lau Ketuken dan lau Bekerah di desa Sulkam kabupaten Langkat. Pengukuran menggunakan alat geolistrik Automatic Resistivity System (ARES)-G4 v4.7, SN: 0609135 konfigurasi Wenner-Schlumberger dengan panjang lintasan 155 meter dan jarak antara elektroda 5 meter. Data hasil geolistrik ARES diolah menggunakan software Res2DinV untuk memperlihatkan struktur bawah permukaan batuan yang diukur. Hasil interpretasi yang diperoleh dari data geolistrik yang dikaitkan dengan data core hole dan data geologi diperoleh pola penyebaran lapisan bawah permukaan di dominasi oleh batu gamping dengan nilai resistivitas berkisar 500-10.000 Ωm dan lapisan lempung dengan nilai resistivitas 0-100 Ωm , tuffa dengan nilai resistivitas 200-1.000 Ωm serta lapisan tanah dengan resistivitas 250-500 Ωm .

Katakunci:geolistrik, resistivitas, batu gamping, lau

1. PENDAHULUAN

Kawasan karst adalah kawasan yang mempunyai bentang alam, hidrologi dengan ciri khas dibentuk dari batuan karbonat dan dolomit sebagai akibat adanya kombinasi antara batuan yang mudah larut, porositas sekunder, dan pengaruh air alami sebagian agen pelarutannya [1]. Proses pembentukan karst melibatkan larutnya CO_2 dalam air. Proses pelarutan (*dissolution*) akan intensif bila kadar CO_2 yang terlarut dalam air relatif banyak, batuan karst keras dan pejal dengan intensitas rekahan yang tinggi sehingga agresivitas air terhadap batuan karst sangat besar. Secara garis besar proses pembentukan karst dimulai dari turunnya hujan melalui atmosfer dengan membawa karbon dioksida terlarut dalam tetesan. Ketika hujan sampai dit tanah, air terperkolasi melalui tanah dan menggunakan lebih banyak karbon dioksida. Infiltrasi air secara terus-menerus secara alami membentuk retakan-retakan dan lubang pada batuan. Infiltrasi periode waktu yang lama, dengan suplai air terus menerus yang kaya karbon dioksida, lapisan karbonat mulai melarut.

Lau KetukendanlauBekerah merupakan aliran sungai yang ada di desa Sulkam kabupaten Langkat yang merupakan kawasan karst. Lau Ketuken berada di daerah Kejaren dan lau Bekerah berada di daerah Cangap Kerabangen. Sungai hadir padamusimpenghujandanakanhilang di musimkemarau (Gambar 1). Keberadaan hilangnya sungai menjadi suatu fenomena yang menarik untuk diketahui struktur bawah permukaan daerah diantara kedua sungai.

Metode yang digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan batuan di desa Sulkam adalah metode geolistrik yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Pendeteksian di atas permukaan bumi meliputi pengukuran medan potensial arus, yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Metode geolistrik digunakan untuk memperkirakan sifat kelistrikan medium atau formasi batuan bawah-permukaan dikawasan karst untuk membedakan daerah lempung dan karbonat melalui resistivitas [2] [3] [4]. Resistivitas batuan dan endapan bervariasi dari $1 \Omega\text{m}$ sampai lebih besar dari $10.000 \Omega\text{m}$ [5], bergantung pada derajat kejenuhan, jenis cairan yang mengisi pori dan persen kandungan lempung. Lempung cenderung mengurangi resistivitas karena konduktif sepanjang lintasan permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif sehingga resistivitas nya kurang dari $100 \Omega\text{m}$ [6]. Batuan karbonat secara umum memiliki resistivitas yang lebih tinggi berkisar antara $500 \Omega\text{m}$ sampai dengan $10^7 \Omega\text{m}$. Resistivitas yang tinggi terutama disebabkan oleh rendahnya porositas dan interkoneksi antara pori [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan berupa peta kontur resistivitas di antara lau Ketuken dan lau Bekerah di desa Sulkam kabupaten Langkat.

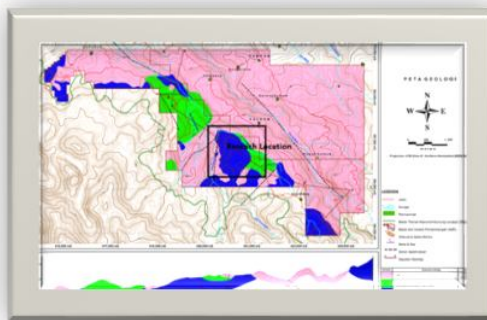


Gambar 1. Aliran lau Ketuken ketika dialiri air dan tanpa dialiri air

2. METODE PENELITIAN

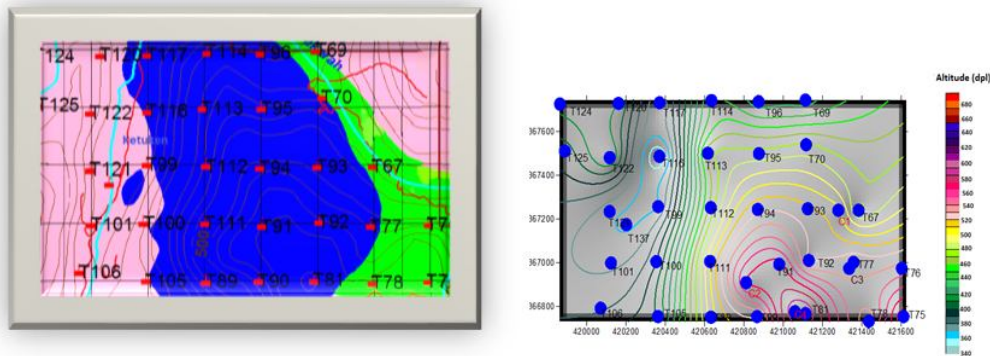
LOKASI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di desa Sulkam Kecamatan Kutambaru kabupaten Langkat dengan peta geologi pada Gambar2.



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian

Pengambilan data lapangan menggunakan metode geolistrik dengan *Resistivity Meter* model ARES-G4.v47 (*Automatic Resistivity System*) nomor seri SN: 0609135. Penentuan lintasan diambil di areal yang berbatasan dengan lau Ketuken dan lau Bekerah dengan menggunakan kompas dan *Global Position System (GPS) map 76CSx* dalam koordinat UTM dengan jarak grid sekitar 250 meter x 250 meter. Jumlah grid sebanyak 33 lintasan dengan panjang bentangan 155 meter. Tiap lintasan terdiri dari 32 elektroda dengan jarak antara elektroda 5 meter (Gambar 3).

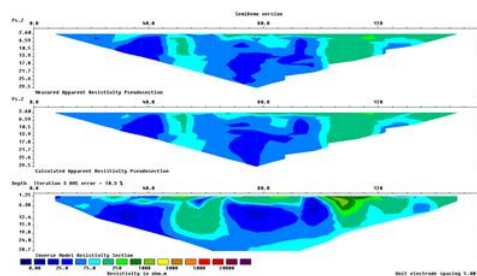


Gambar 3. Kontur Pengridan dan Bore Hole dengan Altitude pada Lokasi Penelitian

Hasil pengridan dengan titik koordinat di peroleh lokasi penelitian berada pada ketinggian 340 – 680 meter diatas permukaan laut dengan topografi berbukit dan berlembah.

PROSEDUR PENELITIAN

Data hasilgeolistrik ARES diolah dengan komputer menggunakan *software* Res2DinV untuk memperlihatkan profil bawah permukaan area yang diukur.Hasil pengolahan data dengan *software* Res2DinV dalam bentuk 2D terdiri dari tiga kontur resistivitas pada penampang kedalaman semu (*pseudodepth section*).Penampang pertama memperlihatkan kontur resistivitas semu yang diperoleh dari pengukuran di lapangan. Penampang kedua memperlihatkan kontur resistivitas dari hasil perhitungan (*calcultaed apparent resistivity*) dan penampang ketiga memperlihatkan kontur resistivitas sebenarnya yang diperoleh setelah melalui proses pemodelan inversi (*inverse model resistivity section*). Data yang sudah diolah diperoleh gambaran 2D bawah permukaan sepanjang lintasan dengan nilai resistivitas dibedakan dengan pembacaan warna (Gambar 4).

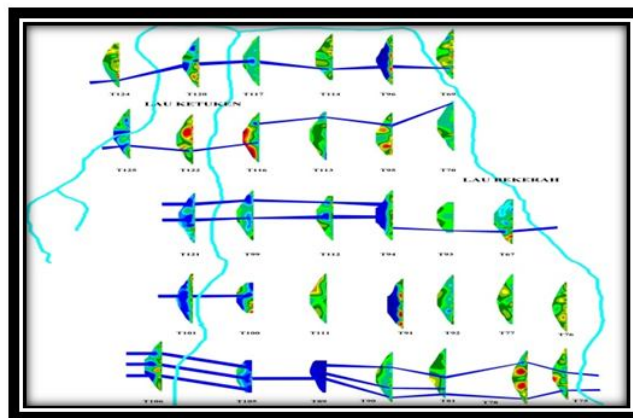


Gambar 4. Pseudeseksi hasil *Resistivity meter*

Nilai resistivitas batuan bawah permukaan pada daerah antara lau Ketuken dan lau Bekerah bervariasi karena resistivitas batuan ditentukan oleh kondisi batuan kering, basah, retak, padat dan cair serta dipengaruhi oleh sifat dan jenis batuan diantaranya densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori batuan, dan faktor geologi yaitu umur batuan, tekstur, batuan dan proses geologi yang meliputi alterasi, pelapukan, pelarutan, dan metamorfisme [7]. Penentuan jenis material perlapisan ditentukan berdasarkan nilai resistivitas batuan dan kondisi geologi yang banyak terdapat singkapan batu gamping serta data *bore hole* daerah pengukuran serta diperhatikan untuk jenis batuan yang sama pada kedalaman yang sama ditetapkan nilai resistivitas sama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola penyebaran resistivitas batuan bawah permukaan diperoleh dari peta *pseudoseksi* resistivitas hasil model *inversi* dengan *software* Res2DinV. Nilai resistivitas batuan pada perpotongan sumbu horizontal dengan sumbu vertikal memperlihatkan kedalaman efektif. Penampang resistivitas batuan digunakan untuk menginterpretasi dalam penentuan anomali resistivitas batuan yang terdapat pada daerah penelitian. Hasil peta *pseudoseksi* resistivitas perlintasan di modelkan sesuai topografi daerah penelitian seperti Gambar 5.



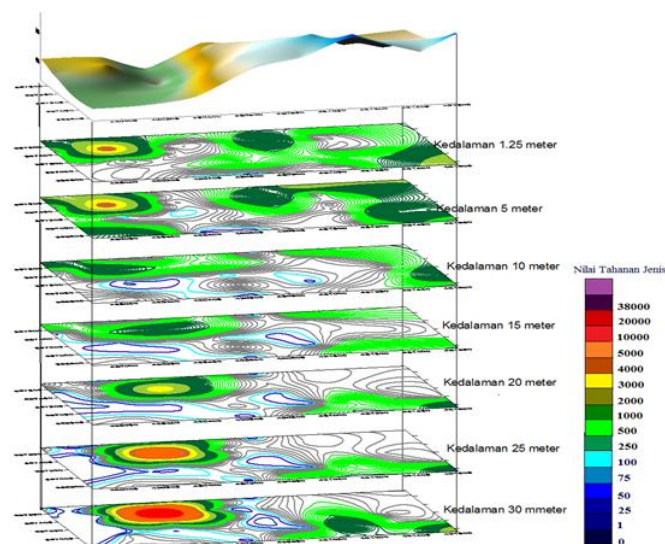
Gambar5. Pemodelan Penampang Lintasan dari Arah Timur-Barat dari Lau Bekerah menuju Lau Ketuken

Lintas dari Arah Timur-Barat dari Lau Bekerah menuju Lau Ketuken hasil pemodelan terdapat anomaly tinggi berupa batu gamping dengan resistivitas 500-4.000 Ωm , keberadaan batu gamping di desa Sulkam di lihat kandungan unsurnya dengan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) berupa CaCO_3 dengan persen berat 74.1 % - 100 % [8]. Anomali rendah berupa lempung berada di bawah dan diantara batu gamping

dalam keadaan kering dan basah dengan resistivitas 0-75 Ωm . Keberadaan lempung di bagian bawah tampang lintang merupakan proses alam yang terbentuk secara fisik dan kimia dari proses perubahan cuaca yang terjadi pada batuan selama proses diagenetik atau presipitasi langsung berupa perekahan (*fracturation*) dan pelarutan (*dissolution*) [9]. Batuan Tuffa piroklastik dengan resistivitas 200-1.000 Ωm berada pada daerah lau Ketuken, dan shale didekat pemukiman masyarakat. Batuan tufa piroklastik berasal dari sedimen endapan hasil pengendapan erupsitoba [10] sedangkan shale merupakan sedimen konsolidasi lempung, lumpur dan lanau.

Gambar 5 memperlihatkan bahwa grid T96, T94 dan T91 kemungkinan bawah permukaan dalam keadaan kosong atau *empty void*. T95 dan T77 batu gamping dalam keadaan kosong sedangkan T70 kemungkinan batu gamping dengan lubang yang berisi lempung.

Analisa lanjutan di lakukan dengan membuat sayatan lateral untuk memperoleh resistivitas batuan dalam arah lateral. Kontur resistivitas batuan tiap kedalaman di buat menggunakan *software Surfer-8*. Kontur dibuat dengan mengelompokkan perkedalaman untuk seluruh lintasan pengukuran. Lintasan pengukuran menggambarkan penyebaran batuan per kedalaman. Kedalaman difokuskan dimulai dari 1.25 meter, 5 meter, 10 meter, 15 meter, 20 meter, 25 meter dan 30 meter dari hasil resistivitas (Ωm) batuan dipaparkan pada Gambar 6 dan dianalisa berdasarkan data *bore hole* C1 sampai C4 dengan posisi pada Gambar 3.



Gambar 6. Peta kontur sebaran resistivitas pada kedalaman dari atas ke bawah 1.25, 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 meter di lokasi antara lau Ketuken dan lau Bekerah

Kedalaman 1.25 meter berdasarkan nilai resistivitas di dominasi dengan tanah permukaan, batu gamping dan lempung. Tanah permukaan dengan nilai resistivitas 250-500 Ωm terdapat singkapan batu gamping. *Bore hole*C1, C2, C3 dan C4 pada kedalaman 1.25 meter secara umum adalah pecahan batu gamping, tanah berwarna coklat ke abu-abuan dengan porositas baik dan kandungan mineral lempung yang mengalami pelapukan tinggi. Batu gamping berdasarkan nilai resistivitas 500-4.000 Ωm di bagian atas sebelah Barat.

Kedalaman 5 meter jenis batuan adalah tanah permukaan, tuffa, batu gamping dan lempung. Keberadaan tuffa yang berwarna kuning kecoklatan dengan resistivitas 200-1.000 Ωm berada dekat dengan pemukiman masyarakat. *Bore hole*C1, C2, C3 dan C4 pada kedalaman 5 meter secara umum adalah tanah permukaan berwarna merah kecoklatan, tuffa piroklastik berwarna kuning, batu gamping berwarna abu-abu kehitaman yang bergabung dengan tanah, pecahan batu gamping.

Kedalaman 10 meter jenis batuan adalah tanah, batu gamping dan lempung. Keberadaan batu gamping yang berwarna abu-abu kehitaman dengan resistivitas 500-1.000 Ωm . *Bore hole*C1, C2, C3 dan C4 pada kedalaman 10 meter secara umum adalah batu gamping kompak kristalin mengandung mineral kalsit yang bergabung dengan lempung.

Kedalaman 15 meter jenis batuan adalah tanah, batu gamping dan lempung. Keberadaan batu gamping dengan resistivitas 500-1.000 Ωm . *Bore hole* C1, C2, C3 dan C4 pada kedalaman 15 meter secara umum adalah pecahan batu gamping, batu gamping berwarna abu-abu kehitaman, kalsit vein, kompak bergabung dengan lempung berwarna coklat kemerahan.

Kedalaman 20 meter jenis batuan adalah batu gamping dan lempung. Keberadaan batu gamping kristalin, kompak dengan resistivitas 500-3.000 Ωm . *Bore hole*C1, C2, C3 dan C4 pada kedalaman 20 meter secara umum adalah batu gamping berwarna abu-abu kehitaman, kalsit vein, kompak bergabung dengan lempung berwarna coklat kemerahan.

Kedalaman 25 meter jenis batuan adalah batu gamping dan lempung. Keberadaan batu gamping kalsit kristalin, keras, kompak dengan resistivitas 500-5.000 Ωm . *Bore hole*C1, C2, C3 dan C4 pada kedalaman 25 meter secara umum adalah batu gamping berwarna abu-abu kehitaman, kalsit vein, kompak bergabung dengan lempung berwarna coklat kemerahan.

Kedalaman 30 meter jenis batuan adalah batu gamping dan lempung. Keberadaan batu gamping kalsit kristalin, keras, kompak dengan resistivitas 500-10.000 Ωm . *Bore hole*C1, C2, C3 dan C4 pada kedalaman 30 meter secara umum adalah batu gamping berwarna merah dan abu-abu, kalsit vein, kompak bergabung dengan lempung berwarna

coklat kemerahan. Batu gamping di kedalaman 30 meter di sisi Barat memperlihatkan anomali yang ada di mulai dari permukaan dan semakin jelas keberadaannya hingga di kedalaman 30 meter.

4. UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada DIKTI yang telah mendukung terlaksananya penelitian melalui Hibah Doktor serta rekan-rekan KDBK Fisika Bumi Unimed.

5. PUSTAKA

- [1]. Ford D and Williams P. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. England: John Wiley and Sons; 2007
- [2]. Muhammad F, Taman S, Lagu MS, Kim J H, Mohammad T, Abrallam, Adekunle A. Subsurface Detection in a Karst Enviroment Using Elactrical Resistivity, a Case Study From Yongweol-ri. South Korea. *Earth Science Research Journal*. 2012 June; 16 (1) : 75-82
- [3]. Horia M, Ioan P, Mihai M. Geoelectrical Investigations by Means of resistivity Method in Karst Area in Romania. *Environ Geol*. 2008; 55:405-413
- [4]. Marco G, Armadillo E, Carmisciano C, Stefanelli P, Cocchi L, Tontini F C, Determining Geophysical of Near Surface Cave Through Integrated Microgravity Vertical Gradient And Elactrical Resistivity Tomography Measurements. *Journal of Cave and Karst Studies*. 2011 April; 73 (1):11-15
- [5]. Raynolds J.M. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*. Chischester UK : J. Wiley and sons; 1997
- [6]. Telford W M, Geldart L.P, Sheriff RE. *Applied Geophysics*, New york: Cambridge University Press; 2004
- [7]. Loke M.H., 2000. Electrical imaging survey for environmental and engineering studies. A practical guide to 2D and 3D survey. <http://www.terraphus.com>
- [8]. Juliani R. Sembiring T. Sitepu M. Motlan. *Identifikasi Mineral Batu Gamping dari Sulkam dengan Menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD)*. Prosiding Seminar Nasional Kimia 2014: 44-50
- [9]. Mautaz A, Salih M A dan Ayad A Z. *Mineralogy, geochemistry, and reserve estimation of the Euphrates batu gamping for Portland cement industryat Al-Najaf area, South Iraq*. Arab J Geosci. 2013; 6:491–503
- [10]. N.R Cameron. Peta Geologi Bersistem Indonesia Lembar Medan 0619. 1982.

PENGARUH PEG-2000 TERHADAP POLA DIFRAKSI SINAR-X PARTIKEL Fe_3O_4 YANG DISINTESIS DENGAN METODE KOPRESIPITASI

EFFECT OF PEG-2000 ON X-RAY DIFFRACTION PATTERNS OF Fe_3O_4 PARTICLES WERE SYNTHESIZED WITH COPRECIPITATION METHOD

Dwi Puryanti, Dori Andani

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang
Kampus Unand Limau Manis, Pauh Padang 25163,
Sumatera Barat, Indonesia
e-mail: dwipuryanti@yahoo.co.id

ABSTRACT

Synthesis of Fe_3O_4 particles was performed using coprecipitation method. Iron sand base material obtained by processing the iron rocks by means of destruction and extraction. Iron rocks were taken from the village Surian, South Solok of West Sumatera. Iron sand that has been extracted reacted with HCL and NH_4OH . Furthermore, the PEG-2000 were added to see its effect on the resulting particle size Fe_3O_4 . Variations in the composition ratio of iron sand and PEG-2000 are 1:0, 1:1, 1:2 and 1:4. Microstructure of materials were studied using x-ray diffraction (xrd) technique. XRD characterization results showed that the presence of spinel structure of Fe_3O_4 with the lattice parameters in the ranges of 8,344 – 8,364 Å..

Keywords: Fe_3O_4 , iron sand, PEG-2000

ABSTRAK

Sintesis partikel Fe_3O_4 dilakukan menggunakan metode kopresipitasi. Bahan dasar pasir besi diperoleh dengan mengolah batuan besi dengan cara destruksi dan ekstraksi. Batuan besi yang digunakan berasal dari daerah Surian, Kabupaten Solok provinsi Sumatera Barat. Pasir besi yang sudah diekstraksi direaksikan dengan HCl dan NH_4OH . Selanjutnya dilakukan penambahan PEG-2000 untuk melihat pengaruhnya terhadap ukuran partikel Fe_3O_4 yang dihasilkan. Variasi perbandingan komposisi pasir besi dan PEG-2000 yang digunakan adalah 1:0, 1:1, 1:2 dan 1:4. Karakterisasi mikrostruktur bahan dilakukan dengan menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD). Hasil karakterisasi XRD memperlihatkan bahwa struktur Fe_3O_4 merupakan kubus spinel dengan nilai parameter kekisi bekisar dari 8,344 – 8,364 Å.

Kata kunci: Fe_3O_4 , pasir besi, PEG-2000

1. PENDAHULUAN

Bahan magnetik mempunyai sifat magnet yang kuat bila mempunyai daya kemagnetan yang tinggi dan stabil terhadap pengaruh eksternal seperti temperatur dan perlakuan mekanik. Inovasi untuk mendapatkan sifat magnet yang lebih bervariasi dari bahan magnet dapat dilakukan dengan mensubsitisi satu atom Fe dengan atom-atom logam transisi seperti : Ni, Zn, Mg, Cu, Co, dan Li [1].

Penelitian nanopartikel Fe_3O_4 dengan PEG sebagai templete telah dilakukan dengan menggunakan PEG 1000 dengan perbandingan volume larutan dari PEG yaitu 1:1, 1:2, 1:4. Penelitian ini menyatakan ukuran kristal dari nanopartikel menurun dari 10 nm kepada 6,5 nm dengan perbandingan kadar PEG 1000 yang divariasikan tersebut [2]. Penelitian selanjutnya dengan menggunakan PEG 1000 menyatakan bahwa sampel nanopartikel magnetite memiliki struktur kubik pusat muka (*face centered cubic*) dan penambahan PEG dapat meningkatkan persentase fraksi volume nanopartikel *magnetite* serta tidak berpengaruh terhadap struktur kristal nanopartikel *magnetite* [3].

Dalam beberapa tahun belakangan ini, para peneliti mensintesis partikel nano Fe_3O_4 dengan metode-metode yang berbeda. Beberapa metode yang digunakan untuk mensintesis nanopartikel Fe_3O_4 adalah metode sol gel [4], metode hidrolisis terkontrol [5] dan metode kopresipitasi [6]. Di antara sekian metode sintesis tersebut, metode kopresipitasi merupakan yang paling sederhana karena prosedurnya lebih mudah dilakukan dan memerlukan suhu reaksi yang rendah ($< 100\text{ }^\circ\text{C}$).

2. BAHAN DAN METODE

Batuan besi yang berasal dari daerah Surian, Kabupaten Solok provinsi Sumatera Barat dihancurkan sehingga berbentuk pasir besi. Pasir besi yang dihasilkan diayak dengan menggunakan ayakan yang berukuran 270 mesh sehingga menghasilkan serbuk besi berukuran $53\text{ }\mu\text{m}$. Serbuk besi yang dihasilkan tersebut ditimbang sebanyak 10 gram dan dicuci dengan aquades. Setelah serbuk besi dicuci dilarutkan dalam HCl (12 M) sebanyak 20 ml pada suhu $90\text{ }^\circ\text{C}$ dan diaduk sekitar 60 menit dengan menggunakan *magnetic stirrer*.

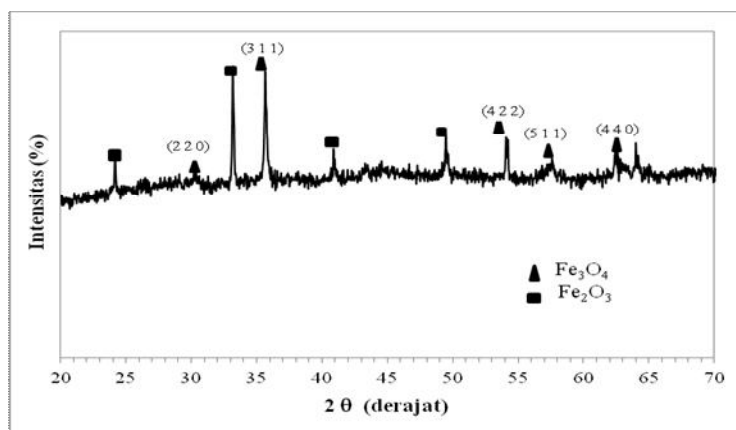
Setelah larutan diaduk dengan *magnetic stirrer*, dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring. Hasil dari larutan yang sudah disaring berupa filtrat. Untuk mengendapkan filtrat ditambahkan NH_4OH (6,5 M) sebanyak 25 ml dan didiamkan selama 30 menit. Setelah diperoleh endapan, kemudian hasil endapan dicuci dengan aquades.

Untuk pembuatan sintesis partikel nano Fe_3O_4 dengan templete PEG-2000 sama dengan proses yang dilakukan pada sintesis nanopartikel Fe_3O_4 . Hasil endapan ditambahkan PEG-2000 dengan variasi Fe_3O_4 dan PEG adalah 1 :1, 1:2 dan 1:4. PEG

yang berbentuk padatan dipanaskan sampai meleleh, kemudian ditambahkan pada larutan yang sudah mengendap dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit hingga tercampur merata. Hasil endapan yang terbentuk merupakan partikel Fe_3O_4 . Selanjutnya partikel Fe_3O_4 dipanaskan dengan *furnace* selama 2 jam dengan temperatur 400°C sehingga menghasilkan serbuk Fe_3O_4 . Serbuk Fe_3O_4 yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan X-ray Diffractometer (XRD).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Gambar 1 terlihat pola difraksi pada sampel yang telah dilakukan pencocokan pada data standar ICDD 01-075-0449 untuk fasa Fe_3O_4 dan data standar ICDD 00-024-0072 untuk fasa Fe_2O_3 . Puncak-puncak yang muncul pada difraktogram merupakan puncak-puncak Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 . Intensitas tertinggi yaitu pada posisi $2\theta = 35,5998^\circ$ yang merupakan puncak Fe_3O_4 . Intensitas yang tinggi menunjukkan bahwa kristal tersebut memiliki keteraturan kristal yang baik atau semakin banyak atom-atom yang tersusun teratur dan rapi.



Gambar 1. Pola difraksi sinar-X dari sampel tanpa penambahan PEG-2000

Berdasarkan identifikasi dari pencocokan data diperoleh puncak-puncak difraksi pada sudut 2θ untuk fasa Fe_3O_4 adalah sebagai berikut $30,3085^\circ$; $35,5998^\circ$; $54,0989^\circ$; $57,4465^\circ$ dan $62,3944^\circ$ yang berturut turut sesuai dengan indeks miller (220), (311), (422), (511) dan (440). Pola difraksi yang terbentuk untuk intensitas maksimum yang mewakili Fe_3O_4 adalah pada sudut $2\theta = 35.5998^\circ$ yang sesuai dengan indeks miller (311). Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan *Scherrer* [7] diperoleh ukuran kristal pada sampel tanpa penambahan PEG sebesar 108,62 nm dan parameter kekisi a sebesar 8,364 Å. Persamaan *Scherrer* yang digunakan untuk menghitung ukuran kristal tersebut adalah:

$$D = \frac{k\lambda}{B \cos \theta} \quad (1)$$

Dimana D adalah diameter (ukuran kristal), λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, θ adalah sudut difraksi, B adalah FWHM (*Full Width at Half Maximum*) k adalah konstanta material yang nilainya kurang dari satu. Nilai yang umumnya dipakai untuk k adalah 0,9. Parameter kekisi (a) dihitung menggunakan persamaan [8] [9].

$$a = d \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (2)$$

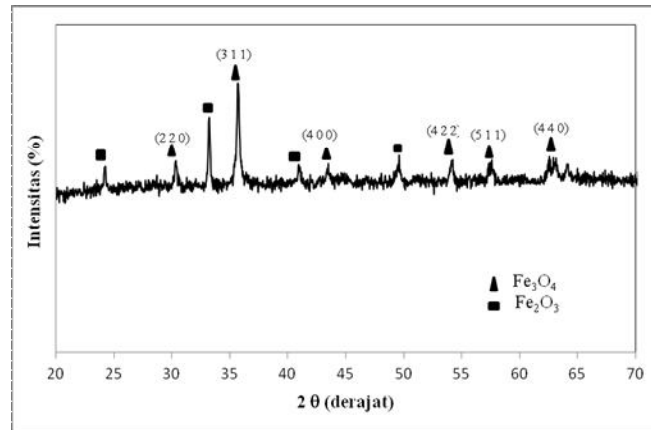
Dimana a adalah parameter kekisi, d adalah jarak antara bidang dan (h, k, l) adalah nilai indeks Miller. Dengan d diperoleh dari persamaan Bragg yaitu

$$\lambda = 2 d \sin \theta \quad (3)$$

dengan λ ialah panjang gelombang sinar-X dan θ ialah sudut difraksi. Mikrostruktur semua sampel menunjukkan bahwa magnetit adalah *cubic* dengan grup ruang *Fd-3m*.

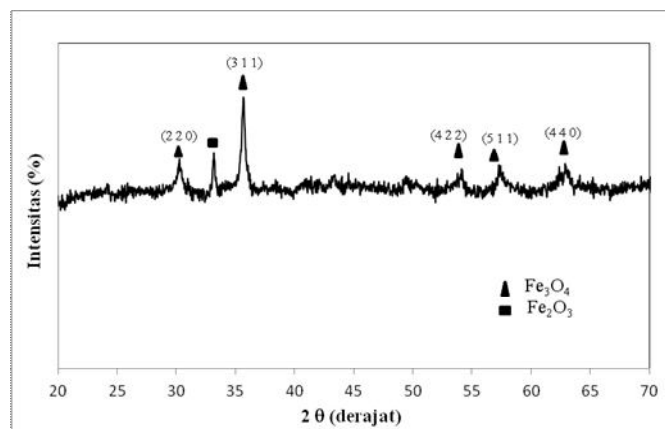
Pola difraksi dari sampel dengan penambahan PEG-2000 pada perbandingan pasir besi dan PEG adalah 1:1 diperlihatkan pada Gambar 2. Pola hasil difraksi yang terbentuk menunjukkan bahwa proses sintesis yang dilakukan berhasil mendapatkan bahan Fe_3O_4 . Hasil tersebut terbukti dengan adanya kemunculan puncak-puncak difraksi yang merupakan puncak-puncak difraksi Fe_3O_4 lebih dominan dibandingkan puncak-puncak difraksi Fe_2O_3 . Intensitas tertinggi yang terdapat pada difraktogram berada pada posisi $2\theta = 35,6329^\circ$ yang merupakan puncak Fe_3O_4 . Intensitas yang tinggi menunjukkan bahwa kristal tersebut memiliki keteraturan kristal yang baik atau semakin banyak atom-atom yang tersusun teratur dan rapi. Pola difraksi lainnya terbentuk pada sudut 2θ untuk fasa Fe_3O_4 adalah sebagai berikut $30,2680^\circ$; $35,6329^\circ$; $43,4231^\circ$; $54,0551^\circ$; $57,4496^\circ$ dan $62,7637^\circ$ yang berturut turut sesuai dengan indeks miller (220), (311), (400), (422), (511) dan (440).

Pada difraktogram dapat dilihat bahwa puncak yang terbentuk lebih lebar dibandingkan dengan sampel tanpa penambahan PEG-2000. Dengan demikian penambahan PEG-2000 menyebabkan puncak yang terbentuk semakin lebar dan mengindikasikan bahwa ukuran kristal yang terbentuk menjadi lebih kecil [2]. Hal ini karena penambahan PEG -2000 pada partikel akan melapisi partikel sehingga dapat menghambat pertumbuhan dari partikel. Hasil perhitungan ukuran kristal untuk sampel ini diperoleh sebesar 54,37 nm dan parameter kekisi adalah $a = 8,357 \text{ \AA}$.



Gambar 2 Pola difraksi sinar-X dari sampel dengan penambahan PEG-2000 dengan perbandingan pasir besi dan PEG-2000 adalah 1:1

Gambar 3 menunjukkan pola difraksi dari sampel dengan penambahan PEG-2000 pada perbandingan pasir besi dan PEG-2000 adalah 1:2. Pola difraksi yang terbentuk hampir seluruhnya merupakan pola difraksi dari Fe_3O_4 . Hasil ini menunjukkan bahwa proses sintesis yang dilakukan berhasil mendapatkan bahan Fe_3O_4 . Hasil yang sama juga didapatkan oleh peneliti lainnya dengan menggunakan template PEG-1000 dan dengan menggunakan template PEG-4000 [2] [10].

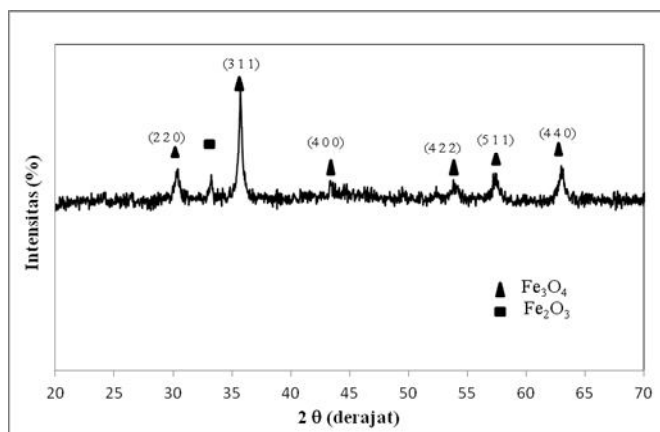


Gambar 3 Pola difraksi sinar-X dari sampel dengan penambahan PEG-2000 dengan perbandingan pasir besi dan PEG-2000 adalah 1:2

Puncak-puncak difraksi yang muncul pada sampel yang sebagian besar mempunyai fasa Fe_3O_4 sesuai dengan indeks miller (220), (311), (422), (511), (440). Puncak maksimum yang diperoleh pada pola difraksi sampel dengan perbandingan pasir besi dan PEG-2000 yaitu 1 : 2 adalah pada sudut $2\theta = 35.6676^\circ$. Hasil perhitungan

ukuran Kristal pada sudut $2\theta = 35,6676^\circ$ yang sesuai dengan indeks miller (311) adalah sebesar 40,77 nm dan parameter kekisi adalah $a = 8,349 \text{ \AA}$.

Gambar 4 menunjukkan pola difraksi sampel dengan penambahan PEG-2000 pada perbandingan pasir besi dan PEG-2000 adalah 1 : 4. Pola difraksi dengan intensitas maksimum yang terbentuk untuk fasa Fe_3O_4 adalah pada sudut $2\theta = 35,6873^\circ$. Hasil perhitungan ukuran kristal pada indeks miller (311) adalah sebesar 65,29 nm dan parameter kekisi $a = 8,344 \text{ \AA}$.



Gambar 4 Pola difraksi sinar-X dari sampel dengan penambahan PEG-2000 pada perbandingan pasir besi dan PEG-2000 adalah 1:4

Dari Gambar 4 terlihat pola difraksi sampel yang cukup jelas. Dengan melakukan pencocokan pada data standar ICDD 01-075-0449 untuk fasa Fe_3O_4 dan data standar ICDD 00-024-0072 untuk fasa Fe_2O_3 teridentifikasi bahwa proses sintesis yang dilakukan berhasil mendapatkan bahan Fe_3O_4 . Hal ini dinyatakan oleh difraktogram yang menunjukkan bahwa hampir semua fasa yang terbentuk adalah fasa Fe_3O_4 yang sesuai dengan puncak-puncak difraksi dengan indeks miller (220), (311), (400), (422), (511), (440).

Dari hasil karakterisasi difraksi sinar-X pada keseluruhan sampel tidak ditemukan adanya fasa PEG di dalam sampel, yang mengindikasikan bahwa surfaktan PEG yang berguna untuk mengontrol ukuran partikel tidak ikut bereaksi dan hanya berfungsi sebagai template yang membungkus partikel. Hasil perhitungan ukuran partikel sampel tanpa penambahan PEG-2000 dan dengan variasi penambahan PEG-2000 dengan menggunakan XRD diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran kristal sampel Fe_3O_4 tanpa penambahan dan dengan penambahan PEG-2000.

No.	Sampel	Ukuran kristal (nm) ($\pm 0,05$)	Parameter kekisi, a (Å) ($\pm 0,005$)	Volume (\AA^3) ($\pm 0,05$)
1.	Fe_3O_4 tanpa PEG	108,62	8,364	585,12
2.	Fe_3O_4 dengan PEG 1:1	54,37	8,357	583,65
3.	Fe_3O_4 dengan PEG 1:2	40,77	8,349	581,97
4.	Fe_3O_4 dengan PEG 1:4	65,29	8,344	580,93

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa peningkatan konsentrasi PEG yang ditambahkan pada sampel menurunkan ukuran kristal Fe_3O_4 yang dihasilkan. Penurunan ukuran kristal berlaku pada penambahan PEG 1 : 1 dan 1 : 2 dari yang sebelumnya sampel tanpa diberi template PEG. Penambahan PEG 1 : 4 meningkatkan ukuran kristal dari sampel. Fenomena ini menunjukkan bahwa penambahan PEG mencapai konsentrasi optimum pada perbandingan PEG 1 : 2 untuk peningkatan partikel Fe_3O_4 pada penelitian ini. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan PEG-1000 [2]. Ukuran kristal menurun dengan adanya penambahan PEG sampai pada perbandingan PEG-2000 (1:2). Penurunan ukuran kristal ini berhubungan dengan berat molekul dari PEG-2000. PEG-2000 yang mempunyai berat molekul sebesar 2000 g/mol dan mempunyai derajat polimerisasi sebesar 46 menyebabkan jumlah rantai PEG yang melapisi permukaan partikel juga semakin banyak [11].

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan melihat pengaruh penambahan PEG-2000 terhadap ukuran kristal dan partikel Fe_3O_4 maka, didapat kesimpulan bahwa partikel Fe_3O_4 telah berhasil disintesis dari batuan besi yang berasal daerah Surian Kabupaten Solok provinsi Sumatera Barat dengan ukuran kristal 108,62 nm sampai dengan 40,77 nm. Variasi konsentrasi PEG-2000 sangat berpengaruh terhadap ukuran partikel Fe_3O_4 , dimana variasi optimum pasir besi dengan penambahan PEG-2000 dihasilkan pada perbandingan 1:2. Hasil XRD menunjukan bahwa ukuran dari kristal sampel Fe_3O_4 dengan perbandingan pasir besi dan PEG-2000 berturut-turut 1:0, 1:1, 1:2, dan 1:4 yaitu 108,62 nm, 54,37 nm, 40,77 nm, 65,29 nm. Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka batuan besi ini sangat berpotensi untuk dijadikan material dasar dalam mengembangkan material nanomagnetik.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas atas dukungan dana sehingga penelitian dapat terlaksana. Dana penelitian berasal dari Program Penelitian Mandiri MIPA Tahun 2014.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Cullity BD. *Introduction to Magnetic Material*, Canada: Addison Wesley Publishing Company; 1972.
- [2]. Perdana FA. Sintesis Nanopartikel Fe_3O_4 dengan Template PEG-1000 dan Karakterisasi Sifat Magnetnya. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. 2011; Vol. 01, No.01.
- [3]. Sumarni S. Karakterisasi Struktur Kristal Nanopartikel Magnetite (Fe_3O_4) Berbasis Pasir Alam Dengan Penambahan Variasi, *Skripsi Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga*. 2013.
- [4]. Xu CY, He K, Zhen L, Shao En-Z. Hydrothermal Synthesis and Characterization of single Crystalline Fe_3O_4 Nanowires with High Aspect Ratio and Uniformity. *Materials Letter*. 2007 Vol. 61.
- [5]. Iida H, Takayanagi K, Nakanishi T, Osaka T. Synthesis of Fe_3O_4 Nanoparticles With Various Sizes and Magnetic Properties by Controlled Hydrolysis. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2007; 314: 274-280.
- [6]. Hong R, Li J, Wang J, Li H. Comparison of schemes for preparing magnetic Fe_3O_4 nanoparticles. *China Particuology*. 2007; 5 :186–191
- [7]. Cullity BD. *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, INC, USA ;1967.
- [8]. Uskokovic V, Drofenik M, Ban I. The characterization of nanosized nickel-zinc ferrites synthesized within reverse micelles of CTAB/1-hexanol/water microemulsion. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2004; 284: 294-302.
- [9]. Suryanarayana C, Norton MG. *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. New York: Plenum Press; 1998.
- [10]. Nuzully S, Kato T, Iwata S, Suharyadi E. Pengaruh Konsentrasi Polyethylene Glycol (PEG) Pada Sifat Kemagnetan Nanopartikel Magnetik PEG-Coated Fe_3O_4 . *Jurnal Jurusan Fisika* 2013; Fakultas MIPA UGM.
- [11]. Tirosh O, Barenholz Y, Katzhendler J, Priev A. Hydration of Polyethylene Glycol-Grafted Liposomes, *Journal Biophysical*. 1998; Vol. 74.

PENGEMBANGAN SENSOR JARAK GP2Y0A02YK0F UNTUK MEMBUAT ALAT PENGUKUR KETINGGIAN PASANG SURUT (PASUT) AIR LAUT

DEVELOPMENT OF THE DISTANCE SENSOR GP2Y0A02YK0F TO BUILD A LEVEL METER OF TIDE SEA

Abdul Muid

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak
muidssi@yahoo.com, Telp 0818299795

ABSTRACT

GP2Y0A02YK0F is a distance sensor composed of an integrated combination of PSD (position sensitive detector), infrared emitting diode (IRED) and signal processing circuit. These sensor produce an non linear analog voltage as output versus the distance of object. In this study will explain the technique to change the equation of the GP2Y0A02YK0F characteristic curve to determine the distance of the value of the sensor analog voltage by changing the rank operation to be a value approach in order to easily represented in a programming language. In this research, the data processing of output voltage using microcontroller ATmega8. The relationship between the GP2Y0A02YK0F with the microcontroller ATmega8 using analog to digital converter (ADC) pin. Based on data processing obtained the results a average percentage error is 1.89%. Then this sensor can be used to build the tide sea system. The test result of the system obtained accuration of 99% as compare with standard instrument.

Keywords: Distance sensor, Microcontroller, Tide sea.

ABSTRAK

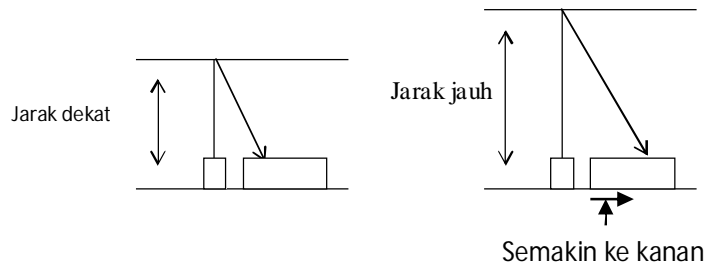
GP2Y0A02YK0F adalah sensor jarak yang merupakan kombinasi dari pendeteksi jarak (Position Selective Detector) yaitu dioda pemancar infra merah (IRED) dan rangkaian pemroses sinyal. Sensor ini mengeluarkan tegangan analog yang tidak linier terhadap jarak objek. Pada penelitian ini akan menjelaskan teknik mengubah persamaan kurva karakteristik GP2Y0A02YK0F untuk menentukan jarak dari nilai tegangan analog sensor tersebut dengan mengubah operasi pangkat menjadi nilai yang mendekatinya agar mudah direpresentasikan dalam bahasa programming. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data tegangan keluaran GP2Y0A02YK0F menggunakan mikrokontroler ATmega8. Hubungan antara GP2Y0A02YK0F dengan mikrokontroler ATmega8 melalui pin analog to digital converter (ADC) yang ada pada ATmega8. Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh hasil dengan rata-rata prosentase error 1,89%. Sensor ini kemudian digunakan untuk membangun sistem pengukur ketinggian pasang surut air laut. Hasil pengujian alat diperoleh nilai akurasi 99% dibandingkan dengan alat ukur standar.

