

**UJI TOKSISITAS AKUT LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU
TERHADAP IKAN MAS (*Cyprinus carpio* Lin)
(Studi Kasus: Limbah Cair Industri Tahu “SUPER”, Padang)
Oleh :**

Hayatul Husni; Esmiralda, MT
Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Andalas

ABSTRAK

*Limbah cair industri tahu yang dibuang ke badan air penerima tanpa pengolahan merupakan salah satu sumber pencemar terhadap perairan yang menyebabkan kematian biota akuatik sehingga perlu dilakukan uji toksisitas akut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai LC₅₀ dan menganalisis hubungan karakteristik limbah cair industri tahu “SUPER” Kota Padang terhadap nilai LC₅₀. Sampel limbah cair diambil secara acak sebanyak tiga kali pada outlet pembuangan limbah cair industri tahu. Uji toksisitas akut dilakukan dengan metode statis dalam waktu 24 jam menggunakan hewan uji ikan mas (*Cyprinus carpio* L). Konsentrasi rata-rata parameter COD, TSS, amonia, pH dan suhu limbah cair industri tahu “SUPER” sebesar 4733,33 mg/l; 2021,33 mg/l; 3,42 mg/l; 4,71 dan 29^oC. Berdasarkan hasil analisis karakteristik limbah cair tahu diketahui bahwa parameter COD, TSS, amonia dan pH melewati baku mutu KepMenLH No. Kep-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri untuk golongan I. Nilai LC₅₀ sampel I, II dan III berturut-turut berdasarkan analisis metode Probit adalah 1,713%; 1,946% dan 1,813% dengan nilai LC₅₀ rata-rata dari ketiga sampel tersebut sebesar 1,824%. Berdasarkan hasil analisis hubungan karakteristik limbah cair tahu terhadap nilai LC₅₀ diketahui bahwa karakteristik COD, TSS dan amonia mempengaruhi nilai LC₅₀. Seiring dengan kenaikan nilai karakteristik limbah cair tersebut maka nilai LC₅₀ akan semakin kecil dan begitu juga sebaliknya.*

*Kata kunci: LC₅₀-24 jam, metode statis, metode Probit, limbah cair tahu, ikan mas (*Cyprinus carpio* L.)*

PENDAHULUAN

Industri tahu saat ini telah berkembang pesat dan menjadi salah satu industri rumah tangga yang tersebar luas baik di kota-kota besar maupun kecil. Industri tahu dalam proses produksinya menghasilkan limbah cair dan padat. Limbah padat dari hasil proses produksi tahu berupa ampas tahu. Limbah cair tahu dihasilkan dari proses pencucian, perebusan, pengepresan dan pencetakan tahu sehingga kuantitas limbah cair yang dihasilkan sangat tinggi. Limbah cair tahu mengandung polutan organik yang cukup tinggi serta padatan tersuspensi maupun terlarut yang akan mengalami perubahan fisika, kimia, dan biologi. Menurut Soedarmo dan Sediaoetama dalam Dhahiyat (1990), di dalam 100 gram tahu terdapat 7,8 gram protein, 4,6 gram lemak dan 1,6 gram karbohidrat. Polutan organik yang cukup tinggi tersebut apabila terbuang ke badan air penerima dapat mengakibatkan terganggunya kualitas air dan menurunkan daya dukung lingkungan perairan di sekitar industri tahu. Penurunan daya dukung lingkungan tersebut menyebabkan kematian organisme air, terjadinya *alga blooming* sehingga menghambat pertumbuhan tanaman air lainnya dan menimbulkan bau (Rossiana, 2006).

Industri tahu “SUPER” di daerah Kurao, Siteba, Kota Padang menggunakan lebih kurang 15 kuintal kedelai per hari dan menghasilkan limbah cair sebesar 10-20 m³ per hari. Limbah cair ini berasal dari sisa air tahu

yang menggumpal dan air yang terbuang selama proses pembuatan tahu. Limbah cair industri tahu “SUPER” Kurao, Siteba, Kota Padang memiliki karakteristik berupa pH, TSS, COD, BOD₅, amonia, nitrit, dan nitrat sebesar berturut-turut 4-5; 2.414-3.000 mg/l; 12.850-15.000 mg/l; 1.687,75-7.000 mg/l; 2,2125-16 mg/l; 0,164-0,5 mg/l; 274,02-300 mg/l (Baristand Indag, 2004). Karakteristik limbah cair tersebut apabila dibandingkan dengan KepMenLH No. 51 tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri untuk golongan I (Lampiran A), kadar pH, TSS, COD, BOD₅, amonia, dan nitrat telah melampaui baku mutu. Sedangkan konsentrasi nitrit masih memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Limbah cair tahu dibuang secara langsung ke badan air penerima tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Dampak pembuangan limbah tahu ini membuat masyarakat di sekitar industri pengolahan tahu merasakan bau busuk sebagai akibat dari adanya kondisi anaerobik yang menghasilkan karbondioksida dan hidrogen sulfida.

Limbah cair industri tahu yang dibuang ke badan air penerima tanpa pengolahan merupakan salah satu sumber pencemar terhadap perairan yang menyebabkan kematian biota akuatik sehingga perlu dilakukan penelitian uji toksisitas akut. Uji toksisitas akut merupakan salah satu bentuk penelitian toksikologi perairan. Uji tersebut berfungsi untuk

mengetahui apakah *effluent* yang masuk ke badan air penerima mengandung senyawa toksik dalam konsentrasi tertentu menyebabkan kematian hewan uji yang dinyatakan dalam nilai LC_{50} . Hewan uji yang digunakan adalah ikan karena dapat menunjukkan reaksi terhadap perubahan fisik air maupun terhadap senyawa pencemar terlarut dalam batas konsentrasi tertentu. Ikan yang digunakan yaitu ikan mas (*Cyprinus carpio L*) karena sangat peka terhadap perubahan lingkungan sehingga dapat ditentukan kadar limbah yang menyebabkan efek toksik terhadap ikan mas. Uji toksisitas dengan menggunakan ikan mas juga dijadikan sebagai salah satu aspek monitoring pencemaran terhadap kualitas air baku (*early warning system*).

Maksud

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat toksisitas limbah tahu terhadap hewan uji.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai LC_{50} limbah cair industri tahu "SUPER" Kota Padang;
2. Menganalisis hubungan karakteristik limbah cair industri tahu "SUPER" Kota Padang terhadap nilai LC_{50} .

TINJAUAN PUSTAKA

Hidup manusia sangat bergantung pada sumber daya alam yang ada disekitarnya sebagai pemenuh kebutuhannya. Selama hidupnya pula manusia membuang kotoran yang tidak diperlukannya kembali ke lingkungan. Pada saat limbah yang dihasilkan masih sedikit, alam masih mampu membersihkan dirinya dari segala macam buangan/kotoran dengan mekanisme yang berada di alam (ekosistem), yang dikenal sebagai *self purification process*. Pada akhirnya, buangan yang bertambah banyak dan seringkali tidak bersifat alamiah, membuat lingkungan tidak mampu membersihkan dirinya. Peningkatan keanekaragaman buangan baik buangan industri dan domestik dalam bentuk padat maupun cair akan membuat konsentrasi buangan akan semakin tinggi sehingga akan meningkatkan potensi terjadinya keracunan dan wabah penyakit.

Limbah Cair

Limbah cair atau air buangan merupakan air yang tidak dapat dimanfaatkan lagi serta dapat menimbulkan dampak yang buruk terhadap manusia dan lingkungan. Keberadaan limbah cair tidak diharapkan di lingkungan karena tidak mempunyai nilai ekonomi. Pengolahan yang tepat bagi limbah cair sangat diutamakan agar tidak mencemari lingkungan (Mardana, 2002).

Karakteristik Limbah Cair

Limbah cair baik domestik maupun non domestik mempunyai beberapa karakteristik sesuai dengan sumbernya, dimana karakteristik limbah cair dapat digolongkan pada karakteristik fisik, kimia, dan biologi sebagai berikut (Metcalf and Eddy, 2003) :

a. Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik air limbah yang perlu diketahui adalah *total solid*, bau, temperatur, densitas, warna, konduktivitas dan *turbidity* (Metcalf and Eddy, 2003).

