

UJI TOKSISITAS LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu)
TERHADAP BENUR UDANG WINDU
(Penaeus monodon Fab.)

S K R I P S I

OLEH

PETRUS RANI PONG MASAK

FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
UJUNG PANDANG

1996

UJI TOKSISITAS LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu)
TERHADAP BENUR UDANG WINDU
(Penaeus monodon Fab.)

OLEH

PETRUS RANI PONG MASAK

Skripsi Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
pada
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan
Universitas Hasanuddin

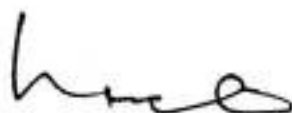
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN

UJUNG PANDANG

1996

Judul : UJI TOKSISITAS LOGAM BERAT TEMBAGA (Cu)
TERHADAP BENUR UDANG WINDU (Penaeus monodon
Fabricius)
N a m a : Petrus Rani Pong Masak
Nomor Pokok : 90 06 188

Skripsi Telah Diperiksa
dan Disetujui Oleh :



Prof. Dr. Ir. H.M. Natsir Nessa, MS.
Pembimbing Utama



Ir. Syamsu Alam Ali, MS.
Pembimbing Anggota

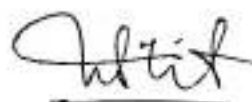


Ir. Rachmansyah, MS.
Pembimbing Anggota

Diketahui oleh :



Prof. Dr. H. I. Nengah Sutika, MS.
Dekan Fakultas Ilmu Kelautan
dan Perikanan



Ir. H. I. Nengah Sutika, MS.
Ketua Jurusan Perikanan

Tanggal Lulus : 30 Agustus 1996

RINGKASAN

PETRUS RANI PONG MASAK. Uji Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu) Terhadap Benur Udang Windu (Penaeus monodon Fabricius), (Dibawah bimbingan PROF.DR.IR.H.M.NATSIR NESSA,MS sebagai pembimbing utama, IR.SYAMSU ALAM ALI,MS dan IR.RACHMANSYAH,MS sebagai pembimbing anggota). Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Toksikologi Balai Penelitian Perikanan Pantai Maros selama bulan Mei dan Juni 1996.

Dalam perairan secara alamiah mengandung logam berat, seperti Cu, namun konsentrasinya sangat rendah. Kandungan logam berat ini dapat meningkat dengan adanya masukan secara kontinyu, baik secara alamiah maupun non alamiah. Secara non alamiah berasal dari aktivitas manusia di darat dan laut, seperti limbah industri. Pada batas tertentu peningkatan ini akan menimbulkan pencemaran, sehingga dapat mempengaruhi kehidupan organisme yang hidup di dalamnya.

Masing-masing biota mempunyai kemampuan mentolerir Cu, misalnya udang windu sebagai biota budidaya bernilai ekonomis penting dapat mengalami keracunan baik secara akut maupun secara kronik. Toksisitas secara akut adalah efek berbahaya suatu bahan pencemar pada konsentrasi tinggi dalam waktu yang singkat. Efek berbahaya tersebut terutama terhadap bentuk-bentuk muda dari spesies bersangkutan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan derajat toksisitas logam berat Tembaga (Cu) terhadap benur udang windu yang dinyatakan dalam nilai Median Lethal Concentration (LC50), Median Lethal Time (LT50), dan Konsentrasi Lethal Ambang Atas (LC100-24 jam). Hasil penelitian diharapkan menjadi acuan dalam penentuan baku mutu air untuk budidaya perikanan.

Penelitian ini dilakukan dengan metode bioessay Sistem Statis dengan menggunakan wadah akuarium transparan ukuran 50 x 30 x 30 cm, sedangkan bahan uji yang digunakan adalah logam berat Tembaga dalam bentuk senyawa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Wadah uji disusun lalu diisi dengan air payau bersalinitas 25 ppt sebanyak 20

liter/wadah. Kedalam wadah percobaan ditambahkan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dibuat sesuai konsentrasi yang akan diuji. Sebagai hewan uji adalah pascalarva (PL-25) udang windu yang dimasukkan secara acak sampai tiap wadah berisi 20 ekor benur per wadah percobaan. Benur tersebut diaklimatisasi selama lima hari sebelum diberi perlakuan. Pengukuran parameter fisika-kimia media uji selama pengamatan dan diaerasi terus-menerus.

Hasil penelitian, dengan analisis Probit didapatkan nilai $\text{LC}_{100} - 24\text{jam} = 100 \text{ ppm}$, nilai $\text{LT}_{50} - 100 \text{ ppm} = 4,4022 \text{ jam}$, nilai $\text{LC}_{50} - 24\text{jam} = 28,7204 \text{ ppm}$ ($\text{SC} = 2,8721 \text{ ppm}$), $\text{LC}_{50} - 48\text{jam} = 12,9829 \text{ ppm}$ ($\text{SC} = 1,2983 \text{ ppm}$), $\text{LC}_{50} - 72 \text{ jam} = 4,5424 \text{ ppm}$ ($\text{SC} = 0,4542 \text{ ppm}$) dan $\text{LC}_{50} - 96 \text{ jam} = 1,7230 \text{ ppm}$ ($\text{SC} = 0,1723 \text{ ppm}$). Dari nilai-nilai tersebut, Cu bersifat sangat toksis terhadap benur udang windu, dimana semakin lama Cu terlarut dalam perairan maka toksisitasnya akan semakin tinggi.

Hasil pengukuran terhadap kualitas fisika-kimia media uji masih layak bagi kehidupan udang windu. Kualitas air media uji tersebut mempunyai kisaran; pH antara 6,6700 - 8,5000, Salinitas antara 25,0000 - 29,0000 ppt. Suhu antara 28,0300-29,6700 °C, O_2 antara 3,2000 - 5,3000 ppm, $\text{PO}_4 - \text{P}$ antara 0,0022 - 0,0429 ppm, $\text{NO}_3 - \text{N}$ antara 0,0180 - 0,0403 ppm, $\text{NO}_2 - \text{N}$ antara 0,0027 - 0,0242 ppm, dan $\text{NH}_4 - \text{N}$ antara 0,0039 - 0,1082 ppm.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat yang dilimpahkan sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Skripsi ini adalah hasil penelitian dalam bidang Manajemen Sumberdaya Hayati Perairan yang merupakan salah satu persyaratan dalam penyelesaian studi pada jurusan Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof.Dr.Ir. H.M. Natsir Nessa, MS. selaku Pembimbing Utama, Bapak Ir. Syamsu Alam Ali, MS dan Bapak Ir. Rachman Syah, MS sebagai Pembimbing Anggota yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing, memberi petunjuk dan nasehat kepada penulis sejak awal penelitian hingga rampungnya skripsi ini.

Kepada Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan beserta seluruh staf dosen dan pegawai, penulis menyampaikan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan selama penulis mengikuti pendidikan.

Ucapan terima kasih yang sama disampaikan kepada pihak Balai Penelitian Perikanan Pantai (BALITKANTA) Maros khususnya kepada Bapak Kepala Balai, Kepala Instalasi Tambak Percobaan BALITKANTA, Bapak Pimpinan Proyek, Bapak

Drs. Yusuf Mantong, dan seluruh staf atas bantuan serta fasilitas yang diberikan selama penulis melaksanakan penelitian. Juga kepada Bapak Ir. Burhanuddin dan staf, atas bantuan yang diberikan selama penulis melaksanakan penelitian di Marana Maros.

Secara khusus penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada orangtua terkasih J.S. Rani dan Damaris Kala'suso, kakak dan adik-adik serta semua keluarga atas doa dan bantuannya baik materil maupun moril, yang telah diberikan kepada penulis dalam pendidikan hingga selesai.

Akhir kata, walaupun skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Ujung Pandang, Agustus 1996

P. Rani Pong Masak

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
RINGKASAN	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
PENDAHULUAN	
Latar Belakang	1
Tujuan dan Kegunaan	3
TINJAUAN PUSTAKA	
Fase Awal Udang Windu	5
Pencemaran	6
Kandungan Logam Berat dalam Perairan	9
Tinjauan Logam Berat Tembaga (Cu)	12
- Sifat-sifat dan Sumber Tembaga	12
- Tembaga (Cu) Bagi Perairan dan Organisme ..	13
Toksistasitas	15
METODE PENELITIAN	
Tempat dan Waktu Penelitian	19
Alat dan Bahan	19
Hewan Uji	21
Bahan Uji	21

Prosedur Penelitian	22
Analisis Data	27
HASIL DAN PEMBAHASAN	
Pengujian Pendahuluan	29
Uji Median Lethal Time (LT50)	32
Uji Median Lethal Concentration (LC50)	37
KESIMPULAN DAN SARAN	
Kesimpulan	43
Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Nomor	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Alat-alat yang Digunakan Selama Penenilitan, Jumlah dan Kegunaannya	19
2.	Berat Tembaga (Cu) yang dibutuhkan pada Tiap Konsentrasi Uji Pendahuluan Terhadap Benur Undang Windu	24
3.	Parameter Kualitas Air yang Diukur Selama Uji Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu) Terhadap Benur Undang Windu (<u>Penaeus monodon</u> Fab.)	27
4.	Hasil Pengamatan Uji Pendahuluan 48 jam Terhadap Mortalitas dengan Tingkat Kelangsungan Hidup (TKH) Benur pada Uji LT50 Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu)	29
5.	Persentase Mortalitas Benur Undang Windu pada Uji Pendahuluan Pengujian Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu)	33
6.	Nilai LC50 Logam Berat Tembaga (Cu) Terhadap Benur Undang Windu Selama Uji Toksisitas..	37

Lampiran

1.	Hasil Pengamatan Mortalitas Benur Undang Windu pada Uji Pendahuluan Pengujian Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu)	47
2.	Rata-rata Pengukuran Kualitas Air pada Uji Pendahuluan Uji Toksisitas Logam Berat Tembaga Terhadap Benur Undang Windu	47
3.	Beberapa Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut (Budidaya Perikanan)	49
4.	Hasil Pengamatan Mortalitas Benur Undang Windu pada Uji LT50 Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu)	50
5.	Hasil Perhitungan Nilai LT50 pada Uji Toksisitas Logam Berat Cu Terhadap Benur Undang Windu Selama 24	51