Katakunci: Sensor jarak, Mikrokontroler, Pasang surut air laut.

1. PENDAHULUAN

Pencatatan pasang surut (pasut) dapat dilakukan secara *non registering*, yaitu dengan pengamatan langsung untuk mengukur dan mencatat tinggi pasut dari papan ukur yang disebut *tide staff*, atau pengukuran secara *self registering*, yaitu pencatatan pasut secara otomatis dengan alat *automatic gauge* baik berbentuk grafik, *punched tape*, atau foto. Instrumen pengukur pasang surut yang umum digunakan adalah *tide staff*, *floating tide gauge*, dan *pressure tide gauge*.

Berbagai penemuan material dan devais elektronik membuka peluang untuk merealisasikan suatu alat untuk mengukur ketinggian pasut tanpa pengamatan secara langsung. Alat ini dapat dibangun menggunakan sensor inframerah yang dapat mengindera jarak dan menghasilkan sinyal listrik. Salah satu sensor jarak yang telah diproduksi adalah sensor jarak GP2Y0A02YK0F. Sensor jarak GP2Y0A02YK0F adalah sensor yang menggunakan media inframerah yang dapat mendeteksi objek dengan rentang 20 cm sampai dengan 150 cm. Bentuk output dari sensor GP2Y0A02YK0F adalah tegangan analog. GP2Y0A02YK0F bekerja pada tegangan dari 4,5 volt sampai 5,5 volt dengan panjang gelombang inframerah sebesar ($\lambda = 850 \pm 70$ nm). Sensor inframerah ini tidak menghitung waktu pancaran sinar melainkan menghitung pada bagian mana sinar inframerah yang dikembalikan kemudian diterima oleh rangkaian phototransistor. Semakin jauh jarak maka semakin ke kanan sinar inframerah yang diterima pada rangkaian phototransistor dan semakin kecil tegangan outputnya seperti pada Gambar 1. Hasil output ini akan diterima oleh ADC terlebih dahulu sebelum diambil oleh mikrokontroler.



Gambar 1. Prinsip kerja sensor jarak GP2Y0A02YK0F
[Sumber : datasheet GP2Y0A02YK0F]

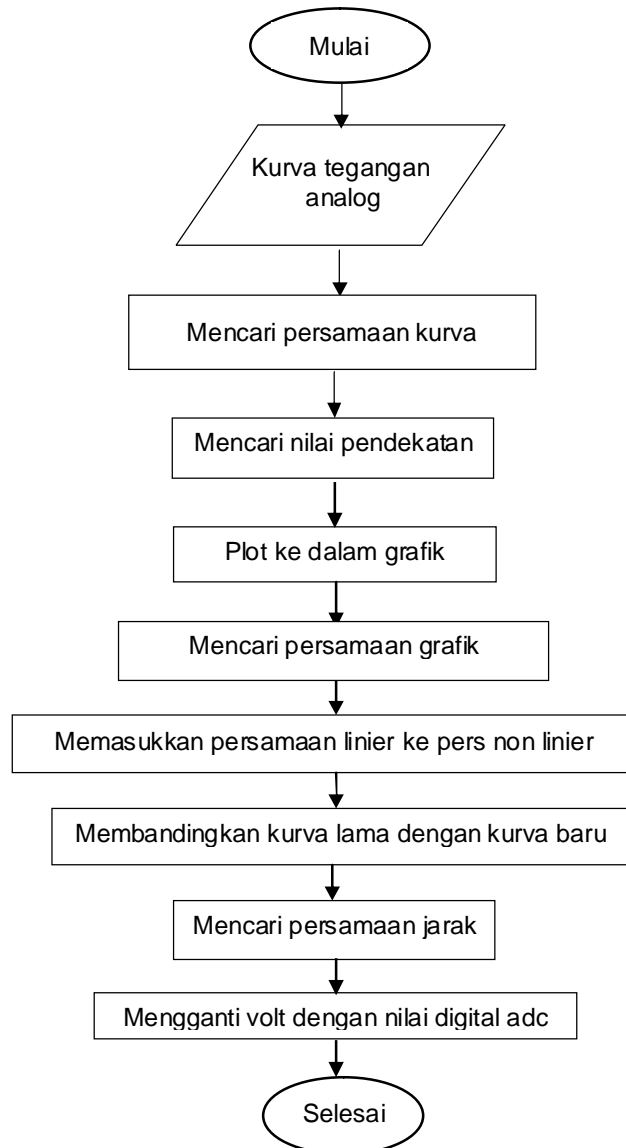
Untuk mendapatkan pengukuran yang valid diperlukan waktu kurang lebih 5 ms dari pengukuran pertama ke pengukuran kedua, sedangkan waktu *start up* agar sistem stabil membutuhkan waktu ($t = 16,5 \pm 3,7$ ms).

Persamaan kurva non linier yang dihasilkan mengandung operasi pangkat. Dalam bahasa pemrograman, operasi pangkat sulit untuk diekspresikan. Oleh karena itu

dibutuhkan cara pendekatan agar kurva non linier tersebut dapat diolah dengan bahasa pemrograman. Tujuan dalam penelitian ini adalah membuat alat yang dapat mengukur ketinggian air laut menggunakan mikrokontroler ATmega328 dan sensor jarak GP2Y0A02YK0F.

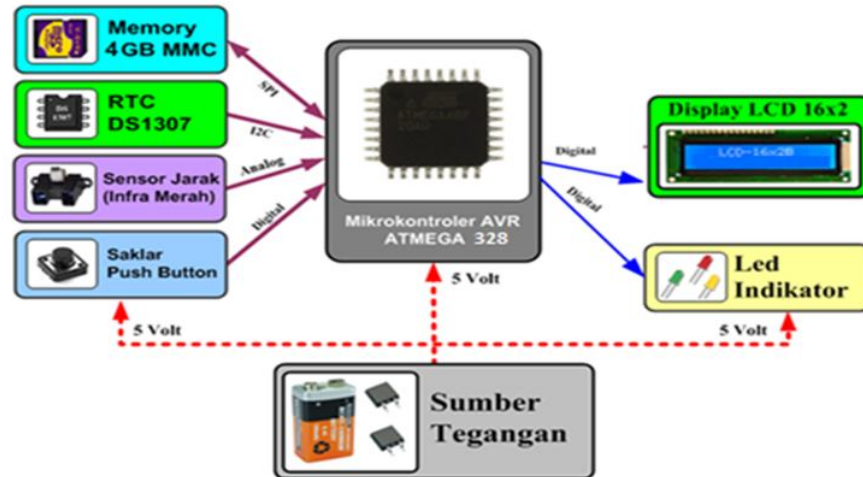
2. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Langkah-langkah penelitian

Perancangan alat terdiri dari beberapa bagian yaitu bagian pelampung, bagian sensor jarak, bagian mikrokontroler, bagian LCD dan bagian power supply. Hubungan antara bagian-bagian tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Alat dan Bahan yang dibutuhkan serta hubungan antar bagian.

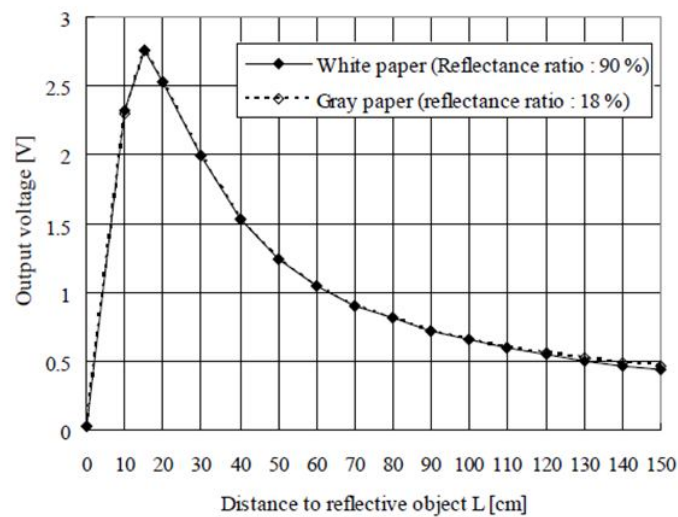
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sensor jarak GP2Y0A02YK0F ditunjukkan seperti pada Gambar 4. Keluaran dari sensor ini berupa tegangan analog yang nilainya non-linear dengan jarak objek yang diukur. Pada penelitian ini, hubungan antara sensor jarak GP2Y0A02YK0F dengan mikrokontroler menggunakan interface analog to digital converter (ADC) yang ada pada mikrokontroler Atmega328..



Gambar 4. Sensor Jarak GP2Y0A02YK0F

Grafik hubungan antara tegangan output analog sensor terhadap jarak objek dari sensor dapat dilihat seperti pada Gambar 5.

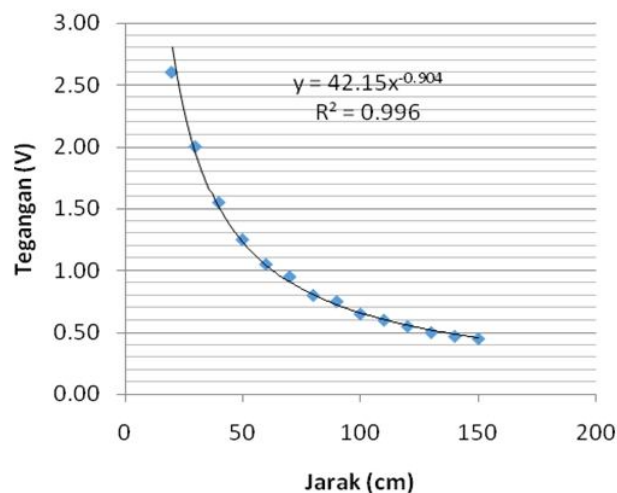


Gambar 5. Kurva karakteristik keluaran sensor jarak GP2Y0A02YK0F
[Sumber : datasheet GP2Y0A02YK0F]

Ada banyak cara untuk mencari persamaan dari kurva diatas untuk menentukan jarak dari nilai analog sensor tersebut. Salah satunya dengan cara sampling data kemudian menentukan persamaan dari kurva respon *voltage* terhadap jarak objek. Pada penelitian ini dilakukan dengan sampel kurva respon di atas dengan menggunakan Ms.Excel. Tabel 1 merupakan hubungan antara jarak dengan tegangan analog sensor. Dari Tabel 1 kemudian diplot ke dalam grafik dan dicari persamaan kurangnya. Maka diperoleh kurva seperti pada Gambar 6.

Tabel 1. Data hubungan tegangan terhadap jarak dari GP2Y0A02YK0F

jarak (cm)	tegangan (V)
20	2,60
30	2,00
40	1,55
50	1,25
60	1,05
70	0,95
80	0,80
90	0,75
100	0,65
110	0,60
120	0,55
130	0,50
140	0,47
150	0,45



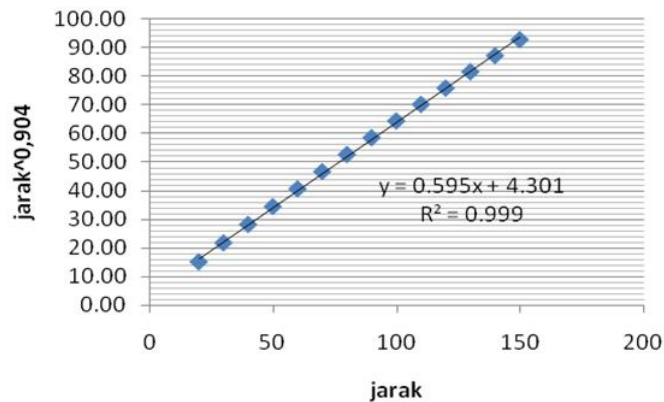
Gambar 6. Grafik hubungan antara tegangan keluaran terhadap jarak dari sensor GP2Y0A02YK0F

Persamaan yang mendekati dari kurva pada Gambar 6 adalah

$$y = 42.15x^{-0.904} \quad (1) \text{ atau}$$

$$y = 42.15/x^{0.904} \quad (2)$$

dimana y adalah tegangan analog (volt) dan x adalah jarak (cm). Karena operasi $x^{0.904}$ susah direpresentasikan dalam bahasa programming, maka dicari nilai yang mendekati dari $x^{0.904}$ dengan MS. Excel. Maka diperoleh nilai pendekatan seperti pada Tabel 2. Kemudian diplot ke dalam grafik dengan sumbu y adalah jarak $^{0.904}$ seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik nilai pendekatan dari $x^{0.904}$ terhadap jarak

Persamaan linier yang mendekati pada grafik Gambar 7 adalah

$$y = 0.5952x + 4.3019 \quad (3)$$

Tabel 2. Data nilai pendekatan dari $x^{0.904}$

jarak (cm)	jarak ^{0,904} (cm)
	15.00
30	21.64
40	28.07
50	34.35
60	40.50
70	46.56
80	52.53
90	58.43
100	64.27
110	70.05
120	75.78
130	81.47
140	87.12
150	92.72

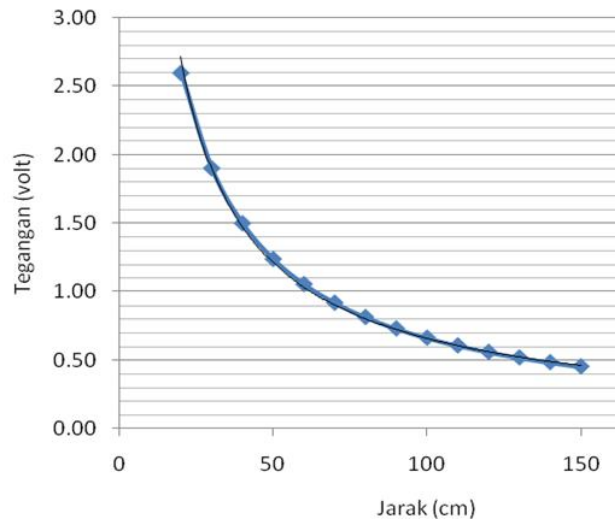
Langkah selanjutnya adalah kembali ke persamaan (1) dengan mengganti nilai $x^{0.904}$ dengan persamaan (3) sehingga persamaannya menjadi

$$y = 42.15/(0.595x + 4.301) \quad (4)$$

Jadi persamaan hubungan antara tegangan analog keluaran sensor dengan jarak yang kita dapat adalah

$$\text{volt} = 42.15 / (0.595 \text{jarak} + 4.301) \quad (5)$$

Dari persamaan (5) maka diperoleh grafik hubungan antara jarak dengan tegangan analog yang baru seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hubungan antara tegangan keluaran terhadap jarak yang baru.

Kemudian dilakukan pengecekan untuk membandingkan grafik yang lama dengan grafik yang baru untuk mendapatkan nilai errornya.

Tabel 3. Perbandingan data baru dengan data lama

Data lama		Data baru		Selisih
jarak (cm)	tegangan (V)	Jarak (cm)	Tegangan (volt)	
20	2,60	20	2.60	0.00
30	2,00	30	1.90	0.10
40	1,55	40	1.50	0.05
50	1,25	50	1.24	0.01
60	1,05	60	1.05	0.00
70	0,95	70	0.92	0.03
80	0,80	80	0.81	0.01
90	0,75	90	0.73	0.02
100	0,65	100	0.66	0.01
110	0,60	110	0.60	0.00
120	0,55	120	0.56	0.01
130	0,50	130	0.52	0.02
140	0,47	140	0.48	0.01
150	0,45	150	0.45	0.00

Langkah selanjutnya adalah mengubah persamaan (5) untuk mencari persamaan jarak dimana persamaan inilah yang akan dimasukkan ke program mikrokontroler. Berikut ini adalah hasil akhir persamaan yang didapatkan.

$$\text{volt} = 42.15 / (0.595 \text{jarak} + 4.301) \quad (6)$$

$$(42.15 / \text{volt}) = 0.595 \text{jarak} + 4.301 \quad (7)$$

$$(42.15 / \text{volt}) - 4.301 = 0.595 \text{jarak} \quad (8)$$

$$\text{Jarak} = (70.8403 / \text{volt}) - 7.2285 \quad (9)$$

Volt disini adalah parameter tegangan analog yang keluar dari sensor. Tegangan analog tersebut kemudian dikonversi menjadi angka digital oleh ADC. Pada penelitian ini, ADC yang digunakan adalah 8 bit maka nilai adc (tegangan referensi 5 volt) harus dikonversi ke volt,

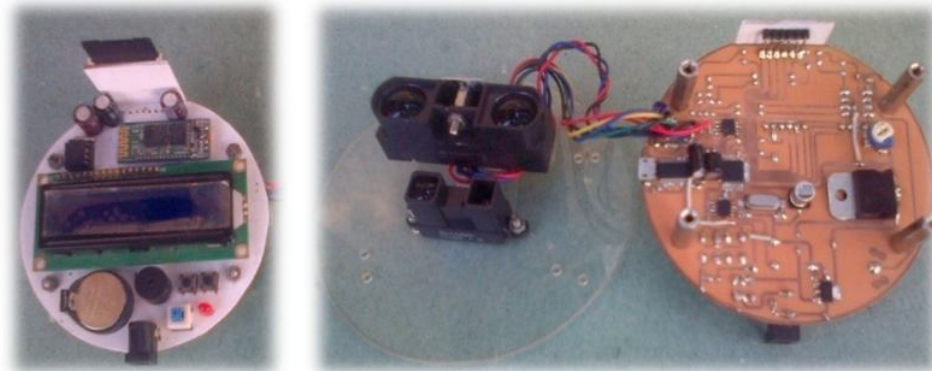
$$\text{volt} = \text{adc} * (5 / 255) \quad (10)$$

$$\text{jarak} = (70.8403 / (\text{adc} * (5 / 255))) - 7.2285 \quad (11)$$

$$\text{jarak} = (3614.3010 / \text{adc}) - 7.2285 \quad (12)$$

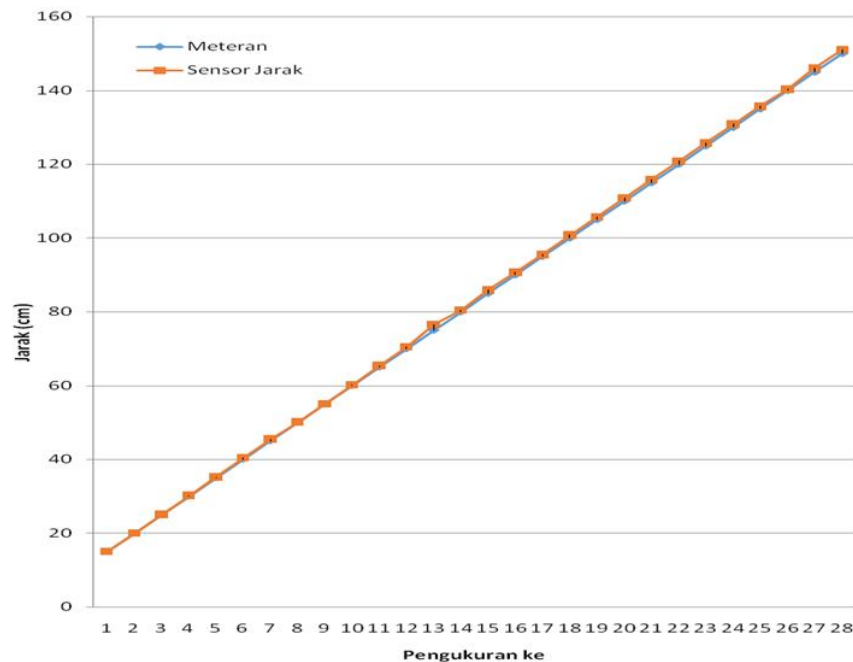
Alat pengukur pasut ini terdiri dari bagian pelampung dan perangkat elektronik. Bagian pelampung terdiri dari pemantul dan tabung. Sedangkan perangkat elektronik ini terdiri dari sensor jarak GP2Y0A02YK0F, mikrokontroler ATmega328, RTC, LCD dan MMC. Perangkat elektronik alat pengukur pasut yang dibuat dapat dilihat seperti pada gambar 9.

Sensor dihubungkan dengan mikrokontroler pada pin input ADC. Hasil pembacaan ADC akan dikonversi menjadi nilai jarak (ketinggian air). Hasil pengukuran ketinggian air kemudian ditampilkan pada LCD dan disimpan di dalam MMC.



Gambar 9. Rangkaian elektronik pengukur pasut.
[Dokumen pribadi]

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor jarak dapat bekerja dengan baik dan memiliki tingkat akurasi sebesar 99 % seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil pengujian alat ukur pasut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini terdapat beberapa hal yang penting yaitu :

- a. Sensor jarak GP2Y0A02YK0F dapat digunakan untuk mengukur ketinggian pasang surut air laut pada jarak 20cm – 150cm dari sensor.
- b. Sensor ini bergantung pada kestabilan arus listrik dari *power supply* serta sudut bidang pemantul sinar inframerahnya.
- c. Alat ukur ketinggian pasang surut air laut ini memiliki akurasi rata-rata 99%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Adityayuda, Anugrah. "Pengukuran Faktor Koreksi Jarak Pada Instrumen Motiwali", Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 2012.
- [2]. BAKOSURTANAL. "Prediksi Pasang Surut 2008"; Bidang Medan Gaya berat dan Pasang Surut. Pusat Geodesi dan Geodinamika. Bogor. 2008.
- [3]. Irawan, Feri, 2010, "Rancang Bangun Instrumen Pengukur Gelombang Laut Berdasarkan Sistem Pelampung", Skripsi, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- [4]. Purnama, Indra. "Rancang Bangun Alat Pengukur Laju Kendaraan Berbasis Mikrokontroler ATmega8". Universitas Komputer Indonesia. Bandung. 2011.
- [5]. Tanto, Try Al, 2009, " Kinerja OTT PS 1 Sebagai Alat Pengukur Pasang Surut Air Laut Di Muara Binuangeun, Provinsi Banten", Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [[6]. Datasheet GP2Y0A02YK0F Sheet No. : E4-A00101EN ©SHARP Corporation Date Dec.01.2006

PEMBUATAN LAPISAN TIPIS METAL DOPING TiO_2 DENGAN TEKNIK *DIP-COATING* DAN APLIKSI SIFAT KATALITIK DALAM DEGRADASI ASAM HUMAT PADA AIR RAWA GAMBUT

PREPARATION OF THIN FILM METAL DOPING TiO_2 WITH *DIP-COATING* TECHNIQUE AND APPLICATION THEIR PHOTOCATALYTIC ACTIVITY IN DEGRADATION HUMIC ACID AT PEAT SWAM WATER

Nancy Willian

Universitas Maritim Raja Ali Haji, Kota Tanjungpinang
ncy_we@yahoo.co.id. Jalan Politeknik Senggarang Kode Pos 29100/ 155

ABSTRACT

Preparation of TiO_2 -doped Metal M (Ni, Zn and Cu) has been prepared using glass as substrate with *dip-coating* technique. Titanium isopropoxide (TIP, $\text{Ni}(\text{Oac})_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{Oac})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ and $\text{Cu}(\text{Oac})_2$) were used as *starting material* with addition of diethanol amine (DEA) as additive in isopropanol solution. Film were prepared with various concentration of metal as 1, 3 and 5 mol % with concentration of TIP in 0,5 M. Coating were prepared by immersion of glass substrate into solution and withdraw speed of 20 cm/min. Coated glass were dried at $100 - 110^\circ \text{C}$ and heated at 500°C the process were repeated for several time. The product were characterization by XRD and show that the appeared layer has structure of anatase. EDX analysis show that thin film have content of Ti, Ni and Cu. Crystallized size were calculated with *Scherrer formula* shown that various crystallize size are 12-21 nm. According to transformation effectivity of titania doped M in degradation of humic acid in peat swam water shown that catalytic activity 34,40 – 53,71 for the irradiation during 24 hours.

Key words : dip-coating, titania thin film, doped

ABSTRAK

Lapisan tipis TiO_2 yang di doping dengan logam M (Ni, Zn, Cu) telah berhasil dibuat pada plat kaca sebagai substrat dengan teknik *dip-coating*. Titanium isopropoksida (TIP, $\text{Ni}(\text{Oac})_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{Oac})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Cu}(\text{Oac})_2$) digunakan sebagai *starting material* dan ditambahkan dietanol amin (DEA) sebagai aditif dengan isopropanol sebagai pelarut. Pembuatan lapisan tipis dilakukan dengan mengatur komposisi logam yang diberikan yaitu 1, 3 dan 5 mol % dalam larutan titania dengan konsentrasi 0,5 M. Substrat kaca yang sudah dilapisi dikeringkan pada suhu $100 - 110^\circ \text{C}$ dan dipanaskan pada suhu 500°C . Analisa foto optis memperlihatkan bentuk permukaan lapisan yang rata, homogen dan transparan. Karakterisasi produk dengan menggunakan XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis yang dihasilkan mempunyai struktur anatase. Analisis SEM-EDX memperlihatkan bahwa lapisan tipis yang terbentuk rata yang mengandung logam Ti, Ni dan Cu. Ukuran kristal masing masing logam dihitung dengan menggunakan *Scherrer formula* yang memperlihatkan variasi ukuran kristal berkisar antara 12-21 nm. Uji aktifitas fotokatalitik masing masing logam terhadap air rawa gambut memperlihatkan peningkatan aktivitas antara 34,40 – 53,71 %

Kata Kunci : *dip-coating, lapisan tipis titania, doped*

1. PENDAHULUAN

Penelitian saat ini banyak difokuskan pada fotokatalitik untuk degradasi polutan organik dengan material semikonduktor. Berbagai oksida semikonduktor seperti TiO_2 dan ZnO secara nanoteknologi adalah dua jenis material penting karena memiliki sifat elektrokimia dan optik yang sangat baik. [1] Teknologi fotokatalis menggunakan bahan semikonduktor TiO_2 mengatasi polutan limbah organik. Aktivitas fotokatalitik semikonduktor dipengaruhi oleh PH, Konsentrasi, Suhu dan intensitas sinar yang digunakan saat reaksi berlangsung. [2] .

Teknik menghasilkan Titanium dioksida telah banyak diteliti, melalui berbagai metoda seperti solid state reaction [3], metoda spin coating [4,5]metoda Metal Organik Chemical vapor Deposition (MOCVD) [6], sol gel spray coating [1] dan thin film melalui dip coating [7]. Penggunaan TiO_2 tidak saja secara murni tetapi juga kombinasi seperti TiO_2/ZnO yang dikembangkan sebagai sensor gas[8]

Doping TiO_2 telah banyak dilakukan penelitian, dengan menggunakan logam transisi (Cu,Co,Ni,Cr,Mn,Mo,Nb,V,Fe,Ru,Au,Ag,Pt) dan non metal seperti N,C,S,B,P,I dan F [9]. Penambahan doping logam merupakan proses memasukkan elemen asing pada *crystal lattice point* dari *material host* seperti TiO_2 . Penambahan doping (logam atau non logam) juga mempengaruhi energi celah pita (band gap) jika dibandingkan dengan band gap dari fotokatalis TiO_2 murninya.

Dengan adanya *doping* logam ini membantu kerja fotokatalis semikonduktor TiO_2 dimana proses penyerapan (adsorpsi) oksigen dan senyawa sasaran akan lebih mudah dilaksanakan. Dalam hal ini logam *doping* berperan untuk membantu penyerapan spesi reduktor dan oksidator dan media bagi transfer elektron dari dan ke fotokatalis semikonduktor. Diantara beberapa semikonduktor katalis yang paling cocok untuk aplikasi di lingkungan adalah TiO_2 karena stabil, inert secara biologi dan kimia, stabil terhadap korosi kimia dan relatif tidak mahal[10]. Bagaimanapun juga mikrostruktur, luas area permukaan, distribusi ukuran partikel, porositi dan distribusi logam *doping* dapat mempengaruhi aktivitas katalitik. Diantaranya beberapa penelitian tentang *doping* titania seperti TiO_2 di*doping* dengan unsur La, Ni dan Cu dan kombinasi Cu-Ni dalam mengubah mikrostruktur atau ukuran partikel serta transformasi fasa titania dari anatase ke rutile [11].

Laporan berikutnya oleh Zao *et al.* [12] membuat lapisan tipis TiO_2 yang mengandung partikel palladium (Pd) melalui metoda sol gel. [13], juga melakukan penelitian yang hampir sama yaitu senyawa TiO_2 –*doped* platina (Pt) disintesis melalui metoda sol-gel dan uji aktivitas katalitiknya.

TiO₂ dengan doping ion Fe⁺³ yang dibuat secara sol- gel dan hidrotermal memiliki aktivitas fotokatalitik yang semakin kecil dengan penambahan ukuran partikel TiO₂ untuk dekomposisi CHCl₃[14.]. Kobasa *et al.* ([15]) membuat material semikonduktor yang mengandung TiO₂ yang ditambahkan Zn dimana terjadi peningkatan aktivitas katalitik TiO₂ untuk reduksi tembaga pada kondisi inert. Xin, 2005 [16] yang melaporkan bahwa efek yang ditimbulkan oleh unsur perak (Ag) dengan variasi konsentrasi dan sifatnya sebagai fotokatalitik pada permukaan TiO₂. Pembuatan TiO₂- Agyang dilakukan oleh peneliti menyebabkan aktivitas fotokatalitik meningkat. Berdasarkan hasil penelitian tersebut diatas telah menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan unsur lain pada permukaan TiO₂ telah mengubah mikrostruktur dari TiO₂.

Telah banyak persiapan lapisan tipis yang mengandung logam *doping* pada molekul TiO₂ dan diaplikasikan pada sifat katalitiknya. Seperti lapisan tipis TiO₂ dalam struktur anatase sangat banyak digunakan sebagai fotokatalis untuk dekomposisi senyawa organik. Lapisan tipis ini (film) dibuat dengan berbagai metoda. *Dip- coating* adalah salah satu persiapan sol anatase dengan metoda sol-gel sangat banyak digunakan pada pembuatan lapisan tipis pada temperatur rendah. *Dip – coating* merupakan suatu proses pelapisan substrat dengan mencelupkan substrat pada larutan pelapis dan kemudian substrat diangkat dengan kecepatan tertentu.

Lapisan tipis TiO₂ yang di *doping* dengan logam tersebut diujikan aktivitas katalis dan efisiensi dalam fototransformasi asam humat. Asam humat adalah komponen penyebab air rawa gambut berwarna merah sampai kecoklatan, disamping komponen lain asam fulvat dan humin [17]. Diantara langkah awal dalam penanganan terhadap tatanan air rawa gambut tersebut adalah dengan cara penjernihan melalui bantuan fotokatalis semikonduktor.

Berdasarkan penelitian yang telah diketahui sebelumnya bahwa logam Ni, Cu dan Zn belum pernah digunakan sebagai *doping* TiO₂ dengan metoda sol-gel yang dibuat dalam bentuk lapisan tipis. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan logam Ni, Cu dan Zn terhadap bentuk permukaan lapisan yang dibuat dengan metoda *dip-coating* dan bagaimana pengaruh logam *doping* terhadap mikrostruktur dari titania. Selanjutnya juga untuk mempelajari bagaimana sifat katalitik dari lapisan tipis yang dihasilkan tersebut dalam mendegradasi asam humat dalam air rawa gambut.

Tulisan ini bertujuan untuk mempelajari pembuatan lapisan tipis TiO₂ yang di *doping* dengan logam M (M = Zn, Cu dan Ni) pada substrat kaca dengan metoda

celup *dip-coating* melalui proses sol – gel dan juga untuk mempelajari aktivitas fotokatalitik dari lapisan tipis dalam fototransformasi asam humat dalam air rawa gambut. Lapisan tipis TiO_2 dibuat dengan menggunakan titanium isopropoksida (TIP) sebagai sumber titanium, isopropanol sebagai pelarut serta dietanol amin (DEA) sebagai aditif..Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam pengembangan metoda sintesis material anorganik serta aplikasinya dalam penjernihan air rawa gambut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui 4 tahap yaitu tahap pertama proses pembuatan larutan TiO_2 melalui metoda sol – gel dan penyisipan atau doping dengan logam transisi. Tahap kedua proses pelapisan (deposisi) TiO_2 diatas subtrat kaca dengan teknik dip-coating. Tahap 3, melakukan karakterisasi lapisan TiO_2 yang telah didoping dengan Logam transisi (Cu,Zn dan Ni) XRD (RAD-2R, Rigaku Co.Ltd.), SEM-EDX (Hitachie S-530, spektrofotometer UV-Vis (Secomam S1000PC) dan perangkat Dip Coater. Subtrat menggunakan *microscope slide* dengan ketebalan 1 mm, panjang 75 mm dan lebar 12 mm dan tahap terakhir pengujian fotodegradasi asam humat dari air rawa gambut.

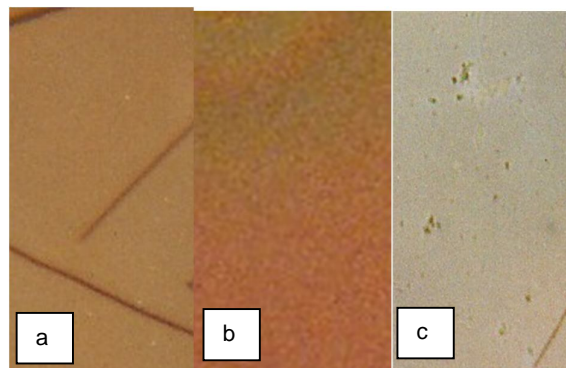
Proses pembuatan TiO_2 dilakukan dengan menggunakan metoda sol gel dengan melarutkan Titanium Isopropoksida (TIP : Fluka) dengan konsentrasi 0,5 M yang dilarutkan dengan dietano amin (DEA : Merk) 0,1 M atau dengan perbandingan 1: 2 . Penambahan TIP dilakukan dibawah aliran gas N_2 dan dilanjutkan dengan penambahan doping logam Ni,Cu dan Zn asetat dengan variasi konsentrasi 1, 3 dan 5 mol %. Larutan pendoping berasal dari Zn Asetat dihidrat (Merk) ,Cu asetat (Wako) , Ni asetat tetra hidrat (Fisson).

Proses pelapisan kaca menggunakan peralatan dip coater dengan kecepatan 20 cm / detik. Subtrat direndam selama 20 detik dan diupakan pada suhu 100 –110 °C selama ± 15 menit, serta dikalsinasi pada suhu 500 °C.. Kemudian dilanjutkan dengan karakterisasi lapisan tipis.

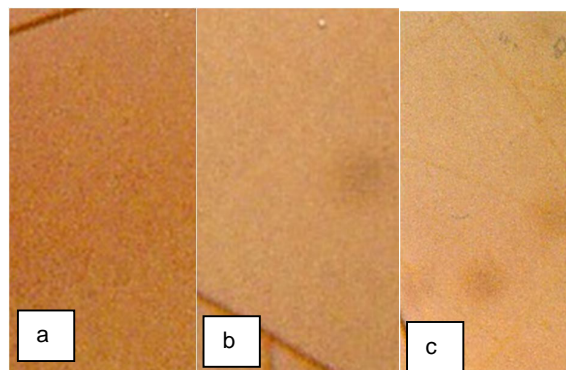
Variasi konsentrasi pada substrat kaca TiO_2 - M diuji aktivitas fotokatalitiknya dalam mendegradasi humic acid dalam air rawa gambut. Substrat kaca TiO_2 -M disinari dengan lampu uap raksa (λ 254 nm) dengan variasi lama penyinaran 0, 3, 6, 9, 12,15, 18, 21 dan 24 jam. Kemudian efek fotokatalis diamati dengan spektroskopi UV-Vis.

HASIL DAN DISKUSI

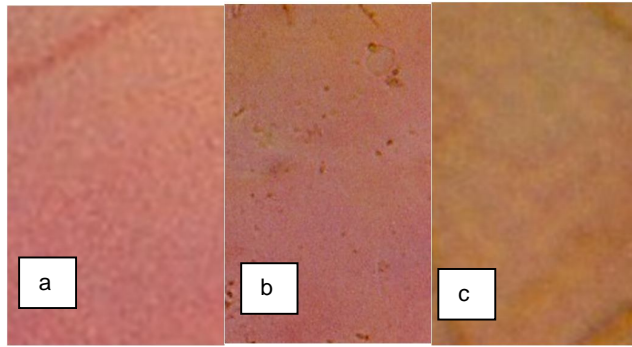
Pengamatan visual dari lapisan yang dihasilkan adalah sangat transparan yang didukung dengan hasil spektrum UV-Vis pada λ 200 nm – 800 nm .Dari hasil foto optis dengan 400 kali pembesaran, masing- masing substrat kaca yang sudah dilapisi dapat dilihat bahwa lapisan yang dihasilkan adalah homogen yang dibuktikan dengan bentuk lapisan rata dan transparan.Terlihat pada gambar dibawah ini



Gambar 1. Lapisan Tipis TiO_2 Doping Ni dengan Konsentrasi(a). 1 %, (b) 3 % dan (c). 5 %

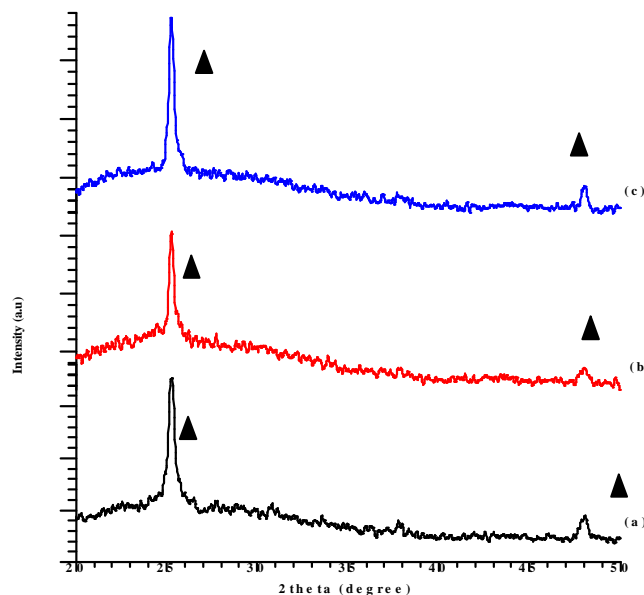


Gambar 2. Lapisan tipis TiO_2 doping Zn dengan Konsentrasi(a). 1 %, (b) 3 % dan (c). 5 %



Gambar 3. Lapisan tipis TiO_2 doping Cudengan Konsentrasi(a). 1 %, (b) 3 % dan (c). 5 %

Kristalisasi TiO_2 -M dilakukan pengukuran dengan menggunakan XRD. menunjukkan munculnya puncak-puncak kristalin. Secara teoritis TiO_2 mempunyai 3 bentuk kristal yang berbeda yaitu, anatase, rutile dan brookite, dimana masing-masing kristal akan mempunyai 2θ spesifik yang berbeda. Anatase mempunyai 2θ tertinggi $25,28^\circ$ (101) dan $48,04^\circ$ (200) serta rutile mempunyai 2θ tertinggi $27,44^\circ$ (110) dan $39,18^\circ$ (200) (JCPDS card No. 12-1272 dan 29-1360). Pola XRD dari TiO_2 -Ni yang dipanaskan pada suhu 500°C . Dari pola XRD memperlihatkan puncak 2θ pada $25,28^\circ$ dan $48,06^\circ$ untuk konsentrasi Ni 1 % (gambar a), puncak $25,26^\circ$ dan $48,04^\circ$ untuk Ni 3 % pada gambar (b) serta $25,26^\circ$ dan $48,04^\circ$ untuk logam *doping* dengan konsentrasi 5 % yang terlihat pada gambar (c). Dari ketiga puncak 2θ yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa struktur dari TiO_2 -Ni adalah anatase yang sesuai dengan JCPDS card No. 12-1272



Gambar 4. Spektrum XRD dari TiO_2 -Ni pada suhu 500°C dengan variasi logam Ni dimana a) 1 %. b). 3 %. c).5 % .

Perbedaan lebar dan tinggi dari 2θ yang dihasilkan dimana masing-masing konsentrasi logam yang diberikan memperlihatkan intensitas yang berbeda beda. Intensitas $c > a > b$ yaitu 186, 177 dan 153. Pola XRD untuk logam doping Cu dan Zn didapatkan bentuk yang sama yaitu anatase.

Ukuran kristal dari masing – masing logam dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Scherrer*. Seperti berikut :

$$D_{hkl} = \frac{0,9 \lambda}{\beta \cos \theta_{hkl}}$$

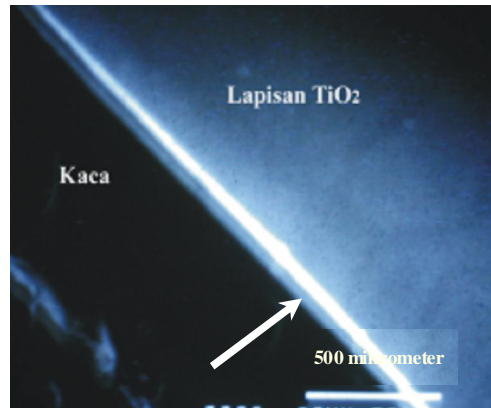
Dimana D_{hkl} menunjukkan diameter kristal (nm) , λ sebagai panjang gelombang sinar x dan β adalah lebar difraksi (rad) dan θ_{hkl} sebagai puncak difraksi. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil seperti tabel 1. Apabila puncak yang terbentuk semakin sempit atau tajam maka ukuran kristal semakin besar [18].

Tabel 1. Ukuran kristal TiO_2 -M berdasarkan *Scherrer Formula*

No.	TiO_2 -M	FWHM	Ukuran kristal (nm)
1	TiO_2 –Ni 1%	0,0084	17
2	TiO_2 –Ni 3 %	0,0073	19
3	TiO_2 –Ni 5%	0,0073	19
4	TiO_2 – Zn 1 %	0,0084	17
5	TiO_2 –Zn 3%	0,0107	13
6	TiO_2 –Zn 5%	0,0059	21
7	TiO_2 –Cu 1%	0,0087	16
8	TiO_2 –Cu 3%	0,0122	12
9	TiO_2 –Cu 5%	0.0094	15

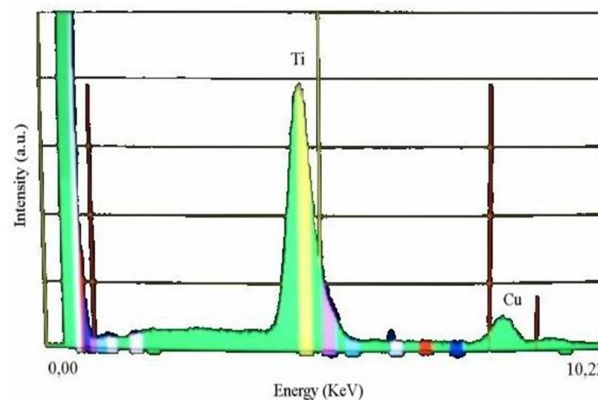
XRD TiO_2 memperlihatkan kristal anatase dengan ukuran kristalisasi antara 12 – 21 nm. Ukuran kristal yang kecil dan merata menghambat fotokatalitik TiO_2 anatase seperti doping TiO_2 dengan ion (Cu dan Zn) yang berukuran 9-21 nm [19]

Gambar 5 merupakan hasil foto SEM lapisan tipis TiO_2 -Ni secara *cross-section*. Bagian yang berwarna hitam merupakan kaca dan bagian yang berwarna putih terang adalah tebal lapisan titania (seperti yang ditunjukkan oleh panah) sedangkan yang berwarna biru adalah permukaan lapisan titania yang menempel pada kaca, dimana ketebalan lapisan $\pm 0,2 \mu m$.



Gambar 5. Foto SEM (*cross -section*) dari lapisan tipis TiO₂-Ni pada kalsinasi suhu 500 °C

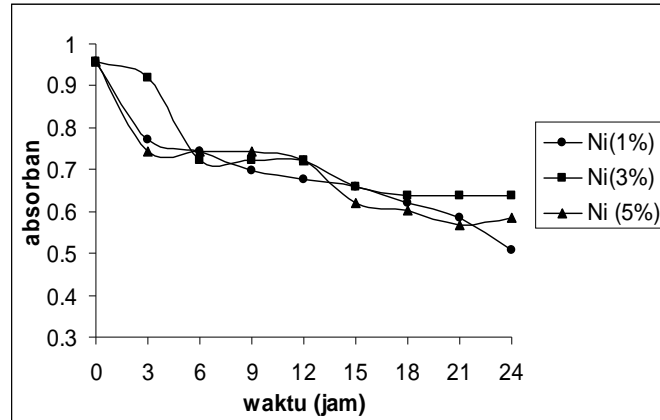
Dari analisis EDX memperlihatkan lapisan yang terbentuk mengandung Ti (0,7 KeV), Ni (8 KeV) dan Cu (7 KeV) serta tidak ditemukannya Zn. Spektrum EDX untuk lapisan TiO₂-Cu dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Spektrum EDX dari TiO₂-Cu 3%

Pada spektrum EDX untuk lapisan TiO₂-Zn memperlihatkan adanya puncak Ti dan tidak munculnya puncak Zn. Puncak Zn tidak muncul bisa jadi karena jumlah Zn berkurang karena titik lelehnya rendah yaitu sekitar 420 °C sedangkan proses pemanasan lapisan tipis dilakukan pada suhu 500°C. Berkurangnya Zn karena sebagian teroksidasi membentuk ZnO. Dimana dengan adanya ZnO ini dalam molekul titania dapat meningkatkan sifat katalitik .