- Total solid
Total solid adalah semua materi yang tersisa setelah proses evaporasi pada suhu $103^{\circ}C$ - $105^{\circ}C$. Karakteristik yang bersumber dari saluran air domestik, industri, erosi tanah, dan infiltrasi/*inflow* ini dapat menyebabkan bangunan pengolahan penuh dengan *sludge* dan kondisi anaerob dapat tercipta sehingga mengganggu proses pengolahan.
- Bau
Karakteristik ini bersumber dari gas-gas yang dihasilkan selama dekomposisi bahan organik dari air limbah atau karena penambahan suatu substrat ke air limbah.
- Temperatur
Temperatur air mempengaruhi konsentrasi oksigen terlarut di dalam air. Semakin tinggi temperatur air kandungan oksigen dalam air berkurang atau sebaliknya.
- Density
Density adalah perbandingan antara massa dengan volume yang dinyatakan sebagai *slug/ft³* (kg/m^3).
- Warna
Air limbah yang berwarna, banyak menyerap oksigen dalam air, sehingga dalam waktu lama akan membuat air berwarna hitam dan berbau. Pada kenyataannya pencemaran oleh zat warna juga dapat menyebabkan gangguan estetika lingkungan.
- Kekeruhan (*Turbidity*)
Turbidity atau dikenal sebagai kekeruhan ini diukur dengan perbandingan antara intensitas cahaya yang dipendarkan oleh sampel air limbah dengan cahaya yang dipendarkan oleh suspensi standar pada konsentrasi yang sama.

b. Karakteristik Kimia

Pada air limbah ada tiga karakteristik kimia yang perlu diidentifikasi yaitu, bahan organik, anorganik, dan gas (Metcalf and Eddy, 2003).

- Bahan organik
Pada air limbah bahan organik bersumber dari hewan, tumbuhan, dan aktivitas manusia. Bahan organik itu sendiri terdiri dari C, H, O, N dan walaupun banyak sekali jenis bahan organik, yang menjadi karakteristik kimia adalah protein, karbohidrat, lemak dan minyak, surfaktan, *Volatile Organic Compound* (VOC), pestisida dan fenol, dimana sumbernya adalah limbah

domestik, komersil, industri kecuali pestisida yang bersumber dari pertanian dan fenol dari industri.

- Bahan anorganik
Jumlah bahan anorganik meningkat sejalan dan dipengaruhi oleh asal air limbah. Pada umumnya berupa senyawa-senyawa yang mengandung logam berat, senyawa-senyawa anorganik yang bersifat asam kuat dan basa kuat, senyawa fosfat, senyawa-senyawa nitrogen (amonia, nitrit, dan nitrat), dan juga senyawa-senyawa belerang (sulfat dan hidrogen sulfida).
- Gas
Gas yang umumnya ditemukan dalam limbah cair yang tidak diolah adalah nitrogen (N_2), oksigen (O_2), metana (CH_4), hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), dan karbon dioksida (CO_2).
- c. **Karakteristik Biologi**
Pada air limbah, karakteristik biologi menjadi dasar untuk mengontrol timbulnya penyakit yang dikarenakan organisme patogen. Karakteristik biologi tersebut seperti bakteri dan mikroorganisme lainnya yang terdapat dalam dekomposisi dan stabilisasi senyawa organik (Metcalf and Eddy, 2003)

Sumber Limbah Cair

Sumber air limbah dikelompokkan menjadi 3 kategori, yaitu (Metcalf and Eddy, 2003):

1. Air limbah domestik atau rumah tangga
Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 112 tahun 2003, limbah cair domestik adalah limbah cair yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen, asrama. Air limbah domestik mengandung berbagai bahan antara lain: kotoran, *urine* dan air bekas cucian yang mengandung detergen, bakteri dan virus.
2. Air limbah industri
Air yang dihasilkan oleh industri, baik akibat proses pembuatan atau produksi yang dihasilkan industri tersebut maupun proses lainnya (Darmono, 2001). Limbah non domestik adalah limbah yang berasal dari pabrik, industri, pertanian, peternakan, perikanan, transportasi, dan sumber-sumber lain.
3. Infiltrasi
Infiltrasi adalah masuknya air tanah ke dalam saluran air buangan melalui sambungan pipa, pipa bocor, atau dinding *manhole*. Sedangkan *inflow* adalah masuknya aliran air permukaan melalui tutup *manhole*, atap, area drainase, *cross connection* saluran air hujan maupun air buangan. Besarnya infiltrasi dan *inflow* yang masuk ke saluran air buangan tergantung pada panjang saluran, umur saluran, konstruksi material, jarak muka air tanah terhadap saluran, tipe tanah, penutup tanah dan kondisi topografi.

Dampak Limbah Cair

Limbah organik mengandung sisa-sisa bahan organik, detergen, minyak dan kotoran manusia. Limbah ini dalam skala yang kecil tidak akan terlalu mengganggu, akan tetapi dalam jumlah besar sangat merugikan. Dampak negatif yang dapat ditimbulkan limbah cair adalah sebagai berikut:

1. Gangguan terhadap kesehatan manusia
Gangguan limbah cair terhadap kesehatan manusia dapat disebabkan oleh kandungan bakteri, virus, senyawa nitrat, beberapa bahan kimia dari industri dan jenis pestisida yang terdapat dari rantai makanan, serta beberapa kandungan logam seperti merkuri, timbal dan kadmium. Beberapa senyawa dapat menyebabkan gangguan atau kerusakan genetik dan sistem reproduksi manusia, misalnya pestisida serta beberapa zat kimia yang berasal dari industri dan senyawa radio aktif.
2. Gangguan terhadap keseimbangan ekosistem
Kerusakan terhadap tanaman dan binatang yang hidup pada perairan disebabkan oleh eutrofikasi dan pertumbuhan tanaman yang berlebihan. Hal ini dipengaruhi oleh konsentrasi pencemar yang tinggi dan menyebabkan penurunan oksigen terlarut karena terjadi dekomposisi dan fermentasi terhadap limbah cair yang memerlukan oksigen sebagai komponen utama, sedangkan sinar matahari terhalangi untuk masuk ke dalam air. Kurangnya sinar matahari menghambat terjadinya proses fotosintesis.
3. Gangguan terhadap estetika dan benda
Gangguan kenyamanan dan estetika berupa warna, bau dan rasa. Kerusakan benda yang disebabkan oleh garam-garam terlarut seperti korosif atau karat, air berlumpur, menyebabkan menurunnya kualitas tempat-tempat rekreasi dan perumahan akibat bau serta eutrofikasi.

Limbah Cair Industri Tahu Bahan Baku

Industri pengolahan tahu "SUPER" Kota Padang menggunakan lebih kurang 16 karung kedelai per hari atau 800 kg kedelai dan menghasilkan limbah cair sebesar 5-10 m³ per hari. Bahan penggumpal filtrat yang digunakan pada industri tahu ini adalah batu tahu ($CaSO_4 \cdot nH_2O$).

Proses Produksi Tahu

Urutan proses atau cara pembuatan tahu secara umum sebagai berikut (Kaswinarni, 2007):

1. Pemilihan (penyortiran) bahan baku kedelai merupakan pekerjaan paling awal dalam pembuatan tahu. Tujuan dari penyortiran ini adalah agar kualitas tahu tetap terjaga dengan baik.
2. Perendaman kedelai dilakukan di dalam bak atau ember yang berisi air selama \pm 3-12 jam. Setelah direndam, kemudian dilakukan pengupasan kulit

- kedelai dengan cara meremas-remas kedelai di dalam air, kemudian dikuliti.
- Setelah direndam dan dikuliti kemudian dicuci. Pencucian ini dilakukan untuk menghilangkan kotoran yang melekat maupun tercampur dalam kedelai.
 - Setelah kedelai direndam dan dicuci bersih, selanjutnya dilakukan penggilingan. Pada saat penggilingan diberi air mengalir agar bubur kedelai terdorong keluar kemudian ditampung dalam ember.
 - Proses selanjutnya adalah perebusan bubur kedelai dengan tujuan untuk menginaktifkan zat antinutrisi kedelai yaitu tripsin inhibitor dan sekaligus meningkatkan nilai cerna, mempermudah ekstraksi atau penggilingan dan penggumpalan protein serta menambah keawetan produk. Bubur kedelai yang telah terbentuk kemudian diberi air, selanjutnya dididihkan dalam tungku pemasakan. Setelah mendidih sampai ± 5 (lima) menit kemudian dilakukan penyaringan.
 - Cairan bahan baku tahu atau bubur kedelai yang sudah direbus (pada keadaan panas) kemudian disaring dengan kain blaco atau kain mori kasar sambil dibilas dengan air hangat, sehingga susu kedelai dapat terekstrak keluar semua. Proses ini menghasilkan limbah padat yang disebut dengan ampas tahu. Filtrat yang masih dalam keadaan hangat secara pelan-pelan diaduk sambil diberi asam (catu). Pemberian asam ini dihentikan apabila sudah terlihat penggumpalan.
 - Gumpalan tahu diambil dan dituangkan ke dalam cetakan yang sudah tersedia dan dialasi dengan kain kemudian diisi sampai penuh. Selanjutnya kain ditutupkan ke seluruh gumpalan tahu dan dipres. Alat pemberat atau pres biasanya mempunyai berat $\pm 3,5$ kg dan lama pengepresan biasanya ± 1 menit, sampai airnya keluar. Setelah dirasa cukup dingin, kemudian tahu dipotong-potong sesuai dengan keinginan konsumen dipasar.