6. Rata-rata Pengukuran Kualitas Air pada Uji LT50 Uji Toksisitas Logam Berat Tembaga Terhadap Benur Udang Windu	53
7. Hasil Pengamatan Mortalitas Benur Udang Windu pada Uji LC50 Selama Uji Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu)	54
8. Hasil Perhitungan Nilai LC50-24 jam Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu) Terhadap Benur Udang Windu	55
9. Hasil Perhitungan Nilai LC50-48 jam Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu) Terhadap Benur Udang Windu	57
10. Hasil Perhitungan Nilai LC50-72 jam Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu) Terhadap Benur Udang Windu	58
11. Hasil Perhitungan Nilai LC50-96 jam Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu) Terhadap Benur Udang Windu	60
12. Rata-rata Pengukuran Kualitas Air pada Uji LC50 Selama Pengujian Toksisitas Logam Berat Tembaga (Cu) Terhadap Benur Udang Windu	62
13. Bagan Tentang Proses-proses yang Terjadi Bila Zat Pencemar Masuk ke Ekosistem Laut ...	65

DAFTAR GAMBAR

Nomor	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Grafik Hubungan Lama Paparan Cu Pada Konsentrasi 100 ppm dengan Persentase Mortalitas Benur Selama Uji LT50 24 Jam	35
2.	Grafik Hubungan Lama dengan Beberapa waktu Paparan Selama Uji Toksisitas Logam Berat Cu Terhadap Benur Udang Windu	38



PENDAHULUAN

Latar Belakang

Lingkungan merupakan media, tempat atau wilayah yang di dalamnya terdapat bermacam-macam bentuk aktifitas yang berasal dari ornamen-ornamen penyusunnya. Ornamen-ornamen yang menghuni dan membentuk lingkungan, merupakan suatu bentuk sistem yang saling mengikat, saling menyokong kehidupan mereka (Palar, 1994).

Salah satu bagian lingkungan yang berpotensi tercemar adalah laut khususnya wilayah pesisir. Meskipun laut merupakan suatu "tempat" membuang sesuatu (dumping site) yang ideal karena mampu mengolah sisa buangan, namun daya pembersih diri laut (homeostatis) terbatas, dan di atas batas ini akan mulai timbul gejala pencemaran (Muvhtizar, 1977). Bila kondisi pencemaran yang berat sempat terjadi dan tidak segera ditanggulangi, maka dikhawatirkan timbul kerusakan lingkungan terutama bentuk-bentuk hewan muda dari komunitas biota laut seperti udang, ikan, kerang, dan lain-lain yang peka terhadap segala bentuk perubahan lingkungan.

Pencemaran laut oleh logam berat bukan merupakan suatu masalah baru yang mengancam kesejahteraan hidup manusia. Sebenarnya unsur-unsur dan senyawa logam berat sangat bermanfaat dalam kehidupan manusia, misalnya dapat dipakai sebagai bahan baku, bahan tambahan (additive)

dalam berbagai industri atau sebagai bahan pembuatan pestisida dan lain-lain. Namun timbulnya kasus pencemaran logam berat di beberapa lokasi perairan, terutama kasus Minamata telah menyebabkan adanya rasa takut masyarakat yang berlebihan terhadap logam berat (Hutagalung, 1991).

Keracunan oleh logam berat dapat bersifat akut atau kronis. Umumnya keracunan akut disebabkan oleh kontaminasi organisme dengan logam berat dalam kadar tinggi, sedangkan keracunan kronis disebabkan oleh kontaminasi logam berat kadar rendah dalam waktu yang lama (Palar, 1994). Selanjutnya dinyatakan bahwa toksisitas yang dimiliki oleh Cu baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya jika logam ini telah masuk dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme tersebut.

Biota perairan yang sangat peka terhadap perubahan dan bahan polutan, diantaranya adalah udang windu sebagai hewan budidaya yang bernilai ekonomis penting. Kepekaannya terutama pada saat masih benur (fase awal hidup). Secara alamiah benur banyak terdapat di pantai-pantai dangkal dan sedikit payau. Perairan pesisir dapat dikatakan "storage system" karena dapat menampung buangan berbagai jenis limbah. Limbah industri umumnya mengandung logam berat tertentu yang memiliki sifat toksik terhadap tubuh hewan air (Lendriani, 1989).

Salah satu jenis polutan yang paling toksis adalah Tembaga (Cu) setelah Raksa (Hg) dan Perak (Ag) terhadap spektrum yang luas dari kehidupan laut. Bila suatu perairan tercemar polutan seperti Cu, maka biota hidup di dalamnya akan ikut tercemar. Biota yang termasuk kelas krustase bila melewati kadar maksimum akan mengurangi pertumbuhan, menurunkan tingkat perkembangbiakan, dan menghambat proses pendewasaan (Hutagalung, 1991). Selanjutnya Palar (1994) menyatakan bahwa bila melewati batas yang seharusnya akan terjadi peristiwa biomagnifikasi dan akan mengalami kematian dalam tenggang waktu 96 jam, bila konsentrasi Cu terlarut berada dalam kisaran 0,17-100 ppm.

Penelitian toksikologi logam berat terhadap kehidupan organisme akuatik masih sangat terbatas, sedangkan nilai LC50 dan LT50 sangat diperlukan sebagai acuan penentuan baku mutu air untuk budidaya. Untuk itu penelitian tentang uji toksisitas logam berat Cu terhadap kehidupan udang windu (Penaeus monodon Fab.) penting dilakukan.'

Tujuan dan Kegunaan

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan derajat toksisitas lethal logam berat Tembaga (Cu) terhadap benur udang windu (Penaeus monodon Fab.) yang dinyatakan dalam nilai Median Lethal Concentration (LC50), Median Lethal Time (LT50), dan Konsentrasi Letal Ambang Atas (LC100-24 jam).

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi penunjang informasi dalam penentuan baku mutu air untuk kepentingan budidaya perikanan pantai.

TINJAUAN PUSTAKA

Fase Awal Udang Windu

Penelitian terhadap siklus hidup udang windu di alam menurut Motch (1981), yaitu telur yang telah dibuahi akan menetas dalam waktu sekitar 12 jam menjadi nauplius yang berkembang di daerah pelagik. Setelah mengalami 6 subtingkatan dalam waktu sekitar 48-53 jam, larva planktonik tersebut berubah menjadi protozoa. Selanjutnya sebelum menjadi mysis, protozoa mengalami perkembangan dalam 3 subtingkatan selama sekitar 4 hari sebelum berubah menjadi pascalarva (PL). Pada stadia ini udang telah berada di daerah estuaria dan tidak lagi bersifat planktonik, melainkan bersifat bentik, menempel pada substrat. Berikutnya udang menjelma menjadi udang muda (juvenil).

Pascalarva udang windu bentuknya memanjang lurus menyerupai lidi, mudah dikenali dengan adanya garis merah kecoklatan yang terdapat pada sisi ventral tubuh yang dibentuk oleh chromathopora (pigmen tubuh) yang tebal dan pada segmen terakhir dari abdomen memiliki 14-19 chromathopora (Apud dan Benagua, 1983). Selanjutnya Poernomo (1979) menjelaskan bahwa pascalarva udang windu bentuk ekornya uropoda (membentang seperti kipas), badan berbentuk seperti jet dan cungr (rostrum) berbentuk lurus (sigmoid).

Menurut Hamid (1984) pada stadia nauplius, zoea, mysis dan pascalarva awal udang windu masih bersifat planktonik dan setelah mencapai pascalarva 10, sifatnya cenderung berubah menjadi bentik. Selanjutnya dikatakan bahwa seperti udang pada umumnya, maka pascalarva udang windu juga bersifat kanibalis.

Menurut Martosudarmo dan Ranoemiharjo (1983) bahwa pascalarva udang windu pemakan plankton dan detritus, juga pemakan rotatoria, kopepoda serta sisa-sisa mikroorganisme yang hanya terdapat pada dasar perairan.

Pencemaran

Cepatnya perkembangan industri dan pertanian di Indonesia menyebabkan cepatnya peningkatan mutu dan jumlah pencemar maupun frekwensi kejadiannya di perairan kita. Usaha untuk memerangi dampak negatif dari pencemaran laut ini telah dan sedang dilakukan. Mengingat luasnya perairan kita dan beragamnya masing-masing kemampuan daerah, maka salah satu cara memerangi pencemaran laut adalah dengan menciptakan jaringan pemantauan pencemaran laut. Jaringan ini harus didukung oleh data dan informasi (Romimohtarto, 1991).

Menurut Gesamp (1978) dalam Hutagalung (1991) pencemaran adalah masuknya atau dimasukkannya zat atau energi oleh manusia baik secara langsung maupun tidak langsung ke

dalam lingkungan laut yang menyebabkan efek merugikan karena merusak sumberdaya hayati, membahayakan kesehatan manusia, menghalangi aktifitas di laut termasuk perikanan, menurunkan mutu air laut dan mengurangi kenyamanan di laut.

Setiap lingkungan perairan alami selalu dihuni oleh berbagai organisme hidup. Semua jenis organisme hidup ini berada dalam sistim tropik (tropik level). Masuknya bahan cemaran ke dalam perairan akan membunuh organisme yang paling sensitif. Bila bahan cemaran terus naik, organisme sensitif berikutnya akan mati, demikian seterusnya (Hutagalung, 1991). Selanjutnya Reish (1972 dalam, Hutagalung, 1991) menyatakan bahwa pemakaian organisme laut sebagai bioindikator pencemaran didasarkan pada kenyataan bahwa alam atau lingkungan yang tidak tercemar akan dikarakteristik oleh kondisi biologis yang seimbang dan mengandung kehidupan yang beraneka ragam, tanpa ada satu speciespun yang dominan.

Pencemaran atau polusi merupakan suatu kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada keadaan yang lebih buruk. Pergeseran bentuk tatanan dari bentuk asal pada kondisi yang buruk ini dapat terjadi sebagai akibat masuk-an dari bahan-bahan pencemar atau polutan. Bahan polutan tersebut pada umumnya mempunyai sifat racun (toksik) yang berbahaya bagi organisme hidup. Toksisitas atau daya racun

dari polutan itulah yang kemudian menjadi pemicu terjadinya pencemaran (Palar, 1994).