Sifat katalitik pada air rawa gambut dimana lapisan pada substrat kaca dicelupkan kedalam 30 mL air rawa gambut kemudian disinari dengan lampu uap raksa tekanan rendah λ 254 nm selama 24 jam.



Gambar 7. Irradiasi air rawa gambut pada lapisan tipis TiO_2 -Ni dengan variasi konsentrasi logam Ni

Pada grafik diatas dapat dilihat dengan penyinaran selama 24 jam menyebabkan serapan air rawa gambut semakin turun yang berarti tingkat penjernihan semakin tinggi. Dengan cara yang sama pada perlakuan masing-masing lapisan didapatkan aktivitas katalitik TiO_2 -M berkisar antara 33,40 – 53,71 % dimana TiO_2 -Zn memperlihatkan aktivitas katalitik tertinggi dibanding 2 logam *doping* lainnya. Hal ini disebabkan karena Zn dalam titania berubah menjadi ZnO yang memiliki aktivitas katalitik yang hampir sama dengan TiO_2 . Sehingga terbentuknya ZnO pada titania sangat membantu dalam meningkatkan aktivitas katalitik dalam mendegradasi asam humat dalam air rawa gambut. Bila dibandingkan dengan penelitian terdahuludimana aktivitas katalitik lapisan TiO_2 tanpa *doping* dengan 30 mL air rawa gambut dengan penyinaran dengan lampu uap raksa λ 254 nm selama 24 jam memperlihatkan persen penjernihan sebesar 25,19 %. Maka dapat disimpulkan dengan adanya logam *doping* pada permukaan TiO_2 mampu meningkatkan aktivitas katalitik yaitu 2 kali lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1].Yudha,H. Susanto H., 2014, Analisis Sifat Optik lapisan Tipis Bilayer ZnO/ TiO_2 yang dideposisikan menggunakan metoda sol –gel Spray Coating dan aplikasi sebagai Fotodegradasi zat Warna. J.Youngster Physics, **03.03** . 223-230
- [2].Riyani,K.,Setyaningsih,T., Windy D., Ayu D., 2014., Pengaruh PH terhadap Produksi Aseton dari Limbah Cair Tapioka dengan Fotokatalis TiO_2 -Mn. Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia ISBN 979363174-0

- [3].Hendry, elvaswer. 2012. Karakteristik TiO_2 (CuO) yang dibuat dengan Metoda keadaan padat (Solid State reaction) sebagai Sensor gas CO_2 . J.fisika.**01.01** ISSN 2302-8491
- [4].Efendi, M., Bilalodin. 2012. Analisis Sifat Optik lapisan Tipis TiO_2 Doping Nitrogen yang Disiapkan dengan Metoda Spin Coating. Proceeding Pertemuan Ilmiah ISSN 0853-0823
- [5].Ardharisca, Oriza. 2013. Karakteristik Optik dan Struktur Kristal TiO –Au ditumbuhkan dengan Spin Coating. Skripsi Universitas Jember.
- [6].Saripudin A., Gunawan t., Muladi,Y., 2013. Penggunaan Pengotor Co pada struktur dan Konduktifitas Tipis TiO_2 . J. Elektrons. **12.01**. 1412-3762.
- [7].G. Zao,.H.Kosuka,S.Sakka.1995.Preparation Of TiO_2 Coating Film Containing Pd Fine Particles by Sol-gel Methode. Jornal Of Sog-gel Science and Tehcnology 4: 37-47.
- [8].Deswardani, F. Elvaswer. 2013. Karakteristik Semikonduktor (TiO_2/ZnO) sebagai sensor Liquid Petroleum gas (LPG). J.fisika. **2.04**. 2302-8491
- [9].Zaleska, A., 2008. Doped- TiO_2 : A Review. J.Patent on Engineering. 157-164
- [10].Hoffmann. M. R., S.T. Martin., W. Choi., D. W. Bahnemann,1995, Enviromental Application of Semiconductor Photocatalysis, *Chem, review*, : 69-96
- [11].Nair. J.,P.Nair, F. Mizukami,Y. Oosawa, and T.Okubo. 1999. Microstructure and Phasa Transformation Behavior of *Doped* Nanostructured titania, *Material research Bulletin*, **34**,8
- [12].Zao. G., Kosuka. H., Sakka.S., 1995, Preparation of TiO_2 Coating Film Containing Pd Fine prtickles by Sol – Gel Method, *J of Sol – Gel science and Tech*, 4, 37-47
- [13].Sanches E, T. Lopez, R. Gomez, Bokhini.m 1996. Synthesis and Characterization Of Sol – gel Pt/ TiO_2 Catalys. *J.of solid state Chem.*,**112** :309-314
- [14].Zhang,Z.,C. Wang, R. Zakaria, and J.Y Ying.1998. Role of Particle Size in Nanocrystalline TiO_2 -based Photocatalyst. *J. phys. Chem.*. B.**102** : 10871-10878
- [15].Kobasa,I.M. 2004. Semi-Conductive Materials Based on the Titanium Dioxide Doped with Zinc : Catalytic Activity for Copper Deposition and Effect of UV-Irradiation. *Polish.J.Chem.***78** : 553 – 560
- [16].Xin.B., Jing.L., 2005. Effects of Simultaneously Doped and Deposition Ag on the Photocatalytic Activity and Surface States of TiO_2 .*J. Phys. Chem*, b, 109, 2805 – 2809
- [17].Aiken, G.R. 1985. *An Introduction To Humic Substance In Solid, Sediment and Water*. Jhon Willey And Sons, New York
- [18].Violet,S., Muthukumar P., Gaikwad SPS.P. 2004 Synthesis of Mesoporous Rutile. *J.mater science lett* ,58, pp 2514 - 2516
- [19].M.Khairy, W. Zakaria. 2014.Effect Of Metal –doping of TiO_2 Nanopartikel on Their Fotokatalitic Activity Toward Removal Of Organic Dyes. J. Egypton Petroleum. 23,419-426

SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOHIDROKSIAPATIT (BHAp) BERBASIS LIMBAH BIOMATERIAL RAHANG BAWAH TULANG SAPI DENGAN TEKNIK PEMBAKARAN

(SYNTHESIS AND CHARACTERISATION OF BIOHYDROXYAPATITE BASED BIOMATERIAL WASTE OF BOVINE BONE MANDIBLE BY COMBUSTION TECHNIQUE)

Dwi Asmi*, Firda, dan Ahmad Sulaiman

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung,
Bandar Lampung dwi.asmi@fmipa.unila.ac.id.
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Gedung Meneng Bandar Lampung 35145

ABSTRACT

The use of biomaterial waste based bovine bone mandible to obtained novel bioceramic powder of bio-hydroxyapatite (BHAp) by simple combustion technique was studied. The bio-hydroxyapatite (BHAp) powder was produced from bovine bone mandible after calcination at 800-900°C for 5h. The Fourier transform infrared spectroscopic (FTIR) study confirmed the presence of hydroxyl (-OH), phosphate (PO_4^{3-}) and carbonate (CO_3^{2-}) functional groups. The x-ray diffraction (XRD) analysis results revealed that BHAp powder has been successfully synthesized. The surface morphology of BHAp powder was employed by scanning electronic microscopy (SEM) and showed the spherical grains with a diameter of approximately $\leq 1 \mu\text{m}$.

Keywords: Biohydroxyapatite, bovine bone mandible, FTIR, XRD and SEM

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan bubuk biokeramik biohidroksiapatit (BHAp) baru dengan memanfaatkan limbah biomaterial padat rahang bawah (mandibular) tulang sapi menggunakan teknik pembakaran sederhana. Produksi bubuk biohidroksiapatit (BHAp) dari rahang bawah tulang sapi diperoleh melalui kalsinasi pada suhu 800-900 °C selama 5 jam. Hasil studi dengan menggunakan FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi hidroksil (-OH), posfat (PO_4^{3-}) dan karbonat (CO_3^{2-}) pada sampel. Kristal struktur hidroksiapatit pada sampel juga terbukti dengan analisis difraksi sinar-x (XRD). Morfologi permukaan BHAp sampel dengan scanning electron microscopy (SEM) menunjukkan butiran-butiran berbentuk bulat merata dengan diameter $\leq 1 \mu\text{m}$.

Katakunci: biohidroksiapatit, rahang bawah tulang sapi, FTIR, XRD dan SEM.

1. PENDAHULUAN

Keramik hidroksiapatit (HAp) adalah salah satu senyawa berbasis kalsium posfat dan merupakan komponen mineral anorganik utama yang ada dalam jaringan keras (tulang), enamel gigi dan gigi manusia dengan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, serta memiliki komposisi teoritik dengan molar rasio Ca/P sebesar 1,67 [1]. Keramik HAp secara luas telah diaplikasikan dalam bidang medik karena memiliki sifat unik yang unggul seperti biokompatibilitas tinggi [2,3], bioafinitas yang tinggi [4] dan potensial osteogenik yang tinggi [5]. Oleh sebab itu, berbagai metode telah dikembangkan untuk mensintesis keramik HAp dengan bahan dasar komersial, seperti sol gel [6], hidrotermal [7], presipitasi [8], metode iradiasi microwave [9,10], dan mikro emulsi [11]. Mengingat bahan dasar komersial memerlukan proses dan biaya yang mahal, maka metode alternatif dengan memanfaatkan bahan dasar alamiah yang berlimpah keberadaannya dan tentunya dengan harga yang relatif murah terus dikembangkan. Salah satu bahan dasar alamiah yang paling banyak dimanfaatkan dalam pembuatan keramik hidroksiapatit (biohidroksiapatit – BHAp) adalah limbah biomaterial tulang sapi. Berbagai metode telah digunakan untuk memproduksi keramik BHAp berbasis tulang sapi seperti teknik *defatting*, alkali hidrolisis hidrotermal dan termal dekomposisi/kalsinasi [12,13,14]. Akan tetapi, kebanyakan bahan dasar tulang sapi yang digunakan dalam preparasi keramik BHAp adalah bagian tulang paha (*femur*), sedangkan pemanfaatan bagian rahang bawah tulang sapi (*mandible*) sebagai bahan dasar dalam pembuatan keramik BHAp berdasarkan hasil telusur elektronik belum pernah dilakukan. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dikembangkan salah satu alternatif preparasi *novel* keramik biohidroksiapatit (BHAp) berbasis limbah biomaterial rahang bawah tulang sapi (*mandible*) dengan menggunakan teknik termal dekomposisi pembakaran.

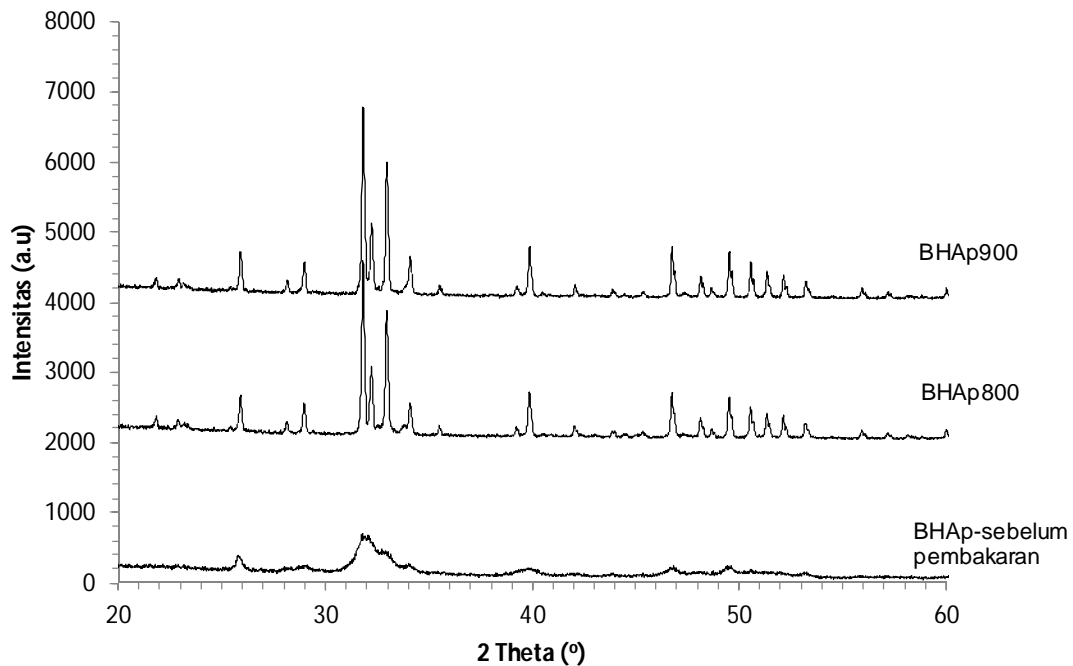
2. METODE PENELITIAN

Rahang bawah tulang sapi segar diperoleh dari tempat pemotongan sapi lokal yang ada di Bandar Lampung. Gigi dan daging yang menempel pada rahang dibuang dan tulang dipotong kecil dengan dimensi kurang lebih 1 x 2 cm, bagian yang diambil untuk penelitian ini adalah bagian tulang padatnya. Tulang dicuci hingga bersih dengan aquades kemudian direbus menggunakan *pressure cooker* selama 5 jam dan dikeringkan dalam oven selama 48 jam pada suhu 120 °C. Tulang kering kemudian dihancurkan dengan menggunakan *mortar* dan *pestle*, kemudian diblender untuk menghasilkan bubuk dasar BHAp dan disimpan dalam plastik sampel. Bubuk dasar BHAp kemudian dibakar pada suhu 500 °C dengan laju pembakaran 5 °C/menit dengan waktu penahanan 30 menit dan dilanjutkan pada suhu 800 °C (BHAp800) dan 900 °C (BHAp900) selama 5 jam

dan penurunan ke suhu ruang. Analisis struktur kristal pada sampel sebelum dibakar dan sesudah dibakar (BHAp800 dan BHAp900) dilakukan dengan alat difraktometer sinar-x (PW3040/60 X'pert Pro) menggunakan radiasi $\text{CuK}\alpha$, tegangan 40 kV dan arus 30 mA dengan 2 theta 5-80 derajat. Analisis gugus fungsional dilakukan dengan menggunakan spektrometer FTIR (Perkin Elmer Optima 100), sedangkan karakterisasi mikrostruktur menggunakan Scanning Electron Microscopy (JEOL JSM-5610LV).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

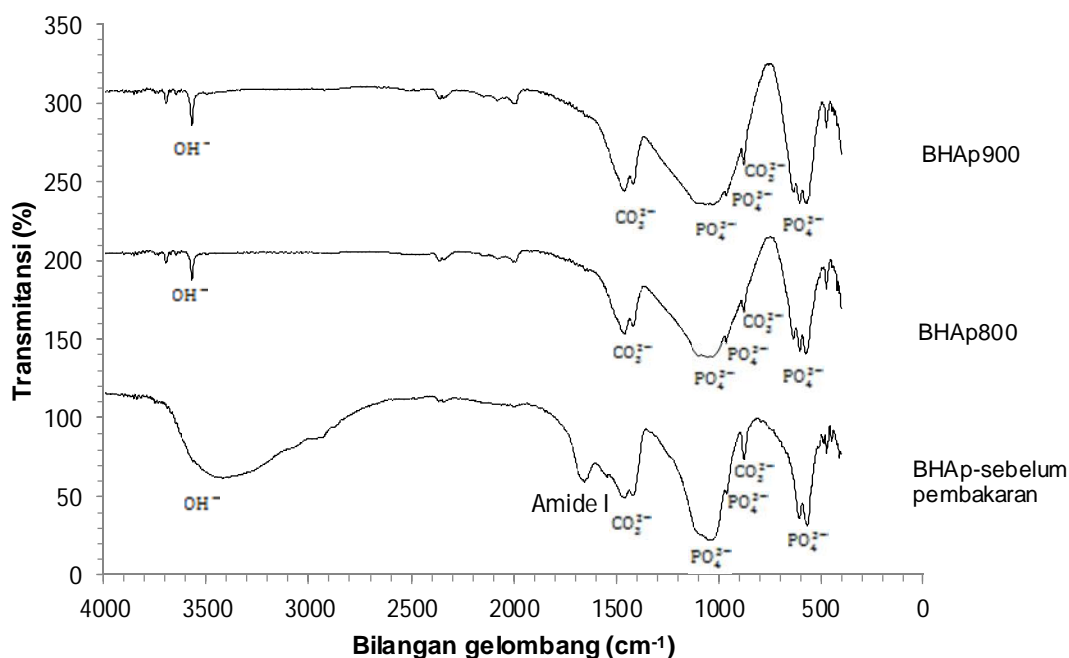
Difraksi sinar-x (XRD) digunakan untuk mengevaluasi kemurnian fasa dan sifat-sifat struktur kristalografi komponen mineral rahang bawah tulang sapi sebelum dan sesudah pembakaran. Gambar 1 menunjukkan pola difraksi sinar-x (XRD) yang diperoleh pada sampel keramik BHAp sebelum dibakar dan sesudah dibakar pada suhu 800 °C (BHAp800) dan 900 °C (BHAp900) dengan waktu penahanan selama 5 jam. Difraktogram pada sampel menunjukkan hanya pola karakteristik hidroksiapatit yang teridentifikasi pada semua sampel, hal ini berdasarkan pada hasil pencocokan dengan data base referensi difraksi sinar-x file JCPDS (*Joint Committee Powder Diffraction Standard*) No: 09-0432. Pada sampel BHAp sebelum dibakar, pola difraksi sinar-x menunjukkan bahwa kristalinitas tulang sapi sangat rendah dan mempunyai puncak yang lebar pada rentang 30-35 °, hal ini disebabkan oleh keberadaan senyawa kolagen dalam matrik tulang yang menyebabkan difraksi sinar-x dan karena struktur amorf tulang. Pola struktur amorf ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Ooi *et al* [12] dengan menggunakan bahan dasar tulang sapi bagian paha (*femur*). Dengan meningkatnya suhu pembakaran yaitu pada suhu 800 °C, kristalinitas keramik BHAp meningkat hal ini ditunjukkan dengan puncak-puncak difraksi yang semakin tajam dengan intensitas yang lebih tinggi. Hasil yang sama juga diperoleh berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Haberkorn *et al* [14] dan Figueiredo *et al* [15]. Tidak terjadi perubahan fasa pada sampel BHAp yang dibakar pada suhu 900 °C. Seperti yang diharapkan, ketajaman puncak-puncak difraksi berhubungan dengan perubahan ukuran kristal yang meningkat seiring dengan kenaikan suhu pembakaran. Hasil ini sangat konsisten dengan perubahan struktur yang sangat signifikan pada mineral tulang yang terjadi pada rentang suhu 600 dan 800 °C [14,15].



Gambar 1. Pola difraksi sinar-x (XRD) sampel keramik BHAp sebelum pembakaran dan sesudah dibakar pada suhu 800 °C dan 900 °C selama 5 jam.

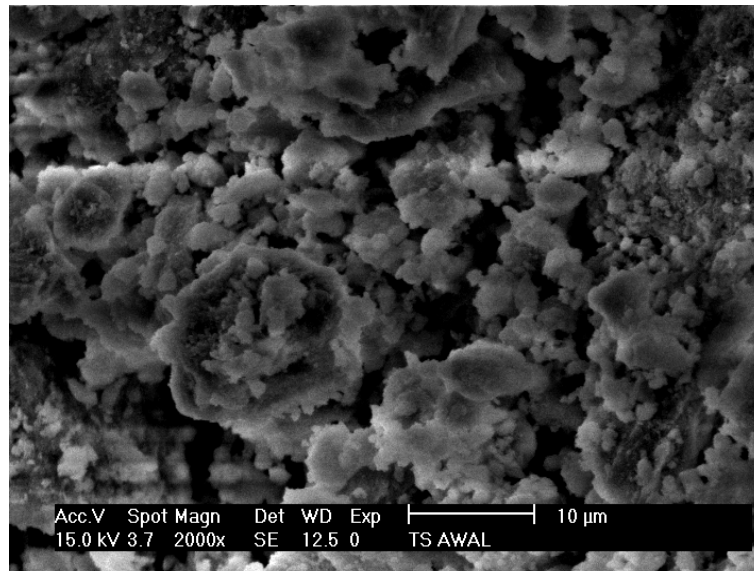
Untuk mendapatkan informasi yang lebih tentang komponen dan gugus fungsional yang terdapat pada sampel, spektroskopi FTIR digunakan sebagai tambahan pada teknik difraksi sinar-x (XRD). Spektrum FTIR sampel sebelum dibakar dan sesudah dibakar pada suhu 800 °C (BHAp800) dan 900 °C (BHAp900) dengan rentang bilangan gelombang 4000 – 400 cm^{-1} ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil analisis spektrum FTIR pada sampel BHAp sebelum dibakar menunjukkan bahwa gugus fungsi OH^- muncul pada rentang bilangan gelombang yang lebar yaitu antara 3432,88 cm^{-1} dan 3398,25 cm^{-1} . Rentang bilangan gelombang gugus fungsi OH^- berkisar antara 3700-3600 cm^{-1} , 3550-3500 cm^{-1} dan 3000-1700 cm^{-1} [16], serta 3572 cm^{-1} [17]. Gugus fungsi posfat PO_4^{3-} terdapat pada bilangan gelombang 1033,65 cm^{-1} , 602,26 cm^{-1} , dan 564,76 cm^{-1} . Gugus fungsi fosfat memiliki rentang bilangan gelombang berkisar antara 1100-950 cm^{-1} [16], 603 cm^{-1} dan 1051 cm^{-1} [18]. Selanjutnya gugus fungsi karbonat CO_3^{2-} ditunjukkan pada bilangan gelombang 872,74 cm^{-1} , 1419,86 cm^{-1} dan 1458,74 cm^{-1} . Gugus fungsi karbonat memiliki rentang bilangan gelombang berkisar antara 1459 cm^{-1} dan 1413 cm^{-1} [19], 873 cm^{-1} , 1417 cm^{-1} dan 1456 cm^{-1} [18]. Pada sampel ini teramati pita serapan yang terkait dengan protein grup amide yaitu pada bilangan gelombang 1654.91 cm^{-1} yang berkaitan dengan gugus fungsi kolagen tipe amide I [16].

Hasil karakterisasi spektrum FTIR sampel BHAp setelah dibakar pada suhu 800 °C dan 900 °C dengan rentang bilangan gelombang 4000 – 400 cm^{-1} ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil analisis spektrum FTIR pada kedua sampel menunjukkan gugus fungsionalitas yang sama yaitu terdapat gugus fungsi OH^- (hidroksil), CO_3^{2-} (karbonat), dan PO_4^{3-} (posfat). Pada sampel BHAp800 gugus fungsi OH^- yang terletak pada bilangan gelombang 3698,22 cm^{-1} , 3571,34 cm^{-1} , sedangkan pada sampel BHAp900 gugus ini terletak pada bilangan gelombang 3697,93 cm^{-1} , 3571,85 cm^{-1} [16]. Gugus fungsi CO_3^{2-} pada sampel BHAp800 terletak pada bilangan gelombang 1457,87 cm^{-1} , 873,60 cm^{-1} , dan 632,27 cm^{-1} , sedangkan pada sampel BHAp900 gugus fungsi CO_3^{2-} terletak pada bilangan gelombang 1457,01 cm^{-1} , 632,23 cm^{-1} , dan 873,39 cm^{-1} [16,19]. Gugus fungsi berikutnya adalah gugus PO_4^{3-} . Sampel BHAp800 memiliki gugus PO_4^{3-} pada bilangan gelombang 1029,79 cm^{-1} , 961,93 cm^{-1} , 601,96 cm^{-1} , 571,20 cm^{-1} , dan 471,40 cm^{-1} . Sedangkan sampel BHAp900 memiliki gugus PO_4^{3-} pada bilangan gelombang 1095,57 cm^{-1} , 1028,85 cm^{-1} , 961,87 cm^{-1} , 602,78 cm^{-1} , 576,0 cm^{-1} , dan 470,80 cm^{-1} [16,18].

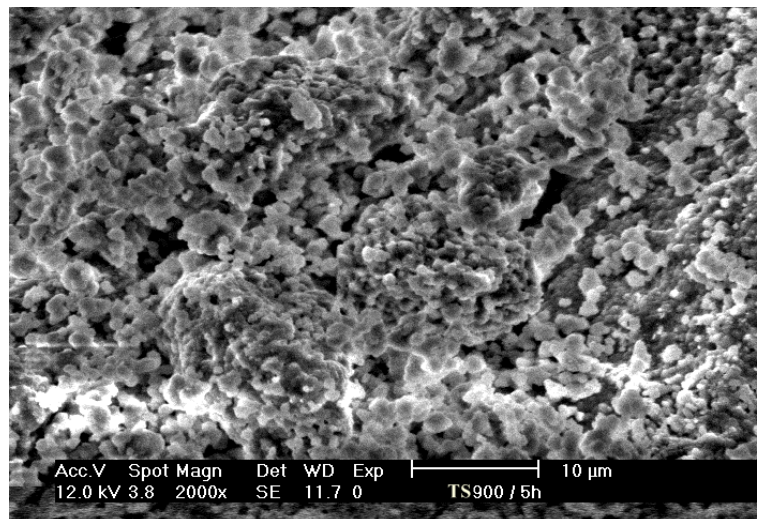


Gambar 2. Spektra gugus fungsi sampel BHAp sebelum pembakaran dan hasil pembakaran pada suhu 800 °C dan 900 °C selama 5 jam.

Gambar 3 menunjukkan morfologi sampel BHAp sebelum pembakaran dan sesudah pembakaran pada suhu 900 °C. Perlakuan panas menyebabkan perubahan morfologi pada permukaan sampel tulang sapi. Sampel BHAp sebelum pembakaran (Gambar 3a) menunjukkan bentuk morfologi butiran yang tidak beraturan (*irregular*) dengan ukuran parikel pada rentang 1-10 μm . Sedangkan pada sampel BHAp900, morfologi butiran lebih merata dengan bentuk butiran bulat yang beraturan dengan ukuran butiran < 1 μm .



(a)



(b)

Gambar 3. SEM sampel BHAp sebelum pembakaran (a) dan setelah dibakar pada suhu 900°C selama 5 jam (b).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa produksi keramik biohidroksiapatit (BHAp) berbasis limbah biomaterial rahang bawah tulang sapi (*mandible*) dengan teknik pembakaran sederhana dan biaya yang relatif murah telah sukses dilakukan. Analisis struktur kristal XRD dan gugus fungsi FTIR menunjukkan kemurnian fasa dan kristalinitas bubuk biohidroksiapatit hasil preparasi dengan ukuran butiran $< 1 \mu\text{m}$, dengan demikian limbah biomaterial rahang bawah tulang sapi sangat potensial untuk dapat digunakan sebagai alternatif bahan baku baru dalam pembuatan keramik hidroksiapatit untuk dapat aplikasi dalam bidang medik.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia atas bantuan biaya penelitian sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan dalam Rangka Pelaksanaan Penelitian Hibah Kompetensi Nomor. 305/UN26/8/PL/2014 tanggal 2 Juni 2014.

6. PUSTAKA

- [1]. Best S.M, Porter A.E, Thian E.S and Huang J. Bioceramics; Past, present and for the future. *Journal European Ceramics Society*. 2008;28:1319–1327.
- [2]. Chen L, Mccrate J.M. Lee J. C., and Li H. The role of surface charge on the uptake and biocompatibility of hydroxyapatite nanoparticles with osteoblast cells. *Nanotechnology*. 2011;22(10):105708.
- [3]. Rabiei A, Blalock T, Thomas B, Cuomo J, Yang Y, and Ong J. Microstructure, mechanical properties, and biological response to functionally graded HA coatings. *Materials Science and Engineering: C*. 2007;27(3):529-533.
- [4]. Pramanik S, Agarwal A, and Rai K.N. Development of high strength hydroxyapatite for hard tissue replacement. *Trends Biomaterial Artificial Organs*. 2005;19(1):46-51.
- [5]. O'Hare P, Meenan J. B, Burke G.A, Byrne G, Dowling D, and Hunt J. A. Biological responses to hydroxyapatite surfaces deposited via a co-incident microblasting technique. *Biomaterials*. 2010;31(3):515-522.
- [6]. Agrawal K, Singh G, Puri D, and Prakash S. Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite Powder by Sol-Gel Method for Biomedical Application. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 2011;10(8): 727-734.
- [7]. Yoshimura M, Sujaridworakun P, Koh F, Fujiwara T, Pongkao D and Ahniyaz A. Hydrothermal conversion of calcite crystals to hydroxyapatite. *Materials Science and Engineering: C*. 2013;33:2569-2577.

- [8]. Santos M.H, de Oliveira M, de Freitas Souza P, Mansur H.S, Vasconcelos W.L. Synthesis control and characterization of hydroxyapatite prepared by wet precipitation process. *Material Research*. 2004; 7(4): 625-630.
- [9]. Jalota S, Tas C.A. and Bhaduri S.B. Microwave assisted synthesis of calcium phosphate nano whiskers. *Journal Material Research*. 2004;19(6):1876-1881.
- [10]. Samar J, Kalita, Saurabh Verma. Nanocrystalline hydroxyapatite bioceramic using microwave radiation: synthesis and characterization. *Materials Science and Engineering: C*. 2010;30(2):295-303.
- [11]. Koumoulidis G.C, Katsoulidis A.P, Ladavos A.K, Pomonis P.J, Trapalis C.C, Sdoukos A.T, and Vaimakis T.C. Preparation of hydroxyapatite via microemulsion route. *Journal Colloid Interface Science*. 2003;259:254–260.
- [12]. Ooi C.Y, Hamdi M and Ramesh S. Properties of hydroxyapatite produced by annealing of bovine bone. *Ceramics International*. 2007; 33(7):1171–1177.
- [13]. Ruksudjarit A, Pengpat K, Rujijanagul G and Tunkasiri T. Synthesis and characterization of nanocrystalline hydroxyapatite from natural bovine bone. *Current Applied Physics*. 2008;8(3-4):270–272.
- [14]. Haberkó K, Buc'ko M.M, Brzezina-Miecznik J, Haberkó M, Mozgawa W, Panz T, Pyda A and Zarebski J. Natural hydroxyapatite-its behaviour during heat treatment. *Journal European Ceramics Society*. 2006;26:537–542.
- [15]. Figueiredo M, Fernando A, Martins G, Freitas J, Judas F, and Figueiredo H. Effect of the calcination temperature on the composition and microstructure of hydroxyapatite derived from human and animal bone. *Ceramics International*. 2010;36(8):2383–2393.
- [16]. Stuart, B. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application*. John Wiley and Sons, Ltd. 2004.
- [17]. Elkayar A, Yehia E and Assaad M. Properties of Hydroxyapatite from Bovine Teeth. *Bone and Tissue Regeneration Insights*. 2009;2(7):31-36.
- [18]. Bahrololoom M. E, Javidi M, Javadpour S and Ma J. Characterisation of natural hydroxyapatite extracted from bovine cortical bone ash. *Journal of Ceramic Processing Research*. 2009;10(2):129-138.
- [19]. Luna-Zaragosa, D., Romero-Guzman, E.T., and Reyes-Gutierrez, L.R. 2009. Surface and Physicochemical Characterization of Phosphates Vivianite, $\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ and Hydroxyapatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 2009;8(8):591-609.

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL FREKUENSI GETARAN AKUSTIK
BERBASIS SENSOR SERAT OPTIK**
*(The Design of Control System of Acoustic Vibration Frequency Based on
Fiber Optic Sensor)*

Harmadi ^{1*}, Firmansyah ², Wildian ³

Departemen Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang^{1*}
email: harmadi@fmipa.unand.ac.id, Kampus Limau Manis, Padang 25163
Departemen Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang²
Departemen Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang³

ABSTRACT

The design of control system of acoustic vibrations frequency have been done. The control system based on fiber optic sensors consist of a transmitter in the form of LD red light ($\lambda = 580 \text{ nm}$), fiber optic multi mode step index of the material PPMA (polymethyl Metacrylate), and the photodetector OPT 101 as the receiver circuit. The microcontroller Arduino as signal processing, monitor PC (Personal Computer) as the viewer acoustic vibration frequency value, and the relay as a switch circuit breaker if the frequency exceeds the limit. The acoustic vibrations frequency is generated by the speakers connected to the signal generator. Based on test results, showing the system can control the acoustic vibrations at a frequency of 10 Hz of the measuring range 1 Hz to 30 Hz.

Keywords: Control, Acoustic Vibration, Fiber Optic

ABSTRAK

Perancangan sistem pengontrolan frekuensi getaran akustik telah dilakukan. Rancangan sistem kontrol berbasis sensor serat optik terdiri dari pemancar cahaya berupa LD merah ($\lambda=580 \text{ nm}$), serat optik moda jamak step indek dari bahan PPMA (Polymethyl Metacrylate), rangkaian penerima berupa fotodetektor OPT 101. Mikrokontroler Arduino sebagai pemroses sinyal, monitor PC (Personal Computer) sebagai penampil nilai frekuensi getaran akustik, dan relay sebagai saklar pemutus arus jika frekuensi melebihi batas. Frekuensi getaran akustik dibangkitkan oleh speaker yang dihubungkan ke pembangkit sinyal. Berdasarkan hasil pengujian, memperlihatkan sistem dapat mengontrol frekuensi getaran akustik pada frekuensi 10 Hz dari rentang pengukuran 1 Hz hingga 30 Hz.

Katakunci: Kontrol, Getaran Akustik, Serat Optik

1. PENDAHULUAN

Getaran pada umumnya terjadi pada mesin-mesin di bidang industri. Getaran yang terjadi pada mesin-mesin di bidang industri tidak boleh melebihi standar yang telah ditetapkan. Kondisi mesin tidak baik jika melebihi standar dan perlu diperbaiki sedini mungkin sehingga proses-proses dalam bidang industri dapat bekerja secara optimal [1].

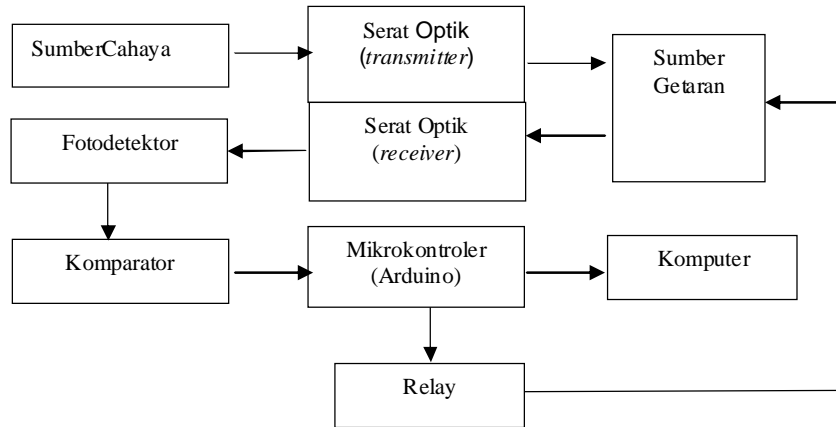
Berbagai macam instrumen dan metode telah dikembangkan untuk pengamatan getaran. Pengukuran yang banyak dilakukan bersifat kontak langsung. Pengukuran secara kontak banyak menimbulkan kelemahan-kelemahan. Lingkungan yang bersuhu tinggi, posisi obyek yang sulit dijangkau dan kondisi tak ideal lainnya membuat metode pengukuran secara kontak langsung tidak dapat dilakukan. Pengukuran getaran menggunakan serat optik merupakan salah satu jenis penelitian yang dipakai untuk mengatasi kendala dalam melakukan pengukuran tersebut.

Getaran dapat diinterpretasikan melalui frekuensi. Pengukuran frekuensi getaran dengan menggunakan serat optik telah dikembangkan antara lain oleh Wang [2] memanfaatkan rugi daya akibat pergeseran mikro, Jafari [3] melihat efek dari posisi serat optik pada pengukuran pergeseran mikro, dan Binua [4] menggunakan pergeseran mikro sebagai awal untuk mengukur frekuensi. Metode yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti tersebut merupakan penelitian awal bagaimana menentukan frekuensi getaran dari sebuah obyek. Serat optik merupakan sebuah media transmisi gelombang elektromagnetik yang terbuat dari bahan kaca atau plastik. Prinsip kerja dari serat optik yakni menggunakan prinsip pemantulan sempurna (*total internal reflection*) dengan memanfaatkan perbedaan indeks bias antara lapisan *core* dan *claddingnya* [5]. Serat optik pada awalnya diproyeksikan menjadi pengganti kabel koaksial sebagai media transmisi dalam bidang telekomunikasi. Keunggulan serat optik dibandingkan kabel koaksial menjadi faktor utama mengapa serat optik dikembangkan sebagai sensor.

Pada penelitian ini akan memanfaatkan serat optik sebagai sensor untuk pengontrolan frekuensi getaran akustik. Sistem pengontrolan dilakukan dengan memanfaatkan hasil pengukuran frekuensi terhadap obyek yang bergetar, kemudian menentukan batas frekuensi yang akan jadi acuan untuk pengontrolan frekuensi.

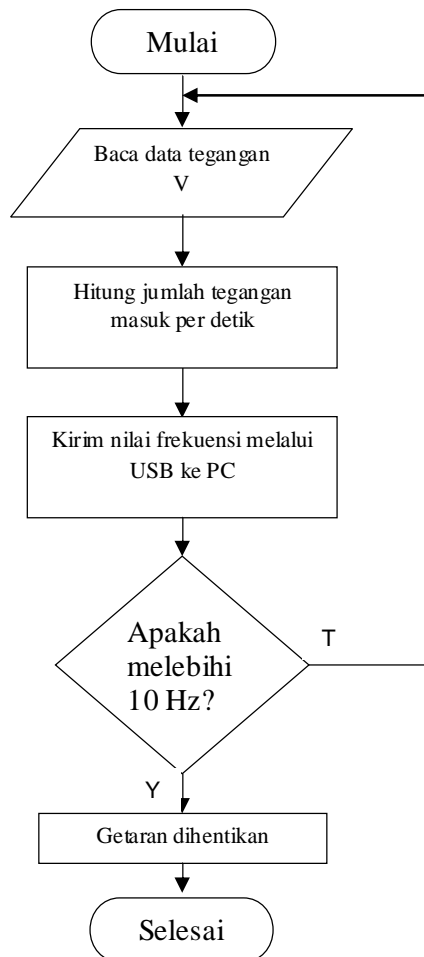
2. METODE PENELITIAN

Penelitian perancangan sistem kontrol frekuensi getaran akustik menggunakan sistem sensor serat optik dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas. Perancangan sistem sensor serat optik untuk mengontrol frekuensi getaran akustik ini dibentuk secara terpadu. Perangkat keras sistem serat optik ini terdiri dari serat optik FD 620-10 bertipe *step-index multimode* dari bahan PPMA (*Polymethyl Metacrylate*), speaker magnet sebagai sumber getaran akustik, fotodetektor, laser dioda, catu daya, komparator, relay dan mikrokontroler Arduino. Secara umum skema penelitian diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema sistem sensor serat optik untuk mengontrol frekuensi getaran

Pengontrolan frekuensi getaran akustik menggunakan sistem sensor serat optik ekstrinsik dimana proses pengindraan terjadi diluar serat optik. Pengontrolan dilakukan dengan cara menggandengkan dua buah kabel serat optik yang digunakan sebagai *transmitter* dan *receiver*.



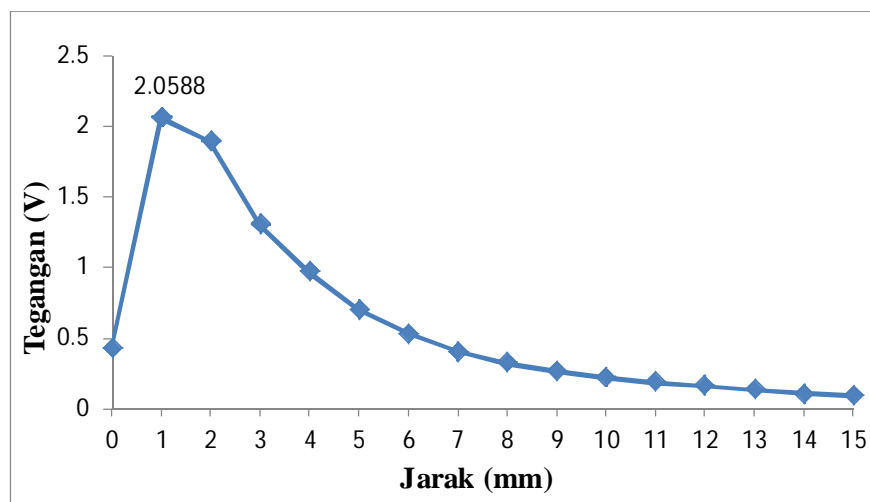
Gambar 2. Diagram alir program sistem pengontrolan

Transmitter digunakan untuk mengirimkan sinyal dalam bentuk cahaya. *Receiver* digunakan untuk mengirimkan sinyal hasil pengindraan terhadap obyek kepada fotodetektor. Sinyal cahaya yang ditransmisikan melalui serat optik *transmitter* akan dipantulkan oleh sumber getaran akustik dan ditransmisikan kembali oleh serat optik *receiver* kepada fotodetektor. Fotodetektor akan mengubah Intensitas cahaya yang diterimanya menjadi besaran listrik berupa tegangan analog. Tegangan analog dari fotodetektor terlebih dahulu dikondisikan dengan komparator Op-Amp. Setelah mikrokontroler Arduino memproses sinyal maka kemudian dihubungkan ke PC dengan menggunakan USB untuk ditampilkan, dan juga menghubungkan relay ke *board* Arduino untuk mengontrol frekuensi getaran akustik.

Perancangan perangkat lunak dibuat untuk mengatur sistem serat optik agar dapat memproses sinyal masukan dari sensor. Perancangan ini berbentuk sebuah *source code* atau yang lebih dikenal dengan program. Pemograman pada penelitian ini terbagi atas 2 bagian. Pemograman yang pertama ditanamkan ke dalam mikrokontroler Arduino menggunakan bahasa C. Pemograman kedua dibuat pada komputer menggunakan Delphi. Secara umum diagram alir pemograman pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

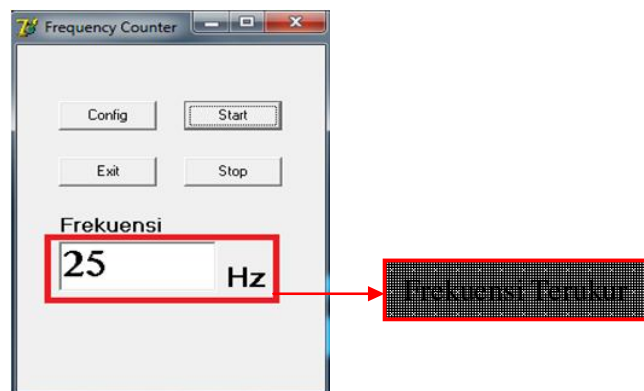
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran karakterisasi perubahan jarak antara ujung sensor dengan membran speaker kemudian diplot kedalam sebuah grafik untuk mempermudah dalam menganalisa data. Hubungan perubahan jarak ujung sensor serat optik dengan membran speaker terdapat pada Gambar 4.



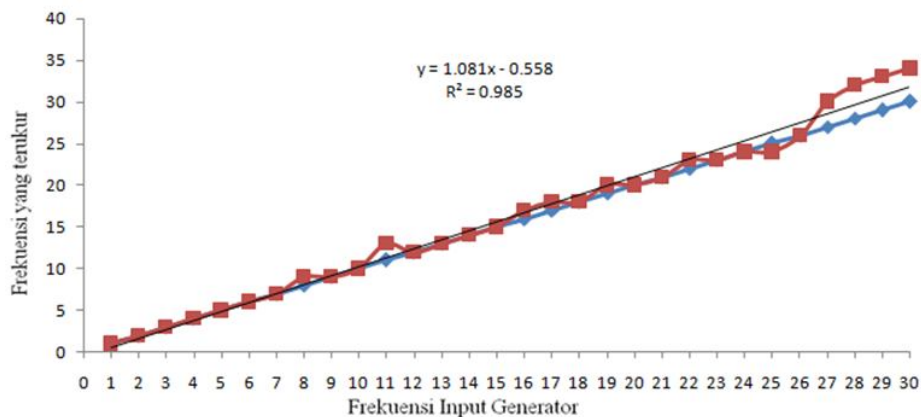
Gambar 1. Hubungan perubahan jarak antara ujung sensor serat optik dengan membran speaker

Berdasarkan kurva grafik pada Gambar 3 terlihat bahwa jarak antara ujung sensor serat optik dengan membran speaker mempengaruhi tegangan keluaran dari fotodetektor. Tegangan keluaran berubah seiring perubahan jarak antara ujung sensor serat optik dengan membran *speaker*. Pada jarak 0 sampai 1 mm menunjukkan kecenderungan (*trend*) grafik meningkat, sedangkan pada jarak 2 mm sampai 15 mm menunjukkan *trend* grafik menurun. Hasil karakterisasi ini akan ditetapkan dimana sensor serat optik diletakkan untuk mengukur dan mengontrol frekuensi getaran akustik, yaitu di tempat yang memiliki sensitifitas tertinggi atau perubahan nilai yang paling signifikan, yang pada penelitian ini terletak pada jarak 1 mm.