Sumber Limbah Industri Tahu

Limbah industri tahu pada umumnya dibagi menjadi dua bentuk limbah, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat industri pengolahan tahu berupa kotoran hasil pembersihan kedelai (batu, tanah, kulit kedelai, dan benda padat lain yang menempel pada kedelai) dan sisa saringan bubur kedelai yang disebut dengan ampas tahu. Ampas tahu yang terbentuk besarnya berkisar antara 25%-35% dari produk tahu yang dihasilkan. Ampas tahu masih mengandung kadar protein cukup tinggi sehingga masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak dan ikan, misalnya ikan bandeng. Salah satu sifat dari ampas tahu ini adalah mempunyai sifat yang cepat tengik (basi dan tidak tahan lama) serta menimbulkan bau busuk kalau tidak cepat dikelola.

Tabel 1. Komposisi Bahan Kimia Ampas Tahu

No.	Unsur	Satuan	Nilai
1.	Kalori	kal	414
2.	Protein	g	26,6
3.	Lemak	g	18,3
4.	Karbohidrat	g	41,3
5.	Kalsium	mg	19
6.	Fosfor	mg	29
7.	Besi	mg	4,0
8.	Vit. B	mg	0,20
9.	Air	g	9,0

Sumber: KLH, 2006

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu sebagian besar adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih (whey). Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai.

Karakteristik Limbah Industri Tahu

Limbah cair industri tahu merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan. Karakteristik air buangan yang dihasilkan berbeda karena berasal dari proses yang berbeda. Karakteristik buangan industri tahu meliputi dua hal, yaitu karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi padatan total, padatan tersuspensi, suhu, warna, dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Suhu air limbah tahu berkisar 37-45°C; kekeruhan 535-585 FTU; warna 2.225-2.250 Pt.Co; amonia 23,3-23,5 mg/l; BOD₅ 6.000-8.000 mg/l dan COD 7.500-14.000 mg/l (Kaswinarni, 2007). Karakteristik limbah cair industri tahu antara lain:

- Temperatur
Suhu buangan industri tahu berasal dari proses pemasakan kedelai. Suhu yang meningkat di lingkungan perairan akan mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lain, kerapatan air, viskositas, serta tegangan permukaan. Suhu limbah cair yang dihasilkan dari proses pencetakan tahu 30°C-35°C dan sekitar 80°C-100°C dari air bekas merebus kedelai.
- pH
Nilai pH air digunakan untuk mengekspresikan kondisi keasaman (konsentrasi ion hidrogen) air limbah. Skala pH berkisar antara 1-14; kisaran nilai pH 1-7 termasuk kondisi asam, pH 7-14 termasuk kondisi basa, dan pH 7 adalah kondisi netral.
- TSS (*Total Suspended Solid*)
Padatan-padatan tersuspensi/TSS (*Total Suspended Solid*) digunakan untuk menentukan kepekaan air limbah, efisiensi proses dan beban unit proses. Pengukuran yang bervariasi terhadap konsentrasi residu diperlukan untuk menjamin kemandirian proses kontrol.
- BOD dan COD
Kebutuhan oksigen dalam air limbah ditunjukkan melalui BOD dan COD. BOD

(*Biological Oxygen Demand*) adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Metcalf and Eddy, 2003). COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah kebutuhan oksigen dalam proses oksidasi secara kimia. Nilai COD akan selalu lebih besar daripada BOD karena kebanyakan senyawa lebih mudah teroksidasi secara kimia daripada secara biologi.

5. Senyawa-senyawa organik di dalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Senyawa-senyawa berupa protein dan karbohidrat memiliki jumlah yang paling besar yaitu 40%-60% dan 25%-50% sedangkan lemak 10%. Komponen terbesar dari limbah cair tahu yaitu protein (N-total) sebesar 226,06-434,78 mg/l, sehingga masuknya limbah cair tahu ke lingkungan perairan akan meningkatkan total nitrogen di perairan tersebut.
6. Gas-gas yang biasa ditemukan dalam limbah tahu adalah gas nitrogen (N_2), amonia (NH_3), Oksigen (O_2), hidrogen sulfida (H_2S), karbondioksida (CO_2) dan metana (CH_4). Gas-gas tersebut berasal dari dekomposisi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air buangan.

Dampak Limbah Industri Tahu

Herlambang (2002) menyatakan bahwa dampak yang ditimbulkan oleh pencemaran bahan organik limbah industri tahu adalah gangguan terhadap kehidupan biotik yang disebabkan oleh meningkatnya kandungan bahan organik. Selama proses metabolisme oksigen banyak dikonsumsi, sehingga apabila bahan organik dalam air sedikit, oksigen yang hilang dari air akan segera diganti oleh oksigen hasil proses fotosintesis dan oleh reaserasi dari udara. Apabila konsentrasi beban organik terlalu tinggi, maka akan tercipta kondisi anaerobik yang menghasilkan produk dekomposisi berupa amonia, karbondioksida, asam asetat, hidrogen sulfida, dan metana. Senyawa-senyawa tersebut sangat toksik bagi sebagian besar hewan air, dan akan menimbulkan gangguan terhadap keindahan (gangguan estetika) yang berupa rasa tidak nyaman dan menimbulkan bau.

Bila kondisi anaerobik tersebut dibiarkan maka air limbah akan berubah warnanya menjadi cokelat kehitaman dan berbau busuk. Apabila limbah ini dialirkan ke sungai maka akan mencemari sungai dan bila masih digunakan sebagai pemenuh kebutuhan sehari-hari maka akan menimbulkan gangguan kesehatan berupa penyakit gatal, diare, kolera, radang usus dan penyakit lainnya, khususnya yang berkaitan dengan air yang kotor dan sanitasi lingkungan yang tidak baik (Kaswinarni, 2007).

Penelitian Toksikologi

Toksikologi adalah ilmu yang mempelajari efek merugikan dari zat-zat kimia terhadap organisme hidup. Selain itu toksikologi juga mempelajari kerusakan/cedera pada organisme (hewan, tumbuhan, dan manusia) yang diakibatkan oleh suatu materi substansi/energi, mempelajari racun tidak saja efeknya, tetapi juga mekanisme terjadinya efek tersebut pada organisme dan mempelajari kerja kimia yang merugikan terhadap organisme. Serta mempelajari secara kuantitatif dan kualitatif pengaruh jelek dari zat kimiawi, fisis, dan biologis terhadap sistem biologis (Soemirat, 2003).