Selain kematian kehidupan dalam air disebabkan karena kurangnya oksigen di dalam air dapat juga disebabkan karena adanya zat beracun yang berada dalam air limbah yang masuk ke dalam perairan. Selain matinya ikan dan bakteri-bakteri di dalam air juga dapat menimbulkan kerusakan pada tanaman atau tumbuhan air (Sugiharto, 1987).

Pencemaran mengakibatkan terjadinya penurunan 30 sampai 40 persen produktifitas jasad pelagik mulai dari udang sampai ikan paus dalam waktu 40 tahun terakhir (Cousteau, 1974 dalam Thayib, 1994). Berkurangnya terumbu karang di daerah tropik dan berubahnya ekosistem kaya dan beragam ini menjadi perairan tandus juga semakin kuatnya pencemaran laut. Menurunnya hasil tangkapan berbagai jenis ikan sejak tahun 1970 (Ehriich et al, 1973 dalam Thayib, 1994) bukan saja akibat pemanenan yang berlebihan, tetapi juga karena terjadinya perubahan ekologi dasar dalam lautan, termasuk pencemaran yang mempengaruhi pemijahan, produktifitas dan pertumbuhan. Berbagai studi yang dilakukan mendapatkan menurunnya 20 persen produksi plankton sejak tahun 1950. Selanjutnya dikatakan bahwa dengan semakin berkembangnya industrialisasi dan pemukiman di daerah pantai yang mengelilingi perairan laut dangkal itu,

dapat dipastikan akan semakin tinggi pencemaran perairan dan semakin hebat dampak kerusakan yang ditimbulkannya.

Kandungan Logam Berat Dalam Ekosistem Perairan

Logam berat yang dibuang ke perairan, baik di sungai ataupun di laut, akan dipindahkan dari badan air melalui paling tidaktiga proses, yaitu pengendapan, adsorpsi dan absorpsi oleh organisme-organisme perairan (Bryan, 1976). Apabila konsentrasi logam lebih besar dari pada daya larut terendah komponen yang terbentuk antara logam dan anion yang ada dalam air, seperti karbonat, hidroksil atau clorida, maka logam tersebut akan diendapkan. Daya larut suatu logam berat mungkin bisa berubah menjadi lebih tinggi atau lebih rendah, tergantung pada kondisi lingkungan perairan. Pada daerah-daerah yang kekurangan O_2 , misalnya akibat tingginya konsentrasi bahan-bahan organik, daya larut logam berat menjadi lebih rendah, dan mudah mengendap. Logam berat seperti Zn, Cu, Cd, Pb, Hg dan Ag adalah sulit terlarut dalam perairan atau cenderung diendapkan (Supriharyono, 1984).

Logam-logam berat yang terkandung dalam air dapat juga dipindahkan dari badan air melalui proses adsorpsi. Partikel-partikel bahan tertentu, seperti hydrated ferric oxide, hydrated manganese dioxid, clay mineral, dan bahan-bahan organik dapat mengadsorpsi logam-logam berat yang

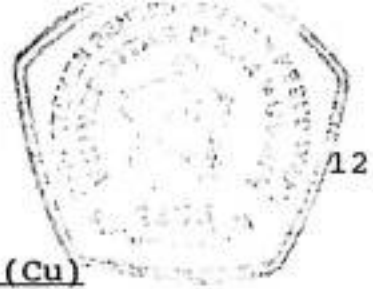
terkandung dalam perairan (Bryan, 1976). Selanjutnya diuraikan bahwa berkaitan dengan adsorpsi logam berat, dibandingkan dengan bahan-bahan lain, bahan organik mempunyai kapasitas absorpsi yang lebih tinggi, terutama asam humus.

Logam berat dalam air mungkin pula dipindahkan dari badan air melalui proses absorpsi oleh organisme air, baik itu secara langsung ataupun tidak langsung melalui rantai makanan organisme tersebut. Absorpsi logam-logam berat oleh organisme perairan secara langsung, biasanya terjadi melalui bagian-bagian tubuh tertentu seperti insang, dinding usus. Biasanya absorpsi secara langsung ini lebih berbahaya daripada tidak langsung (melalui rantai makanan). Logam-logam berat biasanya terakumulasi di jaringan-jaringan tubuh organisme (Supriharyono, 1984).

Toksisitas (daya racun) logam berat terhadap organisme perairan tergantung pada jenis, kadar, efek sinergis-antagonis dan bentuk fisika-kimianya. Semakin besar kadar logam berat, daya toksisitasnya semakin besar pula. Adanya efek sinergistik dari beberapa logam, juga akan memperbesar toksisitasnya logam berat. Faktor lingkungan perairan seperti pH, kesadahan, temperatur dan salinitas turut juga mempengaruhi toksisitas logam berat. Penurunan pH air akan menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar. Kesadahan yang tinggi dapat mengurangi toksisitas logam berat (Hutagalung, 1991).

Studi menunjukkan bahwa organisme perairan lebih peka terhadap logam berat pada suhu tinggi dan salinitas rendah (Denton dan Burdon-Jones, 1982). Lebih lanjut dikatakan bahwa organisme perairan seperti di daerah estuari daerah tropis lebih sensitif terhadap pencemaran logam berat daripada organisme di daerah sub tropis. Uji coba terhadap udang putih (Penaeus merguensis) menunjukkan urutan tingkat toksisitas logam berat yaitu $Hg > (Cu, Cd, Zn) > Ni > Pb$. Heath (1987) mengemukakan bahwa logam berat dapat menyebabkan kerusakan insang ikan seperti nekrosis, hiperplasia, hipertrofi dan lepasnya lapisan epitelium. Akibatnya proses pertukaran ion-ion dan gas-gas melalui insang terganggu yang akibatnya menyebabkan kematian ikan.

Logam berat yang terlarut dalam badan perairan pada konsentrasi tertentu logam berubah fungsi menjadi racun bagi kehidupan perairan. Meskipun daya racun yang ditimbulkan oleh suatu jenis logam berat terhadap semua jenis biota perairan tidak sama, namun kehancuran dari satu kelompok dapat menjadikan terputusnya suatu mata rantai kehidupan pada tingkat lanjutnya, akhirnya dapat menghancurkan suatu tatanan ekosistem perairan. (Mutschler dan Simonis, 1986)

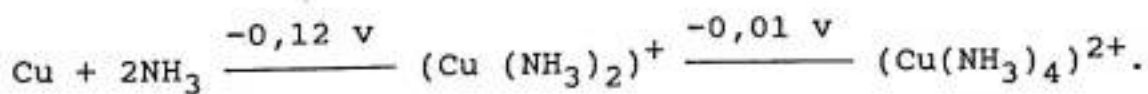


Tinjauan Logam Berat Tembaga (Cu)

Sifat-Sifat dan Sumber Tembaga (Cu)

Tembaga terletak pada golongan I_B dalam daftar unsur periodik. Tembaga adalah logam dengan warna merah coklat, berbentuk kristal, tidak mudah mengalami korosi, dapat menghantar arus listrik dan kalor yang baik. Tembaga murni bersifat sangat lunak dan dapat digunakan dalam bentuk lembaran, dapat ditempa menjadi tipis dan menjadi kabel. Logam ini dapat membentuk senyawa Sulfida, CuS, dan dapat bereaksi dengan HNO₃ encer (Syamsuddin, 1987).

Menurut Cotton dan Wilkinson (1989) tembaga sangat lambat teroksidasi superfisial dalam uap udara, kadang-kadang menghasilkan lapisan hijau hidroksida karbonat dan hidroksida sulfat (dari SO₂ dalam atmosfer). Tembaga mudah larut dalam asam nitrat dan dalam asam sulfat dengan adanya O₂, juga larut dalam larutan KCN atau amonia dengan adanya oksigen seperti dicirikan dengan potensialnya :



Secara alamiah, Cu dapat bersumber dari pengikisan batuan mineral, debu-debu dan atau partikulat-partikulat Cu yang ada dalam lapisan udara yang dibawa turun oleh air hujan. Secara non alamiah, Cu masuk ke dalam tatanan suatu lingkungan akibat aktivitas manusia, seperti buangan industri yang memakai Cu dalam proses produksinya,

industri galangan kapal karena digunakannya Cu sebagai campuran bahan pengawet, industri pengolahan kayu, buangan rumah tangga dan lain sebagainya (Palar, 1994).

Untuk perairan laut yang banyak menampung limbah industri kayu, jenis pencemaran logam berat yang mungkin terjadi adalah Cu, Cr, dan As. Hal ini disebabkan senyawa tembaga-krom-arsenat (CCA) atau tembaga-krom-borat (CCB) banyak dipakai sebagai bahan pengawet kayu. Untuk tembaga, jumlah masukannya ke laut melalui sungai adalah 30.000 ton/tahun (Hutagalung, 1991).

Tembaga (Cu) Bagi Perairan dan Organisme

Dalam kondisi normal, keberadaan Cu dalam perairan ditemukan dalam bentuk senyawa ion CuCO_3^+ , CuOH^+ , dan lain-lain. Biasanya jumlah Cu yang larut dalam perairan laut adalah 0,002 - 0,005 ppm. Bila terjadi peningkatan kelarutan Cu, sehingga melebihi ambang yang seharusnya, maka akan terjadi peristiwa "biomagnifikasi" terhadap biota-biota perairan (Palar, 1994).

Sebagai logam berat, tembaga (Cu) berbeda dalam logam berat lainnya seperti Hg, Cd, dan Cr. Logam berat tembaga digolongkan ke dalam logam berat esensial, termasuk esensial bagi manusia seperti juga Fe dan lain-lain (Palar, 1994). Selanjutnya bahwa biota perairan sangat

peka terhadap kelebihan tembaga dalam badan perairan tempat hidupnya. Konsentrasi 0,01 ppm akan mengakibatkan kematian bagi fitoplankton. Jenis-jenis yang termasuk krustase akan mengalami kematian dalam tenggang waktu 96 jam, bila konsentrasi Cu terlarut berada dalam kisaran 0,17-100 ppm, moluska akan mengalami kematian dalam kisaran 0,16-0,5 ppm, dan dalam kisaran 2,5-3,0 ppm akan dapat membunuh ikan-ikan.