Gambar 4. Frekuensi yang terukur dalam program Delphi

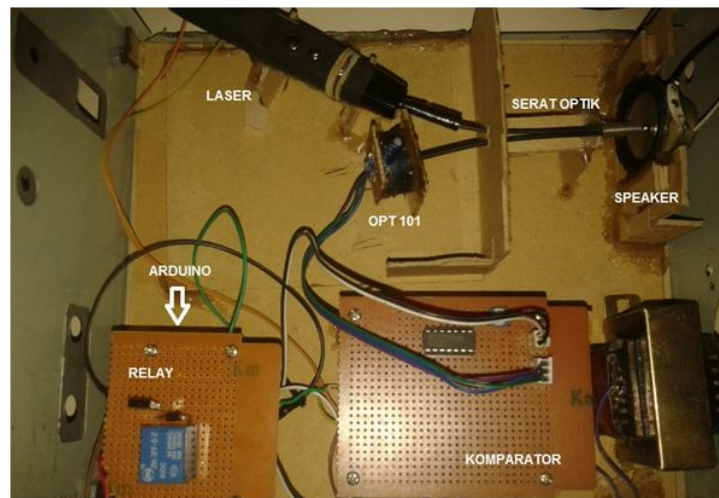
Nilai perubahan tegangan maksimum dan minimum dari fotodetektor akan dicacah dengan menggunakan pemrograman *counter* pada mikrokontroler Arduino. *Counter* pada mikrokontroler Arduino akan menghasilkan nilai frekuensi yang akan dikirimkan melalui antar muka USB ke PC untuk ditampilkan. Frekuensi yang terukur ditampilkan secara visual melalui program Delphi seperti ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 2. Perbandingan antara input frekuensi generator dengan hasil pengukuran frekuensi sistem sensor serat optik

Penelitian untuk menghitung frekuensi dari sumber getaran akustik (membran speaker) dilakukan dengan cara memberikan variasi terhadap input frekuensi generator. Analisa hasil pengukuran secara grafik diperlihatkan pada Gambar 5. Hasil pengukuran frekuensi menggunakan sistem sensor serat optik terdapat perbedaan dengan sinyal input frekuensi generator. Meskipun tidak sama tetapi hasil pengukuran menggunakan sensor serat optik memiliki kecenderungan (*trend*) yang sama dengan sinyal input frekuensi generator yakni ketika input frekuensi generator dinaikkan, maka hasil pengukuran frekuensi menggunakan sistem sensor serat optik juga naik.

Pengujian pengontrolan dilakukan dengan cara memberikan input frekuensi yang berada di atas dan di bawah frekuensi yang akan dikontrol, yaitu 10 Hz. Pengujian pertama dilakukan dengan memberikan frekuensi input dari sinyal generator di bawah 10 Hz, jika alarm getaran pada speaker tidak berhenti maka sistem masih bekerja dengan baik. Kemudian dilanjutkan dengan memberikan frekuensi input lebih besar dari 10 Hz, dan pada frekuensi ini akan menyebabkan relay aktif karena telah melewati frekuensi batas yang telah ditetapkan pada program.



Gambar 3. Rancangan sistem pengontrolan frekuensi getaran akustik

Rancangan sistem pengontrol frekuensi getaran akustik menggunakan sistem sensor serat optik dapat dilihat pada Gambar 6. Pada saat frekuensi diatas 10 Hz, maka mikrokontroler Arduino akan mengaktifkan relay dan mengintruksikan *Normally Open*. *Normally Open* akan membuat kontak tertutup atau terputus, sehingga *speaker* akan berhenti bergetar. Namun sebaliknya, pada saat frekuensi masih dibawah 10 Hz, maka mikrokontroler Arduino tidak akan menghidupkan relay untuk mengintruksikan *Normally Open* tersebut, sehingga kontak antara speaker dan sinyal generator sebagai pembangkitnya masih tersambung dan speaker masih tetap bergetar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil dan analisis penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan. Sistem kontrol frekuensi getaran akustik dapat dirancang dengan menggunakan laser dioda, serat optik, fotodetektor, komparator, mikrokontroler Arduino, dan program Delphi. Pada frekuensi 1 Hz sampai dengan 30 Hz, frekuensi yang terukur mendekati nilai input frekuensi generator yang sebenarnya, sedangkan pada frekuensi lebih besar dari 30 Hz, pengukuran tidak valid lagi karena kesalahan pada pengukuran lebih besar dari 10%. Rancangan dapat mengontrol frekuensi getaran akustik diatas 10 Hz dalam keadaan terputus (mati) dan pada saat serta di bawah 10 Hz dalam keadaan tersambung (hidup).

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada staf Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas yang telah memberi fasilitas sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

6. PUSTAKA

- [1]. A. Mima. *Sistem Sensor Vibrasi di PLTG Pauh Limo*. Praktek Kerja Lapangan, Universitas Andalas. Padang; 2006.
- [2]. P. Wang. A Fiber-Optic Voltage Sensor Based On Macrobending Structure. *Optics & Laser Technology (Elsevier)*. 2011; Vol. 43. Issue 5: pp. 922–925.
- [3]. R. Jafari. H. Golnabi. Fibre position effects on the operation of opto-pair fibre displacement sensors. *Optics & Laser Technology (Elsevier)*. 2011; Vol. 43. Issue 4: pp. 814–819.
- [4]. S. Binua. V.P. Pillaia. N. Chandrasekaran. Fiber Optic Displacement Sensor For The Measurement Of Amplitude And Frequency Of Vibration, *Optics & Laser Technology (Elsevier)*. 2007; Vol. 39. Issue 8: pp 1537–1543.
- [5]. E. Udd. *Fiber Optic Sensors: An introduction for engineers and scientist*. John Wiley and Sons Inc.Canada; 1991.

**ANALISIS PENGARUH PUPUK KCI TERHADAP PARAMETER KELEMBABAN
PADA TANAH INSEPTISOL UNTUK PENGEMBANGAN SENSOR
KELEMBABAN TANAH (SOIL MOISTURE SENSOR)
ANALYSIS OF KCL FERTILIZER TO HUMIDITY PARAMETER ON INCEPTISOL
FOR SOIL MOISTURE SENSOR DEVELOPMENT**

Samsidar ^{1*}, Sri Oktamuliani ², Lazuardi Umar ³

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi, Jambi
Syamsy_rahman@yahoo.com, Jl. Raya Jambi – Muara Bulian KM. 15 Mendalo Darat
36361

ABSTRACT

Analysis of KCl fertilizer to humidity parameter on inceptisol for soil moisture sensor development has done. Development of soil moisture sensor based on the principle of impedance spectroscopy is one method of development of sensors that are currently quite favored. Impedance Spectroscopy method works on the principle the status of the complex impedance of a system is analyzed within a certain frequency range. In this study, a validation of soil moisture sensor with the addition of KCl fertilizer on inceptisol undefined. This research used sensors with a length of 100 mm and a diameter sonde 7 mm to measure the inceptisol moisture due to humidity undefine about 10%, 20%, 30% and 40%. Development of soil moisture sensors are validated with the addition of KCl fertilizer to the humidity of inceptisol and then do measured conductivity, where the conductivity associated with impedance. The results of quantitative analysis showed that the addition of KCl fertilizer at the humidity of 10% and 20%, soil moisture sensor still has high accuracy, while the humidity of 30% and 40%, the sensor is less accurate and the results of qualitative analysis is more appropriate soil moisture sensors used on soil that does not contain KCl fertilizer.

Keywords: Keyword: KCl, Inseptisol, humidity sensor

ABSTRAK

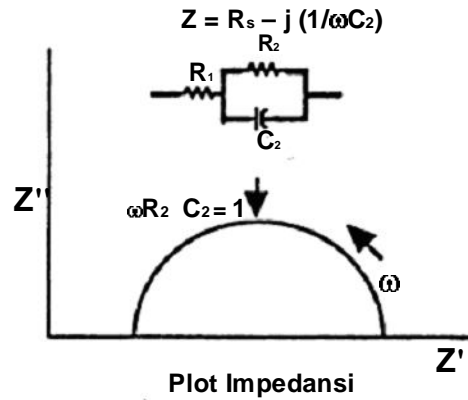
Pengembangan sensor kelembaban tanah (soil moisture sensor) berdasarkan prinsip spektroskopi impedansi merupakan salah satu metode pengembangan sensor yang saat ini cukup diunggulkan. Metode Spektroskopi Impedansi bekerja berdasarkan prinsip dimana status impedansi kompleks suatu sistem dianalisa dalam jangkauan frekuensi tertentu. Pada penelitian ini dilakukan studi validasi sensor kelembaban tanah dengan penambahan pupuk KCl pada tanah inseptisol terdefinisi. Tahap awal penelitian digunakan sensor dengan panjang sonde 100 mm dan diameter 7 mm untuk mengukur kelembaban tanah Inseptisol dengan kelembaban terdefinisi 10%, 20%, 30% dan 40%. Untuk pengembangan sensor kelembaban tanah divalidasi dengan penambahan pupuk KCl terhadap variasi kelembaban tanah Inseptisol yang terdefinisi dan kemudian diukur nilai konduktivitasnya, dimana nilai konduktivitas berkaitan dengan nilai Impedansi. Hasil analisis kuantitatif menunjukkan bahwa penambahan pupuk KCl pada kelembaban 10% dan 20%, sensor kelembaban tanah masih memiliki akurasi yang cukup tinggi, sedangkan pada kelembaban 30% dan 40%, sensor kurang akurat dan hasil analisis kualitatif bahwa sensor kelembaban tanah lebih tepat digunakan pada tanah yang tidak mengandung pupuk KCL.

Katakunci: KCl, Inseptisol, Sensor Kelembaban

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan informasi kelembaban tanah pada perkebunan sayuran (tanah inseptisol) merupakan hal terpenting agar kebutuhan nutrisi pada tanah dapat terpenuhi, untuk itu pengembangan sensor kelembaban tanah terus dilakukan. Pengembangan sensor kelembaban tanah dengan memperhatikan aspek pengaruh suhu, jenis dan tekstur tanah merupakan teknik pengembangan sensor kelembaban tanah yang dewasa ini terus dikembangkan. Kazito telah mengembangkan sensor kelembaban tanah dengan memperhatikan aspek perubahan suhu dan tekstur tanah dengan metode konduktivitas elektrik [1]. Begitu juga dengan Sensor kelembaban tanah dengan prinsip probe dielektrik gabungan mampu memberikan respon data jangka panjang dan resolusi tinggi namun untuk perubahan tekstur/jenis tanah dan kandungan organik tanah memberikan hasil pengukuran yang kurang akurat [2], untuk itu Mortl mencoba mengkalibrasi sensor dielektrik tanah dengan mengukur sifat konduktivitas terhadap tiga variasi jenis tanah. Selain itu upaya untuk mengkalibrasi sensor terus dilakukan karena adanya faktor yang sangat kompleks yang mempengaruhi kelembaban tanah seperti Mineralogi, salinitas, porositas, suhu lingkungan, kehadiran bahan organik dan struktur matriks tanah untuk itu kalibrasi dilakukan dengan menggunakan Micro Electro Mechanical System (MEMS) [3]. Penelitian spesifik telah dilakukan [4] untuk melihat bagaimana pengaruh distribusi pupuk dengan mempertimbangkan aspek kelembaban untuk pemenuhan kebutuhan nutrisi tanah dalam rangka efisiensi penggunaan pupuk.

Dari berbagai teknik pengembangan dan kalibrasi sensor kelembaban tanah (*soil moisture sensor*) hal yang terpenting adalah perhitungan bagaimana pengaruh faktor kompleks yang terdapat dalam tanah (jenis tanah, suhu, keberadaan bahan organik dan non organik (pupuk) yang sangat mempengaruhi kelembaban tanah, untuk itu penelitian ini mengkalibrasi keberadaan bahan non organik (pupuk KCl) dengan menggunakan prinsip spektroskopi impedansi. pengukuran dengan metode spektroskopi impedansi adalah salah satu cara pengembangan sensor kelembaban yang cukup efisien dan memiliki tingkat akurasi tinggi. Metode spektroskopi impedansi bekerja berdasarkan prinsip dimana status impedansi kompleks suatu sistem tertentu dianalisis dalam jangkauan frekuensi [5]. Di dalam metode ini konduktivitas dielektrik dan nilai konstanta diperoleh dari bagian riil dan bagian imajiner dari nilai admintansi, yang menunjukkan hubungan frekuensi dengan sifat material.



Gambar 1. Bode plot impedansi kompleks ($Z = Z' - jZ''$)

Tinjauan khusus dilakukan untuk mengetahui hubungan konduktivitas tanah dengan impedansi kompleks suatu sistem

$$Z = \sqrt{R^2 + (Xc)^2} \quad (1)$$

Dimana impedansi kompleks terdiri dari hambatan real (R) dan imajiner (Xc), bagian imajiner berhubungan dengan frekuensi

$$Xc = \frac{1}{j\omega C}, \omega = 2\pi f \quad (2)$$

Xc= Resistansi Kapasitif dan C= Kapasitor, selanjutnya Pengaruh nilai admintansi (Y)

$$Y = \left\{ \frac{(V_o - V_i)V_o}{Z} \right\} (\cos \varphi + j \sin \varphi) \quad (3)$$

$$Y = G + j\omega C \quad (4)$$

$$G = \frac{V_o^2 - V_o.V_i}{Z} \cos \omega \quad (5)$$

$$\omega C = \frac{V_o^2 - V_o.V_i}{Z} \sin \varphi \quad (6)$$

Kaitan nilai G dengan Konduktivitas tanah :

$$G = \sigma \frac{A}{L} \quad (7)$$

Selanjutnya untuk mengetahui hubungan impedansi kompleks dengan nilai konduktivitas dilakukan subsitusi persamaan 5 ke persamaan 7 :

$$\sigma \frac{A}{L} = \frac{V_o^2 - V_o.V_i}{Z} \cos \omega \quad (8)$$

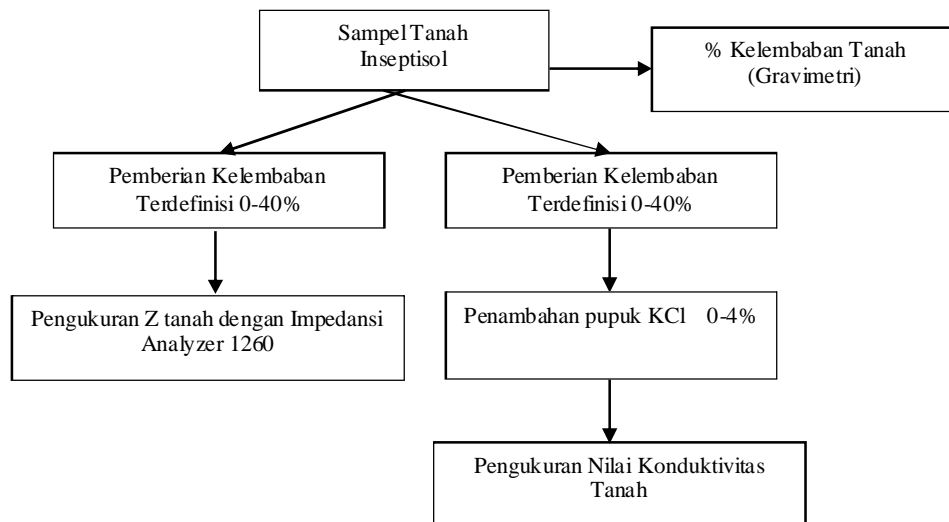
$$\sigma = \left(\frac{V_o^2 - V_o \cdot V_i}{Z} \cos \omega \right) \cdot \frac{L}{A} \quad (9)$$

Dari persamaan 9 nilai Konduktivitas (σ) berbanding terbalik dengan Impedansi Kompleks (Z). Untuk itu salah satu cara untuk melihat bagaimana pengaruh keberadaan bahan non organik (pupuk KCl) dengan kelembaban tanah maka dilakukan pengukuran nilai konduktivitas tanah tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Pengambilan sampel tanah dilakukan di perkebunan sayuran Universitas Jambi dengan cara mengambil bagian atas (*top soil*) tanah inseptisol untuk selanjutnya dilakukan preparasi sampel. Tahap awal preparasi dilakukan pengayakan dan selanjutnya di oven selama 24 jam dengan suhu 104°C.

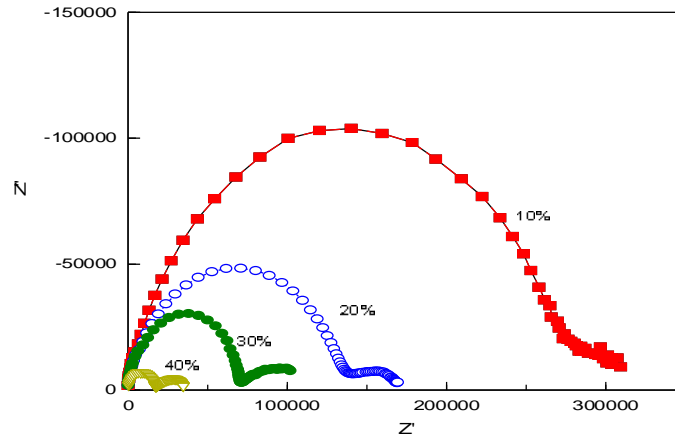
Selanjutnya dilakukan pengukuran dengan menggunakan Impedansi Analyzer 1260 dan pengukuran nilai konduktivitas tanah dilakukan dengan cara penambahan pupuk KCl terlebih dahulu, pengukuran nilai konduktivitas tanah dilakukan dengan menggunakan alat *Conductivity meter*. Adapun tahap pengambilan data seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahap Pengambilan Data

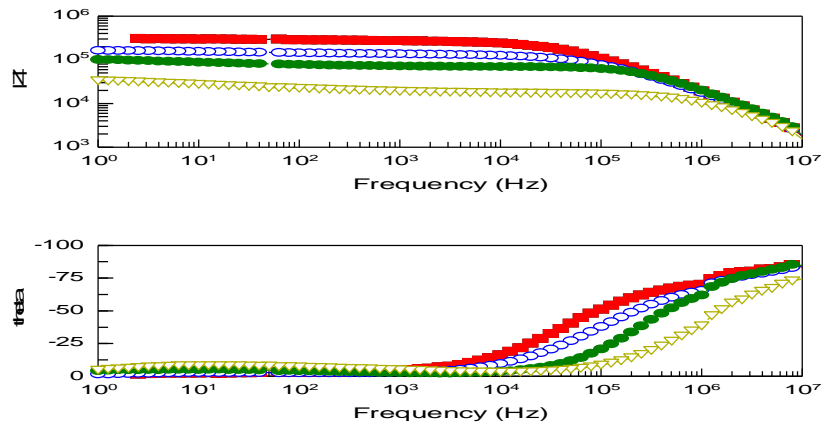
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kelembaban tanah inseptisol dengan menggunakan impedansi analyzer



Gambar 3. Nilai Z' Dan Z'' Dengan Kelembaban 10%, 20%, 30% dan 40%

Dari Gambar 3. dapat dilihat pada masing-masing persentase kelembaban dimana pada kelembaban 10% mempunyai nilai resistansi atau Z' lebih besar dibandingkan dengan kelembaban 20%, hal serupa terjadi pada kelembaban 20% mempunyai nilai resistansi yang lebih besar dibandingkan dengan kelembaban 30% dan 40% dan selanjutnya kelembaban 30% mempunyai nilai resistansi yang lebih besar dibandingkan dengan nilai resistansi pada kelembaban 40%. Penentuan nilai resistansi pada kurva dapat dilihat dengan memperhatikan diameter lingkaran, Semakin besar diameter lingkaran yang dibentuk oleh kurva maka nilai resistansi semakin besar. Kurva hasil pengukuran kelembaban tanah melengkung menyerupai setengah lingkaran ini menunjukkan bahwa spektroskopi impedansi terdiri dari pengukuran impedansi kompleks sebagai fungsi dari frekuensi sudut (ω). Adapun nilai impedansi kompleks dan theta dapat dilihat pada Gambar 4. berikut.



Gambar 4. Nilai $|Z|$ Dan Theta Dengan Kelembaban 10%, 20%, 30% dan 40%

Dari Gambar 4. diperoleh nilai impedansi kompleks ($|Z|$) dengan frekuensi (f) sebagai parameter, dimana pada kelembaban 10% mempunyai nilai impedansi kompleks lebih besar dan kelembaban 40% mempunyai nilai impedansi kompleks paling kecil. Nilai theta berkurang seiring dengan berkurangnya persentase kelembaban tanah, begitu juga dengan pengaruh variasi frekuensi terhadap nilai theta, pada range frekuensi 1Hz-10KHz nilai theta relatif konstant dan perbedaan kelembaban kurang memepengaruhi nilai theta akan tetapi pada range frekuensi 10KHz-10MHz nilai theta cenderung mengalami penurunan pada masing-masing kelembaban tanah. Jadi untuk pengukuran nilai impedansi kompleks dan theta sebaiknya menggunakan range frekuensi 10KHz-10MHz.

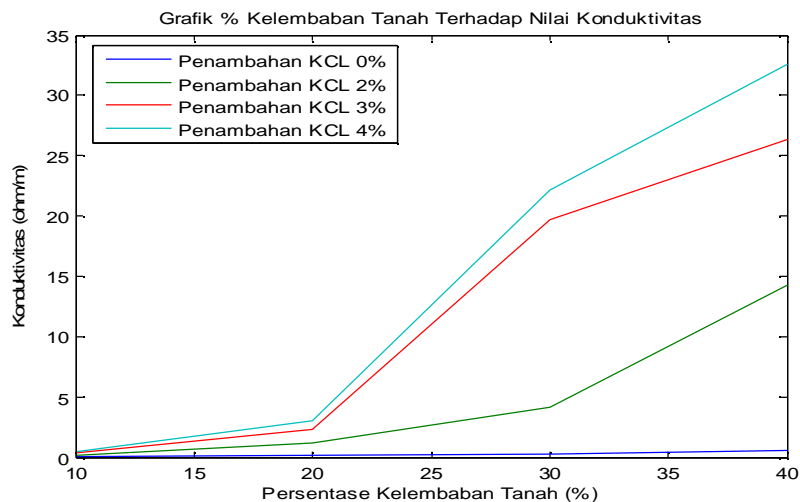
Selanjutnya hasil pengukuran nilai konduktivitas terhadap kelembaban tanah inseptisol (10%, 20%, 30% dan 40%) dengan penambahan pupuk KCl 0%, 2%, 3% dan 4% seperti pada Table 1.

Tabel 1 Nilai Konduktivitas Tanah terhadap perubahan %Kelembaban dan %KCl

Persentasi	Penambahan KCl			
Kelembaban	0%	2%	3%	4%
10%	0,08	0,14	0,32	0,48
20%	0,12	1,19	2,34	3,03
30%	0,27	4,14	19,72	25,64
40%	0,52	14,29	24,32	29,32

Dari Table 1 pada saat 0% KCl diperoleh perubahan nilai konduktivitas yang relatif normal terhadap penambahan % kelembaban tanah, ini berarti pada saat belum ada

pengaruh bahan non organik (pupuk KCl) pada tanah maka sensor kelembaban tanah dengan prinsip spektroskopi impedansi masih memiliki akurasi yang tinggi untuk pengukuran hasil impedansi kompleks. Begitu juga pada saat kelembaban 10% dengan penambahan pupuk KCl tidak terlalu mempengaruhi nilai konduktivitas. Untuk lebih mengetahui hasil pengukuran nilai konduktivitas dengan variasi kelembaban dan penambahan pupuk KCl dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik nilai konduktivitas terhadap penambahan pupuk KCl

Nilai konduktivitas pada kelembaban <20% relatif tidak terlalu berpengaruh dengan adanya penambahan pupuk KCl dan begitu juga pada saat tanah tanpa penambahan pupuk KCl (0% KCl) memiliki hasil pengukuran dengan perbedaan nilai konduktivitas yang relatif kecil.

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Hasil analisis dapat disimpulkan bahwa pengukuran kelembaban tanah dengan prinsip spektroskopi impedansi dapat digunakan pada tanah yang tidak mengandung pupuk anorganik (pupuk KCl) dan untuk kelembaban kecil dari 20%. Akan tetapi dengan adanya penambahan pupuk KCl dan kelembaban tanah > 20% maka sensor kelembaban dengan prinsip spektroskopi impedansi memiliki hasil pengukuran kurang akurat.

Pengembangan sensor kelembaban tanah dengan prinsip spektroskopi impedansi kedepannya perlu adanya desain khusus yang dapat digunakan untuk pengukuran kelembaban tanah akibat adanya pengaruh penambahan pupuk.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

1. Prodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi.
2. Bantuan dana SEMIRATA 2015

6. PUSTAKA

- [1]. Kizito F, Campbell C.S. Frequency, electrical conductivity and temperature analysis of a low-cost capacitance soil moisture sensor, *J. Hydrology*. 2008;18 (1):367-378.
- [2]. Mortl A, Carpena M.R. Calibration of a combined dielectric probe for soil moisture and porewater salinity measurement in organic and mineral coastal wetland soils, *Geoderma*. 2011;8(1):50-62.
- [3]. Susha L.S, Singh D.N. A critical review of soil moisture measurement, *Measurement*. 2014;26(8):92-105.
- [4]. Hiroaki M, Masato F. Millimeter scale sensor array system for measuring the electrical conductivity distribution in soil, *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014;9(1):43-50.
- [5]. Prichard T. Soil Moisture Measurement Technologi. 2007.
<http://ceeldorado.ucdavis.edu/files/45069.pdf>

APLIKASI METODE ELEKTROMAGNETIK UNTUK IDENTIFIKASI AKUIFER DI TAMAN UNIVERSITAS TANJUNGPURA

Joko Sampurno^{1*}

¹Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak^{1*}

*jokosampurno@physics.untan.ac.id

ABSTRAK

Telah diidentifikasi sebaran air tanah di Taman Universitas Tanjungpura berdasarkan nilai konduktivitas tanahnya. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi sebaran konduktivitas tanah adalah metode konduktivitas elektromagnetik (EM-conductivity). Kedalaman pengukuran bervariasi dari 3 meter hingga 6 meter dari permukaan tanah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi nilai konduktivitas berkisar 0 mS/m hingga 240mS/m. Titik akuifer diinterpretasikan sebagai zona yang memiliki nilai konduktivitas lebih dari 150 mS/m. Berdasarkan nilai tersebut diduga terdapat 2(dua) buah zona akuifer yaitu akuifer dangkal dan akuifer dalam.

Kata kunci : Elektromagnetik, air tanah, konduktivitas

1. PENDAHULUAN

Metode elektromagnetik (EM) merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk berbagai macam keperluan. Beberapa aplikasi metode ini diantaranya adalah deteksi gas hidrat (Weitemeyer, dkk., 2011), klasifikasi reservoir hidrokarbon potensial (Houck, 2012), pemetaan distribusi fluida dalam reservoir (Marsala, dkk., 2013), dan identifikasi sebaran pupuk pada lahan pertanian (Kuseno, dkk., 2014).

Salah satu objek yang dapat diidentifikasi oleh metode EM adalah penentuan posisi cebakan air tanah (akuifer). Sharma (1997) menyatakan bahwa metode EM sangat efektif untuk memisahkan objek yang memiliki perbedaan konduktivitas yang signifikan terhadap lingkungan sekitarnya pada kondisi *overburden mass* (lapisan penutup) yang relatif dangkal. Akuifer merupakan objek yang memiliki perbedaan konduktivitas signifikan terhadap lingkungannya, sehingga metode EM dapat digunakan untuk mendeteksi posisi akuifer.

Pada penelitian ini, metode EM digunakan untuk identifikasi posisi akuifer di Taman Universitas Tanjungpura. Informasi mengenai posisi akuifer ini diperlukan sebagai acuan dalam penentuan lokasi sumur bor. Sumur bor ini diperlukan sebagai sumber cadangan air dalam proses pemeliharaan taman.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi akuisisi data, pengolahan data dan interpretasi. Akuisisi data dilakukan di lingkungan Taman Universitas Tanjungpura, Pontianak, Kalimantan Barat. Objek penelitian berupa taman

terbuka seluas 130m x 165m. Posisi koordinat pengukuran menggunakan koordinat lokal dimana titik [0,0] terletak pada koordinat UTM 49M 315857.00 mE dan 9993483.00 mS. Lokasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Taman Universitas Tanjungpura Pontianak
(Google Earth, 2015)

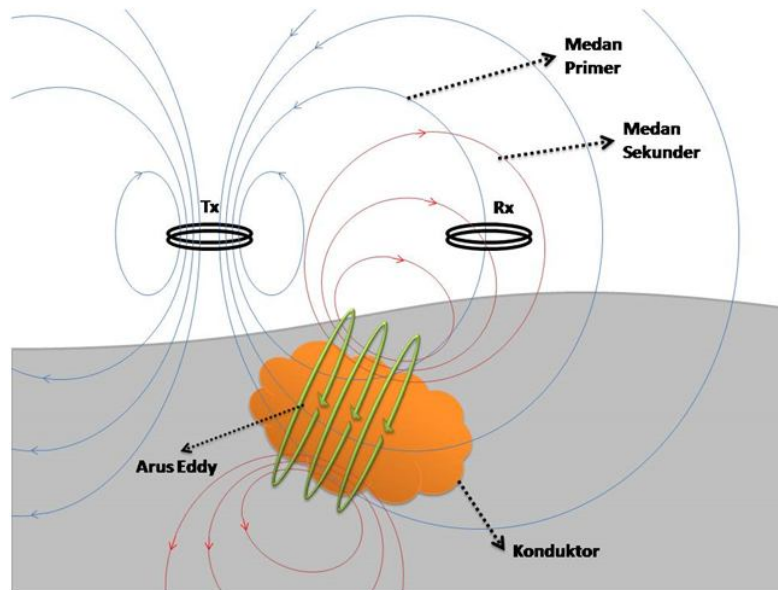
Proses akuisisi data dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan diantaranya: seperangkat GF Instrument CMD-4, meteran dan GPS (*Global Positioning System*).



Gambar 2. GF Instrument CMD-4: (a) 3 buah probe, (b) main unit

Survei elektromagnetik (EM) pada dasarnya diterapkan untuk mengetahui respon bawah permukaan menggunakan perambatan gelombang elektromagnetik yang terbentuk akibat adanya arus bolak-balik dan medan magnetik. Medan magnet primer dihasilkan oleh arus

bolak-balik yang melewati sebuah kumparan yang terdiri dari lilitan kawat. Respons bawah permukaan berupa medan magnet sekunder dan resultan medan terdeteksi sebagai arus bolak-balik yang menginduksi arus listrik pada koil penerima (*receiver*) sebagai akibat adanya induksi medan magnetik (Kearey, *dkk.*, 2002).



Gambar 3. Induksi medan elektromagnetik (Burger, *dkk.*, 2004)

Medan magnet primer dihasilkan dengan melewati arus AC melalui kumparan kawat pada transmitter. Medan magnet primer akan merambat di atas dan di bawah permukaan tanah. Jika terdapat material konduktif di bawah permukaan, medan magnet primer yang berubah terhadap waktu akan menginduksi material tersebut sehingga muncul rotasi medan listrik (Arus Eddy). Kemudian medan listrik tersebut akan membangkitkan medan magnet sekunder yang akan terdeteksi oleh *receiver*. *Receiver* juga mendeteksi medan magnet primer (medan yang dideteksi oleh receiver adalah kombinasi dari primer dan sekunder yang berbeda dalam fase dan amplitudo). Setelah kompensasi untuk bidang utama (yang dapat dihitung dari posisi relatif dan orientasi dari kumparan), baik besaran dan fase relatif bidang sekunder dapat diukur. Perbedaan dalam bidang resultan dari primer memberikan informasi tentang geometri, ukuran dan sifat listrik dari konduktor bawah permukaan (Kearey, *dkk.*, 2002).

Setelah mendapatkan perbedaan medan EM primer dan medan EM sekunder, dapat ditentukan konduktivitas dari mineral bawah permukaan tanah, diberikan persamaan sebagai berikut (Reynolds, 1997):

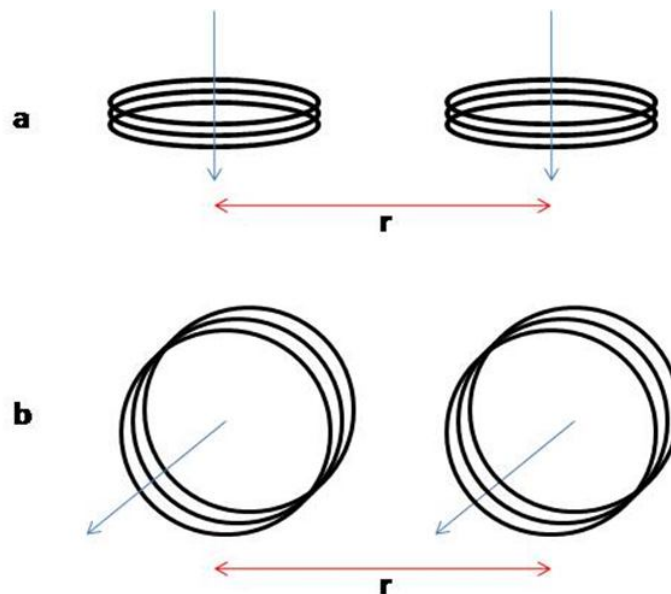
$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu_0 s^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right) \quad (1)$$

dengan,

σ_a	= konduktivitas semu (Siemen/m)
H_s	= medan magnet sekunder (A/m)
H_p	= medan magnet primer (A/m)
ω	= $2\pi f$, f adalah frekuensi gelombang EM (f dalam Hz)
μ_0	= permeabilitas ruang hampa
s	= jarak antara pemancar dan penerima (meter)

3. PEMBAHASAN

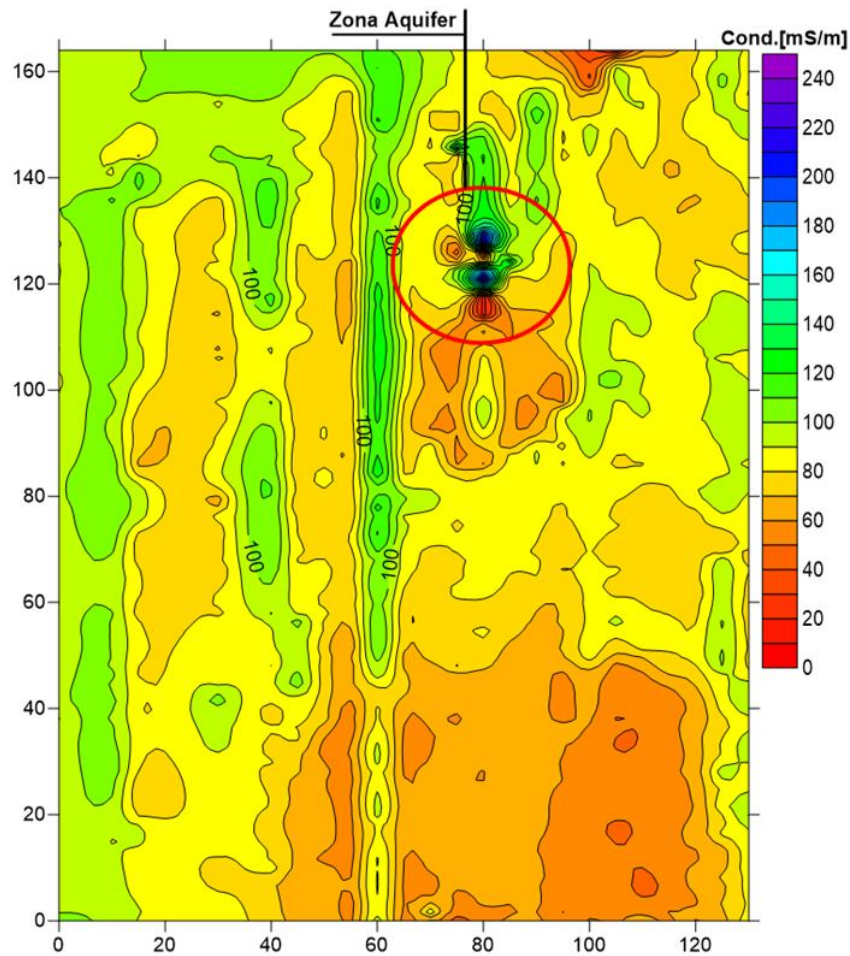
Proses akuisi data menggunakan dua system pengambilan data yaitu sistem *loop vertical coplanar* (VCP) dan sistem *loop horizontal coplanar* (HCP).



Gambar 4. Konfigurasi EM-Inductivity (a) sistem loop horizontal coplanar (HCP) dan (b) Sistem loop vertical coplanar (VCP)

Dari kedua sistem ini didapatkan dua buah distribusi konduktivitas. Sistem HCP menghasilkan distribusi konduktivitas tanah pada kedalaman enam meter sedangkan sistem VCP menghasilkan distribusi konduktivitas tanah pada kedalaman tiga meter.

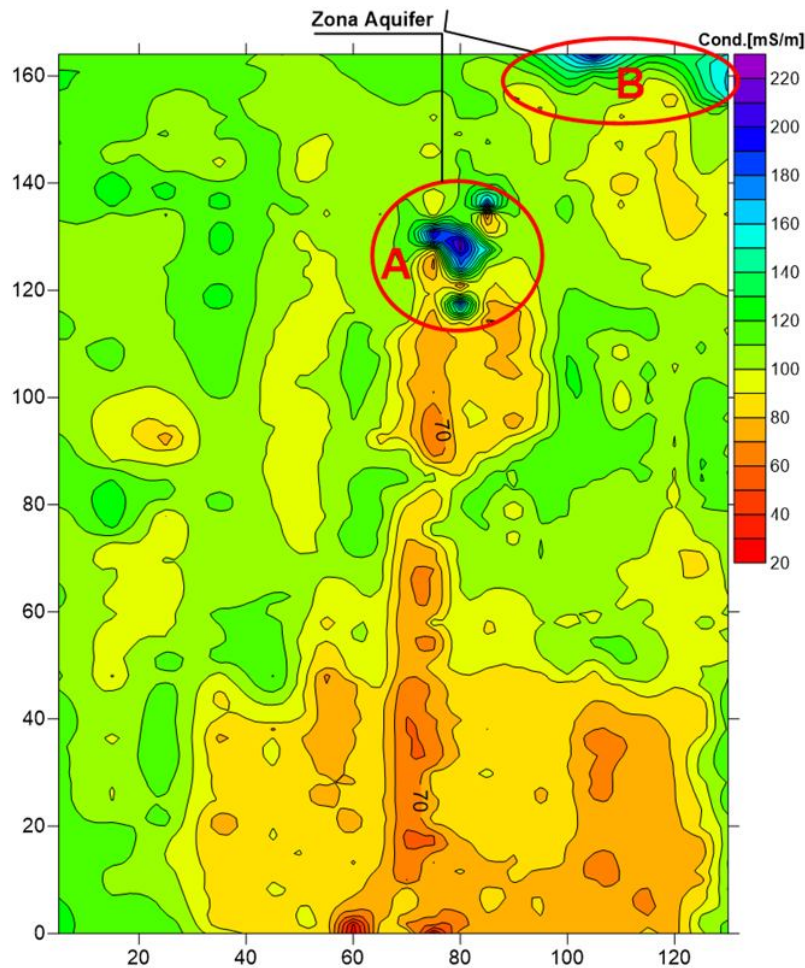
Distribusi konduktivitas tanah pada kedalaman tiga meter dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Distribusi nilai konduktivitas pada kedalaman 3 meter

Berdasarkan pada Gambar 5 dapat terlihat distribusi nilai konduktivitas tanah berkisar antara 0 hingga 240 mS/m. Nilai konduktivitas akuifer diprediksi berada diantara 150 hingga 220 mS/m. Posisi akuifer diduga berada pada daerah yang diberi tanda lingkaran merah. Pada kedalaman ini posisi akuifer yang teridentifikasi hanya satu zona saja.

Distribusi konduktivitas tanah pada kedalaman enam meter dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi nilai konduktivitas pada kedalaman 6 meter

Berdasarkan pada Gambar 6 tersebut dapat terlihat distribusi nilai konduktivitas tanah berkisar antara 0 hingga 220 mS/m. Posisi akuifer diduga berada pada daerah yang diberi tanda lingkaran merah. Nilai konduktivitas akuifer diprediksi berada diantara 150 hingga 220 mS/m. Berdasarkan rentang nilai ini dapat diduga terdapat 2(dua) buah zona akuifer.

Di posisi pertama (zona A), akuifer tersusun dari tiga buah zona kecil dengan pusat akuifer di tengah-tengah zoan. Posisi ini konsisten dengan posisi akuifer pada kedalaman 3m. hal ini menunjukkan bahwa akuifer pada posisi tersebut memiliki kedalaman yang dangkal. Di posisi kedua (zona B) akuifer cenderung membentuk cebakan yang menyebar kearah utara dan timur, Zona akuifer ini hanya terdapat di kedalaman 6 meter saja. Pada kedalaman 3 meter zona akuifer di titik ini tidak teridentifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa akuifer tersebut berada pada kedalaman yang dalam.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi nilai konduktivitas pada kedalaman 3 meter dari permukaan tanah berkisar 0 mS/m hingga 220 mS/m, sedangkan pada kedalaman 6 meter dari permukaan tanah nilai konduktivitas berkisar 0mS/m sampai 240mS/m. Dari kedua sebaran nilai konduktivitas tersebut dapat diinterpretasikan bahwa terdapat dua buah titik akuifer dengan nilai konduktivitas lebih dari 150 mS/m. Berdasarkan nilai tersebut diduga terdapat 2(dua) buah zona akuifer yaitu akuifer dangkal dan akuifer dalam.

5. PUSTAKA

- [1]. Weitemeyer, K. A., S. C. Constable, K. W. Key, J. P. Behrens. First results from a marine controlled-source electromagnetic survey to detect gas hydrates offshore Oregon. *Geophysical Research Letters*. 2012; Vol.33, Issue 3.
- [2]. Houck, R.T. *Classifying potential hydrocarbon reservoirs using electromagnetic survey information*. Google Patents. 2012, cited at 4 may 2015 [cited 2015 Apr4]. Available from: (<https://www.google.com/patents/US8185313>)
- [3]. Marsala, Alberto F., Stig Lyngra, Danang R. Widjaja, Abdalla S. Laota, Nashi M. Al-Otaibi, He Zhanxiang, Guo Zhao, Xu Jiahua and Cao Yang. Fluid Distribution Inter-Well Mapping in Multiple Reservoirs by Innovative Borehole to Surface Electromagnetic: Survey Design and Field Acquisition. *IPTC*. 2013
- [4]. Kuseno T., Sampurno, J., Arman, Y. Aplikasi EM-Conductivity Sistem Loop Vertical Coplanar untuk Identifikasi Sebaran Pupuk pada Lahan Pertanian di Sungai Raya, Kubu Raya, Kalimantan Barat. *POSITRON*, Vol. IV, No. 1 (2014): pp. 01-06.
- [5]. Sharma, V. P. *Environmental an Engineering Geophysics*. London: Cambridge University Press; 1997.
- [6]. "Universitas Tanjungpura". UTM 49M 315857.00mE dan 9993483.00mS. Google Earth. April 4, 2015. May 5, 2015.
- [7]. Kearey, P., M. Brooks, dan I. Hill. *An Introduction to Geophysical Exploration, Edisi ke-3*. Malden: Blackweell Science Ltd.; 2002.
- [8]. Burger, H.R., A.F. Sheehan, dan C.H. Jones. *Introduction to Applied Geophysics Exploring The Shallow Subsurface*. New York: W.W. Norton; 2004.
- [9]. Reynolds, J.M. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. England: John Wiley & Sons Ltd; 1997.