Faktor-faktor Toksisitas

Limbah atau toksikan di alam ada yang bersifat tunggal dan campuran. Keberadaannya di lingkungan (terutama perairan) akan berinteraksi dengan komponen atau faktor lain. Tingkat toksisitas dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut (Mangkoediharjo dan Samudro, 2009):

1. Berkaitan dengan toksikan itu sendiri.
Toksisitas toksikan dapat dipengaruhi oleh komposisi toksikan. Ada kemungkinan komponen toksikan mempunyai perbedaan toksisitas. Faktor lain adalah sifat-sifat fisik kimia toksikan.
2. Berkaitan dengan pemaparan toksikan.
Toksikan akan menghasilkan efek negatif jika kontak dan bereaksi dengan target biota pada konsentrasi tertentu dan waktu tertentu. Faktor-faktor yang berkaitan dalam pemaparan toksikan adalah:
 - Jenis toksikan
Toksikan hidrofilik (suka air) akan terlarut dalam air dan lebih cepat mengadakan kontak reaksi dibanding toksikan hidrofobik bagi biota pelagik.
 - Durasi pemaparan
Pemaparan jangka pendek (skala waktu jam dan hari) secara umum sangat pendek dibandingkan umur reproduksi biota dari toksikan (misalnya hidrofilik) dapat memberikan efek akut. Pemaparan jangka panjang (skala waktu hari, minggu, bulan dan tahun) secara umum meliputi umur generasi biota mungkin diperlukan bagi toksikan (misalnya hidrofobik) agar memberi kesempatan toksikan mengadakan kontak reaksi dan memberikan efek kronis.
 - Frekuensi pemaparan
Frekuensi pemaparan bisa sekali, berulang atau kontinu.
 - Konsentrasi toksikan
Pada umumnya berkaitan dengan frekuensi pemaparan. Pemaparan sekali terjadi pada konsentrasi tinggi dan menurun untuk pemaparan berulang hingga kontinu.

3. Berkaitan dengan lingkungan
Sifat-sifat lingkungan yang mempengaruhi toksikan di atas juga mempengaruhi toksisitas toksikan.
4. Berkaitan dengan biota
Toksitas toksikan berbeda untuk berbagai spesies biota, karena adanya perbedaan ketahanan dan kemudahan spesies biota menerima toksikan. Perbedaan diantara spesies biota tersebut berkaitan dengan faktor-faktor genetik, umur dan status kesehatan.

Penelitian Toksikologi Perairan

Penelitian toksikologi dalam perairan dapat dilakukan untuk mengetahui atau mengidentifikasi apakah *effluent* dan badan air penerima mengandung senyawa toksik dalam konsentrasi yang menyebabkan toksisitas akut atau toksisitas kronis. Penelitian ini juga dapat digunakan untuk menentukan toksisitas suatu senyawa spesifik yang terdapat dalam *effluent*. uji toksisitas ini dapat dilakukan baik di laboratorium ataupun di tempat (*on site*) dengan ijin dari yang berwenang (EPA, 1992).

Penelitian Toksisitas Akut

Toksitas diartikan sebagai kemampuan racun (molekul) untuk menimbulkan kerusakan apabila masuk ke dalam tubuh dan lokasi organ yang rentan terhadapnya (Soemirat, 2003). Toksisitas dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain komposisi dan jenis toksikan, konsentrasi toksikan, durasi dan frekuensi pemaparan, sifat lingkungan, dan spesies biota penerima. Toksikan merupakan zat (berdiri sendiri atau dalam campuran zat, limbah, dan sebagainya) yang dapat menghasilkan efek negatif bagi semua atau sebagian dari tingkat organisasi biologis (populasi, individu, organ, jaringan, sel, biomolekul) dalam bentuk merusak struktur maupun fungsi biologis.

Toksikan dapat menimbulkan efek negatif bagi biota dalam bentuk perubahan struktur maupun fungsional, baik secara akut maupun kronis/ sub kronis. Efek tersebut dapat bersifat reversibel sehingga dapat pulih kembali dan dapat pula bersifat irreversibel yang tidak mungkin untuk pulih kembali.

Uji toksitas merupakan uji hayati yang berguna untuk menentukan tingkat toksitas dari suatu zat atau bahan pencemar dan digunakan juga untuk pemantauan rutin suatu limbah. Uji toksitas akut dengan menggunakan hewan uji merupakan salah satu bentuk penelitian toksikologi perairan yang berfungsi untuk mengetahui apakah *effluent* atau badan perairan penerima mengandung senyawa toksik dalam konsentrasi yang menyebabkan toksitas akut. Parameter yang diukur biasanya berupa kematian hewan uji, yang hasilnya dinyatakan sebagai konsentrasi yang menyebabkan 50% kematian hewan uji (LC_{50}) dalam waktu yang relatif pendek satu sampai empat hari.

Toksitas akut suatu *effluent* umumnya ditentukan dengan menggunakan multikonsentrasi atau tes defenitif yang terdiri dari kontrol serta minimal digunakan lima jenis konsentrasi *effluent*. Sedangkan penentuan toksitas terhadap badan air penerima menggunakan kontrol dan badan air penerima tanpa pengenceran ataupun dengan satu seri pengenceran. Hal yang perlu diperhatikan dalam pengenceran adalah air yang akan digunakan sebagai pengencer, tidak dianjurkan menggunakan air dari kran karena kandungan klor yang tersisa dalam air kran, kecuali telah dilakukan proses deklorinasi.

Berdasarkan kepada lamanya, metode penambahan larutan uji, maka uji toksitas diklasifikasikan sebagai berikut :

- Klasifikasi menurut waktu, yaitu uji hayati jangka pendek (*short term bioassay*), jangka menengah (*intermediate bioassay*) dan uji hayati jangka panjang (*long term bioassay*);
- Klasifikasi menurut metode penambahan larutan atau cara aliran larutan, yaitu uji hayati statis (*static bioassay*), pergantian larutan (*renewal bioassay*), mengalir (*flow trough bioassay*).

Uji hayati yang diklasifikasikan menurut metode penambahan larutan atau cara aliran larutan terbagi menjadi tiga macam cara (APHA, 1995), antara lain :

- *Static Test*, adalah metode uji dimana selama uji berlangsung tidak dilakukan penggantian larutan maupun pemindahan organisme uji. Keuntungan metoda ini adalah metode ini sederhana dan murah, sumber daya yang diperlukan minim (ruang, tenaga, dan peralatan) selain itu volume sampel yang diperlukan lebih sedikit. Akan tetapi, ada beberapa kelemahan yang menyebabkan kerugian metode ini terutama jika kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) tinggi akan menyebabkan penurunan *Dissolved Oxygen* (DO) dengan cepat, memungkinkan terjadinya penguapan senyawa toksik ataupun adsorpsi pada permukaan labu percobaan; umumnya kurang sensitif dari pada tes statis yang diperbaharui atau tes aliran air kontinu akibat senyawa toksik telah terdegradasi atau teradsorpsi sehingga menurunkan nilai toksitas yang sesungguhnya.
- *Renewal Test*, adalah suatu metode uji dimana organismenya didedahkan ke dalam larutan uji dalam komposisi yang sama secara periodik berulang selama uji berlangsung (dengan interval waktu pengulangan setiap 24 jam). Hal ini dilakukan dengan memindahkan organisme atau replikasi larutan, serta melakukan penggantian larutan uji. Dengan penggantian larutan, maka organisme uji akan terekspos oleh larutan segar/baru dengan konsentrasi yang sama setiap 24 jam sekali ataupun

interval waktu lain yang ditentukan. Ada beberapa keuntungan metode ini, yaitu:

1. Mengurangi kemungkinan penurunan DO pada larutan uji dengan kandungan COD dan BOD tinggi;
2. Mengurangi kemungkinan hilangnya toksikan akibat penguapan atau adsorpsi pada labu percobaan;
3. Organisme uji yang kehilangan energi dengan cepat akan mengkonsumsi pada saat larutan uji diperbaharui/diganti sehingga tetap terjaga kondisi yang sehat.

Akan tetapi, kekurangan metode ini adalah:

1. Memerlukan volume *effluent* yang lebih besar;
 2. Umumnya kurang sensitif dibandingkan dengan tes aliran air kontinu akibat terdegradasinya toksikan atau teradsorpsi;
 3. Kelemahan lain juga kecilnya kemungkinan untuk dapat mendeteksi variasi temporal pada buangan.
- *Flow Through Test*, adalah suatu metode uji yang larutan ujinya diganti (mengalir) secara kontinu selama masa pengujian berlangsung. Dalam uji toksisitas dengan aliran kontinu ada dua tipe yang dapat dilakukan:
 1. Sampel dipompakan ke dalam reaktor uji secara kontinu dari sistem pengenceran;
 2. Sampel yang diambil secara grab atau komposit dikumpulkan secara periodik kemudian dipompakan secara kontinu dari tangki pengumpul ke sistem pengencer.