Tembaga (Cu) yang terlarut dalam laut adalah dalam bentuk CuCO_3 , Cu^{2+} , CuOH^+ , tetapi Cu adalah salah satu dari logam yang dapat segera dihilangkan dari laut dengan cara adsorpsi dari partikel-partikel dan diperkirakan 83% Cu dalam laut adalah dalam bentuk tersebut (Clark, 1989). Selanjutnya dinyatakan bahwa Cu dalam organisme laut adalah element penting untuk hewan, dan konsentrasi tertinggi ditemukan dalam krustase, dekapoda, dan cephalopoda, dimana pigmen pernafasan haemocyanin mengandung tembaga (Cu). Cu yang berlebih biasanya disimpan dalam hati dan pankreas.

Tembaga sangat essential bagi semua organisme, tetapi sekaligus mempunyai sifat racun yang penting bagi invertebrata (Huheey, 1983). Ia merupakan salah satu dari enam metaloenzim (Cotton & Wikinson, 1976) yang mana ia berfungsi sebagai unsur pokok dalam hemocyanin dan reaksi redoks enzim (Huheey, 1983). Tembaga yang terdapat dalam

hemocyanin dalam moluska dan krustase tingkat tinggi berfungsi sebagai pigmen respirasi (Clark, 1986).

Toksisitas

Uji toksisitas akut terdiri atas pemberian suatu senyawa kepada hewan uji pada suatu saat. Maksud uji tersebut ialah untuk menentukan peringkat lethalitas senyawa itu (Loomis, 1978). Selanjutnya dikatakan bahwa urutan efek yang timbul setelah pemberian senyawa itu harus segera diamati supaya waktu tumbuhnya tanda-tanda dan gejala-gejala maupun saat datangnya kematian atau kesembuhan dari gejala-gejala yang ada secara tepat dapat dicatat. Nilai LD50-nya kemudian secara statistik dapat ditentukan.

Tingkat toksisitas suatu senyawa atau unsur kimia dapat dinilai dari Lethal Concentration (LC50), yaitu konsentrasi yang menyebabkan 50% hewan uji mati dalam jangka waktu tertentu (Pimental, 1971; Wilber, 1971; Kusumadinata dan Rustami, 1976). Selanjutnya Anonymous (1983) bahwa Nilai Median Lethal Time ialah waktu yang diperlukan untuk mematikan 50% hewan uji pada ambang konsentrasi tertentu.

Untuk menentukan batas keamanan suatu zat toksis pada hewan uji, pertama-tama ialah dengan menentukan nilai LD50 akut oral. Bahan-bahan kimia dapat diklasifikasikan menu-rut nilai LD50 (Matsumura, 1975 dalam Sutamiharja, 1991) :

- (1). Sangat toksik sekali (ekstremely toxic) jika LD50-nya berada di bawah 1 mg/kg.
- (2). Sangat toksis (Highly toxic), jika LD50-nya 1-50 mg/kg.
- (3). Toksis sedang (moderately toxic), jika LD50-nya 50-500 mg/kg.
- (4). Agak toksis (slight toxic), jika LD50-nya 0,5-5 g/kg.
- (5). Praktis non toksis (practicaly nontoxic), jika LD50 5-15 g/kg.
- (6). Relatif tidak berbahaya (Ralativy harmless), jika LD50-nya lebih besar dari 15g/kg.

Toksisitas dapat dikategorikan berdasarkan timbulnya efek terhadap penyingkatan waktu antara lain toksisitas akut. Organization for Economic Cooperation an Development (OECD) mendefinisikan toksisitas akut adalah sebagai efek berbahaya dalam waktu singkat setelah pemberian oral takaran tunggal atau takaran ganda dalam waktu 24 jam. Biasanya toksisitas akut terjadi secara mendadak setelah menerima takaran (Frank, 1995).

Toksisitas yang dimiliki oleh Cu baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait (Palar, 1994). Selanjutnya bahwa bentuk tembaga (Cu) yang paling beracun adalah debu-debu Cu yang dapat mengakibatkan kematian pada

dosis 3,5 mg/kg. Efek keracunan yang ditimbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap Cu adalah terjadinya kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung.

Dalam uji toksisitas yang memegang peranan utama adalah biota uji. Biota uji dapat berfungsi sebagai instrumen atau alat ukur toksisitas dari suatu pencemar. Kadar suatu bahan kimia dapat diukur dengan suatu alat, tetapi tingkat bahaya dari bahan tersebut hanya dapat diukur dengan "barang hidup" (Panggabean, 1994). Selanjutnya dikatakan bahwa pengetahuan tentang kadar kimia dan toksisitasnya dalam kondisi tertentu dapat menjadi bahan dasar untuk prediksi tentang toksikologi lingkungan. Dengan demikian nilai baku untuk bahan bersangkutan dapat ditetapkan dari hasil tersebut dan batas kadar yang diperbolehkan keberadaannya di lingkungan benar-benar merupakan batas kadar yang tidak membahayakan kehidupan organisme setempat.

Uji hayati atau uji toksisitas adalah suatu uji untuk mengukur tingkat toksisitas satu atau beberapa bahan pencemar terhadap satu atau beberapa species organisme. Toksisitas tersebut merupakan resultan dari faktor waktu dan konsentrasi yang dimodifikasi oleh beberapa variabel seperti suhu, salinitasi, pH dan bahan pencemar. Uji ini dilakukan dalam laboratorium dan waktu yang digunakan adalah 96 jam (Reish, 1987).

Pada penelitian toksisitas dengan memakai hewan uji akuatik, tipe uji hayati yang sering dipakai adalah uji hayati dengan sistem air tergenang dengan memakai beberapa tempat uji. Uji hayati seperti ini oleh Wardoyo dalam Wibisono (1987) disebut uji hayati tipe statis. Bila dibandingkan dengan tipe dinamis, maka pemilihan uji hayati statis lebih sederhana, relatif lebih murah dan mudah dipersiapkan serta hasil ujinya relatif cepat diketahui.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Toxicologi Instalasi Tambak Percobaan Marana dan Laboratorium Balai Penelitian Perikanan Pantai (BALITKANTA) Maros, Kabupaten Dati II Maros. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan pada akhir bulan April sampai bulan Juni 1996.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan selama penelitian adalah sebagai berikut (Tabel 1):

Tabel 1. Alat-alat yang digunakan selama penelitian, jumlah dan kegunaannya

No.	Nama Alat	Jumlah	Kegunaan
1.	Akuarium ukuran 50 x 30 x 30 cm	24 buah	Wadah pengujian (perlakuan)
2.	Timbangan elektrik	1 buah	Menimbang bahan uji
3.	Aerator listrik + slang	31 buah	Mengaerasi media uji
4.	Aerator baterai	2 buah	Mengaerasi hewan uji selama pengangkutan ke laboratorium
5.	Spektrofotometer	1 buah	Mengukur PO_4 , NO_3 , NO_2 , dan NH_4
6.	DO-meter	1 buah	Mengukur suhu dan O_2
7.	Fibre penampungan vol. 500 & 1500 L	4 buah	Wadah penampungan hewan uji untuk aklimatisasi (500 L) dan wadah penampungan air payau (1500 L)
8.	Pipet ukur	2 buah	Untuk titrasi, pipet sampel
9.	Pipet biasa	2 buah	Untuk pipet zat-zat
10.	Labu erlenmeyer	9 buah	Untuk titrasi
11.	Gelas Ukur 10 ml dan 100 ml	45 buah	Tempat menimbang bahan uji Cu (21) dan tempat menghitung hewan uji/benur (24)
12.	Botol sampel	40 buah	Tempat penyimpanan sampel air untuk pengukuran PO_4 , NO_3 , NO_2 , NH_4
13.	Kaos tangan karet	1 pasang	Melindungi tangan dari kontaminasi Cu (bahan uji)

14.	Tabung reaksi	160 buah	Tempat perlakuan air sampel untuk mengukur absorbance PO_4 , NO_3 , NO_2 , NH_4
15.	Refraktometer	1 buah	Mengukur salinitas media uji
16.	Pompa air	2 unit	Memompa air dari tambak ke laboratorium (bak penampungan) dan memompa air ke wadah pengujian
17.	Slang	3 meter	Mengganti media uji
18.	pH-meter	1 unit	Mengukur pH media uji
19.	Rak tabung reaksi	4 buah	Mengatur tabung
20.	Sero	2 buah	Menangkap benur
21.	Ember	1 buah	Angkat air
22.	Corong + Kertas saring	9 pasang	Menyaring air sampel
23.	Tissue	4 buah	Kalibrasi
24.	Aluminium foil	40 buah	Penutup tabung reaksi
25.	Shaker	1 unit	Mengocok tabung reaksi

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Pascalarva udang windu PL-25
2. Logam berat tembaga (Cu)
3. Air payau
4. HNO_3
5. Indikator PP
6. Na_2CO_3
7. Aquadest
8. Sulfanilamic
9. Naftilamin
10. Phenol
11. Nitroprusside
12. Larutan oxidizing
13. Alkohol 95 %
14. Campuran reagent
15. Brusin
16. H_2SO_4

Hewan Uji

Hewan uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah pascalarva (PL-25) udang windu (Penaeus monodon Fabricius) yang diperoleh dari sumber yang baik. Benur tersebut dimasukkan ke dalam kantong plastik transparan untuk dibawa ke lokasi penelitian. Setelah tiba di lokasi penelitian, benur diaklimatisasi terhadap suhu dan salinitas dan dimasukkan ke dalam fibre penampungan. Selanjutnya hewan uji diaklimatisasi/ adaptasikan dalam kondisi laboratorium selama lima hari sebelum digunakan sebagai hewan uji. Bila selama aklimatisasi lebih dari sepuluh persen benur mati, maka benur-benur tersebut dinyatakan tidak layak hewan sebagai uji. Selama diadaptasikan hewan uji diberi pakan.

Bahan Uji

Bahan uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah formulasi logam berat Tembaga (Cu) dengan konsentrasi tertentu dalam air. Untuk membuat media uji ini, dipersiapkan bahan formulasi logam berat Tembaga (Cu) dengan kepekatan yang tergantung pada kisaran konsentrasi-konsentrasi yang diuji. Logam berat Tembaga (Cu) yang digunakan adalah dalam bentuk Cu dalam bentuk senyawa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan warna biru dalam bentuk kristal. Cu yang sudah ditimbang sesuai konsentrasi yang ditentukan, dilarutkan dalam air payau, kemudian dituangkan ke dalam air media yang telah disiapkan.