ANALISIS KARAKTERISTIK FREKUENSI KRITIS (foF2), KETINGGIAN SEMU (h'F) DAN SPREAD F LAPISAN IONOSFER PADA KEJADIAN GEMPA PARIAMAN 30 SEPTEMBER 2009

ANALYSIS OF IONOSPHERE'S F-LAYER CRITICAL (foF2), F LAYER ANOMALY (h'F) and SPREAD F IONOSPHERE CHARACTERISTIC FOR PARIAMAN EARTHQUAKE OF SEPTEMBER 30, 2009

**Dwi Pujiastuti¹, Edwards Taufiqurrahman¹, Rika Desrina Saragih¹, Sumi Daniati¹
Ednofri², Badrul Mustafa³**

Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika Universitas Andalas Padang¹

Dwi_Pujiastuti@yahoo.com

SPD LAPAN Kototabang²

Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas Padang³

ABSTRACT

Correlation between seismic activity prior to Pariaman earthquake (September 30, 2009) and ionosphere's F-layer was analyzed qualitatively using F-layer critical frequency (foF2), F-layer height (h'F) and occurrence of Spread F. Ionospheric data used were ionograms from ionosonde FMCW retrieved from LAPAN Palupuh, West Sumatera, Indonesia. Ionogram scaling was performed first to get foF, h'F daily values and the occurrence of spread F prior to Pariaman earthquake. Then the values (foF2 and h'F) were compared with its median to find anomaly. Geomagnetic data from WDC Kyoto University and X-Ray Solar flare during the observation period used for comparison. From analysis, h'F anomalies were identified on September 23rd, 25th, 27th, and 30th 2009. h'F anomalies were identified on September 23rd, 25th, 26th, 27th, 28th, 29th and 30th 2009 and Spread F appeared on 24th, 25th and 29th September 2009. This indicate that the appearance anomaly and the occurrence of spread F are earthquake precursor because occurred when geomagnet and solar activity in normal conditions.

Keywords: ionosphere, foF2, h'F, Spread F, precursor

ABSTRAK

Telah dilakukan analisis kualitatif untuk melihat korelasi antara aktivitas seismik sebelum gempa Pariaman (30 September 2009) dengan kondisi lapisan F ionosfer. Korelasi dilakukan dengan membandingkan anomali frekuensi kritis lapisan F ionosfer (foF2), anomali ketinggian semu lapisan F ionosfer (h'F) dan kejadian *Spread F*. Data ionosfer yang digunakan adalah ionogram yang diperoleh dari ionosonda FMCW di LAPAN, Palupuh, Sumatera Barat, Indonesia. Proses *scaling* ionogram dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai harian harian foF2, h'F dan melihat ada atau tidaknya kemunculan *Spread F* sebelum terjadinya gempa Pariaman. Nilai harian foF2 dan h'F yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan median bulanannya untuk melihat anomali yang muncul. Sebagai data pembanding digunakan data geomagnetik (indeks Dst) yang diberikan oleh WDC Kyoto University dan data *X-Ray Solar Flare* selama periode pengamatan tersebut. Dari hasil analisis terlihat adanya anomali foF2 pada tanggal 23, 25, 27 dan 30 September 2009, anomali h'F pada tanggal 23, 25, 26, 27, 28 dan 29 September 2009 dan *Spread F* terlihat pada tanggal 24, 25 dan 29 September 2009. Adanya anomali foF2, h'F dan *Spread F* pada kurun waktu tersebut diprediksi merupakan prekursor gempa pariaman 2009 karena pada periode tersebut aktivitas geomagnetik dan matahari dalam kondisi normal.

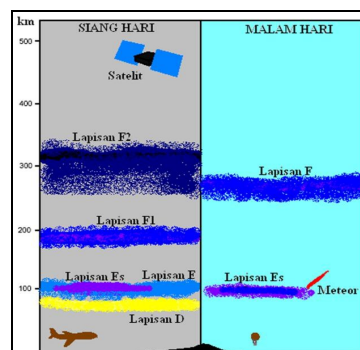
Katakunci: ionosfer, foF2, h'F, Spread F, prekursor

1. PENDAHULUAN

Pengamatan terhadap gangguan di ionosfer sebelum terjadinya gempa bumi merupakan salah satu metode yang sedang berkembang saat ini. Ionosfer merupakan lapisan yang terletak pada ketinggian sekitar 50 km hingga sekitar 1000 km dari permukaan bumi, dan mengandung partikel-partikel bermuatan [3]. Deformasi pada zona persiapan gempa akan menyebabkan radon yang tersimpan dalam batuan terlepas ke udara dan meluruh.

Usaha untuk melakukan prediksi gempa saat ini sampai pada kesimpulan bahwa aktivitas seismik meninggalkan jejak berupa gangguan di ionosfer [4], yang disebut kaitan seismo-ionosfer (*seismo-ionospheric coupling*). Konsepnya adalah aktivitas seismik menimbulkan gelombang elektromagnetik dan pelepasan partikel-partikel tertentu ke atmosfer sehingga mempengaruhi ion-ion di ionosfer. Akibatnya, muncul gangguan yang terlihat berupa ketidakstabilan di lapisan-lapisan ionosfer, baik berupa ketidakstabilan pada frekuensi kritis lapisan F maupun kemunculan *Spread F*.

Lapisan ionosfer terbentuk akibat sinar ultraviolet ekstrim dari matahari mengenai atom-atom netral di lapisan atas atmosfer bumi. Energi dari ultraviolet ekstrim ini cukup untuk mengionisasi atom-atom netral tersebut, sehingga terbentuk ion-ion. Berdasarkan unsur dominan yang membentuknya, lapisan ionosfer dibagi menjadi beberapa bagian (Gambar 1), seperti lapisan D , E , F_1 dan F_2 [1].



Gambar 1 Lapisan ionosfer pada siang hari dan malam hari [7]

Beberapa parameter pada lapisan F antara lain adalah frekuensi lapisan F_2 (f_oF_2), ketinggian semu lapisan F ($h'F$), dan *spread F*. Dikatakan ketinggian semu karena ketinggian dari lapisan ini bukanlah ketinggian yang sebenarnya sehingga diperlukan proses pengolahan lebih lanjut untuk memperoleh nilai ketinggian yang sebenarnya. Dalam penelitian ini dilakukan analisis untuk melihat perbandingan

karakteristik respon frekuensi kritis lapisan F_2 (f_0F_2), *spread F* dan ketinggian semu lapisan F ($h'F$) terhadap gempa bumi Pariaman tanggal 30 September 2009 dengan magnitudo 7,6 SR. Sebagai pembandingan akan dilakukan peninjauan terhadap badai magnetik dan aktivitas matahari untuk memastikan bahwa anomali yang terjadi pada ketinggian semu lapisan F ($h'F$), frekuensi kritis (f_0F_2) dan *Spread F* disebabkan oleh adanya dorongan dari bawah yaitu gempa bumi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menganalisis ionogram dari ionosonda FMCW (*Frequency Modulation Continuous Wave*) sebelum gempa Pariaman yang berada di LAPAN LPA Kototabang, Kabupaten Agam. Data ionogram yang digunakan adalah data tanggal 23 September sampai tanggal 7 Oktober 2009. Dalam penelitian ini analisis difokuskan untuk melihat perbandingan respon frekuensi lapisan F_2 (f_0F_2), ketinggian semu lapisan F ($h'F$), dan *spread F* sebelum kejadian gempa Pariaman yang diprediksi sebagai prekursor gempa bumi.

2.1 Luas Zona Persiapan Gempa Pariaman

Jarak lokasi Ionosonda yaitu Kototabang ke masing-masing lokasi episenter gempa dihitung dengan menggunakan *Latitude/Longitude Distance Calculator* di alamat website : <http://www.nhc.noaa.gov/gccalc.shtml>. Besarnya zona persiapan gempa dinyatakan dengan persamaan Dobrovolsky [6] yang terdapat pada Persamaan 1 sebagai berikut :

$$\rho = 10^{0,43M} \quad (1)$$

dengan :

ρ : radius zona persiapan gempa (km)

M : magnitudo gempa (SR)

Apabila jarak lokasi episenter gempa ke lokasi Ionosonda di Kototabang tidak lebih dari luas zona persiapan gempa, maka perubahan fisis dan kimiawi pada lapisan ionosfer yang berada di daerah antara Kototabang dengan episenter gempa masih dapat direkam oleh ionosonda FMCW yang berada di LAPAN Kototabang.

2.2 *Scaling*

Scaling adalah proses ekstraksi nilai frekuensi dan ketinggian lapisan ionosfer dari ionogram. Ionogram dari LAPAN SPD Kototabang adalah berupa file gambar dengan format png yang menampilkan plot frekuensi (sumbu-x) terhadap ketinggian (sumbu-y).

Mekanisme *scaling* mengikuti langkah yang diberikan oleh Jiyo [2], dimana untuk mengubah nilai piksel ionosonda menjadi foF_2 dilakukan dengan Persamaan 2

$$foF_2 = 2 + (P_x - 80) \times \frac{2}{30} \quad (2)$$

Dengan P_x adalah nilai piksel untuk arah horizontal. Nilai foF_2 untuk setiap 15 menit dicatat untuk kemudian dianalisis lebih lanjut.

Untuk *Spread F* analisis dilakukan dengan mengamati hasil *scaling foF2* dari tanggal 23 September sampai 30 September 2007 kemudian mencatat waktu kemunculan *Spread F*, dan data *Spread F* dipisahkan dengan data ionogram yang tidak mengalami gangguan.

Pembacaan nilai ($h'F$) dapat dilakukan dengan mengarahkan kursor pada titik horizontal terendah dari jejak lapisan F . Nilai ($h'F$) dapat diketahui dengan melihat koordinat titik piksel yang tertera pada koordinat sumbu-y dan nilai titik piksel ini (disimbolkan sebagai y) diolah ke dalam Persamaan 3

$$h(y) = 3(340 - y) \quad (3)$$

Dengan

$h(y)$: ketinggian pada lapisan ionosfer

y : posisi piksel vertikal berada pada koordinat y di ionogram

Menurut Jiyo [2] aturan baku *scaling* ionogram sesuai dengan *Report UAG-23A* (1978) menggunakan *Microsoft Excel*. *Scaling h'F* dilakukan untuk ionogram setiap 5 menit, dan nilai piksel pada sumbu-y dicatat dan dimasukkan ke Persamaan 3 untuk mendapatkan nilai $h'F$ dan langkah ini diulangi untuk setiap ionogram.

2.2 Aktivitas Matahari dan Badai Geomagnetik

Faktor yang terbukti paling berpengaruh terhadap ionosfer adalah kondisi geomagnetik bumi dan aktivitas matahari. Karenanya, untuk melihat kaitan anomali ionosfer dengan aktivitas seismik, perlu terlebih dahulu dilakukan pemisahan antara anomali ionosfer yang diakibatkan badai geomagnetik dan aktivitas matahari.

Data badai geomagnetik yang disebut dengan Indeks Dst, diunduh dari *World Data Center C-2 Kyoto University*, Jepang, dengan alamat website : <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst/dir/>. Bentuk data Indeks Dst adalah bilangan unit aktivitas geomagnetik setiap jam dalam 24 jam untuk 30 atau 31 hari sesuai dengan banyaknya tanggal pada bulan tersebut.

Data aktivitas matahari yaitu data *X-Ray Solar Flare* diunduh dari *Space Weather Prediction Center (SWPC)*. Bentuk data *X-Ray Solar Flare* adalah sebuah grafik yang menyatakan aktivitas matahari untuk setiap kelasnya selama 3 hari.

2.3 Perhitungan Nilai Median $h'F$ dan f_0F_2

Nilai median ditentukan dengan menggunakan formula yang terdapat di dalam *Microsoft Excel 2007* selama 24 jam perhari dari tanggal 23 September sampai 30 September 2009. Setiap 5 menit untuk f_0F_2 dan setiap 15 menit untuk $h'F$.

2.4. Perhitungan Nilai Deviasi $h'F$ dan f_0F_2

Nilai deviasi diperoleh dengan menghitung selisih antara nilai $h'F$ dan f_0F_2 (yang didapat dari *scaling*) dengan nilai median untuk setiap waktunya. Nilai deviasi yang diperoleh sangat beragam, dapat berupa variasi positif

2.5 Perhitungan Nilai Standar Deviasi $h'F$ dan f_0F_2

Standar deviasi dihitung menggunakan Persamaan 4 sebagai berikut.

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum (h'F_i - \overline{h'F})^2}{n-1}} \quad (4)$$

keterangan :

σ_h : standar deviasi harian

$h'F_i$: ketinggian semu lapisan F (km) untuk setiap waktunya

$\overline{h'F}$: nilai rata-rata harian $h'F$ untuk suatu waktu yang sama

n : banyak data $h'F$ dalam 15 hari pengamatan

Untuk f_0F_2 dilakukan dengan cara yang sama dengan mengganti parameter $h'F$ dengan f_0F_2 . Setelah diperoleh nilai standar deviasi untuk masing-masing waktu selama 15 hari pengamatan, selanjutnya dihitung rata-rata (*average*) nilai standar deviasi untuk 15 hari pengamatan tersebut untuk menentukan nilai batas atas dan nilai batas bawah dari $h'F$ dan f_0F_2 .

2.6 Perhitungan Nilai Batas Atas dan Batas Bawah $h'F$ dan f_0F_2

Nilai batas atas $h'F$ dan f_0F_2 diperoleh dari menjumlahkan nilai median untuk masing-masing waktu dengan nilai rata-rata standar deviasi selama 15 hari pengamatan. Nilai batas bawah diperoleh dari menghitung selisih nilai median untuk masing-masing waktu dengan nilai rata-rata standar deviasi selama 15 hari pengamatan. Nilai batas bawah dan nilai batas atas ini penting untuk melihat nilai tertinggi dan nilai terendah dari

anomali $h'F$ dan f_0F_2 setiap waktunya sehingga apabila terdapat anomali $h'F$ dan f_0F_2 yang melebihi nilai batas atas dan nilai batas bawah tersebut merupakan anomali yang akan dianalisis lebih lanjut.

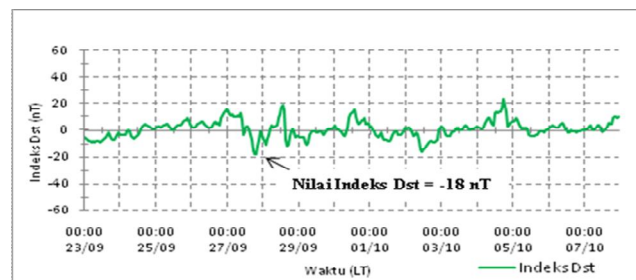
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Luas Zona Persiapan Gempa

Ionosonda FMCW Kototabang berada pada lokasi koordinat 0,30 LS – 100,35 BT [2]. Jarak episenter gempa Padang Pariaman ke ionosonda Kototabang adalah 98 km. Luas zona persiapan gempa yang dihitung dengan Persamaan 1 adalah sebesar 1853,5 km. Secara teoritis radius ini masih berada dalam radius zona persiapan gempa maka secara teori lapisan ionosfer yang berada pada lokasi ionosonda di Kototabang juga mengalami perubahan fisis dan kimiawi yang diakibatkan oleh gempa Padang Pariaman.

3.2 Indeks Dst pada Waktu Gempa Pariaman

Indeks Dst untuk waktu Gempa Padang Pariaman diambil mulai tanggal 23 September – 07 Oktober 2009. Plot data indeks Dst dapat dilihat pada Gambar 2.

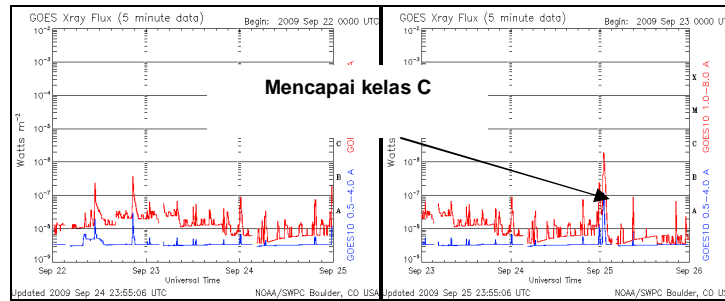


Gambar 2 Plot indeks Dst Tanggal 23 September – 07 Oktober 2009
Untuk Gempa Pariaman Tanggal 30 September 2009.

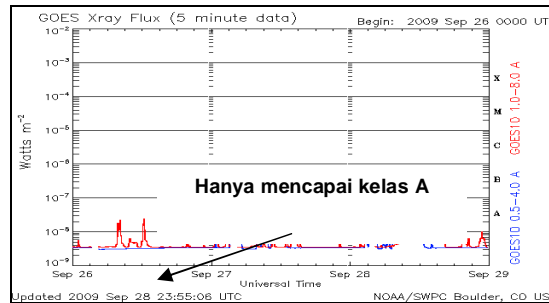
Dari Gambar 2 diketahui bahwa aktivitas geomagnetik pada tanggal 23 September – 07 Oktober 2009 bernilai fluktuatif dengan nilai indeks Dst minimum adalah -18 nT. Maka dapat disimpulkan bahwa untuk 15 hari pengamatan terhadap Gempa Padang Pariaman, 30 September 2009 tidak terjadi badai geomagnetik.

3.3 Grafik Badai Matahari pada Waktu Gempa Pariaman

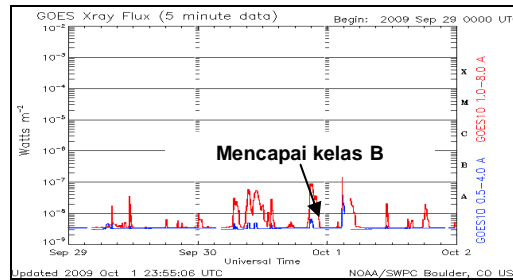
Waktu pengamatan terhadap aktivitas matahari untuk gempa yang berpusat di Padang Pariaman tanggal 30 September 2009 diambil mulai tanggal 23 September – 1 Oktober 2009 yang dapat dilihat pada Gambar 3 – Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 3 Plot badai matahari tanggal 23 – 25 September 2009.



Gambar 4 Plot badai matahari tanggal 26 – 28 September 2009.

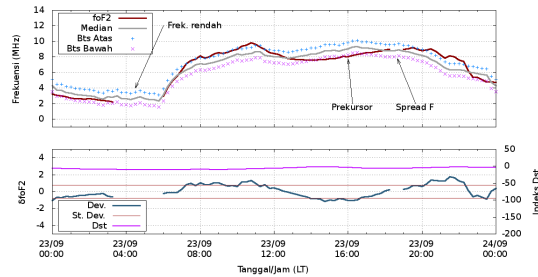


Gambar 5 Plot badai matahari tanggal 29 September – 1 Oktober 2009.

Berdasarkan Gambar 3 – Gambar 5 terlihat bahwa selama tanggal 23 September –1 Oktober 2009 badai matahari rata-rata berada pada kelas A. Maka dapat disimpulkan bahwa selama 15 hari waktu pengamatan untuk Gempa Padang Pariaman, tidak terjadi badai matahari yang memberikan dampak yang signifikan untuk memberikan gangguan terhadap lapisan ionosfer.

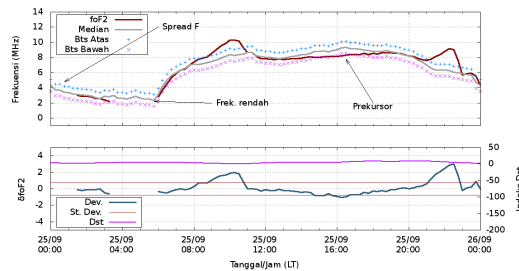
3.4 foF2 Sebelum Gempa Pariaman 2009

Untuk tanggal 23 September, plot *foF2* ditunjukkan pada Gambar 2. Deviasi negatif berlangsung selama 5 jam, dari pukul 13.00 WIB hingga pukul 18.00 WIB.



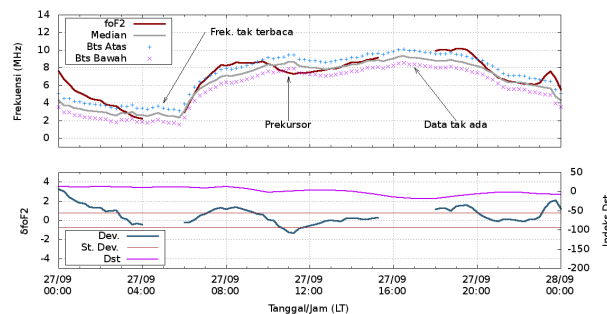
Gambar 2: Plot $foF2$ dan deviasi untuk tanggal 23 September 2009.

Berikutnya untuk tanggal 25 September, plot $foF2$ ditunjukkan pada Gambar 3. Pada plot tersebut terlihat $foF2$ tinggi pada saat menjelang siang (sekitar pukul 10.00 WIB) dan menjelang tengah malam (sekitar pukul 22.30), namun diantara kedua waktu tersebut justru terdapat anomali dimana $foF2$ nilainya rendah.



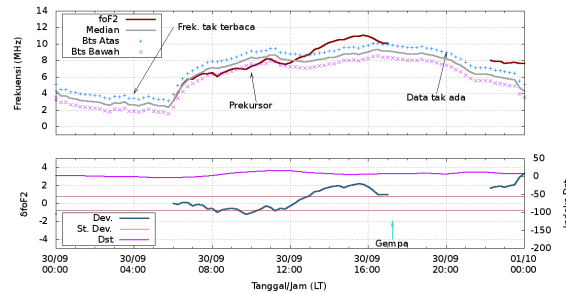
Gambar 3: Plot $foF2$ dan deviasi untuk tanggal 25 September 2009.

Untuk tanggal 27 September, plot $foF2$ ditunjukkan pada Gambar 4. Deviasi negatifnya hanya berlangsung singkat, mulai dari pukul 10.00 WIB hingga pukul 13.00 WIB (3 jam).



Gambar 4: Plot $foF2$ dan deviasi untuk tanggal 27 September 2009.

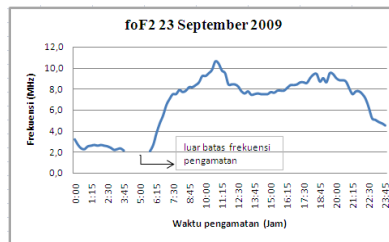
Untuk tanggal 30 September yang merupakan hari terjadinya gempa, plot $foF2$ ditunjukkan pada Gambar 5. Deviasi negatif mulai pagi hari pukul 07.30 WIB dan berlangsung hingga pukul 12.30 WIB (durasi 5 jam). Gempa terjadi pada pukul 17.15 WIB atau sekitar 5 jam setelah $foF2$ mengalami deviasi negatif tersebut.



Gambar 5: Plot $foF2$ dan deviasi untuk tanggal 30 September 2009.

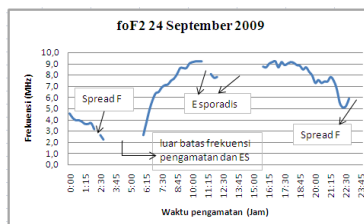
3.5 Spread F Sebelum Gempa Pariaman

Pada tanggal 23 September 2009 (Gambar 6), frekuensi kritis lapisan F ionosfer ($foF2$) sangat rendah, sehingga pada pukul 4:00 sampai dengan pukul 5:30 frekuensi kritis lapisan F ionosfer berada di luar batas frekuensi pengamatan yaitu kecil dari 2 MHz. Pada siang hari frekuensi kritis lapisan F ionosfer ($foF2$) meningkat bersamaan dengan meningkatnya aktivitas matahari.



Gambar 6 Frekuensi Kritis ionosfer 23 September 2009.

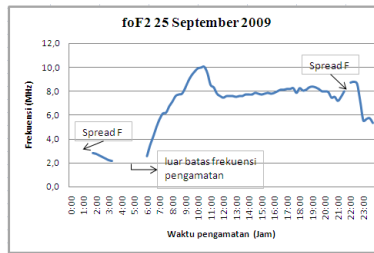
Tanggal 24 September 2009 *Spread F* muncul pada awal malam yaitu pukul 02:15 (Gambar 7). Pada pukul 03:00 sampai dengan pukul 04:15 frekuensi kritis lapisan F ionosfer sangat rendah yaitu diluar batas frekuensi pengamatan disertai dengan munculnya gangguan lapisan E (*E-Sporadis*). Di akhir malam *Spread F* kembali terjadi pada pukul 23:00 sampai dengan pukul 01:15 pada hari berikutnya (tanggal 25 September).



Gambar 7 Frekuensi Kritis ionosfer 24 September 2009

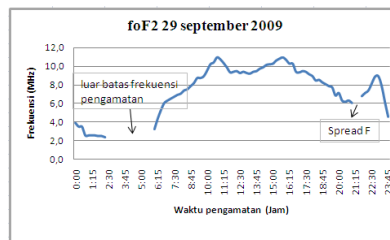
Pada awal pengamatan adanya kejadian *Spread F* sampai dengan pukul 01:30. Frekuensi kritis lapisan F ionosfer berada di luar batas frekuensi pengamatan pada jam 03:30 sampai dengan pukul 4:45 karena aktivitas matahari minimum sehingga terjadi

penurunan frekuensi kritis lapisan F ionosfer. *Spread F* kembali muncul pada jam 21:45 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8 Frekuensi Kritis ionosfer 25 September 2009.

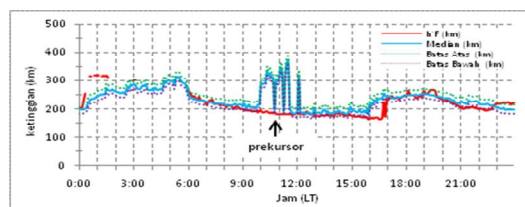
Pada pukul 02:30 sampai dengan pukul 05:45 frekuensi kritis lapisan F ionosfer berada di luar batas pengamatan. *Spread F* muncul pada pukul 20:55 sampai dengan pukul 21:30 seperti ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9 Frekuensi Kritis ionosfer 29 September 2009

3.6 $h'F$ untuk Gempa Pariaman Tanggal 30 September 2009

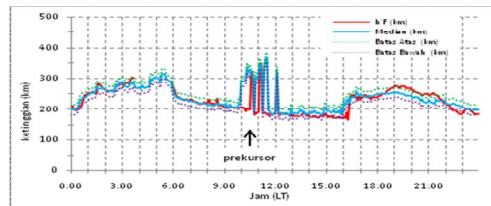
Pada tanggal 23 September 2009 pukul 10.50 – 11.35 WIB, $h'F$ mencapai ketinggian minimum yaitu 183 km yang biasanya berada pada ketinggian 369 km (Gambar 10). Pada pukul 10.50 – 11.35, seharusnya $h'F$ mengalami kenaikan karena kuatnya pengaruh intensitas matahari. Akan tetapi, $h'F$ justru mengalami deviasi negatif yang telah melebihi batas bawah $h'F$, sehingga deviasi negatif ini diduga merupakan anomali.



Gambar 10 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 23 September 2009

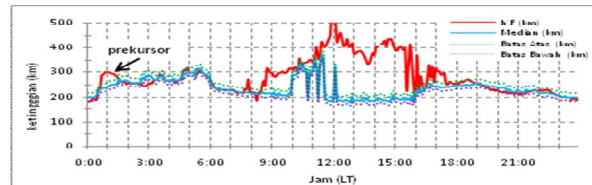
Deviasi negatif yang terjadi tanggal 25 September 2009 memiliki kasus yang sama dengan deviasi negatif yang muncul pada tanggal 23 September. Pada pukul 10.00 – 11.40 WIB seharusnya $h'F$ mengalami kenaikan (deviasi positif) yang pada Gambar 11. juga terlihat bahwa nilai median $h'F$ terus merambat naik. Akan tetapi, nilai $h'F$ pada

waktu ini justru mengalami penurunan hingga melebihi batas bawah $h'F$ dan ini merupakan sebuah anomali.



Gambar 11 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 25 September 2009.

Berbeda dengan anomali-anomali $h'F$ sebelumnya yang selalu ditandai dengan deviasi negatif, pada tanggal 26 September 2009, terjadi deviasi positif. Pada pukul 00:40 – 01.25 WIB terjadi deviasi positif dengan $h'F$ mencapai ketinggian hingga 300 km pada pukul 00.50 – 00.55 WIB yang dapat dilihat pada Gambar 12

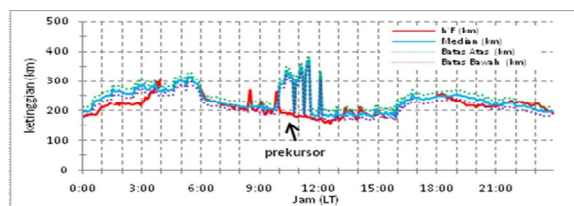


Gambar 12 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 26 September 2009.

Pada Gambar 12 terlihat, median $h'F$ memang mengalami kenaikan (deviasi positif) mulai pukul 00:00 WIB hingga pukul 06:00 WIB secara fluktuatif. Akan tetapi deviasi positif yang terjadi pada pukul 00:40 – 01.25 WIB ini telah melebihi nilai batas atas $h'F$ sehingga dapat dicurigai sebagai sebuah anomali.

Setelah pukul 01.25 WIB, $h'F$ kemudian berada dalam ketinggian rata-rata yang tidak melebihi nilai batas atas dan batas bawah $h'F$ hingga kemudian deviasi positif muncul kembali pada pukul 08.30 – 17.25 WIB. Pada pukul 12.00 WIB, $h'F$ mencapai ketinggian maksimum yaitu 525 km dari nilai median $h'F$ yaitu 192 km. Akan tetapi, deviasi positif yang terjadi pada waktu ini masih dianggap normal dengan asumsi bahwa intensitas penyinaran matahari maksimum pada waktu ini.

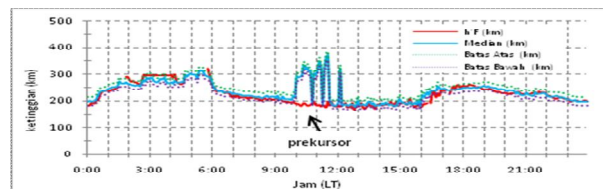
Keesokan harinya yaitu pada tanggal 27 September 2009, deviasi negatif terjadi pada pukul 09.50 – 12.40 WIB yang dapat dilihat pada Gambar 13



Gambar 13 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 27 September 2009.

Deviasi negatif yang terjadi pukul 09.50 – 12.40 WIB ini juga memiliki kasus yang sama dengan deviasi negatif yang terjadi pada tanggal 23 September pukul 10.50 – 11.35 WIB dan tanggal 25 September pukul 10.00 – 11.40 WIB dapat dilihat pada Gambar 13. Letak persamaannya adalah deviasi negatif ini terjadi ketika median $h'F$ mengalami kenaikan yaitu rentang waktu pukul 10.00 – 12.00 WIB. Deviasi negatif maksimum adalah -189 dengan ketinggian $h'F$ minimum adalah 159 km pada pukul 11.25 WIB. Penurunan nilai $h'F$ yang telah melebihi nilai batas bawah $h'F$ ini dianggap sebagai sebuah anomali.

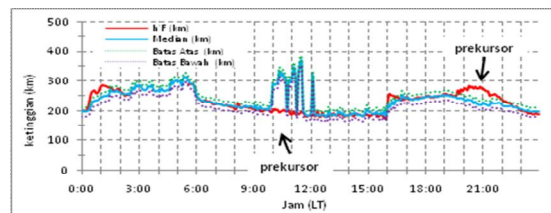
Variasi harian $h'F$ pada tanggal 28 September 2009 dapat dilihat pada Gambar 14. Deviasi negatif maksimum adalah -186 dan ketinggian $h'F$ minimum adalah 177 km.



Gambar 14 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 28 September 2009.

Anomali $h'F$ yang terjadi tanggal 28 September pukul 09.50 – 11.30 WIB. Deviasi negatif kembali terjadi keesokan harinya yaitu tanggal 29 September 2009 pada waktu yang sama, yaitu pukul 09.55 – 11.30 WIB yang dapat dilihat pada Gambar 15

Pada waktu tersebut, $h'F$ mengalami deviasi negatif maksimum sebesar -171 dan $h'F$ mencapai ketinggian minimum yaitu 189 km pada pukul 11.25 – 11.30 WIB yang terlihat pada Gambar 15



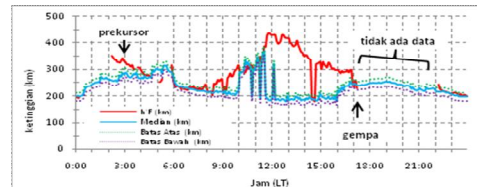
Gambar 15 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 29 September 2009.

Penurunan nilai $h'F$ yang terjadi pada pukul 09.55 – 11.30 WIB ini juga telah melebihi nilai batas bawah $h'F$ seperti yang terjadi pada hari-hari sebelumnya. Nilai median $h'F$ yang ditunjukkan oleh Gambar 15 memperlihatkan bahwa nilai median $h'F$ terus merambat naik hingga mengalami penurunan setelah lewat pukul 12.00 WIB. Penurunan nilai $h'F$ ini kemudian dianggap sebagai sebuah anomali.

Selain deviasi negatif, pada tanggal 29 September juga terjadi deviasi positif pada pukul 19.50 – 22.10 WIB dengan nilai deviasi maksimum adalah 49,5. Pada pukul 20.15 WIB, $h'F$ mencapai ketinggian maksimum yaitu 285 km. Deviasi positif yang terjadi pada

pukul 19.50 – 22.10 WIB ini telah melebihi nilai batas atas $h'F$ sehingga dianggap sebagai sebuah anomali. Pada waktu ini aktivitas geomagnetik dalam keadaan tenang dan tidak terjadi anomali aktivitas matahari, sehingga anomali $h'F$ yang terjadi pada tanggal 29 September 2009 pukul 19.50 – 22.10 WIB direkomendasikan sebagai prekursor gempa.

Setelah menemukan anomali-anomali $h'F$ pada rentang waktu 7 hari sebelum gempa, maka analisis selanjutnya diteruskan pada tanggal terjadinya gempa yaitu 30 September 2009. Plot variasi harian $h'F$ dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Plot variasi harian $h'F$ tanggal 30 September 2009.

Tanggal 30 September 2009 pukul 00.15 – 02.05 WIB, $h'F$ tidak terlihat di ionogram dan tiba-tiba terlihat deviasi positif pukul 02.10 – 04.05 WIB dengan ketinggian $h'F$ maksimum adalah 351 km pada pukul 02.10 WIB. Deviasi positif yang terjadi pada waktu ini, diduga merupakan kelanjutan deviasi positif yang terjadi pada hari sebelumnya. Nilai $h'F$ yang telah melebihi nilai batas atas $h'F$ ini dianggap sebagai sebuah anomali. Pada pukul 08.25 – 09.55 WIB terjadi deviasi positif dengan nilai deviasi positif maksimum adalah 99 pada pukul 09.55 WIB. Nilai $h'F$ juga mencapai ketinggian maksimum mencapai 315 km pada juga pukul 09.55 WIB. Akan tetapi deviasi positif yang terjadi ini diduga merupakan akibat dari intensitas penyinaran matahari. Deviasi positif yang selanjutnya terjadi pada pukul 11.35 – 14.20 WIB dengan $h'F$ yang mencapai nilai ketinggian maksimum mencapai 435 km pada pukul 11.50 WIB, yang diduga juga dipengaruhi oleh intensitas penyinaran matahari.

Setelah mengalami penurunan selama 20 menit, deviasi positif kembali terjadi pada pukul 14.40 – 16.50 WIB dengan $h'F$ yang mencapai ketinggian mencapai 321 km pada pukul 14.45 WIB. Akan tetapi deviasi positif ini masih disebabkan oleh intensitas penyinaran matahari. Gempa tanggal 30 September 2009 terjadi pukul 17.15 WIB. Sesaat setelah gempa, tidak terlihat ada rekaman atau citra gambar di ionogram, diduga ionosonda mati setelah terjadi gempa. Ionogram memperlihatkan rekaman gambar pada pukul 22.05 WIB. Tidak terdapat tanda-tanda anomali $h'F$ mulai pukul 22.05 WIB hingga pukul 23.55. Nilai $h'F$ berada dalam keadaan normal sesuai dengan median harian $h'F$.

3.7 Analisis

Dari hasil analisis karakteristik foF_2 , $h'F$ dan *Spread F* pada kejadian gempa Pariaman selama periode pengamatan sebelum dan sesudah kejadian gempa terlihat adanya anomali pada ketiga parameter ionosfir yang ditinjau. Untuk tanggal 23 September 2014 muncul anomali negatif foF_2 dari jam 13.00 sampai dengan pukul 18.00 WIB. Pada pengamatan *Spread F* tidak terdeteksi adanya *spread F* pada tanggal 23 September. Untuk pengamatan $h'F$ muncul anomali ketinggian pada jam 10.50 sampai jam 11.35.

Untuk tanggal 24 September 2009 muncul *Spread F* pada jam 02.15 tapi tidak diikuti oleh munculnya anomali foF_2 dan $h'F$. Untuk tanggal 25 September 2009 . muncul anomali foF_2 jam 16.00. *Spread F* muncul pada jam 2.15 tapi tidak terlihat adanya anomali pada pengamatan $h'F$.

Pada tanggal 26 September 2014 tidak muncul anomali negatif foF_2 dan $h'F$ tetapi muncul *Spread F* pada jam 03.30 sampai 04.45 dan 21.45 WIB. Tanggal 27 September 2009 muncul anomali foF_2 pukul 10.00 sampai 13.00 tapi tidak diiringi dengan kemunculan *Spread F*. Sedangkan pada $h'F$ muncul anomali pada jam 09.50 – 12.40.

Pada tanggal 28 September hanya muncul anomali pada pengamatan $h'F$ pada jam 09.50 – 11.30 WIB. Sedangkan pada tanggal 29 September 2009 muncul *Spread F* pada jam 20.55 sampai 21.30 dan anomali $h'F$ pada jam 19.50 – 22.10 tapi tidak diiringi anomali di foF_2 . Pada saat kejadian gempa yaitu tanggal 30 September 2009 terekam adanya anomali foF_2 pada jam 07.30 sampai 12.30 dan anomali $h'F$ pada jam 02.10 sampai 04.05, tetapi tidak terlihat adanya kemunculan *Spread F*.

Secara umum selama periode pengamatan ionogram sebelum kejadian gempa Pariaman 30 September 2009 terjadi anomali pada ketiga parameter ionosfer foF_2 , $h'F$ dan *Spread F*, tetapi waktu kemunculannya yang berbeda. Perbedaan waktu kemunculan anomali tergantung dari sifat masing masing parameter yang ditinjau. Kemunculan *Spread F* terjadi malam hari, anomali foF_2 terjadi pada siang hari dan anomali $h'F$ terjadi pada siang dan malam hari.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kualitatif yang telah dilakukan terhadap hasil *scalling* data ionogram sebelum terjadinya gempa Pariaman 30 September 2009 diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Selama periode pengamatan ionosonda sebelum dan sesudah gempa Pariaman aktivitas geomagnetik dan aktivitas matahari dalam kondisi normal

2. Anomali ketinggian lapisan h'F sebanyak 6 kali yaitu tanggal 23, 25, 26, 27, 28 dan 29 September 2009.
3. Anomali foF₂ terjadi pada tanggal 23, 25, 27 dan 30 September 2009
4. Kemunculan Spread F 24, 25 dan 29 September 2009.
5. Secara umum selama periode pengamatan ionogram sebelum kejadian gempa Pariaman 30 September 2009 terjadi anomali pada ketiga parameter ionosfer foF₂, h'F dan *Spread F*, tetapi waktu kemunculannya yang berbeda. Perbedaan waktu kemunculan anomali tergantung dari sifat masing masing parameter yang ditinjau. Kemunculan *Spread F* terjadi malam hari, anomali foF₂ terjadi pada siang hari dan anomali h'F terjadi pada siang dan malam hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada pihak Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) yang telah memberikan ijin penggunaan data ionosonda FMCW dari LAPAN SPD Kototabang.

5. PUSTAKA

- [1] Ednofri, 2009, Implementasi Metoda Case Based Reasoning untuk Mendukung Proses Scaling Data Ionogram Ionosonda (Studi Kasus : Ionosonda FMCW Stasiun Pengamat Dirgantara LAPAN Kototabang, Kec. Palupuh, Ka. Agam, Sumatera Barat), *Tesis*, PPS FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [2] Jiyo, 2008, Metode Pembacaan Data Ionosfer Hasil Pengamatan Menggunakan Ionosonda FMCW, *Berita Dirgantara*, Vol. 2, No. 9, LAPAN, Bandung.
- [3] Kaloka, S., Jiyo, Suhartini, S., Perwitasari, S., Mardiani, A. S., Dear, V. et al, 2010, Lapisan Ionosfer, Prediksi Frekuensi dan Teknis Komunikasi Radio (Jiyo, Ed), Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN, Bandung.
- [4] Pulinets S. A., Legen'ka A. D., Gaivoronskaya T.V. dan Depeuv V. K., 2003, Main Phenomenological Features of Ionospheric Precursors of Strong Earthquake, *Jurnal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 65.
- [5] Pulinets S. A., 2004, Ionospheric Precursors of Earthquake: Recent Advances Theory and Practical Applications, Vol. 15, No. 3, TAO.
- [6] Pulinets S. A., dan Boyarchuk K., 2004, Ionospheric Precursors of Earthquakes, Springer-Verlag, Berlin.
- [7] Radio Komlek, 2013, Sistem Komunikasi Radio HF, <http://radio.komlek.net/sistem-komunikasi-radio-high-frequency/> diakses Juni 2013.

**KARAKTERISASI STRUKTUR MIKROSKOPIK KARBON AKTIF KULIT
DURIAN DENGAN GEOMETRI FRAKTAL
(CHARACTERIZATION OF MICROSCOPIC STRUCTURE OF ACTIVATED
CARBON FROM DURIAN SHELL WITH FRACTAL GEOMETRY)**

Irfana Diah Faryuni^{1*}, Joko Sampurno¹

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak^{1*}
irfana@physics.untan.ac.id

ABSTRACT

The microscopic structure of activated carbon from durian shell which synthesized with Potassium Hydroxide (KOH) as the activator has been successfully characterized. Objection of this research was to study the effect of the activator concentration (KOH) on the evolution of the microscopic structure of the activated carbon from durian shell. The carbon synthesized with carbonization at temperature 400°C for 2 hours and then activated by immersion in an activator solution (KOH) which varied: 5%, 10%, 15%, 20% and 25% and then calcinated at 800 ° C for 2 hours. Activated carbon of durian shell then characterized using Scanning Electron Microscope (SEM). The SEM images then characterized using fractal analysis method. The result showed that the increasing of the concentration of the activator solution (KOH) will relatively reduced the complexity of the microscopic structure which indicated by the decrease of the fractal dimension value.

Keywords: Durian shell, Activated Carbon, SEM Image, Fractal Analysis

ABSTRAK

Struktur mikroskopis dari karbon aktif kulit durian yang disintesis dengan Kalium Hidroksida (KOH) sebagai aktivatornya telah berhasil dikarakterisasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi aktivator KOH terhadap citra SEM karbon aktif kulit durian dan dimensi fraktalnya. Karbon disintesis dengan cara karbonisasi pada suhu 400 °C selama 2 jam kemudian diaktivasi dengan perendaman dalam larutan aktivator KOH yang bervariasi yakni : 5 %, 10 %, 15 %, 20 % dan 25 % dan kalsinasi pada suhu 800 °C selama 2 jam. Karbon aktif kulit durian kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Citra SEM dari karbon aktif kulit durian kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan metode analisis fraktal. Hasil pengolahan citra SEM menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator KOH relatif akan membuat kompleksitas struktur mikroskopis karbon aktif relatif menurun. Penurunan kompleksitas secara horizontal dan vertikal tergambarkan oleh penurunan nilai dimensi fraktal dan peningkatan nilai intercept.

Katakunci: Kulit Durian , Karbon Aktif, Citra SEM, Analisis Fraktal.