Beberapa kelebihan penelitian pada air mengalir dibandingkan dari pada air statis, antara lain:

1. Memberikan evaluasi toksisitas akut yang lebih mewakili sumber toksikan terutama jika sampel dipompakan secara kontinu langsung dari sumber;
2. Konsentrasi DO dalam wadah uji lebih terpelihara;
3. Dapat digunakan pada faktor beban (biomasa) yang lebih tinggi;
4. Kemungkinan toksikan menguap dan atau teradsorpsi dapat ditekan.

Kerugian dari metode ini adalah:

1. Memerlukan jumlah sampel yang besar begitu pula dengan air pengencer yang diperlukan;
2. Peralatan uji lebih kompleks dan mahal serta memerlukan pemeliharaan dan pengawasan;
3. Memerlukan ruangan yang lebih besar;
4. Sesuai dengan jumlah tenaga yang diperlukan maka sulit untuk dapat dilakukan secara multipel.

Penelitian Toksisitas Kronis

Uji toksisitas kronis disini merupakan uji toksisitas kronis dalam jangka waktu pendek, untuk melihat apakah suatu *effluent* atau badan air penerima mengandung senyawa toksik dalam konsentrasi yang menyebabkan toksisitas kronis, metode penelitian ini merupakan metode yang serupa yang dikembangkan untuk organisme pesisir pantai dan laut.

Tujuan dari uji toksisitas perairan terhadap *effluent* atau senyawa murni adalah untuk memperkirakan konsentrasi aman atau tanpa efek dari senyawa yang diuji, yaitu konsentrasi yang masih memberikan pertumbuhan normal ikan atau kehidupan akuatik lain di dalam badan air penerima. Hasil akhir yang dapat dipertimbangkan dalam uji ini adalah menentukan efek merugikan toksikan seperti kematian dan bertahan hidup; penurunan pertumbuhan dan reproduksi; aktifitas lokomotor (pergerakan); laju ventilasi insang (membuka dan menutupnya insang); laju jantung; kimia darah; histopatologi (penyakit yang terjadi pada jaringan tubuh); aktifitas enzim; dan fungsi olfaktori (saraf pengatur indra penciuman). Kita ketahui merupakan sesuatu yang sangat sulit untuk mendeteksi atau mengukur seluruh kemungkinan efek tersebut secara rutin, maka pengamatan pada uji toksisitas umumnya hanya dilakukan terhadap beberapa jenis efek seperti mortalitas, pertumbuhan dan reproduksi.

Seiring dengan memperpanjang periode eksposur dalam uji toksisitas akut, maka nilai LC_{50} dan konsentrasi nilai ambang kematian akan menurun pada beberapa senyawa, dengan menambah waktu eksposur sampai satu siklus hidup atau lebih maka dapat diamati efek subletal seperti reduksi pertumbuhan dan reproduksi sehingga perkiraan nilai ambang serta konsentrasi aman dari toksikan dapat diperoleh dengan lebih akurat dan langsung. Akan tetapi uji toksisitas yang dilakukan di laboratorium ini tidak dapat menentukan secara akurat konsentrasi aman dari toksikan karena uji ini dilakukan dengan jumlah organisme yang terbatas dalam kondisi yang sangat terkendali, pada kondisi tunak, dan hasil ini tidak meliputi efek stres yang biasa terjadi di lingkungan alamiah.

Pada awalnya uji toksisitas kronis dilakukan dengan melibatkan seluruh siklus hidup organisme uji, *Pimephales promelas* (*fathead minnows*) dipaparkan terhadap insektisida pada konsentrasi bertingkat selama siklus hidupnya, seperti dilakukan Mount dan Stephan (1967) dalam EPA, 1992. Penelitian-penelitian yang dilakukan selanjutnya, menunjukkan bahwa pada tahap embrio larva dan awal *juvenile* merupakan tahap yang paling sensitif, dan selanjutnya diusulkan untuk digunakan uji toksisitas sebagian dari siklus hidup dengan menggunakan *Early Life Stages* (ELS) dari ikan untuk menentukan kriteria kualitas air.

Jenis organisme yang dapat digunakan meliputi *fathead minnow*, *Pimephales promelas*, daphnia,

Ceriodaphnia dubia, algae hijau, *Selenastrum capricornutum*, dalam hal ini dianjurkan untuk menggunakan tahap awal kehidupan organisme seperti ikan yang baru keluar dari telur (Soemirat, 2003).

Pemilihan Hewan Uji

Untuk keperluan penelitian toksikologi diperlukan hewan uji, pemilihan hewan uji dalam penelitian toksisitas dilakukan berdasarkan tingkat trofis masing-masing hewan uji pada piramida rantai makanan. Berikut dijelaskan beberapa jenis organisme yang biasa digunakan dalam uji toksisitas yang mewakili setiap tingkat trofis dalam piramida rantai makanan (Soemirat, 2003):

- Organisme trofis tingkat 1
Dapat digunakan algae air tawar *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus* dan *Chlorella vulgaris*, dimana spesies tersebut dapat tumbuh dengan cepat dan mudah dikultur.
- Organisme trofis tingkat 2
Mewakili organisme akuatik air tawar adalah *Daphnia magna* sedang akuatik laut digunakan *Artemia salina*.
- Organisme trofis tingkat 3
Tidak termasuk dalam uji toksisitas, karena secara biokimia dan fisiologi relatif sama dengan organisme tingkat 4, sehingga respons terhadap senyawa toksik relatif sama.
- Organisme trofis tingkat 4
Pada tingkat ini diwakili oleh ikan, jenis yang paling sering digunakan adalah *Rainbow trout (Salmo gairdneri)*, *blue gilled sunfish (Lepomis macrochirus)*. Di Indonesia digunakan ikan mujair (*Tilapia mozambica*), ikan mas (*Cyprinus carpio*) dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*).
- Organisme trofis tingkat 5
Merupakan konsumen pada tingkat atas dari rantai makanan, yang dapat menerima efek yang paling merugikan. Biasanya diwakili oleh kelompok burung-burungan.

Untuk menaksir efek toksikologis dari beberapa polutan kimia dalam lingkungan dapat diuji dengan menggunakan *species* yang mewakili lingkungan yang ada di perairan tersebut. *Species* yang diuji harus dipilih atas dasar kesamaan biokemis dan fisiologis dari *species* dimana hasil percobaan digunakan (Soemirat, 2003). Kriteria organisme yang cocok untuk digunakan sebagai uji hayati tergantung dari beberapa faktor :

- Organisme harus sensitif terhadap material beracun dan perubahan lingkungan;
- Penyebarannya luas dan mudah didapat dalam jumlah yang banyak;
- Mempunyai arti ekonomi, rekreasi dan kepentingan ekologi baik secara daerah maupun nasional;

- Mudah dipelihara dalam laboratorium;
- Mempunyai kondisi yang baik, bebas dari penyakit dan parasit;
- Sesuai untuk kepentingan uji hayati (*American Public Health Association*, 1976).

Cyprinus carpio L. (Ikan Mas) Sebagai Organisme Uji

Habitat

Ikan mas menyukai tempat hidup (habitat) di perairan tawar yang airnya dangkal dan alirannya tidak terlalu deras, seperti di pinggiran sungai atau danau. Daerah yang sesuai untuk mengusahakan pemeliharaan ikan ini yaitu daerah yang berada antara 150 meter – 600 meter di atas permukaan laut, suhu optimum 25°C-30 °C dengan arus air yang tidak deras, baik di sungai danau maupun di genangan (Asmawi, 1986). Kisaran pH yang cocok untuk kehidupan ikan *Cyprinidae* (ikan mas) adalah berkisar antara pH 6,00-9,00 (Arafad, 2000). Sedangkan titik kematian ikan terjadi pada pH 4 untuk asam dan 11 untuk basa (Suwindere, 1983). Berdasarkan hasil penelitian bahwa konsentrasi limbah, suhu, DO, pH, salinitas dan alkalinitas berpengaruh nyata terhadap mortalitas ikan mas (*Cyprinus carpio* L.)