Prosedur Penelitian

Penelitian uji toksisitas logam berat Cu terhadap kehidupan benur udang windu digunakan metode Bioassay dengan tahapan prosedur sebagai berikut :

a. Persiapan Air Media

Air payau ditampung ke wadah penampungan dalam laboratorium berasal dari sumur air payau yang berlokasi di tambak dan dianggap bebas dari pencemaran, dengan menggunakan pompa listrik. Sebelum masuk ke dalam wadah penampungan, air disaring terlebih dahulu. Selama penampungan, air di aerasi secara terus menerus.

b. Tahap Aklimatisasi

Wadah penampungan hewan uji untuk aklimatisasi bervolume 1500 L, diisi air payau bersalinitas 25 ppt. Hewan uji dihitung dan dimasukkan dengan memperhatikan suhu dan salinitas air media. Tahap aklimatisasi berlangsung 5 hari, dimaksudkan agar hewan uji dapat beradaptasi dengan wadah dan kondisi laboratorium sebelum diberi perlakuan. Seleksi dilakukan terhadap hewan uji yang benar-benar sehat pada wadah penampungan sementara.

Selama proses aklimatisasi, hewan ini diberi pakan dan tetap diaerasi, juga dilakukan penggantian air setiap 24 jam sebanyak 20 % dari volume awal. Pemberian pakan

dihentikan 24 jam sebelum hewan uji diberi perlakuan untuk mengurangi zat metabolit selama berada dalam tempat uji. Pakan yang diberikan adalah pakan buatan berupa Pellet dengan merek dagang Hook Lie No. 1. Frekuensi pemberian pakan adalah 4 kali sehari sebanyak 6 % berat biomassa hewan uji per hari.

C. Tahap Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan berlangsung selama 48 jam, dimana tahap ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi ambang lethal yaitu ambang atas (LC100-24) jam) dan ambang bawah (LCO-48 jam). Konsentrasi ambang atas adalah konsentrasi terendah dimana semua hewan uji mati dalam waktu aplikasi 24 jam, sedangkan konsentrasi ambang bawah adalah konsentrasi tertinggi dimana semua hewan uji hidup dalam waktu aplikasi 48 jam.

Adapun tahap-tahap kerja selama uji pendahuluan adalah :

- a). Akuarium dibersihkan dan diisi dengan 20 liter air payau yang telah ditampung dan diaerasi selama 24 jam sebelum digunakan.
- b). Bahan uji ditimbang sesuai konsentrasi yang akan diuji yaitu 7 perlakuan 3 kali ulangan dan kontrol sebagai terlihat pada (Tabel 2) :
- c). Bahan uji yang sudah ditimbang, dilarutkan ke dalam masing-masing 21 wadah/akuarium kecuali wadah kontrol.

- d). Hewan uji diambil dari bak penampungan dan dihitung secara acak masing-masing 20 ekor ke dalam 24 buah gelas ukur.
- e). Setelah perhitungan hewan uji selesai, maka dalam waktu yang relatif bersamaan dituangkan dalam media uji dan kontrol, diusahakan agar air yang ikut tertuang sesedikit mungkin, agar tidak mempengaruhi konsentrasi media uji.
- f) Pengamatan mortalitas hewan uji dicatat setelah 24 dan 48 jam, sedang pengukuran parameter kualitas air media adalah pada awal, 24 dan 48 jam.

Tabel 2. Berat Tembaga (Cu) yang dibutuhkan pada Tiap Konsentrasi Uji Pendahuluan Terhadap Benur Udang Windu

No.	Consentrasi yang diuji (ppm)	Berat Cu yang ditimbang (g/20 L)
1.	(10 ³)	78,64
2.	(10 ²)	7,864
3.	(10 ¹)	0,7864
4.	(10 ⁰)	0,07864
5.	(10 ⁻¹)	0,007864
6.	(10 ⁻²)	0,0007864
7.	(K)	tanpa Cu

Berdasarkan persentase mortalitas hewan uji tersebut dapat ditentukan N (konsentrasi ambang atas) dan n (konsentrasi ambang bawah). Kedua nilai tersebut akan menjadi pedoman dalam pengujian selanjutnya yaitu pengujian median lethal time (LT50) dan media lethal concentration (LC50).

d. Tahap Uji Media Lethal Time (LT50)

Tahap pengujian median lethal time bertujuan untuk melihat lamanya daya racun yang efektif dari bahan uji. Pengujian ini dilakukan selama 24 jam. Konsentrasi yang diuji adalah konsentrasi ambang atas (N) yang didapatkan dari hasil uji pendahuluan. Wadah uji sebanyak 27 buah dibersihkan kemudian diisi air media masing-masing dengan volume 20 liter. Bahan uji disiapkan/ditimbang dengan berat sesuai dengan konsentrasi N. Perlakuan diberikan setiap interval 3 jam. Pertama-tama hewan uji dimasukkan masing-masing 20 ekor ke dalam wadah sebagai kontrol (tanpa bahan uji) dan dirangkaikan dengan perlakuan pertama yaitu bahan uji dilarutkan ke dalam air media kemudian hewan uji dimasukkan. Setelah selang 3 jam perlakuan diberikan lagi. Demikian seterusnya sampai 8 perlakuan selesai dalam waktu 24 jam, dimana pada jam ke-24 pengamatan mortalitas hewan uji dicatat serta pengukuran terhadap parameter kualitas air.

e. Tahap Uji Median Lethal Concentration (LC50)

Tahap ini bertujuan untuk menentukan nilai LC50 untuk waktu eksposur 24, 48, 72, dan 96 jam. Perlakuan memerlukan 7 deretan konsentrasi antara nilai-nilai ambang atas (N) dan ambang bawah (n), yang ditentukan berdasarkan deret logaritme, dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Log } \frac{N}{n} = k \left(\log \frac{a}{n} \right) \dots\dots\dots (1)$$

N = Konsentrasi ambang atas

n = Konsentrasi ambang bawah

k = banyaknya selang konsentrasi yang akan diuji

a = Konsentrasi terkecil dalam deretan konsentrasi setelah n

$$\frac{a}{n} = \frac{b}{a} = \frac{c}{b} = \frac{d}{c} = \frac{e}{d} = \frac{f}{e} = \frac{g}{f} \dots\dots\dots (2)$$

Dari rumus (1) diketahui nilai konsentrasi terkecil (a). Selanjutnya dapat dihitung konsentrasi b, c, ... g dengan menggunakan rumus (2).

Selanjutnya pengujian dilakukan selama waktu eksposur 96 jam. Pengamatan dan pencatatan kematian hewan uji dengan jadwal pengamatan setelah jam ke-2, 4, 8, 16, 24, 48, 72, dan 96. Sedangkan pengukuran kualitas air dilakukan pada awal, pertengahan (jam ke-48) dan akhir (jam ke 96) pengujian.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan selama pengujian adalah :

- Media uji diganti setiap 24 jam.
- Media uji secara terus menerus diaerasi selama pengujian.
- Hewan uji yang mati pada saat pengamatan segera dikeluarkan.

- Pengujian diulangi bila kematian hewan uji pada kontrol lebih dari 10 %.
- Pemberian pakan 1 kali tiap 24 jam yaitu 2 jam sebelum pergantian media uji.

f. Pengamatan Kualitas Air Media

Sebagai data penunjang dilakukan pengamatan beberapa parameter fisika-kimia media uji. Parameter kualitas air yang diuji adalah sebagai berikut (Tabel 3) :

Tabel 3. Parameter Kualitas Air yang Diukur Selama Uji Toksisitas Logam Berat Cu Terhadap Benur Udang Windu (*Penaeus monodon* Fab.)

No.	Parameter Kualitas Air	Alat/Metode
1.	Suhu	Do-meter
2.	Salinitas	Refraktometer
3.	pH	pH-meter
4.	CO ₂ bebas	Analisa Titrametrik
5.	O ₂ terikat	Do-meter
6.	PO ₄ -P	Spektrofotometer (Reagent)
7.	NO ₃ -N	Spektrofotometer (Brusin)
8.	NO ₂ -N	Spektrofotometer (Sulfanilamic)
9.	NH ₄ -N	Spektrofotometer (Oxidizing 4 : 1)

Analisa Data

Untuk mendapatkan nilai LC50 pada waktu pemaparan 24,48, 72 dan 96 jam, nilai LT50 dari ambang atas konsentrasi lethal (LC100-24 jam), serta nilai-nilai interval masing-masing pada limit kepercayaan 95 %, maka

pengolahan data dilakukan dengan analisis Probit sebagai berikut :

1. Mortalitas uji dicatat secara kumulatif untuk waktu-waktu pemaparan 24, 48, 72 dan 96 jam.
2. Bila terdapat kematian kontrol, maka semua data harus dikoreksi dengan modifikasi rumus Abbot (Tatterfield & Morris, 1924 dalam Bado, 1993) sebagai berikut :

$$R_k = 100 S \left(\frac{R_t - C}{100 S - C} \right) \dots\dots\dots (3)$$

S = Jumlah benur per perlakuan

R_t = Respon (jumlah mati) teramati

C = Jumlah mati pada kontrol

R_k = Respon Terkoreksi

3. Data yang sudah tersusun selanjutnya diolah dengan komputasi dengan menggunakan perangkat lunak Probit Analisis sampai diperoleh nilai LT50, LC50, rentang konsentrasi yang berpeluang terjadinya LT50 dan LC50 pada masing-masing waktu pemaparan.
4. Untuk mendapatkan nilai taksiran konsentrasi aman (Safety Concentration (SC) digunakan rumus Prasetyo dalam Wibisono (1987) yaitu :

$$SC = 10 \% \times LC50 \dots\dots\dots (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Pendahuluan

Dari hasil uji pendahuluan Toksisitas logam berat Tembaga (Cu) terhadap benur udang windu (Penaeus monodon Fab.) diperoleh kedua nilai lethal yaitu nilai ambang atas (N)= 10^2 ppm dan nilai ambang bawah (n)= 10^0 ppm. Pengamatan mortalitas dan tingkat kelangsungan hidup (TKH) pada uji pendahuluan disajikan pada lampiran 1, sedangkan persentasenya dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4: Hasil pengamatan Uji Pendahuluan 48 jam terhadap mortalitas dan tingkat kelangsungan hidup (TKH) benur pada Uji Toksisitas Tembaga (Cu)

Konsentrasi (ppm)	Jumlah Benur (ekor)	Mortalitas Benur jam ke-24 (%)	TKH Benur jam ke-48 (%)
K (0)	60	0	100
10^{-2}	60	0	100
10^{-1}	60	0	100
10^0	60	0	98,33
10^1	60	6,67	60
10^2	60	100	0
10^3	60	100	0

Berdasarkan prosentase mortalitas dan TKH seperti pada Tabel 4 dapat ditentukan nilai ambang atas dan nilai ambang bawah dengan berpedoman pada defenisi Anonimous (1983) bahwa nilai ambang atas adalah konsentrasi terendah dimana hampir semua hewan uji mati dalam waktu aplikasi 24 jam, sedangkan nilai ambang bawah adalah konsentrasi tertinggi dimana hampir semua hewan uji hidup dalam waktu aplikasi 48 jam. Dengan demikian nilai konsentrasi ambang bawah (n) adalah 10^0 ppm dengan tingkat kelangsungan hidup benur 98,33 % dalam waktu aplikasi 48 jam dan nilai konsentrasi ambang atas (N) adalah 10^2 ppm dengan mortalitas 100% dalam waktu aplikasi 24 jam.