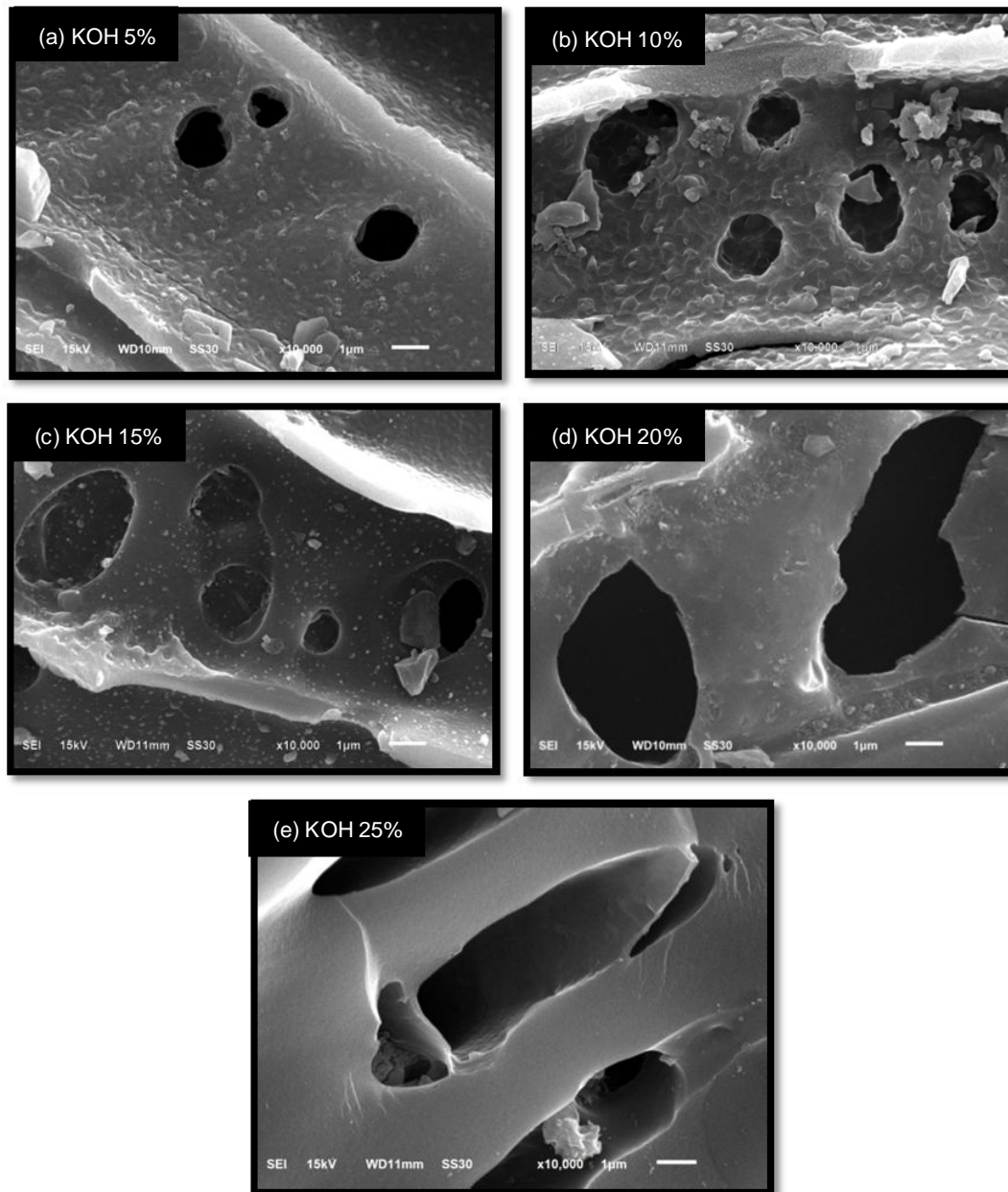
1. PENDAHULUAN

Karbon aktif telah banyak digunakan dalam proses *water treatment* [1][2][3]. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan mentah seperti : limbah kayu mahoni [4], tempurung kemiri [5], tempurung kelapa [6]. dan dengan menggunakan kulit durian [7]. Penelitian ini akan menganalisis sifat fraktal dari citra SEM dari karbon aktif yang berasal dari kulit durian yang disintesis dengan menggunakan KOH sebagai aktivator [7].

Metode analisa fraktal telah diaplikasikan pada banyak bidang termasuk dalam bidang material diantaranya pada eksperimen dan pemodelan analisa penumbuhan fraktal pada film tipis organik *pentaerythritol tetranitrate* yang ditumbuhkan pada permukaan silikon[8], simulasi fabrikasi dan pengukuran material sel surya baru dengan geometri fraktal [9], karakterisasi permukaan film tipis kromium nitrida dan silikon nitrida dengan geometri fraktal [10], pembuatan material nikel dengan struktur fraktal [11], penentuan dimensi fraktal dan pengukuran skala domain dari film tipis *multiferroic* BiFeO_3 [12], penumbuhan film tipis C_{60} pada grafit [13], karakteristik fraktal dan evolusi struktur mikro film tipis Cu yang dibuat dengan metode *magnetron sputtering* dan pemrosesan citra kelakuan fraktal GaAs [14]. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi secara kuantitatif citra SEM karbon aktif kulit durian, apakah struktur morfologinya berkelakuan sebagai fraktal atau tidak. Jika berkelakuan sebagai fraktal maka akan dihitung nilai dimensi fraktal dan *intercept*nya. Dengan mengetahui nilai dimensi dan *intercept* tersebut dapat dianalisa karakteristik struktur morfologi citra SEM karbon aktif. Adapun metodologi dari penelitian ini didahului oleh sintesis karbon aktif, kemudian profil struktur mikro dari masing-masing sampel karbon aktif dikarakterisasi dengan menggunakan SEM. Hasil dari foto SEM ini akan di *clustering* untuk menentukan distribusi pori dan matrik dari profil sampel tersebut. Hasil proses *clustering* ini diolah secara komputasi dengan menggunakan program analisa fraktal untuk mendapatkan nilai dimensi dan *intercept* sampel. Dimensi fraktal akan mengkarakterisasi struktur secara horizontal sedangkan *intercept* akan mengkarakterisasi struktur secara vertikal.

2. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data 5 citra SEM karbon aktif yang telah disintesis dengan cara karbonisasi pada suhu $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam kemudian diaktivasi dengan perendaman dalam larutan aktivator KOH yang bervariasi yakni : 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dan kalsinasi pada suhu $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam. Data citra SEM dari karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Citra SEM Karbon Aktif dengan variasi konsentrasi aktivator

Citra masukan yang sudah dalam citra *gray scale* akan *dicrop* untuk diambil wilayah yang akan dianalisis (*Region of Interest/ROI*). Semua citra disamakan ukuran pixelnya menjadi 900 x 1800 pixel. Selanjutnya masing-masing citra diekualisasi untuk menajamkan bagian yang hitam (*background*) dan bagian yang putih. Proses pemotongan citra dan ekualisasi menggunakan Fiji[15]. Hasil pengolahan citra untuk citra SEM karbon aktif dengan berbagai variasi konsentrasi aktivator KOH dapat dilihat pada Gambar 2. Setelah proses ekualisasi selesai, maka dilanjutkan dengan proses analisis fraktal. Pada analisis fraktal ini akan dicari nilai dimensi dan *intercept* dengan menggunakan metode transformasi

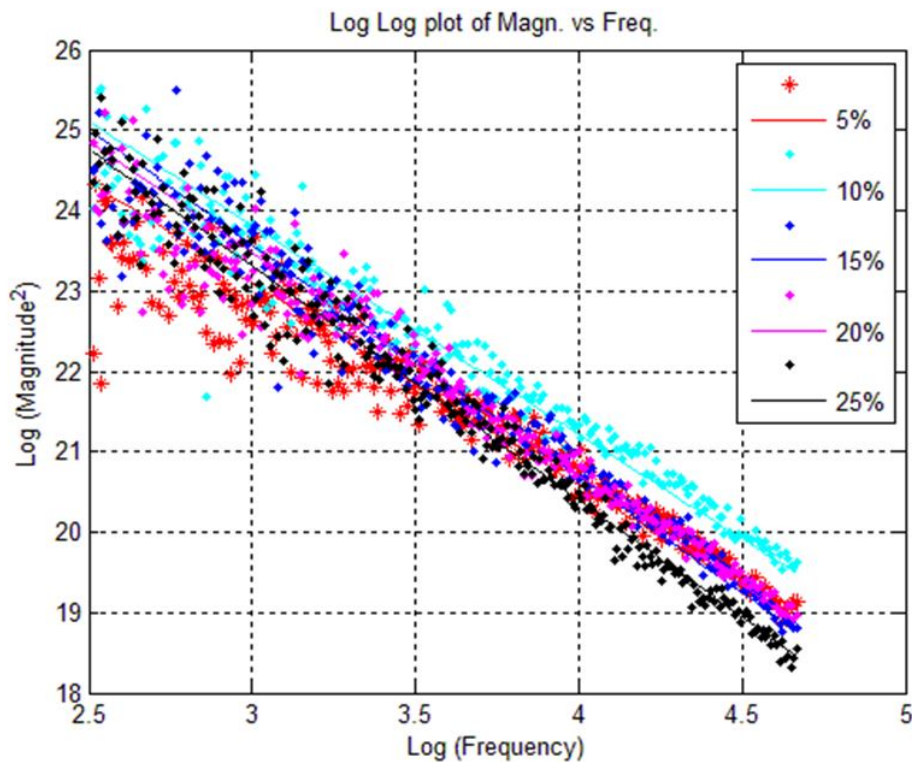
Fourier 2D. Pada metode ini, variasi nilai pixel citra dalam domain spasial ditransformasi ke dalam domain frekuensi. Transformasi ini untuk mendapatkan *Power Spectra Density* (PSD) dari data spasial ini. Jika suatu citra berkelakuan sebagai fraktal maka kurva log (magnitude²) vs. log(frekuensi) akan menghasilkan bentuk yang linear. Kurva ini akan memiliki kemiringan (*slope*) dan titik potong pada sumbu y (*intercept*). Dimensi fraktal citra dihitung dari nilai *slope* dengan persamaan (1)[15][16]:

$$D = \frac{6 + \beta}{2} \quad (1)$$

Dimana D adalah nilai dimensi fraktal dan β adalah nilai *slope*. Sedangkan nilai *intercept* dihitung dari titik potong kurva linear tersebut terhadap sumbu log (magnitude²).

3. HASIL DAN DISKUSI

Dengan menggunakan program analisis fraktal yang telah dibuat berdasarkan pada metode analisis Fourier 2D didapatkan hasil plot log (magnitude²) vs. log (frekuensi) yang berbentuk kurva linear. Kurva log log plot PSD untuk citra SEM karbon Aktif dengan berbagai variasi konsentrasi aktivator diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Log-Log Plot Magnitude² vs. Frekuensi

Dari Gambar 2 dapat dihitung nilai dimensi fraktal masing-masing sampel berdasarkan persamaan (1) dan dapat dihitung nilai Interceptnya berdasarkan titik potong kurva pada sumbu $\text{Log}(\text{magnitude}^2)$. Nilai dimensi fraktal dan intercept seluruh sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter fraktal seluruh sampel dengan variasi konsentrasi aktivator

	5%	10%	15%	20%	25%
Dimensi Farktal	1.74	1.70	1.56	1.61	1.54
Intercept	30.64	31.59	32.22	31.75	32.04

Berdasarkan Gambar 2 dan Tabel 1 dapat dilihat hubungan antara variasi konsentrasi aktivator, bentuk morfologi mikroskopis dan nilai dimensi serta nilai intercept. Semakin tinggi konsentrasi aktivator menyebabkan ukuran pori yang terbentuk semakin besar namun jumlahnya berkurang sehingga distribusinya lebih teratur. Efek lain yang terlihat adalah bentuk morfologi permukaan mikroskopisnya semakin halus. Semua efek ini tergambarkan dengan baik oleh perubahan nilai dimensi dan intercept dari citra SEM sampel. Perubahan ukuran pori tergambarkan oleh penurunan nilai dimensi fraktal dan perubahan bentuk morfologi permukaan mikroskopisnya tergambarkan oleh peningkatan nilai intercept.

Dimensi fraktal yang menurun menunjukkan bahwa kompleksitas struktur mikroskopis karbon aktif secara horizontal relatif menurun. Hal ini disebabkan jumlah distribusi pori yang menurun meskipun ukuran rata-rata pori membesar. Di sisi lain, Intercept yang meningkat menunjukkan bahwa kompleksitas struktur secara vertikal juga semakin berkurang. Hal initerlihat dari bentuk morfologi permukaan yang semakin halus.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode fraktal berbasis analisis Fourier dapat digunakan untuk mengkarakterisasi secara kuantitatif citra SEM dari karbon aktif dengan berbagai variasi konsentrasi aktivator. Penurunan kompleksitas secara horizontal dan vertikal tergambarkan oleh penurunan nilai dimensi fraktal dan peningkatan nilai *intercept*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DITJEN DIKTI yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Hibah Desentralisasi PEKERTIdengan No. kontrak 046/SP2H/PL/Dit.Litabmas/II/2015, sehingga penelitian ini dapat berlangsung.

6. PUSTAKA

- [1]. Pollard SJT, Fowler GD, Sollars CJ, Perry R. Low cost adsorbent for waste and wastewater treatment : A review. *Science of the Total Environment*.1992; 116(1-2):31-52
- [2]. Mohan D, Charless U, Pittman Jr. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water. *Journal of Hazardous Materials*. 2006; 137(2):762-811
- [3]. Knezev AM, Kooij DVD. Optimisation and significance of ATP analysysfor measuring active biomass in granular activated carbon filters used in water treatment. *Water Research*. 2004; 38(18):3971-3979
- [4]. Pujiarti R, Sutapa JPG. Mutu Arang Aktif dari Limbah Kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) sebagai Bahan Penjernih Air.
- [5]. Darmawan S, Pari G, Sofyan K. Optimasi Suhu dan Lama Aktivasi dengan Asam Phosfat dalam Produksi Arang Aktif Tempurung Kemiri . *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*.2009; 2(2).
- [6]. Subadra I, Setiaji B, Tahir I. Activated Carbon Production from Coconut Shell With $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ Activator as An Adsorbent in Virgin Coconut Oil Purification. *Prosiding Seminar Nasional Dies ke 50 UGM*. 2005.
- [7]. Apriani R, Faryuni ID, Wahyuni D. Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) terhadap kualitas Karbon Aktif Kulit Durian sebagai Adsorben Logam Fe pada Air Gambut. *Jurnal Prisma Fisika*. 2013; 1(2):82-86.
- [8]. Chen ZW, Zhang SY, Tan S, Hou J and Wu ZQ. Insinght into Fractal Feature Evolution From Au/Ge Thin Films After Annealing, *Applied Physics A*. 2004; 78(4):603-606.
- [9]. Johnson DW and Taylor PR : *Research Report of University Oregon*.
- [10]. Zahn W and ZöschA.Characterization of thin-film surfaces by fractal geometry, *Frisenius Journal of Analytical Chemistry*.1997;358:119-121.
- [11]. Wang R, Guo J and Zhou B. Preparation of Nickel Material With Fractal Structure, *Journal Material Science and Technology*.2003;19:3.

- [12]. Catalan G, Bea H, Fusil S, Bibes M, Paruch P, Barthelemy A and Scott JF. Fractal Dimension and Size Scaling of Domains in Thin Films of Multiferroic BiFeO₃. *Physical Review Letters*. 2008;100(2):027602-4.
- [13]. Liu H and Reinke P. Thin Film Growth on Graphite C₆₀: Coexistence of Spherical and Fractal-Dendritic Islands. *The Journal of Chemical Physics*. 2006;**124** 164707.
- [14]. Schusztter M, Dobos, Laszlo and Turmezei P. Image Processing in The Material Science or Fractal Behaviour on the GaAs/ Electrolyte Interface. *Symposium on Intelligent Systems and Informatics SISY Conference Proceeding*. 2008;1-3.
- [15]. Schindelin J., *et al.*, "Fiji: an open-source platform for biological-image analysis", *Nature Methods*, pp. 676-82, 2012.
- [16]. Russ, John C., *Image Processing Handbook The Fifth Edition*, Taylor & Francis Group, New York, 2007

APLIKASI METODE CELLULAR AUTOMATA UNTUK MENENTUKAN DISTRIBUSI TEMPERATUR KONDISI TUNAK

APPLICATION OF CELLULAR AUTOMATA METHOD TO DETERMINATION OF STEADY STATE TEMPERATURE DISTRIBUTION

Apriansyah^{1*}

^{1*}Program Studi Ilmu Kelautan FMIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak
Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak
email: apriansyahhakim@yahoo.com

ABSTRACT

Steady state temperature distribution on synthetic domain sized 1 feet x 2 feet has been determined by using cellular automata method. In synthetic area is just diffusion process are used for solving heat transfer equation with weighted rules in main and its cells. The weighted value of main cells are 0,10; 0,50 and 0,90. The patterns of temperature distribution used cellular automata method showed good agreement with analytical (analytical solution of Laplace's equation) and numerical method (numerical solution of Laplace's equation using *Accelerated Alternating Direction Implicit* (AADI)), where differences to analytical method are 6,58%, 6,49% and 5,68% for main cells weighted 0,10; 0,50 and 0,90. While the differences to numerical method are 6,06%; 5,97% and 5,17% for main cells weighted 0,10 ; 0,50 and 0,90.

Keywords: temperature, Laplace's equation, cellular automata, analytical, numerical

ABSTRAK

Distribusi suhu kondisi tunak di daerah sintetik berukuran 1 kaki x 2 kaki telah ditentukan dengan menggunakan menggunakan metode *cellular automata*. Dalam daerah sintetik hanya proses difusi yang digunakan untuk memecahkan persamaan pengatur sebaran panas menggunakan kaidah pembobotan dalam sel utama dan sel sekitarnya (sel tetangga). Nilai bobot sel utama yang digunakan adalah 0,10; 0,50 dan 0,90. Pola distribusi suhu menggunakan metode *cellular automata* menunjukkan kesesuaian baik dengan metode analitik (solusi penyelesaian analitis dari persamaan *Laplace*) dan numerik (hasil penyelesaian persamaan Laplace dengan *Accelerated Alternating Direction Implicit* (AADI)), dimana rerata perbedaannya terhadap metode analitik masing-masing 6,58%; 6,49% dan 5,68% untuk bobot sel utama 0,10; 0,50 dan 0,90. Sementara perbedaannya dengan metode numerik masing-masing adalah 6,06%; 5,97% dan 5,17% untuk bobot sel utama 0,10; 0,50 dan 0,90.

Kata Kunci: Suhu, persamaan Laplace, *cellular automata*, analitik, numerik

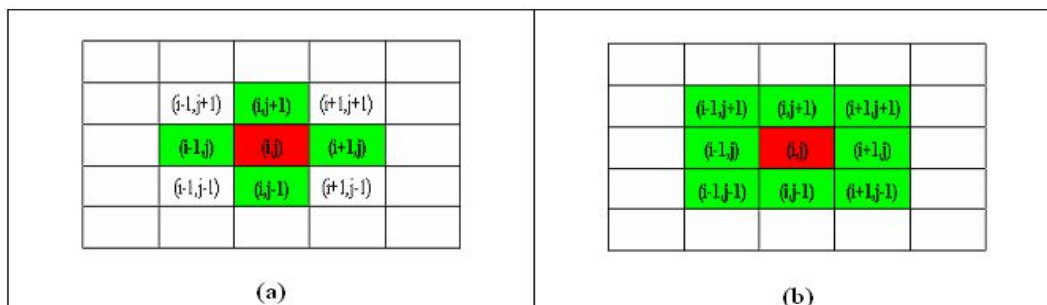
1. PENDAHULUAN

Pemodelan matematis telah lama digunakan sebagai alat untuk memahami fenomena-fenomena di alam. Contohnya seperti penyebaran panas atau distribusi suhu akibat proses difusi panas. Kajian mengenai difusi panas telah banyak dilakukan dengan menerapkan model konvensional yakni model analitik dan numerik yang memecahkan langsung persamaan pengatur sebaran panas akibat proses difusi.

Dalam penelitian ini dikembangkan Model *Cellular Automata* untuk menghitung distribusi suhu keadaan tunak menggunakan kaidah pembobotan dalam aturan interaksi antara sel utama dan sel tetangga yang termuat dalam kisi persegi sembilan sel (konsep *Moore*). Fungsi perubahan yang digunakan adalah fungsi perubahan yang dirumuskan oleh Vick[1]. Hasil perhitungan dengan metode *cellular automata* ini diuji dengan solusi penyelesaian analitis dari persamaan *Laplace* (persamaan sebaran panas). Kemudian dibandingkan dengan model numerik, hasil penyelesaian persamaan *Laplace* dua dimensi dengan *Accelerated Alternating Direction Implicit* (AADI).

2. METODE CELLULAR AUTOMATA (MCA)

Cellular automata adalah suatu metode matematika yang dapat menjelaskan interaksi antara ruang dan waktu dari suatu sistem (fisis, biologis, kimiawi, sosial, ekonomi dan lainnya). Cellular automata terdiri dari lima elemen dasar yaitu: kisi, keadaan, tetangga, variabel waktu dan fungsi perubahan.[2]. Kisi merupakan kumpulan sel dimana terjadi interaksi antar mereka. Sel merupakan satuan dasar ruang yang dapat berbentuk persegi, segitiga dan segienam, sedangkan parameter “keadaan” menyatakan sifat sel. Yang dimaksud dengan “tetangga” adalah sel – sel yang berada di sekitar sel yang sedang dihitung (sel utama). Dalam ruang dua dimensi terdapat dua jenis tetangga, yaitu *von Neumann* yang terdiri dari empat sel tetangga, yaitu masing – masing satu di kiri, kanan, atas, dan bawah sel utama (lihat Gambar 1.a), dan *Moore* dengandelapan sel tetangga, yaitu disekeliling sel utama seperti digambarkan pada Gambar 1.b.



Gambar 1. Struktur sel utama (warna merah) dan sel tetangga (warna hijau) menurut *von Neumann* (a); dan *Moore* (b).[2]

Variabel “waktu” menyatakan sifat sel pada waktu tertentu dan sifat tersebut selalu diperbaharui dalam setiap langkah waktu. Sedangkan “fungsi perubahan” adalah aturan interaksi antar sel yang menentukan keadaan sel dalam waktu selanjutnya.

Dalam tulisan ini fungsi perubahan dirumuskan oleh Vick [1],[3] seperti tertera dalam persamaan (1):

$$T^{n+1} = \Phi_{difusi}[T^n] \quad (1)$$

dengan $\Phi_{difusi}(T^n)$ merupakan fungsi perubahan suhu akibat difusi seperti ditulis di persamaan (1), dimana nilai suhu di sel utama pada waktu $n+1$ ditentukan olehkaidahpembobotanpadasuhu di sel utama dan 8 sel tetangganyapada waktu n seperti rancangan Moore (lihat Gambar 2).

$$\Phi_{difusi}[T^n] = k_{SU_{xy}}T_{SU_{xy}}^n + k_{ST_{x-1,y}}T_{ST_{x-1,y}}^n + k_{ST_{x+1,y}}T_{ST_{x+1,y}}^n + k_{ST_{x,y-1}}T_{ST_{x,y-1}}^n + k_{ST_{x,y+1}}T_{ST_{x,y+1}}^n + k_{ST_{x-1,y-1}}T_{ST_{x-1,y-1}}^n + k_{ST_{x-1,y+1}}T_{ST_{x-1,y+1}}^n + k_{ST_{x+1,y-1}}T_{ST_{x+1,y-1}}^n \quad (2)$$

dimana $k_{SU_{xy}}$ dan $T_{SU_{xy}}^n$ adalah koefisien bobot dan suhu pada waktu n di sel utama dititik (x,y) . Sedangkan $k_{ST_{x-1,y}}, k_{ST_{x+1,y}}, k_{ST_{x,y-1}}, k_{ST_{x,y+1}}, k_{ST_{x-1,y-1}}, k_{ST_{x-1,y+1}}, k_{ST_{x+1,y-1}}$

$k_{ST_{x+1,y+1}}$ dan $T_{ST_{x-1,y}}^n, T_{ST_{x+1,y}}^n, T_{ST_{x,y-1}}^n, T_{ST_{x,y+1}}^n, T_{ST_{x-1,y-1}}^n, T_{ST_{x-1,y+1}}^n, T_{ST_{x+1,y-1}}^n, T_{ST_{x+1,y+1}}^n$

adalah koefisien bobot dan suhu pada waktu n di 8 sel tetangga yang terletak dititik $(x-1,y), (x+1,y), (x,y-1), (x,y+1), (x-1,y+1), (x-1,y-1), (x+1,y-1)$ dan $(x+1,y+1)$.

Koefisien bobot di sel utama dan 8 sel tetangganya pada proses difusi diatas analog seperti pada persamaan (2), yang dirumuskan di persamaan (3).

$$k_{SU_{xy}} + k_{ST_{x-1,y}} + k_{ST_{x+1,y}} + k_{ST_{x,y-1}} + k_{ST_{x,y+1}} + k_{ST_{x-1,y-1}} + k_{ST_{x-1,y+1}} + k_{ST_{x+1,y-1}} + k_{ST_{x+1,y+1}} = 1 \quad (3)$$

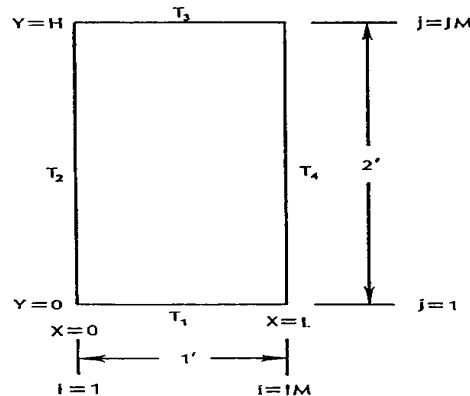
$k_{ST_{x-1,y+1}}$	$k_{ST_{x,y+1}}$	$k_{ST_{x+1,y+1}}$
$k_{ST_{x-1,y}}$	$k_{SU_{xy}}$	$k_{ST_{x+1,y}}$
$k_{ST_{x-1,y-1}}$	$k_{ST_{x,y-1}}$	$k_{ST_{x+1,y-1}}$

Gambar 2. Posisi koefisien pembobotan di sel utama ($k_{SU_{xy}}$) dan tetangganya pada proses difusi sesuai dengan aturan Moore [3]

3. DESKRIPSI DAN SKENARIO MODEL

3.1. DEKSRIPI MODEL

Deskripsi model yang digunakan sebagai kasus dalam tulisan ini diambil dari Hoffmann [4] sebagai berikut Lempeng segiempat berdimensi 1 ft x 2 ft dengan ukuran grid $\Delta x = \Delta y = 0.05$ ft dengan Suhu pada masing-masing batasnya ($T_1 = 100^\circ\text{R}$ dan $T_2 = T_3 = T_4 = 0^\circ\text{R}$) seperti yang ditunjukkan pada Gambar (1)



Gambar 3. Lempeng Persegi Dengan Distribusi Suhu Konstan pada masing-masing batas [4]

Persamaan yang digunakan untuk masalah model adalah persamaan konduksi panas dua dimensi keadaan tunak atau dikenal sebagai persamaan Laplace berikut:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (4)$$

dimana T adalah Suhu (R) dan x, y panjang sisi lempeng (ft).

Nilai dugaan awal untuk model ini adalah $T(x,y)=0$ pada semua titik dan syarat batas pada tiap sisi lempeng adalah $T(x,0)=T_1$, $T(0,y)=T_2$, $T(x,H)=T_3$ dan $T(L,y)=T_4$. Sementara Ukuran grid yang digunakan konstan yakni $\Delta x = \Delta y = 0,05$.

3.2. SKENARIO MODEL

Skenario model disusun berdasarkan prosentase bobot dalam sel utama dan tetangga dalam konsep *moore* pada Gambar 2. Dalam model ini diterapkan tiga skenario nilai bobot pada sel utama yakni adalah 0,10; 0,50 dan 0,90. (lihat Tabel 1)

Tabel 1. Skenario Model

Skenario	Bobot di SelUtama	Total Bobot di SelTetangga
1	0,10	0,90
2	0,50	0,50
3	0,90	0,10

4. MODEL ANALITIK (MA) DAN NUMERIK (MN)

Penyelesaian analitik persamaan (4)[2] dengan nilai awal dan syarat batas sesuai dengan deskripsi model yang selanjutnyadi sebut sebagai Model Analitik (MA) dirumuskan di persamaan (5) berikut:

$$T = T_1 \left[2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n \sin\left(\frac{y(L-H-x)}{L}\right)}{n\pi \sinh\left(\frac{n\pi H}{L}\right)} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \right] \quad (5)$$

dengan T_1 adalah suhu di lempeng batas bawah, H dan L dimensi lempeng, $\pi = 3,14$, sedangkan x dan y adalah koordinat ruang sel yang dihitung.

Diskritisasi numerik (Model Numerik/ MN) dalam penyelesaian persamaan (4) menggunakan metode *Accelerated Alternating Direction Implicit* (AADI) [2]. Pengaturan perhitungan AADI dipakai dalam dua tahap, tahap pertama sapuan terhadap sumbu x dan kedua sapuan kearah sumbu y .

Langkah perhitungan tahap 1 adalah:

$$\omega T_{i-1,j}^{k+\frac{1}{2}} - 2(1 + \beta^2) T_{i,j}^{k+\frac{1}{2}} + \omega T_{i+1,j}^{k+\frac{1}{2}} = -(1 - \omega) [2(1 + \beta^2) T_{i,j}^k - \beta^2 (T_{i,j+1}^k + T_{i,j-1}^k)] \quad (6)$$

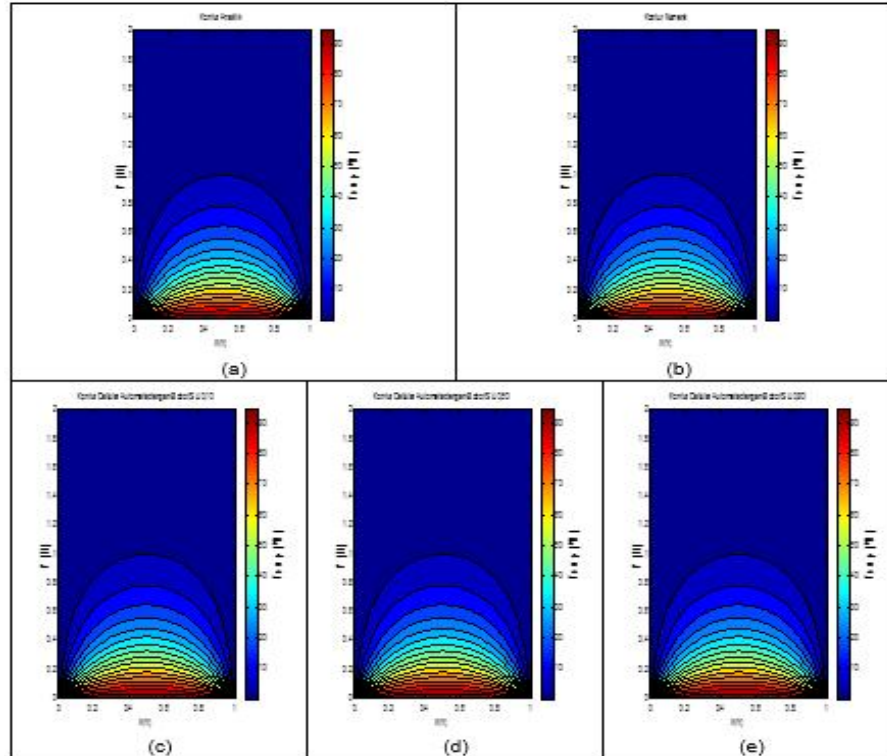
dan tahap 2:

$$\omega \beta^2 T_{i,j-1}^{k+1} - 2(1 + \beta^2) T_{i,j}^{k+1} + \omega \beta^2 T_{i,j+1}^{k+1} = -(1 - \omega) \left[2(1 + \beta^2) T_{i,j}^{k+\frac{1}{2}} \right] - \omega (T_{i+1,j}^{k+\frac{1}{2}} + T_{i-1,j}^{k+\frac{1}{2}}) \quad (7)$$

dimana $T_{i,j}^{k+\frac{1}{2}}$ dan $T_{i,j}^{k+1}$ adalah suhu dititik (i,j) pada langkah ke- $k + \frac{1}{2}$ dan $k + 1$, $T_{i,j+1}^k$ suhu dititik $(i,j+1)$ pada langkah k , $\beta = \Delta x / \Delta y$ dan ω adalah parameter relaksasi (dipilih =1,27)

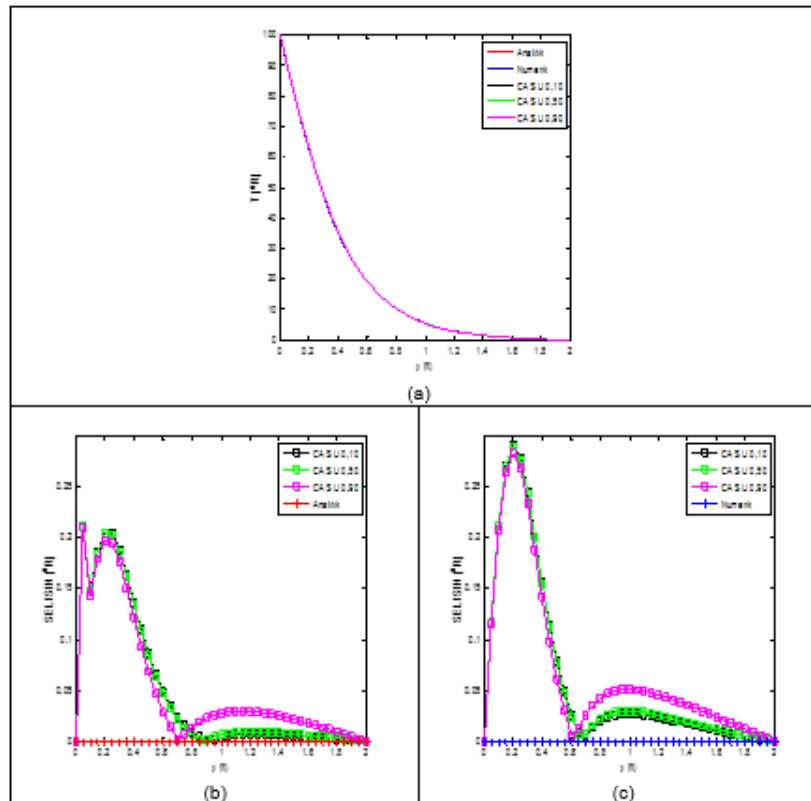
5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas mengenai pengujian hasil pola distribusi suhu menggunakan metode *cellular automata* terhadap metode analitik dan perbandingannya dengan metode numerik. Perhitungan distribusi suhu ini dengan asumsi kondisi tunak (suhu sudah tidak bergantung terhadap waktu) menggunakan syarat batas tipe *dirichlet* dimana nilai dugaan awal dan syarat batas telah ditentukan untuk masing-masing sisi lempeng. Perhitungan suhu dengan metode *cellular automata* di dalam lempeng dilakukan dengan menerapkan beberapa skenario. Skenario model disusun berdasarkan prinsip pembobotan di dalam sel utama dan tetangganya dengan konsep delapan tetangga (*Moore Neighbourhoods*). Nilai bobot sel utama (SU) yang digunakan adalah 0,10; 0,50 dan 0,90. Sementara nilai bobot pada masing-masing sel tetangganya dihitung berdasarkan persamaan $(1 - \text{nilai bobot sel utama})$ dibagi 8 sel tetangga. Nilai bobot di sel utama dan tetangga ini untuk setiap skenario selanjutnya diterapkan pada persamaan (2) bersamaan dengan penerapan nilai dugaan dan syarat batas masalah model untuk menghitung distribusi suhu dalam lempeng persegi yang dijadikan masalah model. Sedangkan untuk distribusi suhu dalam model analitik didapat dari penyelesaian analitik dari persamaan (4) yang menghasilkan persamaan(5). Sementara model numerik didapat dengan mendiskritisasi persamaan (4) dengan metode AADI seperti yang dijelaskan pada bagian (4).



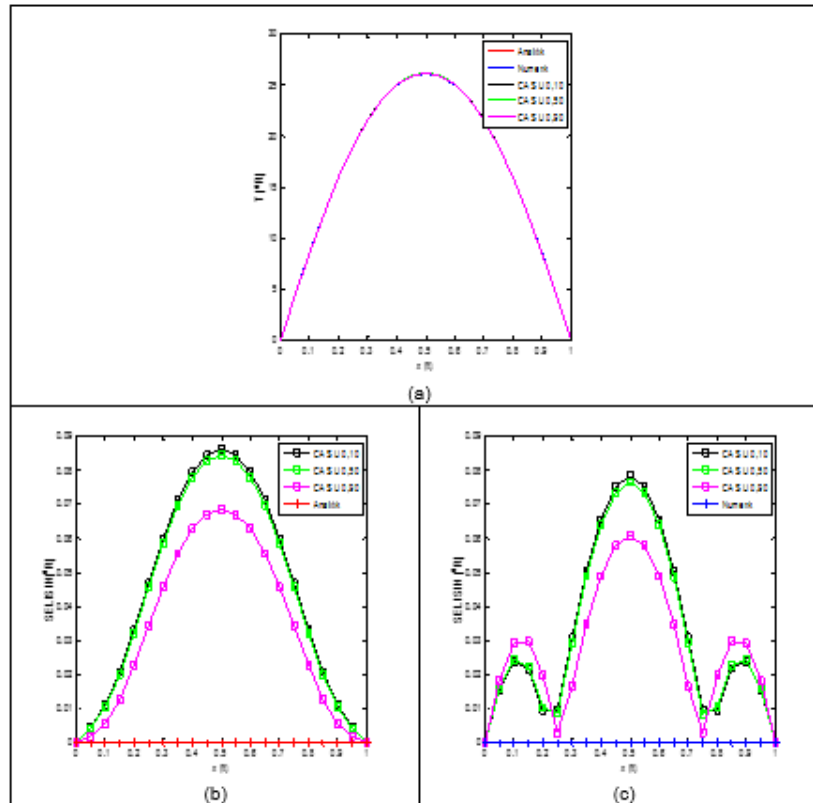
Gambar 4. Kontur Model Analitik (a), Kontur Model Numerik (b), dan Kontur Model *Cellular Automata* dengan $SU = 0,10$ (c); $0,50$ (d) ; $0,90$ (e)

Gambar 4 menunjukkan pola distribusi suhu untuk ketiga metode yang digunakan yakni metode analitik (a), metode numerik (b) dan metode *cellular automata* (c), (d) dan (e). Dalam Gambar 4 ini terlihat bahwa tiga scenario nilai bobot sel utama model cellular automata yang digunakan menghasilkan pola distribusi suhu yang sesuai dengan model analitik dan numerik yang digunakan sebagai model penguji dan pembanding. Pola sebaran kontur isothermal yang dihasilkan ketiga model ini memperlihatkan suhu merambat dari lempeng yang memiliki suhu tinggi ke arah lempeng yang bersuhu lebih rendah. Perbedaan nilai suhu hasil model *cellular automata* dengan nilai bobot sel utama $0,10$ terhadap model analitik adalah $6,58\%$; $6,49\%$ untuk bobot $0,50$ dan $5,68\%$ untuk bobot $0,90$. Sementara perbedaannya dengan metode numeric adalah $6,06\%$ ($0,10$); $5,97\%$ ($0,50$) dan $5,17\%$ ($0,90$).



Gambar 5. Variasi Longitudinal, sumbu y antara MA, MN dan MCA (a); selisih nilai suhu antara MCA dengan MA (b) dan MN (c) dalam arah sumbu y

Gambar 5a menunjukkan variasi suhu dalam arah sumbu y atau longitudinal. Hasil MCA memiliki variasi searah sumbu y yang sesuai dengan MA dan MN untuk ketiga skenario yang diterapkan. Perbedaan nilai suhu antara MCA dengan MA adalah sebesar $0,2098^\circ R$ untuk daerah yang dekat dengan sumber panas. Sementara daerah yang jauh dari sumber panas selisih nya hanya $0,0023^\circ R$. Selisih nilai ini didapat dari hasil dari penggunaan nilai bobot sel utama 0,90. Sedangkan selisih nilai untuk bobot sel utama 0,10 dan 0,50 berturut-turut adalah $0,2118^\circ R$ dan $0,2116^\circ R$ untuk daerah yang dekat dengan sumber panas serta $0,0006^\circ R$ dan $0,0008^\circ R$ untuk daerah yang jauh dengan sumber panas seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5b. Sementara perbedaan nilai suhu antara MCA dengan MN adalah sebesar $0,1152^\circ R$ untuk daerah dekat sumber panas dan sebesar $0,0030^\circ R$ untuk daerah yang jauh dari sumber panas. Sedangkan selisih nilai untuk sel utama 0,10 dan 0,50 berturut-turut adalah sebesar $0,1172^\circ R$ dan $0,1170^\circ R$ (daerah dekat dari sumber panas) serta $0,0012^\circ R$ dan $0,0014^\circ R$ (daerah jauh dari sumber panas). (lihat Gambar 5c)



Gambar 6. Variasi lateral, sumbu x antara MA, MN dan MCA (a); selisih nilai suhu antara MCA dengan MA (b) dan MN (c) dalam arah sumbu x

Sedangkan Gambar 6a memperlihatkan variasi suhu ke arah lateral (arah sumbu x). Sebaran panas hasil MCA untuk ketiga skenario yang diterapkan memiliki luasan yang relative sama dengan dengan hasil MA dan MN. Gambar 6b menunjukkan selisih nilai suhu antara hasil MCA dan MA. Selisih terbesar nilai suhu untuk penerapan nilai bobot 0,90 pada sel utama adalah sebesar $0,0685^{\circ}\text{R}$. Selisih terbesar nilai suhu untuk bobot 0,10 dan 0,50 masing-masing adalah $0,0861^{\circ}\text{R}$ dan $0,0844^{\circ}\text{R}$. Sementara selisih terbesar nilai suhu antara hasil MCA dan MN yang terlihat pada Gambar 6c untuk penggunaan bobot sel utama 0,90 adalah $0,0607^{\circ}\text{R}$. Sedangkan selisih terbesar nilai suhu untuk bobot 0,10 dan 0,50 masing-masing adalah $0,0783^{\circ}\text{R}$ dan $0,0766^{\circ}\text{R}$. Bervariasinya nilai selisih nilai suhu MCA terhadap MA dan MN ini dikarenakan di dalam MCA masih mengandung error difusi fisis dan difusi numerik.

Dari hasil pengujian terhadap model analitik dan perbandingan terhadap model numerik dapat dikatakan bahwa peningkatan prosentase bobot sel utama yang digunakan akan mengakibatkan kecilnya perbedaan suhu terhadap model analitik dengan numerik.

6. KESIMPULAN

Pola distribusi suhu menggunakan metode *cellular automata* menunjukkan kesesuaian baik dengan metode analitik dan numeric dimana rerata perbedaannya terhadap metode analitik masing-masing adalah 6,58%, 6,49% dan 5,68% untuk bobot sel utama 0,10; 0,50 dan 0,90. Sementara perbedaannya dengan metode numerik masing-masing adalah 6,06%; 5,97% dan 5,17% untuk bobot sel utama 0,10; 0,50 dan 0,90. Dari hasil pengujian terhadap model analitik dan perbandingan terhadap model numeric dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai bobot di sel utama semakin kecil perbedaan suhu antara model *cellular automata* dengan model analitik dan numeric.

7. PUSTAKA

- [1] Vick B. Multi-physics Modeling using Cellular Automata. Complex System Publication, Inc. 2007. 65-78 p
- [2] Srigutomo W. Kapita Selekt Fisika Sistem Kompleks. ITB Press.2002.
- [3] Apriansyah, Mihardja DK. Penyebaran Penyebaran Panas dalam Fluida Newtonian Tak Mampu Mampat Menggunakan Cellular Automata, *Jurnal Matematika dan Sains*, 2013 Apr 30; (18): 71-80 p
- [4] Hoffmann KA, Chiang ST. Computational Fluid Dynamics for Engineers. 4th ed. Engineering Education System. 1989. 165-172 p

PENENTUAN DENSITAS CITRA X RAY TULANG TANGAN DENGAN METODE FRAKTAL BERBASIS ANALISIS FOURIER

(DETERMINATION OF HAND BONE IMAGE DENSITY USING FRACTAL METHOD BASED ON FOURIER ANALYSIS)

Nurhasanah^{1*}, Joko Sampurno¹

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak¹
Email : nurhasanah@physics.untan.ac.id

ABSTRACT

This research was applied the fractal method to determine density of x-ray hand bone image. This Determination is made to assist the diagnosis of osteoporosis through hand bone image. Density of the image is determined by using the method of fractal based 2D Fourier transform. The results show that the 2D Fourier transformation can be applied to determine the density of the image and effectively used to help diagnose osteoporosis.

Keywords: X-ray image, fractal analysis, density

ABSTRAK

Penelitian ini telah mengaplikasikan metode fraktal untuk menentukan densitas citra X ray tulang tangan. Penentuan ini dilakukan untuk membantu diagnosa osteoporosis melalui citra tulang tangan. Dimensi dan densitas citra ini ditentukan dengan menggunakan metode fraktal berdasarkan transformasi Fourier 2D. Hasilnya memperlihatkan bahwa transformasi Fourier 2D dapat diaplikasikan untuk menentukan densitas citra X ray tulang tangan dan efektif digunakan dalam membantu diagnosa osteoporosis.

Katakunci: Citra X ray, analisis fraktal, densitas.

1. PENDAHULUAN

Pencitraan medis merupakan teknik atau proses yang digunakan untuk membuat gambar tubuh manusia (organ dalam tubuh) untuk tujuan klinis. Pengolahan citra dilakukan untuk mendapatkan citra yang memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan citra semula. Proses pengolahan citra pada proses radioterapi sangatlah penting guna diagnosis kondisi penyakit tanpa harus melakukan pembedahan dan juga langkah perencanaan pengobatan (*treatment*) selanjutnya. Citra X ray tulang merupakan bentuk citra medis yang biasa digunakan untuk menentukan kelainan struktural dan disfungsi tulang manusia. Kelainan struktur tulang yang merupakan salah satu ciri osteoporosis dapat dideteksi melalui pengolahan citra X ray tulang dengan menentukan tingkat kekasaran dan tingkat kepadatan citra. Osteoporosis atau keropos tulang merupakan penyakit yang ditandai dengan berkurangnya massa tulang yang disertai mikro arsitektur tulang dan penurunan kualitas jaringan tulang yang menimbulkan kerapuhan tulang.