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium. Sampel limbah cair yang digunakan pada uji pendahuluan dan uji dasar atau uji toksisitas berasal dari *effluent* limbah cair tahu sebelum dibuang ke badan perairan. Sampel limbah cair yang digunakan pada penelitian ini diambil sebanyak tiga kali secara acak artinya pada waktu yang tidak ditentukan. Sampel yang telah diambil diawetkan pada lemari es untuk menjaga agar karakteristik sampel tersebut tidak mengalami perubahan.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *aerator* sebanyak 12 buah; akuarium ukuran 30 cm x 25 cm x 20 cm sebanyak 12 buah; gayung plastik; perlengkapan untuk analisis karakteristik limbah cair industri tahu seperti pH meter, DO meter alat pengukur COD, TSS, dan amonia. Gelas ukur 1000 mL sebanyak 2 buah, gelas ukur 250 mL sebanyak 1 buah, gelas ukur 10 mL sebanyak 1 buah, jirigen 5 L sebanyak 2 buah dan jirigen 20 L sebanyak 3 buah

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain ikan mas (*Cyprinus Carpio* L.) sebanyak 540 ekor yang mempunyai ukuran panjang tubuh $5,48 \pm 0,04$ cm, dengan berat $2,09 \pm 0,02$ gram dan umur sekitar 1-1,5 bulan (OECD 203, 1992) yang diperoleh dari tempat pembibitan ikan di Kecamatan Pauh. Air kran yang tidak mengandung klor sebagai media pemeliharaan ikan.

1. Aklimatisasi Hewan Uji

Aklimatisasi hewan uji dilakukan untuk mengkondisikannya pada kultur media air untuk memberikan waktu hewan uji beradaptasi dengan

lingkungan yang baru. Kultur media ini dikondisikan untuk selalu mempunyai temperatur antara 25⁰C-30⁰C. Penggantian kultur media dilakukan apabila kondisinya sudah terlalu keruh. Selama aklimatisasi hewan uji diberi pakan pelet ikan setiap tiga hari sekali serta diberi aerasi yang cukup, hal ini bertujuan mempertahankan kadar oksigen terlarut. Aklimatisasi dilakukan selama tiga hari pada setiap uji pendahuluan dan uji dasar.

2. Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan untuk menentukan batas kisaran kritis (*critical range test*) yang menjadi dasar dari penentuan konsentrasi yang digunakan dalam uji lanjutan atau uji toksisitas sesungguhnya, yaitu konsentrasi yang dapat menyebabkan kematian terbesar mendekati 50% dan kematian terkecil mendekati 50%.

Perlakuan percobaan dilakukan dengan 5 variasi pengenceran limbah cair tahu dan satu sebagai kontrol untuk. Percobaan ini dilakukan dengan dua kali pengulangan atau *duplo*. Setiap akuarium berkapasitas 10 L. USEPA merekomendasikan konsentrasi limbahnya antara lain 6,25% (limbah cair 0,625 L dan air 9,375 L), 12,5% (limbah cair 1,25 L dan air 8,75 L), 25% (limbah cair 2,5 L dan air 7,5 L), 50% (limbah cair 5 L dan air 5 L), 100% (limbah cair 10 L dan air 0 L).

3. Uji Dasar

Uji dasar dilakukan terhadap limbah cair industri tahu “SUPER” Kota Padang dengan variasi konsentrasi yang berada pada rentang dimana nilai LC₅₀ uji pendahuluan berada didalamnya. Uji dasar dilakukan dengan waktu pengamatan 24 jam. Uji dasar dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Percobaan dilakukan terhadap ikan mas (*Cyprinus carpio L*) di dalam akuarium sebanyak 12 buah dengan hewan uji sebanyak 10 ekor setiap akuarium. Masing-masing akuarium diberi *aerator* sebagai *supply* oksigen selama percobaan berlangsung. Pengamatan dilakukan setelah diaklimatisasi, dimana hewan uji telah beradaptasi dengan lingkungan yang baru dan kondisi ikan tetap segar dan tidak ada yang mati.
- Akuarium diisi ikan dan sampel limbah cair berdasarkan konsentrasi (A%-E%) yang memuat nilai LC₅₀ sementara yang didapatkan dari uji pendahuluan.
- Data kematian ikan dianalisis dengan metode analisis data.

Hasil uji dapat diterima apabila 90% hewan uji pada kontrol di akhir pengamatan masih hidup. Apabila yang bertahan hidup lebih kecil dari 90% maka uji harus diulang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

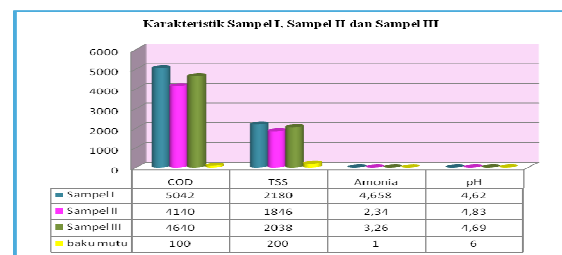
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat toksisitas limbah cair industri tahu “SUPER” Kota Padang terhadap ikan mas (*Cyprinus carpio. L*) dengan mengukur nilai LC₅₀. Pembahasannya meliputi perbandingan karakteristik limbah cair tahu

terhadap KepMenLH No. 51 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri, menganalisis jumlah kematian hewan uji untuk mendapatkan nilai LC₅₀, serta menganalisis hubungan karakteristik limbah cair yang menimbulkan kematian pada hewan uji.

Perbandingan Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Baku Mutu

Karakteristik limbah cair tahu yang diukur pada penelitian ini terdiri atas COD, TSS, amonia, pH dan suhu. Penelitian ini menggunakan tiga buah sampel limbah cair tahu yang diambil secara acak dengan nilai karakteristik yang berbeda untuk tiap-tiap sampel. Gambar berikut memperlihatkan hasil analisis karakteristik ke tiga sampel limbah cair industri tahu “SUPER” Kota Padang. Nilai konsentrasi yang didapat dibandingkan dengan KepMenLH No. 51 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri untuk golongan I.

Gambar 2. Perbandingan Konsentrasi COD, TSS , Amonia, Suhu dan pH Limbah Cair Industri Tahu “SUPER” dengan Baku Mutu



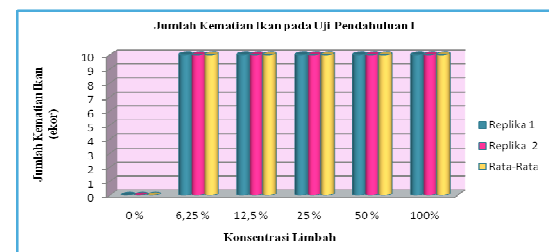
Uji Toksisitas Akut

1. Uji Pendahuluan

a. Uji Pendahuluan I

Jumlah kematian ikan mas (*Cyprinus carpio L*) pada uji pendahuluan I selama 24 jam dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Gambar 3. Jumlah Kematian Ikan pada Uji Pendahuluan I



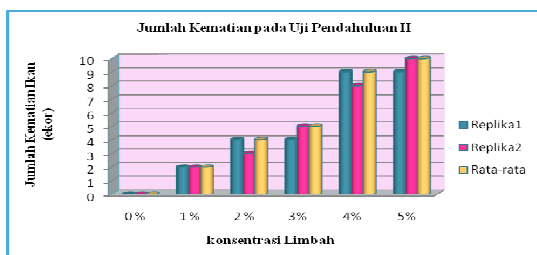
Metode yang digunakan untuk mengestimasi nilai LC₅₀ dalam penelitian ini adalah metode Probit karena terjadi kematian dua atau lebih hewan uji pada tiap konsentrasi limbah. Data yang didapatkan dianalisis dengan menggunakan metode Probit dan diperoleh hasil analisis *error* artinya data yang dimasukkan kedalam program tidak bisa dianalisis. Hal ini terjadi karena jumlah

kematian yang 100% pada tiap konsentrasi limbah kecuali pada konsentrasi 0% sehingga perlu dilakukan uji pendahuluan kedua.

b. Uji Pendahuluan II

Setelah dilakukan uji pendahuluan I menggunakan pengenceran yang direkomendasikan oleh USEPA dengan konsentrasi air limbah 6,25%-100% diperoleh nilai kematian hewan uji hampir 100% dengan jumlah hewan uji 10 ekor pada tiap akuarium. Oleh karena itu, penentuan nilai LC_{50} dari konsentrasi limbah tersebut tidak dapat diproses dengan menggunakan metode Probit. Berdasarkan hal tersebut konsentrasi yang digunakan dalam uji pendahuluan II adalah konsentrasi yang lebih kecil dari konsentrasi terkecil pada standar USEPA tahun 2002 yaitu 1%; 2%; 3%; 4%; 5%. Pada Tabel 4.5 terlihat jumlah kematian ikan mas (*Cyprinus carpio L*) pada uji pendahuluan II selama 24 jam.