Hasil uji pendahuluan yang diperoleh memberi petunjuk tentang kemampuan benur mentolerir tingkat konsentrasi jenis logam berat Tembaga (Cu) jika berada dalam suatu media (perairan). Dari Tabel 4 terlihat pada konsentrasi 10^{-2} , 10^{-1} , 10^0 dan 10 ppm, mortalitas benur masih < 6,67% dan pada konsentrasi 10^2 dan 10^3 ppm, benur mengalami mortalitas 100% dalam waktu aplikasi 24 jam.

Pada pengamatan 48 jam, tingkat kelangsungan hidup benur pada konsentrasi 10^{-2} dan 10^{-1} adalah 100%, sedangkan konsentrasi 10^0 dan 10^1 ppm masing-masing 98,33% dan 60 %, serta pada konsentrasi 10^2 dan 10^3 ppm, tingkat kelangsung hidup sudah mencapai 0%. Besarnya perbedaan prosentase tingkat kelangsungan hidup dan mortalitas pada

tiap perlakuan diduga disebabkan oleh besarnya perbedaan tingkat konsentrasi Cu yang diuji yaitu menggunakan angka basis 10. Kemungkinan lain adalah dari benur sebagai hewan uji dimana udang windu dikenal sebagai hewan budi daya yang sangat peka terhadap perubahan lingkungan (perairan) terlebih karena benur merupakan fase awal hidup dari udang windu, sesuai pendapat Koeman (1987) bahwa organisme yang muda sekali pada umumnya lebih peka terhadap aktifitas toksik zat kimia. Dalam banyak hal ini berhubungan dengan perkembangan organ yang belum sempurna atau fungsinya yang belum sempurna untuk proses fisiologi tertentu.

Kualitas fisika-kimia media percobaan selama perlakuan menunjukkan kisaran yang layak untuk kelangsungan hidup pascalarva udang windu, dimana kisarannya masih berada pada kisaran seperti yang disajikan pada lampiran 3. Kisaran kualitas air yang diperoleh adalah pH antara 6,6700-8,5000, salinitas 25,0000 ppt, suhu antara 25,0000-29,6700 °C, O₂ antara 4,1000-5,3000 ppm, PO₄-P antara 0,0091-0,0429 ppm, NO₃-N antara 0,0180-0,0194 ppm, NO₂-N antara 0,0027-0,0068 ppm, dan NH₄-N antara 0,0053-0,0179 ppm.

Uji pendahuluan dalam pengujian toksisitas suatu bahan atau zat toksik terhadap makhluk hidup memegang peranan yang sangat menentukan, karena hasil pengamatan akan dipergunakan dalam rangkaian pengujian lanjutan di

mana konsentrasi N akan diuji dalam pengujian Median Lethal Time (LT50) dan konsentrasi antara n - N akan diuraikan menjadi beberapa tingkat konsentrasi yang akan diuji pada pengujian Median Lethal Concentration (LC50).

Uji Median Lethal Time (LT50)

Pengujian LT50 adalah untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk mematikan 50% hewan uji pada ambang konsentrasi tertentu. Konsentrasi yang diuji terhadap benur ini adalah konsentrasi N(=100 ppm) dari uji pendahuluan dengan interval waktu perlakuan 3 jam selama 24 jam. Hasil pengamatannya ditunjukkan pada Lampiran 4.

Dari hasil pengamatan dengan analisis probit (Lampiran 5) didapatkan nilai LT50 konsentrasi N logam berat Cu terhadap benur udang windu selama 4,4022 jam. Pada tingkat kepercayaan 95% diperkirakan rentang waktu antara 3,8023-4,9598 jam akan terjadi peluang kematian 50% benur jika terpapar oleh logam berat Cu pada konsentrasi 100 ppm, sehingga dapat dikatakan bahwa pada konsentrasi 100 ppm Cu jika terpapar terhadap fase-fase awal dari udang windu selama waktu lebih kecil dari 3,8023 jam masih lebih dari 50% benur udang windu hidup, sedangkan waktu yang lebih dari 4,9598 jam diperkirakan kurang dari 50% benur akan hidup (Gambar 1).

Berdasarkan perlakuan dengan interval 3 jam diperoleh suatu gambaran bahwa semakin lama logam berat Cu terkontaminasi pada benur udang windu, maka tingkat mortalitas (keracunan) akan semakin meningkat sampai batas waktu tertentu. Dan di atas batas waktu > 15 jam kemampuan benur untuk mentolerir Cu tidak ada lagi (Tabel 5).

Tabel 5. Persentase Mortalitas benur udang Windu Pada uji LT50 Toksitas logam Berat Tembaga (Cu)

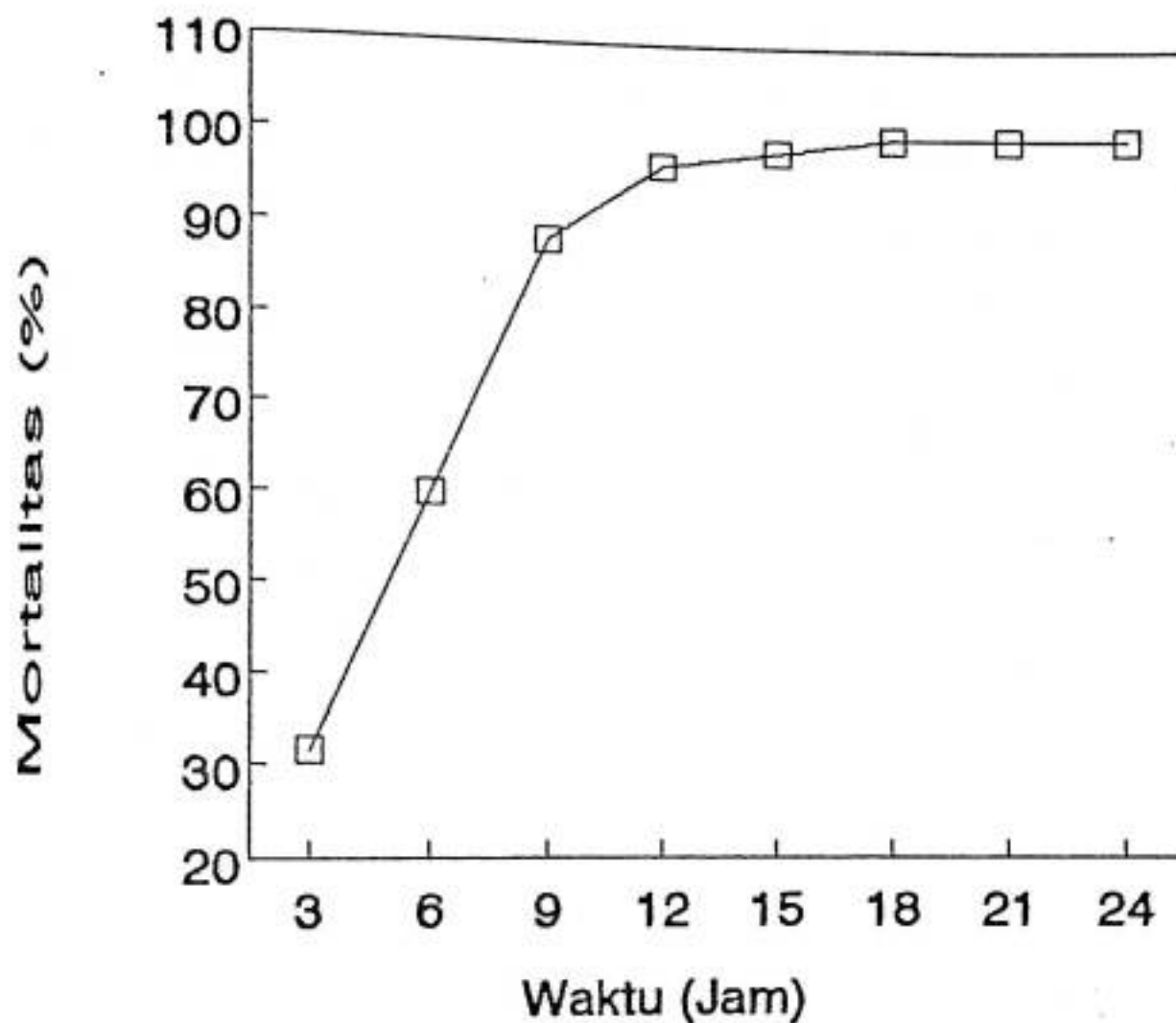
No	Lama Pemaparan (jam)	Mortalitas Benur (%)
1	24	100
2	21	100
3	18	100
4	15	98,33
5	12	96,67
6	9	88,33
7	6	60
8	3	31,67

Dari gambar 1, terlihat bahwa pada waktu 3 jam, persentase mortalitas benur udang windu dibawah 50% sedangkan 6-15 masih ada benur yang hidup tetapi sudah lebih dari 50% dan pada jam ke 18-24 jam semua benur uji mengalami mortalitas 100%. Hal ini sesuai pendapat Palar (1994) bahwa toksisitas yang dimiliki Cu bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya secara nyata bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar dan melebihi nilai toleransi organisme terkait.