Metode analisa fraktal adalah salah satu metode berbasis pola yang telah banyak dimanfaatkan dalam bidang kesehatan. Penggunaan ini telah dimanfaatkan untuk menganalisa otak manusia [1], menganalisa kanker [2], menganalisa data radiografik tekstur tulang *trabecular* [3] dan menganalisa dinamika detak jantung anak muda yang terkena sindrom metabolik [4] serta menganalisa kanker payudara [5].

Tingkat kekerasan dan tingkat kepadatan tulang merupakan tolok ukur penting dalam penentuan osteoporosis. Pada pengolahan citra, densitas film radiografi menunjukkan tingkat kehitaman citra pada film. Film dengan tingkat kehitaman yang tinggi memiliki densitas yang tinggi pula. Vázquez, dkk. (2007) mempresentasikan secara detail analisis kekasaran permukaan melalui 2 parameter [6]. Dua parameter tersebut meliputi dimensi fraktal dan panjang penampang lintang (*crossover length*). Nilai *intercept* mewakili nilai kontras densitas antara satu titik dengan titik lainnya yang terdistribusi di seluruh citra dan citra (abnormal) memiliki variasi nilai densitas yang lebih besar dibanding citra (normal) [7].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Program

Desain program pengolahan citra di sini dilakukan melalui 2 tahap, yaitu tahap *pre-processing* dan dilanjutkan dengan analisis citra.

a. *Pre-Processing*

Proses analisis citra dilakukan setelah dilakukan *pre-processing* untuk meningkatkan kualitas tampilan citra agar memiliki format yang lebih baik sehingga citra tersebut menjadi lebih mudah diolah lebih lanjut. *Pre-processing* di sini menggunakan *cropping*, proses *cropping* atau pemotongan gambar dilakukan untuk memotong atau mengambil bagian gambar sesuai dengan area tertentu yang diperlukan.

b. Analisis Citra

Analisis yang dilakukan meliputi penentuan *intercept* citra. Tahapan-tahapan proses pada metode ini, yaitu variasi nilai pixel citra dalam domain spasial ditransformasi ke dalam domain frekuensi. Transformasi ini untuk mendapatkan *Power Spectra Density* (PSD) dari data spasial ini. Jika suatu citra berkelakuan sebagai fraktal maka kurva $\log(\text{magnitude}^2)$ vs. $\log(\text{frekuensi})$ akan menghasilkan bentuk yang linear. Kurva ini akan memiliki kemiringan (*slope*) dan titik potong pada sumbu y (*intercept*). Dimensi fraktal citra dihitung dari nilai *slope* dengan persamaan [9]:

$$D = \frac{6 + \beta}{2} \quad (2)$$

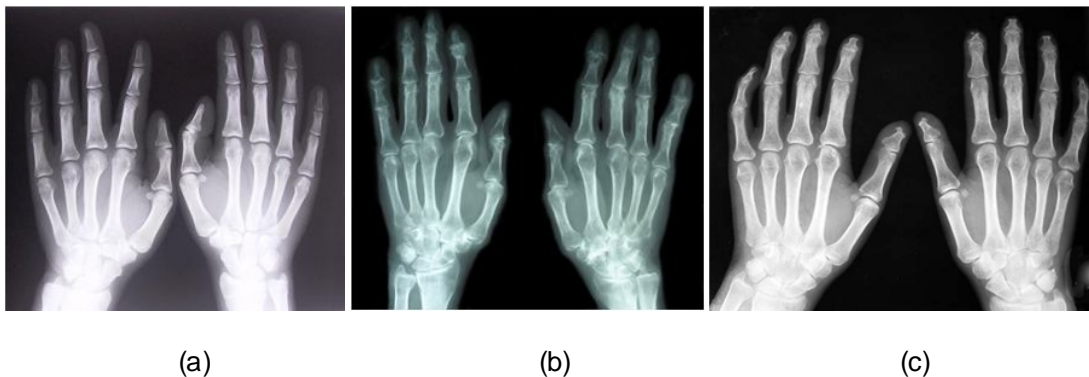
Dimana D adalah nilai dimensi fraktal dan β adalah nilai *slope*. Sedangkan nilai *intercept* dihitung dari titik potong kurva linear tersebut terhadap sumbu log (magnitude²).

2.2 Uji Coba Program

Pengujian program dilakukan dengan meng-*input*-kan file citra X ray tulang tangan ke dalam program yang telah dibuat. Ini dilakukan terhadap program *pre-processing* maupun program analisis citra.

Adapun citra yang di-*input*-kan yaitu citra X ray sepasang tulang tangan dengan ukuran sebagai berikut,

1. Citra ke-1, citra X ray tulang tangan dengan ukuran 600x539 JPEG.
2. Citra ke-2, citra X ray tulang tangan dengan ukuran 600x518 JPEG.
3. Citra ke-3, citra X ray tulang tangan dengan ukuran 630x497 JPEG

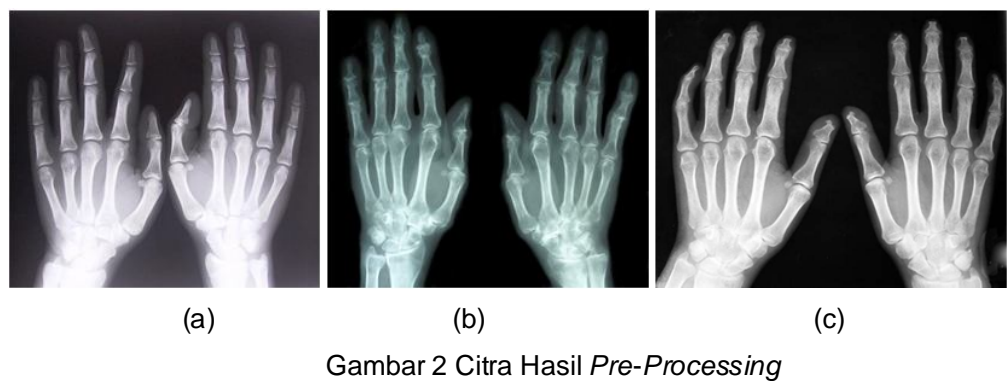


Gambar 1 Citra X ray Tulang tangan

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian *Pre-Processing*

Proses *Pre-Processing* dilakukan yaitu *cropping* dan *thresholding*. Proses ini bertujuan untuk memperbaiki citra agar lebih mudah diolah lebih lanjut. Hasil pengolahan pada proses ini dapat dilihat pada gambar 2.



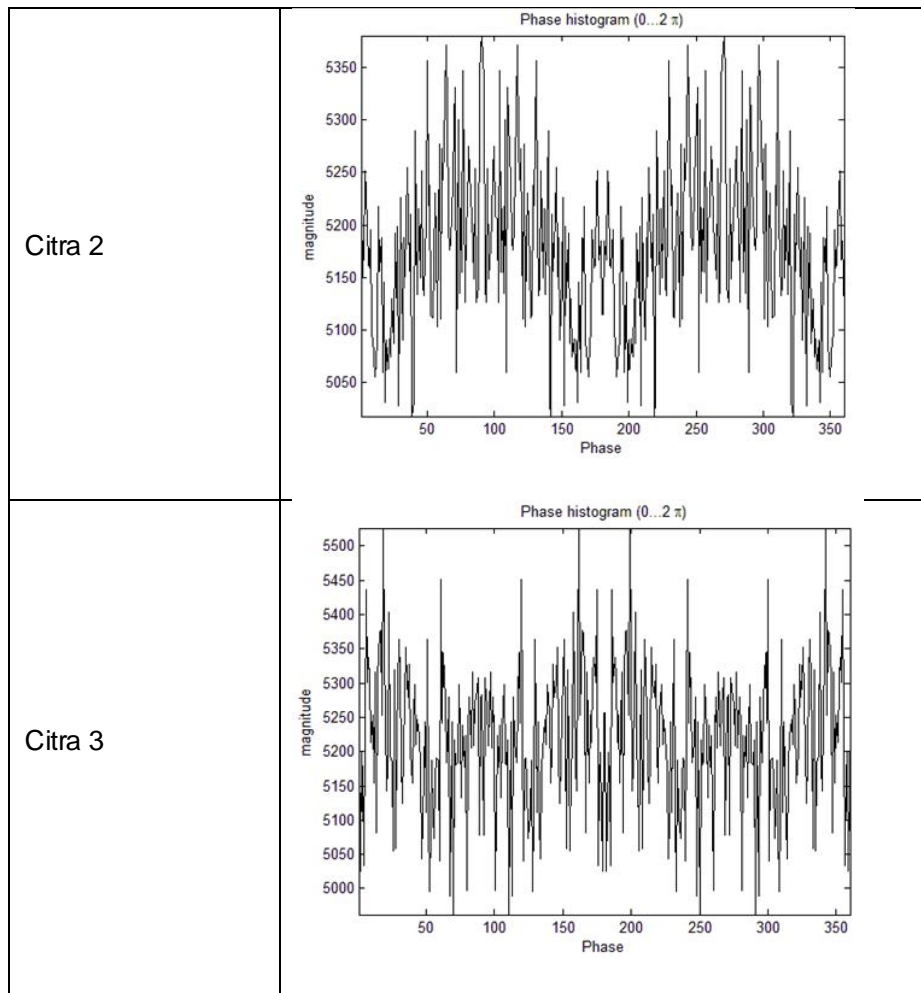
3.2 Pengujian Program Analisis Citra

Proses analisis citra (penentuan dimensi dan *intercept*) dilakukan melalui beberapa tahap :

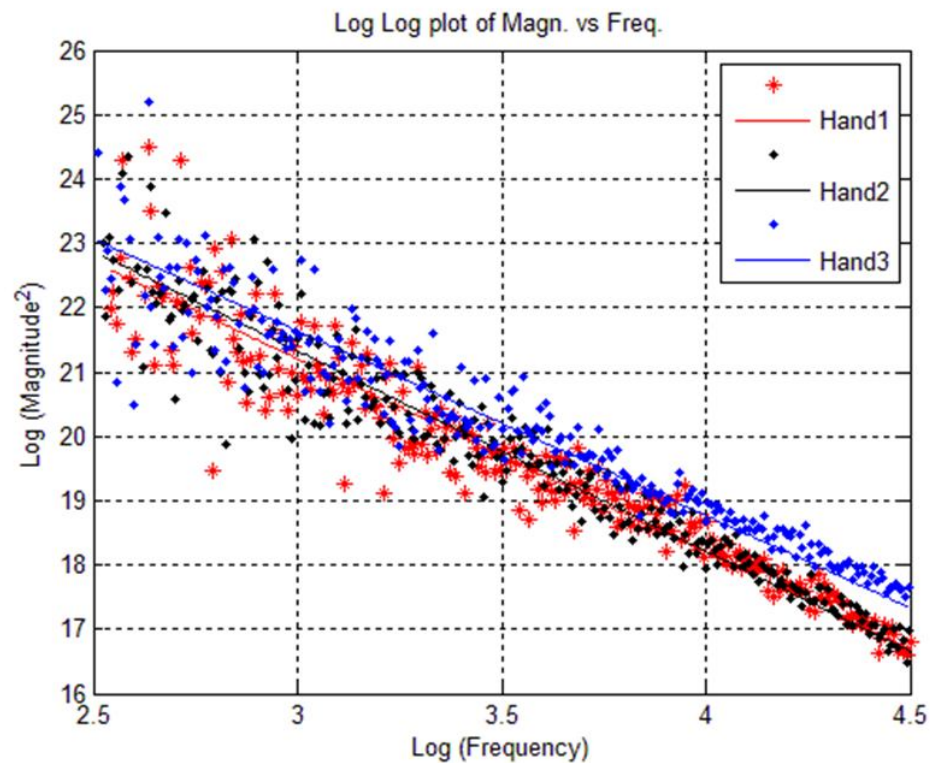
1. Dalam analisis Fourier 2 Dimensi, transformasi terdiri dari data magnitude dan data fase yang mencakup array dua dimensi di mana setiap titik mewakili frekuensi dan orientasi gambar asli. Transformasi ini untuk mendapatkan *Power Spectra Density* (PSD) dari data spasial. Dilanjutkan dengan memberi nilai untuk fasa yang bernilai dan membuat histogram nilai fasa (tabel 1).

Plot histogram nilai fase membentuk random secara seragam, berarti data ini membentuk fraktal dan sebaliknya apabila nilai fase tidak random maka bukan fraktal.

Tabel 1. Fasa Histogram Citra Fasa Histogram	
Citra	
Citra 1	<p>Phase histogram (0...2 π)</p>



2. Membuat kurva $\log(\text{magnitude}^2)$ vs. $\log(\text{frekuensi})$. Jika suatu citra berkelakuan sebagai fraktal maka kurva $\log(\text{magnitude}^2)$ vs. $\log(\text{frekuensi})$ akan menghasilkan bentuk yang linear (gambar 3).



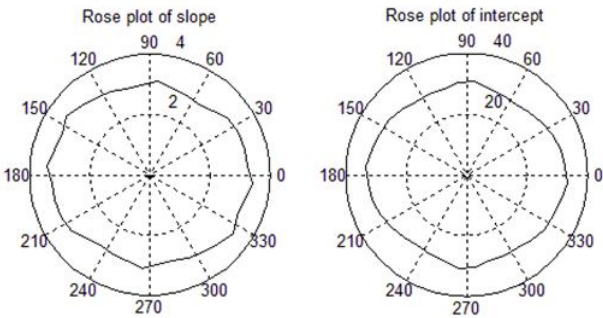
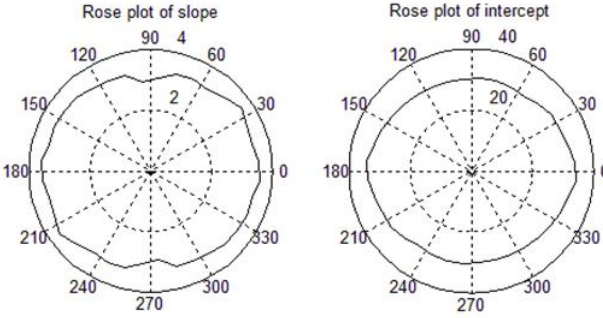
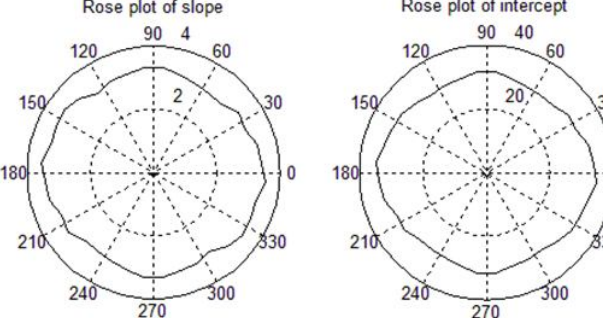
Gambar 3. Kurva log (magnitude²) vs. log (frekuensi) untuk 3 citra

Menentukan nilai kemiringan (*slope*) dari plot kurva log (magnitude²) vs. log (frekuensi) dengan menggunakan regresi linier. Untuk suatu permukaan (2D), nilai dimensi D dihubungkan dengan nilai *slope* β dengan persamaan (2). Hasilnya rata-rata dimensi citra dapat dilihat pada tabel 2.

Jika kurva log (magnitude²) vs. log (frekuensi) diperpanjang akan memotong sumbu y, dan nilai dari titik perpotongan tersebut disebut *intercept*, yang menunjukkan nilai kontras densitas sebuah citra. Nilai rata-rata *intercept* ini dapat dilihat pada tabel 2.

3. Slope kurva log (magnitude²) vs. log (frekuensi) dapat dievaluasi sebagai fungsi arah dengan menggunakan semua titik di dalam irisan *a pie-shaped* dalam mentransformasi citra. Melakukan least-squares yang cocok untuk titik-titik data yang menyediakan ukuran langsung dari dimensi fraktal sebagai fungsi arah (Russ 1990b dalam Russ 1994). Meng-plot-kan nilai-nilai ini sebagai *rose plot* vs. orientasi sudut yang memperlihatkan derajat dan arah. Hasil plot data ini dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. *Rose Plot* dan Nilai Rata-rata *Slope* dan *Intercept*

Citra	<i>Rose plot</i> untuk <i>slope</i> dan <i>intercept</i>	Dimensi Rata-rata	<i>Intercept</i> Rata-rata
Citra 1		1.4963	30.2175
Citra 2		1.4442	30.655
Citra 3		1.5659	30.2369

Transformasi Fourier 2 dimensi juga mampu membedakan citra yang isotropic dan anisotropic. Citra 2D isotropic memiliki rose plot yang berbentuk melingkar sedangkan citra anisotropic memiliki variasi pola yang tidak membentuk lingkaran.

3.3 Kesimpulan

Penggunaan metode fraktal berbasis analisis Fourier 2D dalam menentukan dimensi dan intercept citra cukup efektif karena perhitungan pada metode ini dipahami dengan baik, programnya mudah dan tidak terlalu lama. Seluruh dasar metodenya merupakan fungsi ortogonal dan independen, memungkinkan menghitung transformasi setiap baris piksel dan kemudian setiap kolomnya untuk menghasilkan transformasi yang lengkap.

4 UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh hibah penelitian desentralisasi melalui hibah bersaing tahun 2015. Penulis sangat berterima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan Universitas Tanjungpura.

5 PUSTAKA

- [1]. J. Gardiner, R. Overall, dan J. Marc. *The Fractal Nature of the Brain: EEG Data Suggests That the Brain Functions as a "Quantum Computer" in 5-8 Dimensions*. Neuro Quantology , June 2010 , Vol 8 , Issue 2 , pp 137-141.
- [2]. J. W. Baish, dan R. K. Jain. *Fractals And Cancer* . Cancer Research 60, 2000. Pp. 3683–3688
- [3]. C. L. Benhamou, S. Poupon, E. Lespessailles, S. Loiseau, R. Jennane, V. Siroux, W. Ohley dan L. Pothuau. Fractal Analysis Of Radiographic Trabecular Bone Texture And Bone Mineral Density: Two Complementary Parameters Related To Osteoporotic Fractures. Journal Of Bone And Mineral Research. 2001. Vol. 16, No. 4.
- [4]. A. Diosdado, Muñoz, A. Martínez, Alonso, L. Hernández, Ramírez, dan H. G. Martínez. Fractal Dynamics Of Heartbeat Time Series Of Young Persons With Metabolic Syndrome. AIP Conf. Proc. 1494, . 2012, 58
- [5]. Nurhasanah, J. Sampurno, I. D. Faryuni and O. Ivansyah. Automated Analysis of Image Mammogram for Breast Cancer Diagnosis. *The 4th International Conference On Theoretical And Applied Physics (ICTAP-2014) 16-17 October 2014, Denpasar-Bali, Indonesia*
- [6]. E. V. Vazquez, J. G. V. Miranda, dan A. P. Gonzalez, 2007, Describing soil surface microrelief by crossover length and fractal dimension, Nonlin. Processes Geophys., 14, pp. 223–235.
- [7]. J. Sampurno, Nurhasanah, dan I. D. Faryuni. Analisis Densitas Citra Mammogram Kanker Payudara Dengan Metode Fraktal. Seminar Ilmiah Insentif Riset SINas, Kementerian Riset dan Teknologi. Bandung, September 2014.

FAKTOR IMBUHAN UNTUK KEBERLANJUTAN AKUIFER BEBAS

AFFIX FACTOR FOR THE SUSTAINABILITY OF THE UNCONFINED AQUIFER

Juandi Muhammad

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru
Kampus Binawidya. Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Panam Pekanbaru 28293
Email : juandi_m@rocketmail.com.

ABSTRACT

sustainability analysis of the unconfined aquifer Pekanbaru city must consider factors affixes because it can provide repair the unconfined aquifer in a safe condition. 5% affixes factors provide improvements of the unconfined aquifer for 2013, 2014 and 2015 in a safe condition the percentage deviation respectively were 40.57% and 11.02%. -29.62%. Factors affixes 8% improved condition of the unconfined aquifer 2016 from condition troubled be safe (-29.41%), 2017 from critical condition be troubled (-48.97%) and 2018 from a damaged condition become critical (-63.76%).

Keywords: sustainability, unconfined aquifer, affixes.

ABSTRAK

Analisa keberlanjutan akuifer bebas Kota Pekanbaru harus mempertimbangkan faktor imbuhan karena dapat memberikan perbaikan akuifer bebas dalam kondisi aman. Faktor imbuhan 5 % memberikan perbaikan akuifer bebas untuk tahun 2013, 2014 dan 2015 dalam kondisi aman dengan persentase penyimpangan berturut - turut 40,57% dan 11,02%. -29,62%. Faktor imbuhan 8% memperbaiki kondisi akuifer bebas tahun 2016 dari kondisi rawan menjadi aman (-29,41%), tahun 2017 dari kondisi kritis menjadi rawan (-48,97%) dan tahun 2018 dari kondisi rusak menjadi kritis (-63,76%).

Kata Kunci :Keberlanjutan, akuifer bebas, imbuhan.

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan penyelidikan yang dilakukan, bahwa telah berlaku perubahan guna lahan cukup berarti di Kota Pekanbaru. Kerusakan Lingkungan disebabkan oleh cara pandang terhadap lingkungan [1].

Daerah resapan (*Recharge*) disebut sebagai daerah dimana arah aliran air tanah menjauhi permukaan. Perhitungan Resapan ini perlu mempertimbangkan sifat fisik batuan/tanah dan lokasi yang ada. Besarnya resapan ini dihitung dengan menggunakan persamaan [2].

$$R = P \times A \times C \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- A adalah luas dari jenis tanah/batuan yang dihitung (m^2)
- C adalah koefisien resapan (%)
- P adalah presipitasi (mm/hari)
- R adalah resapan ($m^3 / tahun$)

Penyelidikan air bawah tanah telah banyak dilakukan peneliti seperti: Penelitian keberadaan air tanah dan keluaran air daerah karst di Kabupaten Sumba Barat berdasarkan interpretasi geolistrik [3]. Penyelidikan kondisi air tanah di kota Merauke Propinsi Papua tentang pemanfaatan air tanah sebagai sumber air baku PAM [4]. Teknik matematika dapat digunakan untuk identifikasi potensi kontaminasi air bawah tanah [5]. Aplikasi metode geolistrik untuk menyelidiki sistim air bawah permukaan yang telah mengalami pencemaran [6]. Analisa pengaruh parameter akuifer transmisivitas, terhadap keberlanjutan akuifer bebas [7]. Analisa konduktivitas hidrolik pada sistim akuifer bebas [8]. Penyelidikan *head hidrolik* sistim akuifer bebas untuk aliran *steady state* [9]. Model matematis untuk memprediksi deformasi tekanan pada cekungan [10]. Kajian faktor-faktor lingkungan yang berhubungan dengan limbah untuk melihat kaitannya terhadap kualitas air tanah selama 10 tahun kedepan [11]. Ahli hidrologi harus mengidentifikasi kebijakan pemerintah yang berdampak pada lingkungan dan menunjukkan perlunya suatu kebijakan dalam hal-hal prosedur pengelolaan air bawah tanah yang berkelanjutan [12]. Penelitian bersifat teoritis yang dilakukan menetapkan bahwa sikap lingkungan sebagai predictor kuat dari perilaku ekologis yang mengkaji masalah lingkungan global, polusi dan pertumbuhan penduduk tantangan cara orang hidup, psikologi mencoba mengembangkan masyarakat manusia agar kurang eksploitatif dalam penggunaan sumber daya alam bumi [13]. Penelitian yang dilakukan telah melihat ,bahwa dampak eksploitasi air tanah terhadap keberlanjutan air bawah tanah [14].

Berdasarkan kajian-kajian yang telah ada, belum menunjukkan pengaruh faktor imbuhan dan etika serta kebijakan untuk keberlanjutan akuifer bebas di Kota Pekanbaru. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh faktor imbuhan untuk keberlanjutan akuifer bebas di Kota Pekanbaru.

2. METODE PENELITIAN

a. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah berada di daerah administrative kota Pekanbaru. Secara geografis lokasi penelitian berada pada $100^{\circ} 14' - 101^{\circ} 34'$ Bujur Timur dan $0^{\circ} 25' - 0^{\circ} 45'$ lintang Utara. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Untuk menentukan imbuhan diperlukan data curah hujan tahunan, permeabilitas tanah, dimensi volume sumur resapan, koefisien resapan, ketebalan akuifer dan luas lahan terbuka hijau.

1. Bahan yang diperlukan; peta geologi lembar Pekanbaru.
2. Alat yang diperlukan GPS, Water Level Indikator.

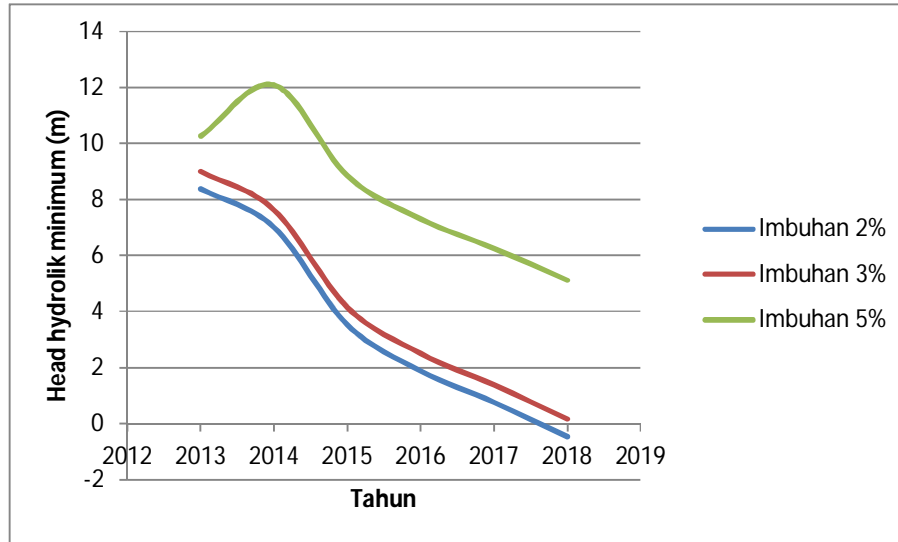
Model diuji perilakunya untuk akuifer bebas Kota Pekanbaru agar terjadi keberlanjutan hingga tahun 2018 adalah faktor imbuhan dengan penambahan imbuhan 2%, 3% dan 5 % seperti ditunjukkan dalam Tabel 1, 2 dan 3. Adapun alasan pemilihan factor-faktor imbuhan tersebut, karena itu adalah nilai minimum yang diperlukan agar terjadi keberlanjutan akuifer bebas Kota Pekanbaru. Pemilihan nilai imbuhan yang lebih besar dihindari karena keterbatasan lahan untuk ruang resapan air bawah tanah.

Hal ini menunjukkan bahwa kondisi akuifer bebas dalam kondisi aman (baik). Kondisi membaik ini disebabkan karena faktor imbuhan model telah mampu memberikan perbaikan artinya pengambilan akuifer bebas untuk tahun 2013 dan 2014 dapat diimbangi oleh imbuhan bahkan memberikan kondisi aman. Tahun 2015 penyimpangan

nilai *head hidrolik* -29,62% artinya harga *head hidrolik* di bawah nilai *head hidrolik* alamiah namun angka penyimpangan masih menunjukkan kondisi *akuifer* bebas dalam keadaan aman pada tahun 2015. Tahun 2016 s/d 2018 faktor penambahan *imbuhan* 5% belum mampu mengimbangi pengambilan air *akuifer* bebas baik domestik dan industri sehingga memberikan penyimpangan yang cukup besar yaitu -53,15%, -72,73% dan -87,53%. Hal ini menyebabkan *akuifer* bebas tidak dalam kondisi aman tetapi berturut-turut dalam kondisi rawan, kritis dan rusak, sehingga model masih perlu diperbaiki agar terjadi keberlanjutan *akuifer* bebas Kota Pekanbaru hingga tahun 2018.

Tabel 1. Faktor imbuhan untuk keberlanjutan *akuifer* bebas Kota Pekanbaru hinggatahun 2018

No	Tahun	Faktor imbuhan	Biosentrisme <i>Headhidrolik</i> (m)	
			Minimum	Maksimum
1	2013	2 %	8,387	8,638
		3 %	9,008	9,183
		5 %	10,252	10,271
2	2014	2 %	7,008	10,355
		3 %	7,630	10,936
		5 %	8,874	12,096
3	2015	2 %	3,533	7,112
		3 %	4,155	7,692
		5 %	5,399	8,853
4	2016	2 %	1,879	5,568
		3 %	2,501	6,148
		5 %	3,745	7,309
5	2017	2 %	0,755	4,518
		3 %	1,377	5,098
		5 %	2,620	6,259
6	2018	2 %	-0,464	3,381
		3 %	0,158	3,961
		5 %	1,402	5,122



Gambar 2. Pengaruh Imbuhan terhadap head hidrolik minimum

Gambar 2 menunjukkan bahwa faktor imbuhan dapat memperbaiki kondisi akuifer bebas yang ditunjukkan dengan adanya perbaikan nilai *head hidrolik* yang cenderung semakin besar dari tahun 2013 s/d 2018.

Selanjutnya model yang dipilih ini akan digunakan untuk menganalisis zonasi akuifer bebas di Kota Pekanbaru hingga tahun 2018. Hasil ini akan berguna agar terjadi keberlanjutan akuifer bebas di Kota Pekanbaru hingga tahun 2018.

Berdasarkan hasil model keberlanjutan akuifer bebas untuk Kota Pekanbaru yang dipilih (Gambar 2), maka dapat ditentukan keberlanjutan akuifer bebas Kota Pekanbaru seperti ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Akuifer bebas Kota Pekanbaru dengan factor penambahan imbuhan 8% per tahun.

No	Tahun	Head hidrolik Rata-rata (m)	Persentase Penurunan dari kondisi alamiah (%)
1	2013	10.25	41,18
2	2014	8.89	22,45
3	2015	5.41	-25,5
4	2016	3,76	48
5	2017	2,64	-63,64
6	2018	1,42	-80,44

Berdasarkan Tabel. 2 dapat dilihat telah terjadi perubahan zonasi jika penambahan *imbuhan* 8 % per tahunnya.

Tabel 3. Zonasi akuifer bebas Kota Pekanbaru dengan faktor penambahan imbuhan 8 % per tahun.

No	Tahun	<i>Head hidrolik rata-rata (m)</i>	Persentase penurunan dari kondisi alamiah (%)
1	2016	5,63	-22,45
2	2017	4,50	-38,02
3	2018	3,28	-54,82

4. SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa, faktor imbuhan 5% memberikan perbaikan akuifer bebas untuk tahun 2013, 2014 dan 2015 dalam kondisi aman dengan persentase penyimpangan berturut-turut 40,57 % dan 11,02 %. -29,62 %. Faktor imbuhan 8% memperbaiki kondisi akuifer bebas tahun 2016 dari kondisi rawan menjadi aman (-29,41%), tahun 2017 dari kondisi kritis menjadi rawan (-48,97 %) dan tahun 2018 dari kondisi rusak menjadi kritis (-63,76%).

SARAN

Agar terjadi keberlanjutan akuifer bebas hingga tahun 2018 di Kota Pekanbaru, maka perlu pemerintah mempertimbangan tentang penambahan faktor imbuhan.

DAFTAR PUTAKA

- [1]. Yusri, O., Khairul, N. A. M., dan Toriman, M. E., 2010, Kajian Kualitatif Perubahan Guna Tanah Kawasan Bandar Pekanbaru Dengan Menggunakan Sistem Maklumat Geografi (GIS). J. Sains Malaysia 39(5): 705-709.
- [2]. Binnie and Partners, 1984, Applied hydrogeologi, Third edition, Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey.
- [3]. Bambang, S., 2004, Identifikasi Keberadaan Air Tanah dan Keluaran Air Daerah Karst di Kabupaten Sumba Barat, Journal, JLP, 18(54):12-22.
- [4]. Adang, S.S., Iskandar, A. Y., dan Yuningsih, S.M., 2003. Kondisi Air Tanah di Kota Merauke Propinsi Papua, Journal JLP, 17(52):67-75.
- [5]. Laton, W. R., Whitley, R. J., and Hromadka, II. T. V., 2007, A new mathematical technique for identifying potential sources of groundwater contamination. Hydrogeology Journal (15): 333–338.
- [6]. Neyamadpour, A., Samsudin, T., and Abdullah, W. A, T, 2009, An Application of three-Dimensional electrical resistivity imaging for the detection of underground wastewater system, Geophys (53): 389-402.

- [7]. Juandi, M., Adrianto, A., Edisar, M., Syamsulduha, 2013, Analisis Parameter Akuifer Bebas Kota Pekanbaru Untuk Keberlanjutan Air Bawah Tanah, Jurnal Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Riau, edisi September.
- [8]. Juandi, M., Adrianto, A., Edisar, M., Syamsulduha, 2012, Analisa Konduktivitas Hidrolika Pada Sistem Akuifer Bebas, Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia, Vol. 9, No. 4.
- [9]. Juandi, M., Adrianto, A., Edisar, M., Syamsulduha, 2013, Penyelidikan Head Hidrolik Sistem Akuifer Bebas Untuk Kondisi Aliran Steady State, Proceeding Semirata, Lampung.
- [10]. Shemin, G. E., and Garven, G., 1992, Hydromechanical Modeling of Tectonically Driven Groundwater Flow With Application to The Arkoma Foreland Basin. Geophysical Research (97): 9119 - 9144.
- [11]. Rajamanickam, R., and Nagan, S., 2010. Groundwater Quality Modeling of Amaravathi River Basin of Karur District, Tamil Nadu, Using Visual Modflow. International Journal of Environmental Sciences, Vol.1, No.1.
- [12]. Ramon, L., William B., and Jean M., 1992, Groundwater Use : Equilibrium Between Social Benefits and Potential Environmental Cost. Hydrogeology Journal, Springer online Journal Archives: 1860 – 2000.
- [13]. Florian, G. K., Wolfing, S., and Fuhrer, U., 1999, Environmental Attitude and Ecological Behaviour. Journal of Environmental Psychology (19): 1 – 19.
- [14]. Trabelsi, R., Zouari, K., 2010, Numerical simulation of Groundwater flow of the System South – Eastern Djefara Aquifer. Journal of Modelling and Simulation of Systems. Vol.1. pp. 147 – 156.
- [15]. Badan Pusat Statistik Kota Pekanbaru, 2013. Kota Pekanbaru dalam angka.

DISAIN PERANGKAT GEOLISTRIK UNTUK KEGIATAN GEOFISIKA PERTANIAN (APLIKASI PADA LAHAN GAMBUT KALIMANTAN BARAT)

DESIGN ELECTRICAL RESISTIVITY DEVICES FOR GEOPHYSICAL AGRICULTURE (APPLICATION IN PEATLANDS WEST BORNEO)

Okto Ivansyah¹, Nurhasanah², Saniah¹

Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak¹

oktoivansyah@yahoo.com,

Jalan A. Yani Pontianak (kode pos 78124, telp/fax 0561-736180/740143

Universitas Tanjungpura, Pontianak²

ABSTRACT

Has designed, manufactured and tested to the Electrical Resistivity (ER) were applied to measure the variation of the electrical conductivity apparent ECa on peatlands. Electrical Resistivity testing devices was conducted at the University of Tanjungpura Pontianak with track measuring 40 meters long and between measuring points spaced 2 meters. ECa measurement results using the Electrical Resistivity done correlation (r) the results of measurements made using the geoelectric stick electrodes, showing correlations (r) a high of 0,9851. From the results of correlation (r), then the device Electrical Resistivity can be applied to agricultural land peat to measure variations in the conductivity value of the ECa.

Keywords: *Electrical Resistivity devices, soil electrical conductivity, Correlation, Electrodes*

ABSTRAK

Telah didisain, dibuat dan dilakukan pengujian terhadap perangkat Electrical Resistivity (ER) yang diterapkan untuk mengukur variasi nilai konduktivitas listrik tanah semu ECa pada lahan gambut. Pengujian perangkat Electrical Resistivity ini dilakukan di lingkungan Universitas Tanjungpura Pontianak dengan lintasan pengukuran sepanjang 40 meter dan spasi antar titik pengukuran 2 meter. Hasil pengukuran ECa menggunakan perangkat Electrical Resistivity dilakukan korelasi (r) terhadap hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan perangkat elektroda geolistrik stik, menunjukkan korelasi (r) yang tinggi sebesar 0,9851. Dari hasil korelasi (r) tersebut, maka perangkat Electrical Resistivity dapat diaplikasikan pada lahan pertanian gambut untuk mengukur variasi nilai konduktivitas ECa.

Kata Kunci – Perangkat Electrical Resistivity, Konduktivitas listrik tanah, Korelasi, Elektroda

1. PENDAHULUAN

Umumnya survei geofisika dilakukan untuk kegiatan eksplorasi minyak bumi, pertambangan, hidrologi, lingkungan, rekayasa geoteknik, dan arkeologi. Pada 1930-an dan 1940-an terdapat kegiatan penelitian geofisika pertanian yang berkaitan dengan pengukuran kelembaban tanah dengan metode resistivitas [1], [2], [3], pada 1970-an, dengan penggunaan metode resistivitas untuk penilaian salinitas [4], [5], [6], [7].

Pertanian konvensional memperlakukan seluruh lahan secara seragam terhadap pemberian pupuk, pestisida, pengolahan tanah, dan input lainnya. Heterogenitas tanah yang spasial merupakan salah satu dari beberapa faktor yang menyebabkan variasi pada lahan yang dapat mempengaruhi hasil panen. Ketidakmampuan pertanian konvensional untuk mengatasi variasi pada lahan tidak hanya memiliki dampak ekonomi yang merugikan karena hasil panen berkurang di daerah tertentu, tetapi juga berdampak buruk terhadap lingkungan karena aplikasi yang lebih dari bahan kimia pertanian dan menjadi sumber limbah, seperti pemberian pestisida, dan pupuk [8].

Teknik-teknik geofisika, penerapannya terhadap lahan pertanian oleh pengukuran geospasial ECa, yang diukur dengan menggunakan *Electromagnetic Induction* (EMI), *Electrical Resistivity* (ER), dan *Time Domain Reflectometry* (TDR), telah memiliki dampak yang luar biasa selama dua dekade terakhir. Saat ini, ECa diakui sebagai pengukuran geofisika paling berharga di bidang pertanian untuk karakteristik variabilitas tanah spasial pada luasan lapangan dan lansekap [9], [10], [11].

Penyelidikan geofisika pada lingkup pertanian cenderung sangat terfokus pada zona 1 m di bawah permukaan tanah, yang meliputi zona akar tanaman. Pengukuran resistivitas sub-surface dangkal yang memiliki akurasi yang baik dan mudah dalam akuisisi datanya menjadi menarik bagi ahli geofisika lingkungan. Ini adalah pengukuran sifat fisik secara langsung yang dipengaruhi tidak hanya oleh kehadiran benda asing, tetapi juga oleh bahan kimia dari cairan jenuh. Adaptasi ini kemudian terhambat oleh penggunaan ER yang lebih dikembangkan untuk mengukur salinitas tanah [5] menggunakan array Wenner. *Electrical Resistivity* (ER) paling banyak digunakan dalam pertanian sebagai sarana untuk mengukur salinitas tanah.

Pengembangan peralatan pengukuran ECa *mobile* yang digabungkan dengan GPS telah memungkinkan untuk menghasilkan peta ECa dengan pengukuran yang dilakukan setiap beberapa meter. Perusahaan Veris Teknologi [12] mengembangkan sistem *mobile* komersial untuk mengukur ECa menggunakan prinsip-prinsip ER [13]. ER *mobile* (yaitu, Veris 3100) memungkinkan untuk pengukuran ECa secara kontinu yang terhubung dengan GPS pada interval waktu hanya beberapa detik antara bacaan, yang menghasilkan pembacaan setiap beberapa meter. Perangkat sejenis (ARP 03) dipergunakan pada pemetaan lahan yang mengandung kapur terhadap daerah pertanian [14].

Pada paper ini akan diimplementasikan hasil disain perangkat elektroda *disk ER* yang dapat diaplikasikan pada lahan pertanian sawah. Perangkat elektroda *disk* ini akan disesuaikan dengan kondisi dilapangan pada daerah pertanian sawah sehingga dapat dioperasikan dengan mudah, mampu melakukan pengukuran secara kontinyu, kemudian memiliki rentang pengukuran yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan penelitian dilahan pertanian sawah.

2. Teori Dasar

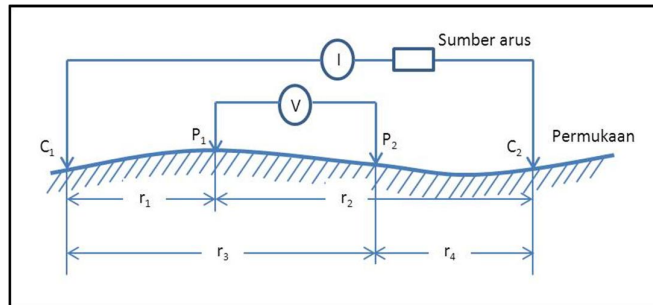
2.1 Dasar Metode *Electrical Resistivity (ER)*

Metoda *Electrical Resistivity* merupakan salah satu metoda geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di permukaan bumi. Dalam eksplorasi geofisika, metoda *ER* merupakan metoda yang mempelajari sifat resistivitas (tahanan jenis) listrik dari lapisan batuan di dalam bumi. Pada metoda *ER*, arus diinjeksikan kedalam bumi melalui dua elektroda arus. Kemudian beda potensial yang dihasilkan akan diukur melalui dua elektroda potensial. Dari hasil pengukuran arus dan potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda dapat ditentukan variasi nilai tahanan jenis masing-masing lapisan di bawah titik pengukuran.

2.2 Dua Elektroda di Permukaan Bumi

Apabila jarak antara dua elektroda arus tidak terlalu besar, potensial disetiap titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut (gambar 1) sehingga ekuipotensial yang dihasilkan lebih kompleks dibandingkan sumber arus tunggal, akan tetapi pada daerah dekat sumber arus mendekati bola.

Perubahan potensial sangat drastis pada daerah dekat sumber arus, sedangkan pada daerah antara C_1 dan C_2 gradien potensial kecil dan mendekati linier. Dari alasan ini, pengukuran potensial paling baik dilakukan pada daerah diantara C_1 dan C_2 yang mempunyai gradien potensial linier. Untuk menentukan perbedaan potensial antara dua titik yang ditimbulkan oleh sumber arus listrik C_1 dan C_2 , maka dua elektroda potensial misalnya P_1 dan P_2 ditempatkan di dekat sumber seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Skema dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan tanah yang homogen isotropis [15].

Potensial pada titik P_1 yang disebabkan elektroda C_1 adalah [16] :

$$V_{11} = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \frac{1}{r_1} \quad (1)$$

Karena arus pada kedua elektroda sama besar tetapi berlawanan arah, maka potensial di titik P_1 oleh elektroda C_2 diperoleh :

$$V_{12} = - \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \frac{1}{r_2} \quad (2)$$

Sehingga potensial total pada titik P_1 oleh C_1 dan C_2 dapat dituliskan sebagai :

$$V_{11} + V_{12} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (3)$$

Dengan cara yang sama diperoleh potensial pada titik P_2 oleh C_1 dan C_2 adalah :

$$V_{21} + V_{22} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (4)$$

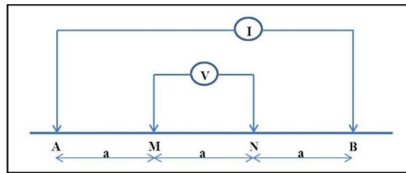
Akhirnya diperoleh perbedaan potensial antara titik P_1 dan P_2 yaitu :

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (5)$$

dimana r_1 , r_2 , r_3 dan r_4 adalah besaran jarak, seperti dapat dilihat pada gambar 1. Susunan seperti ini berkaitan dengan empat elektroda yang terbentang secara normal digunakan dalam pekerjaan medan tahanan jenis.

2.3 Konfigurasi Wenner

Pada konfigurasi Wenner, elektroda arus dan elektroda potensial diletakkan seperti pada gambar 2. Dalam hal ini, elektroda – elektroda, baik arus maupun potensial diletakkan secara simetris terhadap titik sounding. Jarak anatara elektroda harus adalah tiga kali jarak antar elektroda potensial. Perlu diingat bahwa keempat elektroda dengan titik sounding harus membentuk satu garis.