Gambar 4. Jumlah Kematian Ikan pada Uji Pendahuluan II



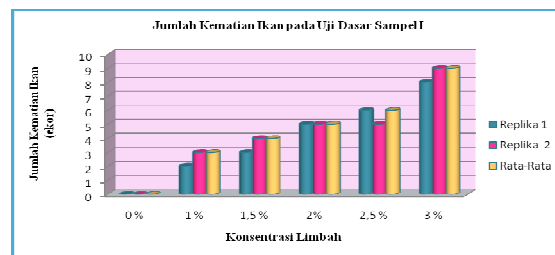
Gambar di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi limbah maka semakin banyak jumlah kematian ikan mas sedangkan semakin rendah konsentrasi limbah maka semakin sedikit jumlah ikan mas yang mati. Kematian ikan atau hewan uji tidak selalu disebabkan oleh faktor tunggal tetapi juga disebabkan karena fenomena sinergis yaitu kombinasi dari dua zat atau lebih yang bersifat memperkuat daya racun (Sudarmadi, 1993).

Nilai LC_{50} pada uji pendahuluan II yang diperoleh berdasarkan kepada data jumlah kematian rata-rata ikan mas (*Cyprinus carpio L*) sebesar 2,122%. Batas konsentrasi terendah dan tertinggi nilai LC_{50} berkisar antara 1,439%-2,758%. Batas konsentrasi terendah dan tertinggi dari uji pendahuluan II digunakan sebagai rentang konsentrasi pada uji dasar untuk sampel I, II, dan III limbah cair industri tahu "SUPER" dengan konsentrasi pengenceran limbah pada uji dasar sebesar 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3% dan konsentrasi 0% sebagai kontrol.

2. Uji Dasar Sampel I

Jumlah kematian ikan mas (*Cyprinus carpio L*) pada uji dasar sampel I selama 24 jam dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Gambar 5. Jumlah Kematian Ikan pada Uji Dasar Sampel I

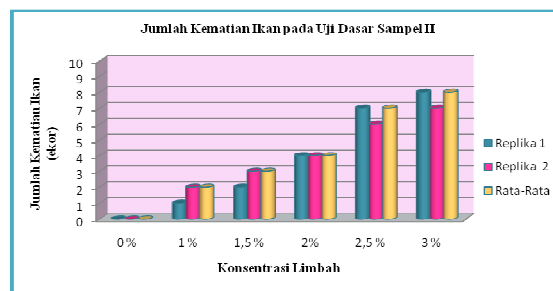


Dari gambar dapat dilihat bahwa kematian ikan terbanyak berada pada konsentrasi limbah 3%. Berdasarkan metode Probit, nilai LC_{50} pada uji dasar sampel I ini sebesar 1,713%.

3. Uji Dasar Sampel II

Jumlah kematian ikan mas (*Cyprinus carpio L*) pada uji dasar sampel I selama 24 jam dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Gambar 6. Jumlah Kematian Ikan pada Uji Dasar Sampel II

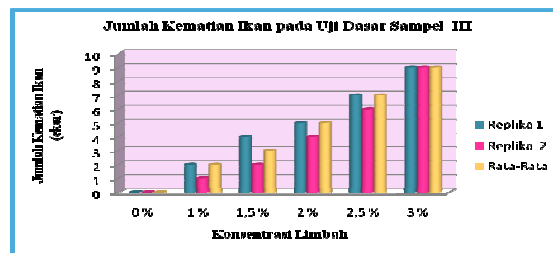


Berdasarkan data kematian hewan uji diatas, konsentrasi limbah cair tahu tertinggi 3%, mengalami jumlah kematian hewan uji yang lebih banyak dari pada konsentrasi limbah cair lainnya. Berdasarkan metode Probit, nilai LC_{50} pada uji dasar sampel II ini sebesar 1,946%.

4. Uji Dasar Sampel III

Dari gambar dibawah ini dapat dilihat jumlah kematian yang terjadi selama 24 jam uji dasar dilakukan.

Gambar 7. Jumlah Kematian Ikan pada Uji Dasar Sampel III

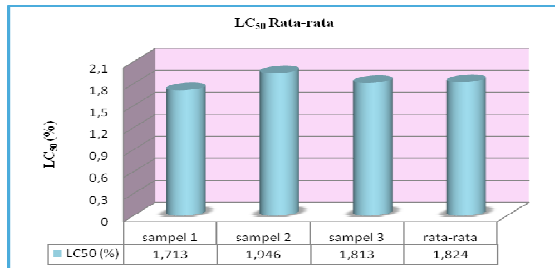


Berdasarkan data kematian hewan uji diatas, konsentrasi limbah cair tahu tertinggi yaitu 3%, mengalami jumlah kematian hewan uji lebih banyak dari pada konsentrasi limbah cair lainnya. Berdasarkan metode Probit, nilai LC_{50} pada uji dasar sampel III ini sebesar 1,813%.

Nilai LC₅₀ Rata-rata

Hasil dari ketiga uji dasar yang telah dilakukan terhadap ketiga jenis sampel limbah cair industri tahu “SUPER”, diperoleh tiga variasi nilai LC₅₀. Berikut gambar rekapitulasi nilai LC₅₀ dari ketiga jenis sampel limbah cair industri tahu “SUPER”.

Gambar 8. Nilai LC₅₀ Rata-rata pada Uji Dasar



Perbedaan nilai LC₅₀ dari ketiga sampel tersebut dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi karakteristik limbah yang terkandung dalam ketiga jenis sampel limbah cair industri tahu. Nilai LC₅₀ dari ketiga sampel yang ada berkisar antara 1,713%-1,946%. Dari ketiga sampel tersebut diperoleh nilai LC₅₀ rata-rata sebesar 1,824%.

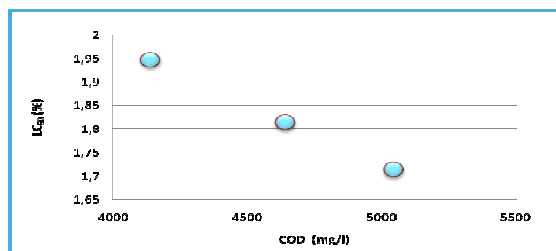
Analisis Hubungan Karakteristik Limbah Cair Tahu Terhadap LC₅₀

Karakteristik limbah cair tahu yang dianalisis pada laboratorium adalah COD, TSS, amonia, pH dan suhu. Penelitian ini membahas tentang analisis hubungan karakteristik limbah cair tahu yaitu COD, TSS, dan amonia terhadap LC₅₀. Karakteristik limbah tersebut merupakan karakteristik utama yang memiliki hubungan terhadap jumlah kematian hewan uji dan nilai LC₅₀.

Hubungan COD Limbah cair industri Tahu Terhadap Nilai LC₅₀

Berdasarkan gambar di bawah dapat dilihat bahwa semakin tinggi jumlah COD yang terkandung di dalam sampel maka nilai LC₅₀ semakin rendah. Semakin tinggi nilai COD akan menyebabkan turunnya nilai oksigen terlarut (DO) (Effendi, 2003). Semakin menurunnya kadar oksigen terlarut akan mengakibatkan kematian hewan uji.

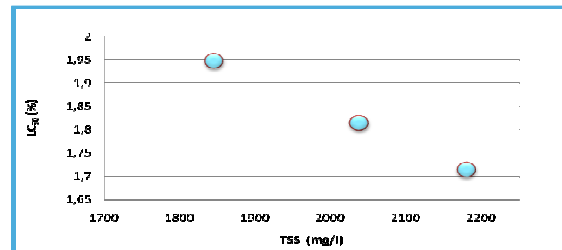
Gambar 9. Hubungan COD terhadap Nilai LC₅₀



Hubungan TSS Limbah cair industri Tahu Terhadap Nilai LC₅₀

Pada gambar terlihat dibawah terlihat hubungan konsentrasi TSS limbah cair tahu berbanding terbalik dengan nilai LC₅₀. Semakin tinggi jumlah TSS yang terkandung di dalam sampel maka nilai LC₅₀ semakin rendah dan begitu pula sebaliknya, semakin tinggi nilai LC₅₀ maka jumlah TSS semakin rendah. TSS dalam jumlah yang berlebih dapat menyebabkan penyumbatan insang ikan atau selaput pernapasan lainnya, serta kurangnya asupan oksigen karena terlapisi oleh padatan (Effendi, 2003).