Berdasarkan nilai LT50 pada konsentrasi 100 ppm Cu tersebut maka jenis toksisitas yang terjadi terhadap benur udang windu adalah toksisitas akut, sebagaimana yang didefinisikan oleh OECD dalam Frank (1995) bahwa toksisitas akut adalah efek berbahaya dalam waktu singkat setelah pemberian takaran tunggal atau takaran ganda dalam waktu 24 jam, dan biasanya terjadi secara mendadak setelah menerima takaran.

Selama pengamatan terlihat bahwa kualitas air media cukup layak bagi kehidupan benur udang windu, sehingga tingkat mortalitas benur tersebut adalah pengaruh daya racun (toksik) dari logam berat Cu. Hal ini didukung oleh tingkat kelangsungan hidup dalam media kontrol 100%. Kualitas air media selama pengamatan mempunyai kisaran sebagai berikut : pH (6,67-8,5), salinitas (25‰), O₂ (4,1-5,3 ppm), suhu (28,5-29,7°C), PO₄-P (0,0094-0,0429 ppm), NO₃-N (0,0180-0,0194 ppm), NO₂-N (0,0027-0,0068 ppm), NH₄-N (0,0053-0,0179 ppm) (Lampiran 6). Kisaran ini jika dibandingkan dengan kisaran yang layak bagi budidaya perikanan (Lampiran 3), maka pengaruh kualitas air bagi mortalitas benur selama pengujian tidak ada.

Dengan memperhatikan lampiran 6, terlihat adanya penurunan pH dengan semakin lamanya Cu dalam suatu perairan dimana pada lama kontaminasi 21 dan 24 jam pH adalah 7,0-7,5 sedang waktu-waktu lain adalah 8,0-8,5. Penurunan



Gambar 1. Grafik hubungan lama pemaparan Cu pada konsentrasi 100 ppm dengan persentase mortalitas benur udang windu selama uji LT50 24 jam.

ini didukung oleh pernyataan Hutagalung (1991) bahwa faktor lingkungan perairan turut mempengaruhi keberadaan dan toksisitas logam berat. Penurunan pH air akan menyebabkan toksisitas logam berat semakin tinggi. Sedangkan parameter kualitas air lainnya memperlihatkan nilai yang relatif homogen dan berdistribusi secara normal pada setiap perlakuan/pengamatan. Kondisi yang demikian layak bagi kehidupan benur, sehingga pengamatan terhadap mortalitas adalah pengaruh daya racun Tembaga (Cu).

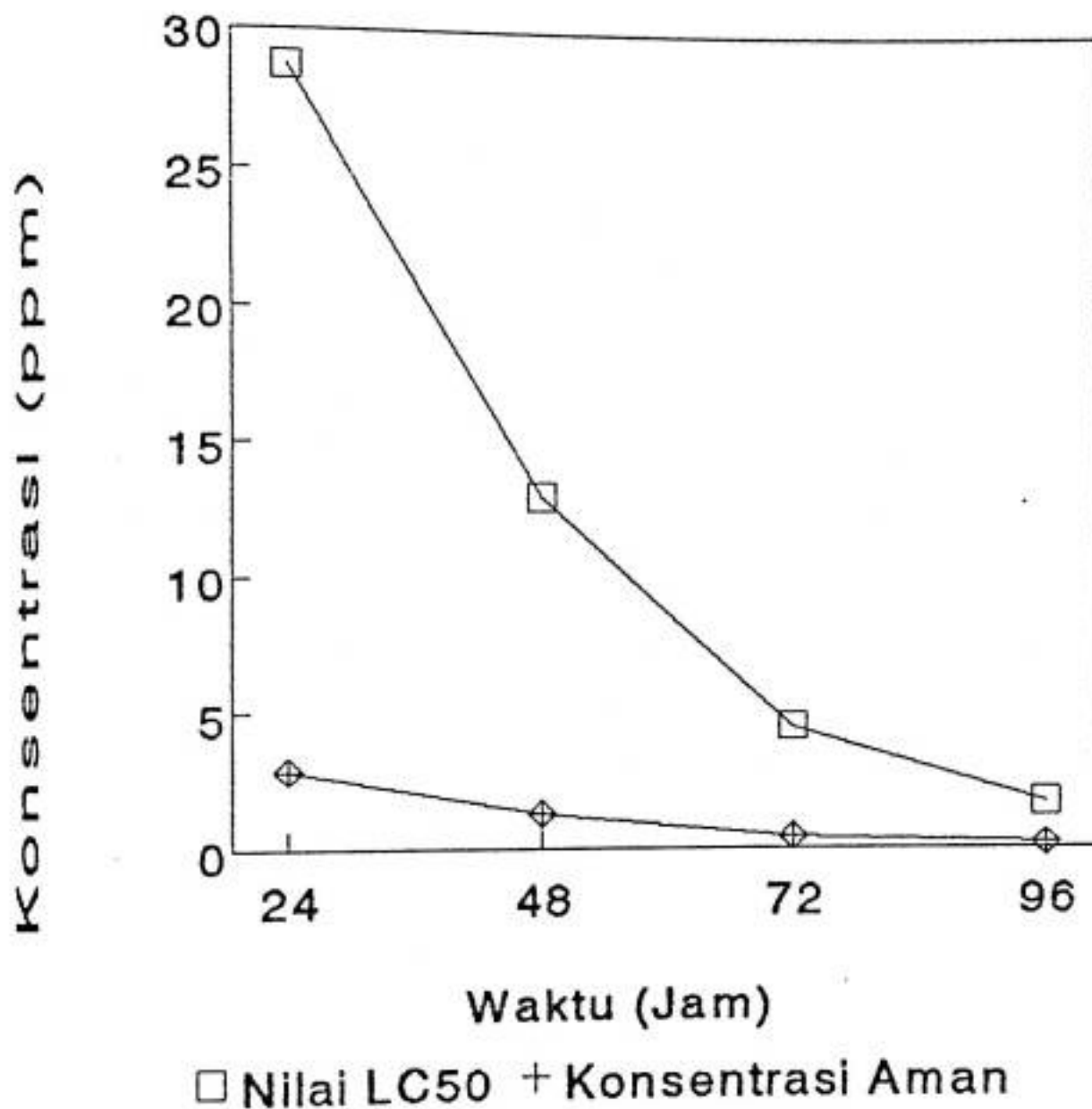
Uji Median Lethal Concentration (LC50)

Hasil pengamatan mortalitas benur udang windu selama 96 jam seperti ditunjukkan pada lampiran 7, sedangkan hasil perhitungan nilai LC50 dengan waktu pemaparan 24, 48, 72 dan 96 jam dapat dilihat pada lampiran 8, 9, 10 dan 11.

Tabel 6 : Nilai LC50 logam berat Tembaga (Cu) terhadap Benur Udang Windu selama Uji Toksisitas

No	waktu Eksposur (jam)	Nilai LC50 (ppm)	Peluang LC50 (ppm)	Kons. Aman (ppm)
1	24	28,7206	22,5251-38,4367	2,8721
2	48	12,9829	10,6339-15,8694	1,2983
3	72	4,5424	3,5570-5,5971	0,4542
4	96	1,7230	0,9972-2.4861	0.1723

Pada Tabel 6 memperlihatkan nilai LC50 tertinggi dicapai pada waktu pemaparan 24 jam, kemudian semakin menurun pada waktu 48 jam, 72 jam dan terendah setelah waktu pemaparan 96 jam. Dari nilai LC50 yang semakin kecil dengan bertambah lamanya benur dalam media uji, dapat dikatakan bahwa semakin lama benur terkontaminasi oleh logam berat Cu maka tingkat konsentrasi yang mampu ditolerir semakin rendah, dengan perkataan lain bahwa semakin kecil nilai LC50 maka tingkat toksik Cu terhadap benur semakin tinggi, sehingga menyebabkan tingkat mortalitas semakin besar, ini sesuai pendapat Hutagalung (1991) bahwa daya toksik logam berat terhadap suatu



Gambar 2. Grafik Hubungan LC50 dengan Beberapa Waktu Pemaparan Selama Uji Toksisitas Logam Berat Cu Terhadap Benur Windu

organisme perairan dapat diketahui dari nilai LC50. Semakin kecil nilai LC50 maka semakin tinggi toksisitas logam berat tersebut, dan sebaliknya.

Terjadinya efek toksik pada waktu yang lama dari seluruh rangkaian pengamatan disebabkan karena logam berat Tembaga (Cu) adalah merupakan salah satu logam berat yang dibutuhkan secara esensial bagi metabolisme organisme hidup, sehingga pada waktu yang lebih singkat dari 96 jam kemungkinan Cu yang terserap sebagian masih digunakan dalam proses metabolisme (respirasi). Hal tersebut sejalan dengan pendapat Clark (1989) bahwa Cu yang terdapat dalam haemocyanin pada krustase dan moluska berfungsi sebagai pigmen respirasi. Disamping itu diduga karena dalam waktu yang lama terjadi penyimpanan Cu seperti yang dikemukakan oleh Clark (1989) bahwa Cu yang berlebih biasanya disimpan dalam hati dan pankreas.

Namun dengan adanya penyimpanan tersebut akan menyebabkan akumulasi Cu yang semakin banyak dan melebihi kemampuan mentolerir sehingga benur tersebut mengalami kematian (keracunan) yang tinggi setelah 96 jam. Batas kemampuan ini didukung oleh pendapat Palar (1994) bahwa toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait.

Berdasarkan analisis Probit, maka nilai LC50, rentang konsentrasi yang berpeluang untuk LC50 dan konsentrasi aman setelah masing-masing waktu aplikasi Cu terhadap benur udang windu seperti pada Tabel 6, maka urutan toksisitasnya selama pengujian adalah 96 jam > 72jam > 48 jam > dan 24 jam, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

Dari nilai LC50-96 jam (terkecil) yang mempunyai daya toksisitas terbesar selama pengujian yaitu 0,7230 ppm, dimana pada konsentrasi tersebut benur akan mengalami kematian 50% jika terpapar (terkontaminasi) selama 96 jam. Peluang terjadinya kematian benur 50% jika tercemar oleh Cu selama 96 jam adalah pada rentang konsentrasi 0,9972-2,4861 ppm. Dengan mengambil konsentrasi aman sebesar 0,1723 ppm sampai pada konsentrasi lethal ambang atas (N) sebesar 100 ppm, maka konsentrasi Cu akan sangat berbahaya terhadap benur udang windu jika Cu masuk kedalam media hidupnya antara konsentrasi 0,1723 - 100 ppm. Kenyataan ini sesuai dengan pendapat Palar (1994) bahwa jenis-jenis biota yang termasuk kelas krustase akan mengalami kematian dalam tenggang waktu 96 jam, bila konsentrasi Cu terlarut berada dalam kisaran 0,17 - 100 ppm.