Gambar 2. Konfigurasi Wenner

Dapat diturunkan dari faktor geometri konfigurasi Wenner.

$$\begin{aligned} K_w &= \frac{2\pi}{\left\{ \frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} + \frac{1}{C_2 P_2} \right\}} \\ &= \frac{2\pi}{\left\{ \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right\}} = 2\pi a \end{aligned} \quad (6)$$

Sehingga tahanan jenis pada konfigurasi Wenner berlaku hubungan :

$$\rho_{aW} = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (7)$$

dimana :

ρ_{aW} = tahanan jenis yang terbaca konfigurasi Wenner

2.4 Pengukuran Konduktivitas Listrik Tanah Semu (ECa)

Metode pengukuran ECa menggunakan Electrical Resistivity (ER)

Pengukuran resistivitas dilakukan dengan menggunakan elektroda *array Wenner* (Gambar 2). *Array* ini menggunakan empat elektroda dengan jarak antar spasi sama (a) sepanjang garis lintasan. Elektroda luar (A dan B) berfungsi sebagai elektroda arus dan yang di dalam (M dan N) sebagai elektroda potensial. Resistivitas tanah ditentukan oleh injeksi arus ke dalam tanah melalui elektroda arus dengan mengukur beda tegangan yang dihasilkan pada dua elektroda potensial. Nilai tahanan semu dihitung dari perbedaan arus (I) dan tegangan (ΔV). Kedalaman penetrasi arus listrik dan volume pengukuran tergantung pada jarak antar elektroda. Semakin besar jarak a , semakin dalam pengukuran dan besar volume pengukuran. Pada persamaan (8) Resistivitas, ρ , diukur dengan array Wenner adalah [17] :

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} = 2\pi a R \quad (8)$$

dimana V adalah tegangan (V), a adalah jarak antar elektroda, I adalah arus listrik (A), dan R adalah resistansi diukur (Ω).

Karena ECa adalah kebalikan dari ρ , maka Persamaan (8) menjadi:

$$ECa = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{2\pi a R} \quad (9)$$

Peralatan dasar untuk mengukur ECa dengan teknik array Wenner (Gambar 2) meliputi sumber arus listrik, resistivity meter, empat elektroda logam, kawat penghubung, meteran, dan termometer tanah [18]. Elektroda dapat dibuat dari setiap logam konduktif noncorrosive (misalnya, stainless steel, tembaga, kuningan dan pelat besi lainnya). Kawat penghubung harus fleksibel, terisolasi dengan baik.

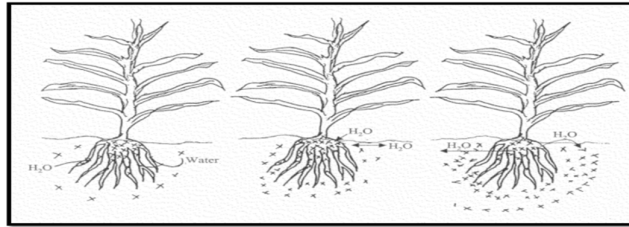
2.5 Salinitas Tanah

Jika tanah memiliki kandungan salinitas tinggi, tanaman yang tumbuh tidak akan sekuat seperti berada di tanah normal. Biji akan berkecambah buruk, dan tanaman akan tumbuh lambat atau menjadi terhambat. Jika konsentrasi salinitas cukup tinggi, tanaman akan layu dan mati, tidak peduli berapa banyak air yang diberikan. Pengujian tanah rutin dapat mengidentifikasi tingkat salinitas tanah dan menyarankan langkah-langkah yang dapat diambil untuk memperbaiki masalah salinitas tertentu dalam tanah.

Istilah garam dan salinitas sering digunakan secara bergantian, sebuah garam hanyalah sebuah mineral anorganik yang dapat larut dalam air. Banyak orang mengasosiasikan garam dengan natrium klorida, garam dapur. Pada kenyataannya, garam-garam yang sering mempengaruhi air permukaan dan air tanah adalah kombinasi dari natrium, kalsium, kalium, magnesium, klorida, nitrat, sulfat, bikarbonat dan karbonat.

Pengaruh Garam pada Tanaman

Karena tanah menjadi lebih salin, tanaman menjadi tidak dapat menyerap banyak air dari tanah. Hal ini karena akar tumbuhan mengandung berbagai konsentrasi ion (garam) yang membuat aliran air alami dari tanah ke akar tanaman. Ketika tingkat salinitas tanah yang cukup tinggi, air di akar ditarik kembali ke dalam tanah. Tanaman menjadi tidak dapat mengambil air yang cukup untuk tumbuh. Jika konsentrasi salinitas dalam tanah cukup tinggi, tanaman akan layu dan mati, terlepas dari jumlah air yang diberikan. Gambar 3 menunjukkan bagaimana berbagai konsentrasi garam mempengaruhi pergerakan air dari tanah ke tanaman.



Gambar 3. Peningkatan garam di zona akar dapat mengakibatkan penurunan penyerapan air oleh tanaman.

Tanah salin

Tanah salin cukup mengandung garam larut untuk melukai tanaman. Tanah salin ditandai dengan putih atau cahaya kerak coklat di permukaan. Tanah salin biasanya memiliki EC lebih dari 4 mmho cm^{-1} . Garam umumnya ditemukan di tanah salin termasuk NaCl (garam dapur), CaCl_2 , gipsum (CaSO_4), magnesium sulfat, kalium klorida dan natrium sulfat. Kalsium dan garam magnesium berada pada konsentrasi yang cukup tinggi untuk mengimbangi efek negatif tanah dari garam natrium, pH tanah salin umumnya di bawah 8,5. Normal kisaran yang diinginkan adalah 6,0-7,0. Pencucian garam-garam dari tanah tidak meningkatkan pH tanah salin.

Tabel 1. Klasifikasi salinitas dan EC (1 dS/m = 1 mmhos/cm; diadaptasi dari [19].

EC (dS/m)	Salinity Class	Class
0 < 2	0	Non-saline
2 < 4	1	Very slightly saline
4 < 8	2	Slightly saline
8 < 16	3	Moderately saline
≥ 16	4	Strongly saline

3. Metode and Material

3.1 Disain Elektroda

Elektroda *Electrical Resistivity* merupakan sebuah perangkat konduktor yang dipergunakan untuk menghantarkan arus listrik kedalam tanah atau medium dan mendeteksi beda potensial dari arus listrik yang diinjeksikan tersebut. Pada paper ini akan didisain dan diimplementasikan sebuah perangkat elektroda *Electrical Resistivity* yang dapat dipergunakan pada lahan pertanian bisa melakukan pengukuran secara kontinyu

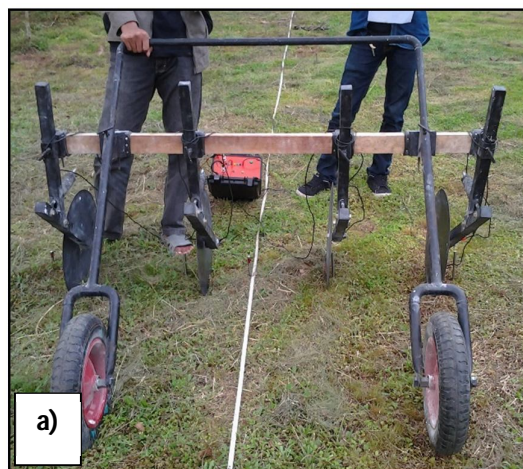
dan mampu bekerja dengan *mobile* sehingga dapat memudahkan pada proses pengambilan data geolistrik.

Elektroda Piringan (Disk)

Pada paper ini akan didisain dan diimplementasikan elektroda *Electrical Resistivity* berupa piringan (disk) yang dapat berfungsi *mobile*. Elektroda *disk* ini terdiri dari beberapa bagian, yakni : bagian lengan elektroda yang berfungsi menghubungkan piringan (*disk*) dengan bagian lain dari keseluruhan rangkaian elektroda ini, bagian piringan (*disk*) elektroda berfungsi sebagai konduktor yang bersentuhan langsung dengan tanah dan dapat berrotasi sehingga dapat bergerak (berputar), bagian pegas (*shockbreaker*) elektroda berfungsi agar lengan elektroda dapat bergerak naik dan turun ketika piringan (*disk*) elektroda mendapatkan halangan berupa gundukan (atau lubang) sehingga piringan (*disk*) elektroda dapat tetap bersentuhan dengan tanah. Jarak lengan antar elektroda juga dapat diatur sesuai dengan kedalaman penetrasi yang diinginkan penggunaanya, dengan jarak maksimum rentangan AB sejauh 120 cm (dan masih dapat ditingkatkan lagi).

Roda

Pada rangkaian roda elektroda ini menggunakan roda atau ban yang terbuat dari karet yang dapat dipompa dengan udara. Roda atau ban yang terbuat dari karet ini memiliki koefisien gesek yang besar ketika bergesekan dengan permukaan tanah, sehingga diharapkan dapat bergulir dengan lancar ketika didorong dipermukaan tanah. Ketinggian rangkaian roda elektroda ini didisain dapat disesuaikan dengan penggunaanya, dengan rentang antar roda yang tetap yakni 80 cm.



Gambar 5. a) Disain perangkat elektroda *disk electrical resistivity* yang akan diimplementasikan pada lahan gambut (tampak dari samping-belakang)



Gambar 6. (a) Disain elektroda electrical resistivity berupa *disk* yang akan diimplementasikan pada lahan gambut (tampak dari samping). (b) Disain perangkat roda yang akan dipergunakan.

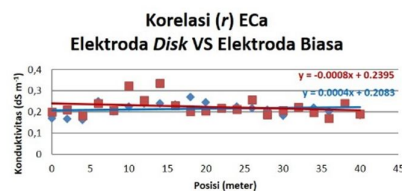
3.2. Pengujian

Pengujian perangkat elektroda *disk* dilakukan dengan membandingkan data konduktivitas listrik semu ECa yang diperoleh dari elektroda *disk* dan elektroda manual (biasa) dengan menghitung korelasi (r) dari kedua data tersebut. Pengujian perangkat elektroda *disk* tersebut dilakukan di halaman Rektorat Universitas Tanjungpura.

4. Hasil

Pengujian elektroda *disk* dilakukan di halaman Rektorat Universitas Tanjungpura dengan membandingkan hasil data konduktivitas ECa tanah yang diperoleh pada perangkat elektroda *disk* dan data konduktivitas ECa yang diperoleh pada elektroda manual (*stick*) yang biasa dipergunakan. Dari kedua data konduktivitas ECa tersebut dihitung korelasi (r) hubungan keduanya, akan memiliki hubungan data yang tinggi jika korelasi (r) keduanya mendekati satu (1) dan sebaliknya, tidak memiliki hubungan data (tidak terkorrelasi) jika nol (0).

Pengambilan data konduktivitas ECa menggunakan elektroda *disk* dilakukan sebanyak dua kali pengambilan data, pertama pengambilan data konduktivitas ECa dilakukan ketika arah pergi dan yang kedua dilakukan ketika arah balik. Hal ini dilakukan untuk melihat konsistensi data yang diperoleh ketika menggunakan perangkat elektroda *disk* ini.



Gambar 7. Grafik korelasi (r) ECa menggunakan perangkat elektroda *disk* dan elektroda biasa.

5. Kesimpulan

Pengujian perangkat elektroda *disk* dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran konduktivitas listrik tanah semu (ECa). Analisa yang dilakukan adalah dengan melakukan

korelasi (r) pada kedua data tersebut. Dari korelasi (r) data keduanya menunjukkan tingkat hubungan yang tinggi, tingkat hubungan yang tinggi ini ditunjukkan dengan korelasi (r) mencapai 0,985. Tingkat hubungan data yang tinggi menunjukkan bahwa kedua data memiliki kedekatan hasil pengukuran yang baik pula, dan dapat dikatakan bahwa pengukuran menggunakan perangkat elektroda *disk* mempunyai hasil yang mendekati sama dengan pengukuran yang dilakukan menggunakan perangkat elektroda biasa (korelasi (r) 0.985).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Edlefsen, N.E. and A.B.C. Anderson., The four-electrode resistance method for measuring soilmoisture content under field conditions. *Soil Sci.*, 1941, 51: 367-376.
- [2] Kirkham, D. and G.S. Taylor.,: Some tests of a four-electrode probe for soil moisture measurement. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1949, 14: 42-46.
- [3] McCorkle, W.H., Determination of Soil Moisture by the Method of Multiple Electrodes. Texas Agricultural Experiment Station Bulletin 426. Texas A & M University. College Station, TX, 1931.
- [4] Halvorson, A.D., and J.D. Rhoades., Assessing soil salinity and identifying potential saline-seep areas with field soil resistance measurements. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1974, 38: 576-581.
- [5] Rhoades, J.D. and R.D. Ingvalson., Determining salinity in field soils with soil resistance measurements *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1971, 35: 54-60.
- [6] Rhoades, J.D., P.A.C. Raats and R.J. Prather., Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.v.*, 1976, 40: 651-655.
- [7] Shea, P.F. and J.N. Luthin., An investigation of the use of the four-electrode probe for measuring soil salinity in situ. *Soil Sci.*, 1961, 92: 331-339.
- [8] Dennis L. Corwin¹ dan Scott M., Application of Geo-referenced Geophysical Measurements to Precision Agriculture. *FastTimes*, 2008, V.13 N.2: 29 – 37.
- [9] Corwin, D.L., Geospatial measurements of apparent soil electrical conductivity for characterizing soil spatial variability, in *Soil-Water-Solute Characterization: An Integrated Approach*, Alvarez-Benedi, J., and Munoz-Carpena, R., Eds., CRC Press, Boca Raton, FL, 2005.
- [10] Corwin, D.L., and Lesch, S.M., Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles, and guidelines, *Agron. J.*, 2003, 95, 455–471.
- [11] Corwin, D.L., and Lesch, S.M., Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture, *Comput. Electron. Agric.*, 2005a, 46, 11–43.
- [12] Veris Teknologi., <http://www.veristech.com/index.aspx>, 1996.
- [13] Hamid F. Use of Geophysical Methods in Agriculture – Introduction, 2nd presentation, East NTSC, 2012.
- [14] Priori S., M. Fantappiè., S. Magini, and E.A.C. Costantini., Using the ARP-03 for high-resolution mapping of calcic horizons, *Int. Agrophys.*, 2013, 27, 313-321.

- [15] Reynolds, J. M., An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, John Wiley & Sons Ltd., UK, 1997.
- [16] Telford, W.M., Gledart, L. P., and Sheriff, R. E.,. Applied Geophysics, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK., 1990.
- [17] Burger, H.R., Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 1992.
- [18] Rhoades, J.D., and Halvorson, A.D., Electrical conductivity methods for detecting and delineating saline seeps and measuring salinity in Northern Great Plains soils, ARS W-42, USDA-ARS Western Region, Berkeley, CA, 1977, pp. 1–45.
- [19] Taylor , S., Dryland salinity introductory extension notes. Department of Conservation and Land Management, NSW., 1991.

ANALISIS EMPIRIK PROGRAM ANALISIS BUTIR SOAL DALAM RANGKA MENGHASILKAN SOAL YANG BAIK DAN BERMUTU SEBAGAI ALAT EVALUASI PEMBELAJARAN FISIKA

Muhammad Nasir

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Riau, Kampus Bina Widya Pekanbaru,
Telp. (0761) 65804 Fax (0761) 65804
muh_nasir23@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis secara empirik Program analisis butir soal untuk menghasilkan hasil soal yang baik dan bermutu. Sudah dirancang Program analisis butir soal namun untuk dapat dipergunakan perlu dilakukan analisis empirik guna memastikan bahwa program tersebut valid dan reliabel. Analisis empirik ini dilakukan dengan penilaian penggunaan program dan uji coba program. Penilaian pengguna dilakukan dengan kuesionair dan penggunaan program ini saat ujicoba. Selain itu juga diperlukan keahlian tertentu untuk menggunakan program tersebut. Program ini dirancang dengan menggunakan ADDIE models dan pembangunannya menggunakan microsoft office excell 2007 yang mudah diperoleh karena ada pada setiap komputer. Kelebihan dari program analisis butir soal ini adalah mudah menggunakannya dan tidak perlu program khusus, dengan sifat ini akan dapat membantu pengguna untuk menganalisis butir soal agar dapat menghasilkan soal Fisika yang baik dan bermutu sebagai alat evaluasi Pembelajaran Fisika. Berdasarkan hasil analisis di ujicoba dengan cara membandingkan hasil perhitungan manual dan diperoleh semua fitur dari program ini berjalan dengan baik dan memberikan hasil yang baik dan tingkat presisi yang sangat baik.

Kata Kunci :

Analisis empirik, Analisis butir soal, ADDIE Models, Presisi, evaluasi pembelajaran fisika.

1. PENDAHULUAN

Kegiatan menganalisis butir soal merupakan suatu kegiatan yang harus dilakukan untuk meningkatkan mutu soal yang telah ditulis. Kegiatan ini merupakan proses pengumpulan, peringkasan, dan penggunaan informasi dari jawaban siswa untuk membuat keputusan tentang setiap penilaian (Nitko, 1996: 308). Tujuan utama analisis butir soal dalam sebuah tes yang dibuat guru adalah untuk mengidentifikasi kekurangan-kekurangan dalam tes atau dalam pembelajaran (Anastasi dan Urbina, 1997:184).

Berdasarkan tujuan ini, maka kegiatan analisis butir soal memiliki banyak manfaat, di antaranya adalah : Pertama agar dapat membantu para pengguna tes dalam evaluasi atas tes yang digunakan. Kedua, sangat relevan bagi penyusunan tes informal dan lokal seperti tes yang disiapkan guru untuk siswa di kelas. Ketiga, untuk mendukung penulisan butir soal yang efektif. Keempat, secara materi dapat memperbaiki tes di kelas, dan terakhir adalah untuk meningkatkan validitas soal dan reliabilitas (Anastasi and Urbina, 1997:172). Linn dan Gronlund (1995: 315) juga menambahkan tentang pelaksanaan kegiatan analisis butir soal yang biasanya didesain untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut ini.: 1) Apakah fungsi soal sudah tepat ? 2) Apakah soal

ini memiliki tingkat kesukaran yang tepat ? 3) Apakah soal bebas dari hal-hal yang tidak relevan? 4) Apakah pilihan jawabannya efektif ?

Berbagai uraian di atas menunjukkan bahwa analisis butir soal adalah: untuk menentukan soal- soal yang cacat atau tidak berfungsi penggunaannya, dan untuk meningkatkan kualitas butir soal melalui tiga komponen analisis yaitu tingkat kesukaran, daya pembeda, dan pengecoh soal, serta meningkatkan pembelajaran melalui ambiguitas soal.

Guru selain sebagai seorang pengajar juga berperan sebagai evaluator. Pada proses evaluasi pendidikan sangat dibutuhkan kemampuan untuk menganalisis soal, sehingga soal yang digunakan dapat mencerminkan kemampuan siswa. Soal yang baik akan mampu mengevaluasi sejauh mana peserta didik menguasai indikator yang sudah ditentukan oleh pengajar. Untuk itu, kemampuan menganalisis soal setelah melakukan tes sangatlah dibutuhkan oleh pendidik untuk melakukan evaluasi apakah alat ukur yang digunakan tersebut sesuai apa tidak dengan apa yang diinginkan antara lain dapat menentukan peserta didik mana yang sudah atau belum menguasai materi yang diajarkan guru dan juga bisa membantu meningkatkan tes melalui revisi atau membuang soal yang tidak efektif, serta untuk mengetahui informasi diagnostik pada siswa apakah mereka sudah/belum memahami materi yang telah diajarkan (Aiken, 1994: 63).

Dampak hasil evaluasi terhadap motivasi belajar peserta didik bervariasi ada yang meningkat, tetap, bahkan ada yang turun. Tiap peserta didik memiliki harapan terhadap hasil ulangan suatu pelajaran, yaitu besarnya prestasi yang dinyatakan dalam skor hasil tes. Harapan ini ada yang terpenuhi dan ada yang tidak terpenuhi. Sesuai dengan karakteristik peserta didik, ada yang motivasi belajarnya naik, ada yang tetap dan kemungkinan ada yang turun.

Masalah yang sering timbul dalam melakukan evaluasi terletak pada tujuannya, pendekatan yang digunakan, manfaatnya, dan dampaknya. Selain evaluasi, pendidikan juga harus memberi manfaat kepada peserta didik, lembaga, dan masyarakat. Oleh karena itu, apabila evaluasi pendidikan yang digunakan tidak membantu peningkatan kualitas pendidikan pada suatu sekolah dan tidak memberi manfaat, berarti system evaluasi yang digunakan atau yang dilaksanakan belum berfungsi seperti yang diharapkan (Rasyid dan Mansur, 2007).

Menurut Daryanto, 2007, tidak ada usaha guru yang lebih baik selain usaha untuk selalu meningkatkan mutu tes yang disusunnya. Namun hal ini tidak dilaksanakan karena kecenderungan seseorang untuk beranggapan bahwa yang menjadi hasil karyanya adalah yang terbaik, atau setidaknya – tidaknya sudah cukup baik.

Dalam membuat butir soal evaluasi, guru harus memperhatikan kurikulum tingkat satuan pendidikan yang digunakan. Menurut Thoha (2003), "Suatu alat evaluasi dikatakan baik yaitu memiliki validitas yang mana alat evaluasi tersebut dapat mengukur apa yang harus diukur dan memiliki realibitas yaitu evaluasi yang memiliki kehandalan dan bersifat konsisten dari suatu pengukuran yang dilakukan.

Menurut Muhammad Nasir dkk (2012) Banyak guru-guru di sekolah tidak melakukan analisis butir soal untuk evaluasi disebabkan karena : 1.Kekurangan waktu untuk melakukan analisis, 2. Analisis butir soal dirasakan masih sukar karena melibatkan rumus-rumus yang komplrit dan melelahkan. 3.Tidak adanya/belum adanya alat bantu yang memudahkan untuk melakukan analisis butir soal.

Berdasarkan latar masalah diatas maka pada penelitian ini mencoba untuk membuat solusi yaitu dengan membuat sebuah program (software) untuk menganalisis butir soal. Dengan demikian guru akan lebih mudah untuk menganalisis soal tanpa harus melakukan perhitungan-perhitungan yang kompleks yang kadang membuat kesalahan-kesalahan angka.

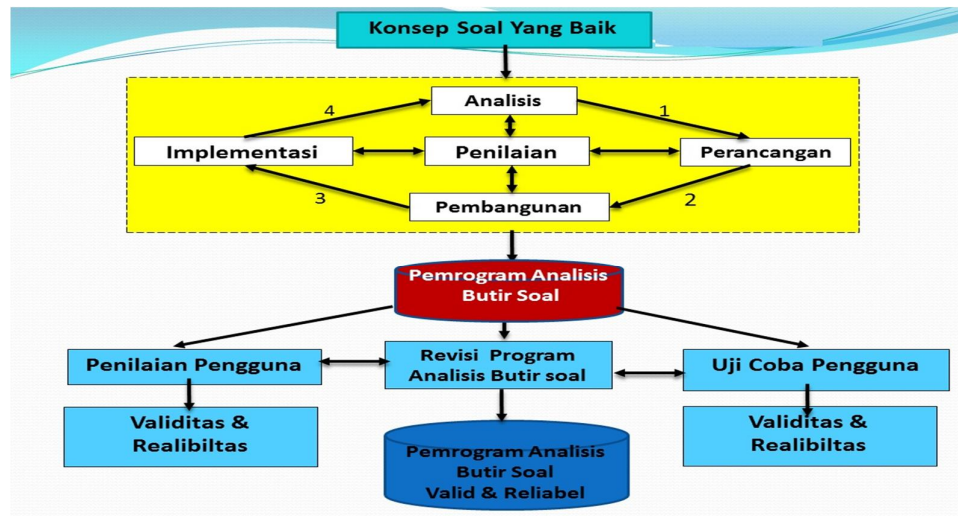
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif melalui pengkajian secara komprehensif terhadap berbagai literatur, menelaah kurikulum, menelaah materi pelajaran Fisika dan teori tentang analisis butir soal, sehingga kemudian dari materi yang telah ditelaah dalam hal ini akan dibahas materi tentang gerak (motion) kemudian di rancang pemrograman analisis butir soal (course ware) yaitu berupa program yang dalam hal ini adalah program yang dirancang dengan ADDIE Model dan dibangun dengan menggunakan Prrogram Microsoft Office excel . Microsoft excell di pilih karena kemudahan mendapatkan dan relatif banyak dikenal oleh kalangan guru sebagai sasaran user dari progem ini. Dengan tahapan kerja seperti berikut :

1. Tahap Awal, Tahap ini adalah pengumpulan informasi tentang Konsep analisis butir soal, Rumus matematika yang digunakan dan istilah serta makna dan pengertian yang terkandung dalam istilah istilah dalam analisis butir soal. **2.Tahap kedua**, Setelah didapatkan istilah, teori dan rumusan matematika yang dalam analisis butir soal, kemudian baru di rancang perograman analisis butir soal dengan menggunakan microsoft office excell. Pada tahapan ini dilaksanakan perancangan dengan menggunakan Perancangan *Instructional Design Model ADDIE* (Perancangan Pembelajaran Model ADDIE). **3. Tahap ketiga**, Setelah pemrograman dibuat dilakukan ujicoba disekolah, kemudian dilakukan penilaian oleh pakar pengguna yaitu guru-guru fisika, Pakar pedagogik dan pakar pembelajaran/user dalam hal ini oleh guru senior bidang studi fisika. Pada tahap ini bila masih ada masukan kita di uji coa maka akan dilakukan perbaikan

bilaperbaikan selesai dilakukan maka akan dilanjutkan ketahap keempat yaitu tahapan eksperimen kepada siswa di dalam kelas. **4. Tahap keempat**, Tahap ini merupakan tahapan terakhir yaitu tahapan eksperimen. Eksperimen yang akan dilakukan merupakan eksperimen kuasi, dengan mengambil kelas sebagai kelas eksperimen. Hasil belajar yang akan diamati meliputi Kognitif test tertulis dengan bentuk test objektif pilihan ganda. Hasil test dianalisis dengan menggunakan program analisis butir soal dan hasil belajar yang dianalisis dengan menggunakan analisis secara manual.

Dengan mengamati semua hasil analisis kemudian membandingkannya dan hasil analisis butir secara manual maka didapatkan efektifitas dari program analisis butir soal. Bila terdapat kekurangan pada program akan dilakukan penyempurnaan akan dilakukan perbaikan untuk kemudian akan dijadikan sebuah CD (Compac Disc) untuk dijadikan sebagai salah satu produk. Untuk lebih jelasnya kerangka konseptual penelitian dapat dilihat seperti gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian

Adapun parameter pengamatan pada penelitian ini adalah hasil penilaian pengguna yang merupakan guru-guru SMA Negeri di Pekanbaru sebanyak 28 orang yang dilatihkan menggunakan program ini sebelumnya kemudian diminta mengisi angket penilaian program yang adaptasi dari Muhammad Nasir (2014). Selain mengisi angket tersebut pengguna juga melihat hasil analisis soal yang meliputi :

1. Teknik analisis butir soal secara kuantitatif
 - a. Sebaran Butir Soal IPA Fisika Berdasarkan Ranah Kognitif

Untuk mengetahui sebaran butir soal berdasarkan ranah kognitif dilakukan dengan melihat tingkatan pada tiap soal. Kemudian data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{F}{N} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

P = Angka persentase yang dicari

F = Frekuensi (sebaran butir soal berdasarkan ranah kognitif)

N = Jumlah soal (Sudijono, 2009)

b. Pengecoh Soal (Distracter Function) dan Omit

Suatu distraktor dapat dikatakan berfungsi baik jika paling sedikit dipilih oleh 5% peserta tes. Sedangkan Omit dikatakan baik jika omitnya tidak lebih dari 10% peserta tes (Arikunto, 2012). Untuk melihat baik atau tidaknya suatu distraktor (butir pengecoh) digunakan rumus sebagai berikut :

$$D = \frac{KA+KB}{\text{jumlah KA+jumlah KB}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

KA = kelompok atas yang memilih pengecoh

KB = kelompok bawah yang memilih pengecoh

D = distraktor

Sedangkan untuk melihat baik atau tidaknya omit digunakan rumus berikut:

$$O = \frac{\text{jumlah peserta tes yang tidak menjawab}}{\text{jumlah KA+jumlah KB}} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan: O= omit

c. Tingkat Kesukaran (*Difficulty Indeks*)

Tingkat kesukaran suatu soal dapat diketahui dengan menganalisis lembar jawaban siswa kemudian data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan rumus:

$$I = \frac{B}{N} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

I =Indeks kesukaran untk setiap butir soal

B=Banyaknya siswa yang menjawab benar setiap butir soal

N=Jumlah seluruh siswa peserta tes (Sudjana, 2008)

Kriteria indeks tingkat kesukaran diperoleh sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel Kriteria indeks tingkat kesukaran soal

No	Indeks Kesukaran (I)	Kategori Soal
1	0,00 – 0,30	Sukar
2	0,31 – 0,70	Sedang
3	0,71 – 1,00	Mudah

(Sudjana, 2008)

d. Daya Pembeda (*Discriminating Power*)

Untuk menghitung daya pembeda soal digunakan rumus sebagai berikut :

$$D = \frac{BA}{JA} - \frac{BB}{JB} = PA - PB \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

D = Daya pembeda soal

BP= Jumlah siswa yang menjawab benar dari kelompok atas

BB= Jumlah siswa yang menjawab benar dari kelompok bawah

JA= Jumlah peserta dari kelompok atas

JB= Jumlah peserta dari kelompok bawah

$PA = \frac{BA}{JA}$ = Proporsi peserta kelompok atas yang menjawab benar.

$PB = \frac{BB}{JB}$ = Proporsi peserta kelompok bawah yang menjawab benar.

Crocker & Algina (1986) menyatakan kriteria koefisien besarnya daya pembeda:

Tabel 2. Kriteria Daya Pembeda

No	Daya Pembeda Soal (D)	Kategori Soal
1	0,40 – 1,00	Baik
2	0,30 – 0,39	Terima
3	0,20 – 0,29	Perlu Revisi
4	-1,00 – 0,19	Tidak Berfungsi

(Rasyid dan Mansur, 2007)

Angka 0,3 merupakan angka kriteria minimal suatu butir soal yang baik (Mardapi dalam Rasyid dan Mansur 2007).

e. Validitas Soal

Sebuah butir soal (item) dikatakan valid apabila mempunyai dukungan yang besar terhadap skor total. Pada butir-butir instrumen dengan bentuk soal objektif (data diskrit murni atau dikotomik), maka digunakan teknik korelasi “point biserial”, yang mempunyai rumus sebagai berikut:

$$\gamma_{pbis} = \frac{Mp - Mt}{Sd_t} \sqrt{\frac{p}{q}} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

γ_{pbis} = koefisien korelasi biserial

M_p = rerata skor dari subjek yang menjawab betul bagi item yang dicari validitasnya

M_t = rerata skor total

Sd_t = standar deviasi skor total proporsi

p = proporsi siswa yang menjawab benar

$$p = \frac{\text{banyaknya siswa yang menjawab benar}}{\text{jumlah seluruh siswa}} \dots\dots\dots(7)$$

q = proporsi siswa yang menjawab salah (q= 1- p)

(Arikunto, 2012).

Patokan yang digunakan untuk menginterpretasikan validitas yaitu:

Tabel 3. Patokan Interpretasi Validitas

No	Validitas Soal	Kategori Soal
1	$Y_{pbis} > r_t$	Valid
2	$Y_{pbis} = \text{negatif}$	invalid
3	$Y_{pbis} < r_t$	invalid

(Arikunto, 2009)

f. Reliabilitas Tes

Tujuan utama menghitung reliabilitas skor tes adalah mengetahui tingkat ketepatan (*precision*) dan keajegan (*consistency*) skor tes. Untuk mengetahui koefisien reliabilitas tes soal bentuk pilihan ganda dapat digunakan rumus Kuder-Richardson 21 (KR-21) seperti berikut:

$$r_{11} = \frac{n}{n-1} \left[1 - \frac{M(n-M)}{nS_t^2} \right] \dots\dots\dots(8)$$

(Arikunto, 2012).

Untuk menentukan tinggi rendahnya koefisien reliabilitas (r) dapat ditentukan berdasarkan kriteria sebagai berikut:

Tabel 4. Klasifikasi Koefisien Reliabilitas Tes

No	Reliabilitas Tes (r)	Kategori instrumen tes
1	$0,00 < r \leq 0,20$	Sangat rendah
2	$0,20 < r \leq 0,40$	Rendah
3	$0,40 < r \leq 0,60$	Sedang
4	$0,60 < r \leq 0,80$	Tinggi
5	$0,80 < r \leq 1,00$	Sangat Tinggi

(Arikunto, 2003)

1) Secara kuantitatif

Sebagai patokan untuk penarikan kesimpulan analisis secara kuantitatif dapat digunakan kriteria pada aspek berikut ini:

a) Tingkat kesukaran soal

(1) Apabila tingkat kesukaran soal mudah, sedang, dan sukar memenuhi proporsi seimbang yaitu 27%, 46%, 27% maka soal dikategorikan baik.

(2) Apabila tingkat kesukaran soal mudah, sedang, dan sukar tidak memenuhi proporsi seimbang yaitu 27%, 46%, 27% maka soal dikategorikan tidak baik

b) Daya pembeda soal

(1) Apabila kriteria daya pembeda $0,30 - 1,00 \geq 85\%$ maka soal dikategorikan baik.

(2) Apabila kriteria daya pembeda $0,30 - 1,00 < 85\%$ maka soal dikategorikan tidak baik.

c) Validitas

- (1) Jika presentase validitas $\geq 85\%$ maka soal tersebut dikategorikan valid.
- (2) Jika presentase validitas $< 85\%$ maka soal tersebut dikategorikan tidak valid.

Ketentuan ketentuan tersebut akan menjadi dasar untuk meangalisis, tes hasil ujian siswa dinyatakan baik apabila terdapat dua variable yaitu tingkat kesukaran soal, dan daya pembeda soal dikategorikan baik, dan satu variabel validitas soal dikategorikan valid.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan program dapat dilihat seperti pada gambar (2),(3) dan (4)

Gambar 2. Tampilan Hasil Program Analisis Butir Soal

Gambar 3. Tampilan Hasil Anaisis dari Program Analisis Butir Soal

Gambar 4. Tampilan Hasil Rekap Laporan Program Analisis Butir soal

Hasil penilaian pengguna :

Dari hasil penilaian pengguna di dapati Seperti pada Tabel (1) dan (2) :

Tabel 1. Hasil Penilaian Pengguna

Aspek	Pernyataan	Rata-rata	Standar Deviasi	Varians
Perancangan	1 - 10	4.03	0.52	0.29
Pedagogi	11 - 20	3.97	0.62	0.43
Isi	21 - 30	3.76	0.64	0.42
Teknik	31 - 38	4.02	0.66	0.48
Keselu	1 - 38	3.95	0.40	0.16

Tabel 2. Realibilitas (α Croncbach)

Cronbach's Alpha	Jumla Item
.740	38

Berdasarkan pada Tabel (1) dan (2) dapat dikatakan bahwa Program analisis butir soal adalah Valid dan Releabel dengan tingkat releabilitas $\alpha = 0.74$

Analisis Hasil Uji coba secara Kuantitatif

Dari data analisis secara kuantitatif diperoleh hasil analisis butir soal tryout ujian SMA Se-kota Pekanbaru Fisika Tahun 2014 dijelaskan pada aspek berikut:

a. Sebaran Butir Soal berdasarkan ranah kognitif

Tingkat kesukaran berdasarkan taraf penguasaan sebaiknya perbandingan soal kategori pengetahuan: pemahaman + aplikasi: analisis + sintesis + evaluasi ($C1 : C2 + C3 : C4 + C5 + C6$) adalah 30% soal mudah : 50% soal sedang : 20% soal sukar. Sementara hasil analisis pada taraf penguasaan soal ujian IPA fisika SMP 17 Pekanbaru hanya terdapat perbandingan soal kategori $C1: C2+ C3: C4$ yaitu: 20% soal mudah: 60% soal sedang: 20% soal sukar. Berdasarkan hal tersebut kualitas soal yang dimiliki belum dikategorikan dengan proporsi soal yang baik, karena terjadi penumpukan pada soal $C2$ dan $C3$, sebaiknya proporsi soal dikurangi agar memenuhi proporsi yang seimbang. Sementara soal-soal pada tingkatan $C1$ dan $C4$ masih sedikit jumlahnya, sebaiknya soal perlu ditambah agar menjadi proporsi yang seimbang.

a. Keefektifan pengecoh (Distraktor) beserta Omit

Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat 3 dari 20 butir soal (15%) semua distraktor berfungsi dengan baik yaitu pada nomor 13, 14, dan 18. Karena semua distraktor sudah dipilih lebih dari 5% pengikut tes. Butir soal yang distraktornya tidak berfungsi dengan baik misalnya pada nomor satu, *option* D merupakan kunci jawaban dan *option* A, B, dan C merupakan distraktor atau pengecoh soal. Berdasarkan hal tersebut bahwa dari 3 distraktor terdapat 1 distraktor yang tidak berfungsi dengan baik yaitu pada *option* B, karna distraktor dipilih kurang dari 5% pengikut tes. Sedangkan omit sudah dikatakan baik karna tidak ada nilai omit yang lebih dari 10% dari setiap butir soal yang terdapat pada nomor soal 13.

Sebagai tindak lanjut dari hasil penganalisisan terhadap fungsi distraktor tersebut maka distraktor yang sudah berfungsi dengan baik dapat digunakan lagi pada ujian semester tahun berikutnya, sedangkan distraktor yang belum berfungsi dengan baik sebaiknya diperbaiki atau diganti dengan distraktor yang lain sehingga dapat digunakan. Menurut Arikunto (2012) sebuah distraktor dapat berfungsi dengan baik apabila distraktor tersebut mempunyai daya tarik yang besar bagi pengikut-pengikut tes yang kurang memahami konsep atau kurang menguasai bahan. Sebaliknya pengecoh yang tidak dipilih sama sekali oleh *testee* berarti pengecoh itu jelek, terlalu menyolok menyesatkan.

b. Tingkat kesukaran soal

Berdasarkan hasil yang diperoleh bahwa tingkat kesukaran soal terdapat 8 butir soal mudah (40%), 11 butir soal sedang (55%) dan 1 butir soal sukar (5%). Jadi, perbandingan proporsi soal ujian semester ganjil IPA fisika tahun 2012 tersebut adalah 40% soal mudah: 55% soal sedang: 5% soal sukar. Menurut Mudjijo (1995), suatu tes hasil belajar yang baik memiliki butir soal yang tingkat kesukarannya seimbang, artinya berdistribusi secara normal masing-masing adalah 27% soal mudah, 46% soal sedang, dan 27% soal sukar. Berdasarkan asumsi tersebut soal tidak berkualitas baik, karena soal

dengan kategori mudah, sedang, dan sukar tidak terdapat secara seimbang yaitu 40% soal mudah: 55% soal sedang: 5% soal sukar. Oleh sebab itu, dalam pembuatan soal proporsi soal yang mudah dan sedang dikurangi sedangkan soal yang sukar harus ditambah. Sehingga didapatkan proporsi soal yang memiliki tingkat kesukaran secara seimbang.

c. Daya Pembeda Soal

Dari hasil analisis terdapat 4 butir soal (20%) yang tidak berfungsi, 4 butir soal (20%) perlu revisi pada nomor 5, 6, 8, dan 11. 7 butir soal (35%) diterima dan tidak perlu revisi, dan 5 butir soal (25%) kategori baik. Menurut Mardapi (dalam Rasyid dan Mansur 2007) angka 0,3 merupakan angka kriteria minimal suatu butir soal yang baik. Berdasarkan hasil data tersebut kualitas soal yang baik terdapat sebanyak 12 butir soal (60%) yaitu pada soal nomor 1, 2, 3, 4, 7, 9, 13, 14, 15, 17, 18, dan 20 karena butir soal tersebut sudah dapat membedakan antara kelompok atas dan kelompok bawah. Tetapi, untuk menentukan kualitas dari instrumen daya pembeda dikategorikan tidak baik, karna kriteria daya pembeda $0,30 - 1,00 < 85\%$. Menurut Suryabrata, 1999 (dalam Rasyid dan Mansur, 2007), tujuan pokok mencari daya pembeda ialah untuk menentukan apakah butir soal tersebut memiliki kemampuan membedakan kelompok dalam aspek yang diukur, sesuai dengan perbedaan yang ada pada kelompok tersebut.

d. Validitas item

Menurut Arikunto (2012), suatu item dikatakan valid apabila mempunyai dukungan yang besar terhadap skor total. Artinya, validitas ditentukan apabila r hitung $> r$ tabel. Hasil analisis menunjukkan bahwa validitas butir soal 16 soal (80%) dikategorikan valid terdapat pada nomor 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 17, 18, dan 20. Sedangkan 4 soal (20%) invalid yang terdapat pada nomor 10, 12, 16, dan 19. Sehingga kualitas instrumen tes dikategorikan tidak valid karna nilai persentase validitas $< 85\%$.

Butir yang mempunyai validitas tertinggi adalah butir nomor 14 dengan koefisien korelasi 0,448 dengan kategori sedang. Dan yang paling rendah adalah butir soal nomor 16 dengan koefisien korelasi 0,075 dengan kategori sangat rendah. Pada penelitian ini r tabel yang diambil berdasarkan sampel yang digunakan sebanyak 151 peserta tes dengan nilai r tabel sebesar 0,159 dan tingkat kesalahan 5%.

e. Reliabilitas Tes

Hasil analisis reliabilitas tes dihitung dari butir soal yang valid sehingga diperoleh hasil 0,789 reliable dengan kategori instrument reliabel. Menurut Surapranata (2009) besar kecilnya reliabilitas suatu tes ditentukan oleh besar kecilnya nilai korelasi tes yang dinamakan indeks reliabilitas. Indeks reliabilitas ini berkisar antara 0 sampai 1. Semakin

tinggi koefisien reliabilitas suatu tes (mendekati 1), makin tinggi pula keajegan atau ketepatannya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil pembahasan yang telah dilakukan maka dapatlah disimpulkan bahwa Program Analisis Butir soal telah dirancang dengan menggunakan ADDIE Model dengan tahapan Analisis, Perancangan, Pengembangan, implementasi dimana tiap tahapan perancangan itu dilakukan evaluasi diperoleh hasil bahwa program analisis butir soal ini adalah Valid dan reliabel dengan α (alpha) Cronchbach = 0,743 dengan kategori reliabel.

2. Saran

Program ini sudah di ujikan secara empirik, sebaiknya program ini dapat diproduksi secara masal dan dapat di buatkan panduan secara terintegrasi dalam program agar pengguna program ini dapat menggunakan secara baik untuk dapat memberikan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anthony J. Nitko 1996, Educational Assessments Students. Prentice Hall PT. New York. 308
- [2] Anne Anastasi , Susana Urbina, 1997. Appropriate for undergraduate/graduate courses in psychological testing, tests and measurements, and test construction. Pearson. 184.
- [3] Linn and Gronlund. 1995. Measurement and assessment in teaching. Englewood Cliffs, N.J Merrill. 315.
- [4] Aiken Lewis R. 1994. Perspective of Individual Difference : Assessment of Intellectual Functioning, Plenium, Plenium Press New York. 63.
- [5] Rasyid, Harun dan Mansur., 2007, Penilaian Hasil Belajar, CV. Wacana Prima, Bandung.
- [6] Daryanto, H., 2007, *Evaluasi Pendidikan* ,Rineka Cipta, Jakarta.
- [7] Thoha, C., 2003, *Teknik Evaluasi Pendidikan*, Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- [8] Muhammad Nasir, dkk (2012) Program Perbaikan Mutu Pembelajaran Melalui Analisis Butir Soal Ujian Nasional Di Kabupaten Karimun, Propinsi Kepulauan Riau, Laporan Pengabdian Masyarakat, Sedang Publikasi Jurnal.
- [9] Sudijono., 2009, *Pengantar Statistik Pendidikan*. Raja Grafindo Persada, Jakarta

- [10] Sudjana, Nana., 2008, *Penilaian Hasil Proses Belajar Mengajar*, Pt Remaja Rosdakarya, Bandung.
- [11] Arikunto, S., 2012, *Dasar – Dasar Evaluasi Pendidikan Edisi 2*, PT Bumi Aksara, Jakarta.
- [12] Arikunto, S., 2009, *Dasar – Dasar Evaluasi Pendidikan*, PT Bumi Aksara, Jakarta.
- [13] Arikunto, S., 2003, *Dasar – Dasar Evaluasi Pendidikan*, PT Bumi Aksara, Jakarta.

- [14] Yuliana, Nadia., 2009, *Hasil Belajar Keterampilan Kognitif Sains Fisika Siswa Dengan Bantuan Komputer (Computer Assisted Instruction) Menggunakan Media Pembelajaran Animasi Gaya Gravitasi Pada Kelas Xi Sma Muhammadiyah Pekanbaru*, Skripsi, FKIP Universitas Riau, Pekanbaru (tidak diterbitkan).



Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

UNTAN
Universitas Tanjungpura



PROSIDING
SEMIRATA 2015