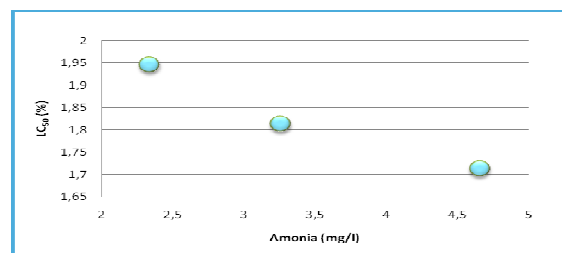
Gambar 10. Hubungan TSS terhadap Nilai LC₅₀



Hubungan Amonia Limbah cair industri Tahu Terhadap Nilai LC₅₀

Berdasarkan gambar di bawah ini terlihat bahwa semakin tinggi jumlah amonia yang terkandung di dalam sampel maka nilai LC₅₀ semakin kecil dan begitu pula sebaliknya, semakin besar nilai LC₅₀ maka jumlah amonia semakin rendah. Kadar amonia bebas yang melebihi 0,2 mg/l bersifat toksik bagi beberapa jenis ikan, selain itu kadar amonia yang tinggi dapat dijadikan sebagai indikasi adanya pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik, industri dan limpasan (*runoff*) pupuk pertanian. Amonia bersifat toksik bagi biota perairan karena mengganggu proses pengikatan oksigen oleh darah. Amonia bersifat akut pada organisme perairan dan tingkat keracunannya sangat tergantung pada salinitas, suhu, pH dan akan meningkat jika terjadi penurunan kadar oksigen terlarut (Effendi, 2003).

Gambar 11. Hubungan TSS terhadap Nilai LC₅₀



KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang didapatkan, penelitian mengenai uji toksisitas akut (LC₅₀) limbah cair industri tahu “SUPER” terhadap ikan mas (*Cyprinus carpio L.*), dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis karakteristik limbah cair tahu (COD, TSS, amonia, pH dan suhu) yang dibandingkan dengan baku mutu

- KEP/MENLH/ No. 51/II/1995 untuk golongan I, parameter tersebut telah melewati baku mutu kecuali parameter suhu. Konsentrasi rata-rata parameter limbah cair yang telah melewati baku mutu berturut-turut sebesar 4607,33 mg/l; 2021,33 mg/l; 3,42 mg/l dan 4,71.
2. Nilai LC_{50} dianalisis dengan menggunakan metode Probit berdasarkan jumlah kematian ikan atau hewan uji diperoleh nilai LC_{50} untuk masing-masing sampel I, II, dan III adalah 1,713%; 1,946% dan 1,813% dengan nilai LC_{50} rata-rata dari ketiga sampel tersebut adalah 1,824%.
 3. Berdasarkan hasil analisis hubungan karakteristik terhadap nilai LC_{50} didapatkan bahwa karakteristik COD, TSS, dan amonia yang terkandung dalam limbah cair industri tahu mempengaruhi nilai LC_{50} . Seiring dengan kenaikan nilai karakteristik COD, TSS, serta amonia maka nilai LC_{50} akan semakin kecil dan begitu juga sebaliknya yaitu seiring dengan penurunan nilai karakteristik maka nilai LC_{50} akan semakin besar.

2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disarankan untuk melengkapi penelitian mengenai uji toksisitas akut limbah cair industri tahu terhadap Ikan Mas, dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan metode *renewal test* (penggantian hewan uji dan larutan uji) atau metode *flow through test* (aliran kontinu).

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- APHA. 1995. *Standar Method for The Examination of Water and Waste water. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Polution Control Federation* 19th edition. Washington D.C.
- Arafad, I. 2000. Penurunan Suhu Media terhadap benih Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) Ukuran 3-5 cm. Skripsi. Bogor: Departemen Budidaya Perairan. Fakultas Ilmu Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Ariens. 1994. *Toksikologi Umum*, Pengantar. Gajah Mada University Press: Yogyakarta.
- Asmawi. 1986. Dalam wordpress (<http://smk3ae.wordpress.com/2008/07/24/ikan-mas-cyprinus-caprio-l-sebagai-early-warning-system-pencemaran-lingkungan/>), Akses Desember 2010).
- American Health Asiciation. 2005. *Standard Methods* 18th edition 1992. Washington DC.
- Crosby, D. G. 1998. Dalam Soemirat, Juli. 2003. *Toksikologi Lingkungan*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Dhahiyat, Y. 1990. Kandungan Limbah Cair Pabrik Tahu dan Pengolahannya dengan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms.) Tesis. Program Pasca sarjana Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius: Yogyakarta.
- EPA. 1992. *Methods for Measuring The Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater Organisms* 14th edition. Weber, C. I, Editor, USEPA: Ohio.
- Griswidia, Reni. 2008. Penurunan kadar minyak lemak pada limbah cair *laundry* dengan menggunakan reaktor biosand filter di lanjutkan dengan reaktor karbon aktif. Tugas Akhir Fakultas Teknik dan Perencanaan Jurusan Teknik lingkungan. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- Gusrina, 2008. *Budidaya Ikan Jilid 2*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan: Jakarta.
- Kaswinarni, Fibria. 2007. Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu. Tesis. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro: Semarang.
- Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 1990. Diagram Alir Proses Produksi Tahu.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.
- Lu, C. S. J dan Chen, K. Y. 1997. *Migration of trace metals in Interfaces of Seawater and Polluted Surficial Sediment*. Environ, Sci. Technol.
- Mangkoediharjo, Sarwoko dan Samudro, Ganjar. 2009. *Ekoteknologi Teknosfer*. Guna Widya: Surabaya.
- Mardana, Dwi. 2002. *Copyright Sinar Harapan* 2002. (<http://www.sinarharapan.co.id/berita/0110/24/ipt02.html>, akses 27 Desember 2010).
- Metcalf dan Eddy, Inc, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill, Inc: USA.
- Nurchayani, Nuning. 2008. Bioindikator Efektifitas Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Umum Daerah Abdul Moeloek dengan Penentuan *Lethal Concentration* (LC_{50-96} jam) pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*

- l) Jurnal Penelitian Sain dan Teknologi. Tesis. Universitas Lampung: Lampung.
- OECD. 1992. *Compendium of Environmental Exposure Assessment Methods for Chemicals in Model Ecosystem*. National Research Council.
- Priyanto, 2009. *Toksikologi Mekanisme, Terapi Antidotum dan Penilaian Resiko*. Lembaga Studi dan Konsultasi Farmakologi: Depok.
- Rossiana, Nia. 2006. Uji Toksisitas Limbah Cair Tahu Sumedang Terhadap Reproduksi *Daphnia carinata* KING. Jurnal Biologi. Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran: Bandung.
- Sari, Komala. 2010. Penyebaran Limbah Percetakan Koran Di Kota Padang (Studi Kasus Percetakan X dan Y). Tesis. Pasca Sarjana Universitas Andalas: Padang.
- Sahu, Dahiya, and Gadgil. 5 *Fly ash based low cost method for COD removal from domestic wastewater*. Center for Energy Studies Indian Institute of Technology. New Delhy.
- Shaw . 1998. Dalam Soemirat, Juli. 2003. *Toksikologi Lingkungan*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Soemirat, Juli. 2003. *Toksikologi Lingkungan*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- . Sudarmadi, Sigit. 1993. *Toksikologi Limbah Pabrik Kulit terhadap Cyprinus Carpio L dan Kerusakan Insang*. Jurnal Lingkungan dan Pembangunan 13;4: Jakarta.
- Tugiyono. 1997. Penentuan Letal Konsentrasi (LC_{50} 96 jam) Furadan 3G Pada Ikan Nila (*Tilapia nilatica* Peters) Jurnal Penelitian Sain dan Teknologi. Tesis. Universitas Lampung: Lampung.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2002. *Method for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organism*. Fifth Edition. EPA-821-R-02-012. Office of Water (43035). Washington, DC.
- Widiarini, Y. 2001. Studi Dosis Respons antara *Insektisida Profenofos* dengan Aktivitas Enzim Asetikolinesterase pada Darah Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) Galur Wistar. Tesis Magister. Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik dan Perencanaan Institut Teknologi Bandung: Bandung.