Selama pengujian parameter fisika-kimia media uji memperlihatkan nilai kisaran yang normal, yaitu kisaran yang memungkinkan benur hidup layak pada air payau sebagai air media uji Cu tersebut, sehingga dapat dipastikan bahwa

tingkat mortalitas benur selama pengujian adalah pengaruh daya racun Cu pada setiap tingkatan konsentrasi. Kisaran nilai pengukuran kualitas air selama pengujian, seperti diperlihatkan pada lampiran 12, adalah sebagai berikut: pH(6,83-8,50), salinitas (25-29o/oo), suhu (28,03-29,56°C), O₂ (3,2-4,2 ppm), PO₄-P (0,0041-0,0410 ppm), NO₃-N (0,0182-0,0403 ppm), NO₂-N (0,0027-0,0242 ppm), NH₄-N(0,0039-0,0048 ppm).

Dari semua parameter kualitas air yang dipantau memperlihatkan distribusi yang merata untuk konsentrasi yang diuji, kecuali pH dan salinitas. pH cenderung menurun dengan besarnya tingkat konsentrasi media Cu. Nilai yang terukur pada konsentrasi 51,7785 ppm, pH dibawah 8,0 ppm (6,83-7,67 ppm) sedangkan konsentrasi yang lebih kecil dan kontrol rata-rata dengan nilai 8,5 ppm. Salinitas pada akhir pengamatan meningkat dibandingkan pengamatan awal dan pertengahan, yaitu 25 o/oo pada pengamatan awal setelah 48 jam, sedang pada pengamatan akhir (96 jam) salinitas meningkat sampai 29 o/oo. Peningkatan salinitas ini diduga karena adanya penguapan air media percobaan.

Kedua parameter kualitas air tersebut diduga sebagai penyebab kematian benur pada kontrol dan mortalitas pada konsentrasi yang lebih tinggi saat pengamatan jam ke-72. Pengaruh tersebut sesuai dengan pendapat Hutagalung (1991) bahwa toksisitas (daya racun) logam berat terhadap

organisme perairan tergantung pada jenis, kadar, efek sinergis - antagonis dan bentuk fisika-kimianya. Faktor lingkungan perairan seperti pH, kesadahan, temperatur dan salinitas turut juga mempengaruhi toksisitas logam berat. Penurunan pH air akan menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis statistika terhadap hasil pengamatan pengujian toksisitas logam berat Tembaga (Cu) terhadap benur udang windu (Penaeus monodon Fab.) dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Konsentrasi lethal ambang bawah Tembaga (Cu) terhadap benur udang windu adalah 1 ppm, sedangkan konsentrasi lethal ambang atas adalah 100 ppm.
- Nilai Median Lethal Time (LT50) logam berat Tembaga (Cu) terhadap benur udang windu adalah 4,4022 jam, dimana pada tingkat kepercayaan 95% peluang terjadinya LT50 antara 3,8033 - 4,9598 jam pada konsentrasi 100 ppm.
- Nilai Median Lethal Concentration (LC50) logam berat Tembaga (Cu) terhadap benur udang windu dan konsentrasi aman untuk waktu pemaparan tertentu, masing-masing adalah : LC50-24 jam = 28,7206 ppm (SC = 2,8721 ppm)
LC50-48 jam = 12,9829 ppm (SC = 1,2983 ppm), LC50-72 jam = 4,5424 ppm (SC = 0,4542 ppm), LC50-96 jam = 1,7230 ppm (SC = 0,1723 ppm).
- Berdasarkan nilai-nilai yang diperoleh selama penelitian, maka logam berat Cu bersifat sangat toksik terhadap kehidupan benur udang windu.

Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap biota budidaya lain terutama terhadap bentuk muda dari masing-masing species tersebut, juga terhadap beberapa logam berat atau unsur yang bersifat racun lainnya. Sehingga data konsentrasi aman masing-masing unsur bagi suatu biota budidaya semakin lengkap sebagai informasi penunjang dalam menentukan baku mutu air bagi kepentingan budidaya perikanan, pemantauan pencemaran, yang pada akhirnya akan menuju kepada pengelolaan sumber daya hayati perairan yang optimal dan berkesinambungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anunimous, 1987. Pedoman Umum Pengujian Laboratorium Toksisitas Lethal Pestisida Pada Ikan Untuk Keperluan Pendaftaran . Komosi Pestisida Deptan, Jakarta.
- Apud, F. D. dan S. H. Benagua. 1983. Survival, Growth And Production of Penaeus monodon And Penaeus merguensis at Different Density Combination With Milkfish. SEAFDEC Ag D. Quarter by Research Rebert, 4,(1):5-6.
- Bryan, G.W. 1976. Heavy Metal Contamination in the Sea dalam Johnston. R. Marine Pollution. Academica Press. London.
- Clark, B.R. 1989. Marine Pollution, Second Edition. Clarendon Press, Oxford. New York.
- Cotton, A.F. dan Wilkinson, G. 1989. Kimia Anorganik Dasar. Universitas Indonesia Press. Hal: 477-482.
- Denton, G.R.W and Burdon Jones.C. 1982. The Influence of Temperature and Salinity upon the Acute Toxicity of Heavy Metals to the Banana Prawn (Penaeus merguensis). Chemistry in Ecology.
- Frank C. Lu. 1995. Toksikologi Dasar ; Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko, Edisi Kedua. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Hamid, S. N. 1984. Teknik Penampungan Benih Udang (Benur). Balai Budidaya Air Payau. Jepara, 12 hal.
- Heath, A.G. 1987. Water Pollution and Fish Physiology. CRC Press Inc. Boca Raton. Florida.
- Hutagalung, P. H. 1991. Pencemaran Laut Oleh Logam Berat; Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi dalam Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantuannya, LIPI. Jakarta.
- Huheey, James E., 1983. Inorganic Chemistry : Principles of Structure and Reactivity, Harper International Si Edition, New York.
- Koeman, J.H. 1987. Pengantar Umum Toksikologi. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

- Kusumadinata, S. and D. Rustami. 1976. Some Aspects on The Regulation of Agriculture Uses of Pesticides in Indonesia, With References to Their Effects on Inland Fisheries, IFRI. Bogor, Indonesia, 19p.
- Lendriani, E., 1989. Kandungan Logam Berat Raksa (Hg), Kadmium (Cd) dan Timah Hitam (Pb) Dalam Tubuh Udang Windu (Penaeus monodon Fab.) Yang Dibudidayakan di Pertambakan Pantai Kamal Jakarta. Karya Ilmiah Fakultas Perikanan IPB, Bogor.
- Loomis, A.T., 1978. Toksikologi Dasar, Edisi Ketiga : IKIP Semarang Press, Semarang.
- Martosudarmo, B. dan B. S. Ramoenihardjo. 1980. Biologi Udang Penaeid dalam Pedoman Pembenihan Udang Panaeid. BBAP, Jepara. Hal. 1-21.
- Motch, H. 1981. Studies on the Fisheries Biology in the Giant Tiger Prawns, Penaeus monodon in the Philipp. Tech. Rep. No. 7. Aquaculture Departement, Southeast Asia Fisheries Development Centre, Tigbuan, Iloilo. Philippines, 128 p.
- Muvhtizer, D. 1977. Dampak Aspek Pencemaran Lingkungan Oleh Minyak Bumi, Jakarta. Majalah Lembaran Publikasi Lemigas, No. 5 vol. 21.
- Palar, H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta.
- Panggabean, G.M.L. 1994. Peranan Uji Toksisitas Dalam Penentuan Baku Mutu Air Laut. Prosiding; Seminar Pemantauan Pencemaran Laut. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, LIPI. Jakarta.
- Pimental, D. 1971. Ecological Effects of Pesticides on non Target Species. Executive Office of The President Office of Science and Technology Thaca, New York.
- Poernomo, A. 1979. Budidaya Udang Intensif. Hal. 17 - 178 dalam Anonim (Ed). Udang. Proyek Penelitian Sumber-Daya Ekonomi. LON-LIPI, Jakarta.
- Reish, D.J. 1987. Manual of Methode In Aquatic Enviorement Research, FAO, Roma
- Romimohtarto. 1991. Pengantar Pemantauan Pencemaran laut; Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, dalam Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya. LIPI, Jakarta.

- Sugiharto. 1987. Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah. Universitas Indonesia Press. Jakarta, Hal. 41 - 47.
- Syamsuddin, U. 1987. Logam Berat dan Antagonis, dalam Farmakologi dan Terapi (Gan. S. dan Setyabudi, R. Eds) Edisi II, Bagian Farmakologi Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta. 706 - 710.
- Supriharyono. 1984. Tropical Marine Pollution. Departemen of Zoology. University of Newcastle.
- Sutamiharjo, RTM. 1991. Pengaruh Pestisida Terhadap Lingkungan; Kependudukan dan Lingkungan Hidup dalam Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya, LIPI. Jakarta.
- Simonis, T.A dan E. Mutschler, 1986. Toksikologi Umum, Pengantar Gadjah Mada University, Press, Yogyakarta.
- Thayib, H.M. 1994. Pencemaran Ekosistem Laut dan Tata Ruang. Prosiding; Seminar Pemantauan Pencemaran Laut. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, LIPI. Jakarta.
- Wilber, C.G., 1971. The Biological Aspects of Water Pollution. Charles C. Thomas Publiser. Springfield, Illionis, USA. 93 - 191.
- Wibisono, M.S. 1987. Tingkat Toksistas Minyak Bumi Nafterik Intermediat Terhadap Beberapa Jenis Biota Aquatik Pantai, Lembaran Publikasi Lemigas No.3. Vol 21. Jakarta.