

UJI TOKSISITAS SUBLETAL EFLUEN INDUSTRI MENGUNAKAN IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*) SEBAGAI ALAT PEMANTAUAN BIOLOGIS

SUBLETHAL TOXICITY TEST OF INDUSTRIAL WASTEWATER USING NILA FISH (*Oreochromis niloticus*) AS BIOMONITORING TOOL

Farida Haznah Makruf¹⁾, Atiek Moesriati²⁾ dan Nurlita Abdulgani³⁾

¹⁾ Pemerintah Kabupaten Gresik

²⁾ Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya

³⁾ Program Studi Biologi FMIPA-ITS Surabaya

Abstrak

Insang ikan nila yang dipapar efluen pabrik peleburan tembaga dan pabrik surfaktan mengalami hiperplasia 100%, sedang ikan nila yang dipapar efluen pabrik kertas sebesar 79,13%. Konsentrasi efluen pabrik peleburan tembaga yang memberikan pengaruh signifikan pada perubahan kecepatan pernapasan adalah konsentrasi 40% volume dengan kandungan *Total Dissolved Solid* (TDS) 1.590 mg/l, *Total Suspended Solid* (TSS) 27 mg/l, Fe 0,39 mg/l, Zn 0,116 mg/l, Cd 0,12 mg/l, Pb 0,048 mg/l dan F 0,044 mg/l. Efluen pabrik surfaktan yang memberikan pengaruh pada konsentrasi 60% volume dengan kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD) 2,4 mg/l, *Chemical Oxygen Demand* (COD) 17,76 mg/l, TSS 31,2 mg/l dan surfaktan (MBAS) 0,6 mg/l.

Kata kunci: efluen industri, histopatologi insang, ikan nila, kecepatan pernapasan

Abstract

The gills of nila fish which was exposed to the effluent of copper smelter and surfactant plants showed 100% hyperplasia. Whereas the effluent of paper plant caused 79,13% hyperplasia on lamella branchialis. The effluent concentration of copper smelter plant which gave significant influence of respiration rate was 40% volume with TDS, TSS, Fe, Zn, Cd, Pb, F concentrations of 1.590 mg/l, 27 mg/l, 0,39 mg/l, 0,116 mg/l, 0,12 mg/l, 0,048 mg/l and 0,044 mg/l respectively. Surfactant plant effluent that caused significant influence of respiration rate was 60% volume with BOD, COD, TSS, MBAS concentrations of 2,4 mg/l, 17,76 mg/l, 31,2 mg/l, and 0,6 mg/l respectively.

Keywords: effluent, histopathology of gill, nila fish, respiration rate

I. PENDAHULUAN

Pemantauan merupakan bagian penting dari pengelolaan lingkungan, yaitu sebagai dasar evaluasi dan meyakinkan kembali mengenai kegiatan yang dilakukan apakah sudah sesuai standar atau belum. Parameter yang ditetapkan adalah parameter fisik kimia limbah, dan beberapa perusahaan telah berusaha untuk memenuhi syarat baku mutu dengan mengolah limbah dalam instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Namun pemeriksaan secara fisik dan kimia terhadap limbah cair industri belumlah cukup untuk memperkirakan efek potensial terhadap organisme akuatik, sehingga perlu dilakukan pemantauan biologis (APHA, 1998). Pemantauan biologis penting untuk mendeteksi perubahan lingkungan.

Dalam penelitian ini ikan nila dipilih karena memenuhi sejumlah kriteria pemilihan indikator biologis, seperti taksonominya jelas, tersedia dengan berbagai macam ukuran maupun jumlahnya sepanjang tahun karena dapat dibudidayakan, mudah dikembangkan di laboratorium, penanganan dan transportasinya mudah, berukuran relatif kecil, rentang sensitifitasnya lebar

Respon yang dipilih adalah efek subletal karena efluen yang digunakan telah diolah dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pengukuran subletal dianggap cocok untuk mendukung tingkatan aman racun (Connel dan Miller, 1995). Efek subletal yang dipilih adalah: *pertama*, uji histopatologi insang ikan, perubahan struktur mikroanatomi insang (histopatologi) adalah indikator yang kuat ter-

hadap kualitas lingkungan (Tandjung, 1982 dalam Tandjung, 1999). Hal ini dipertegas oleh Hinton dan Darrel (1990) yang menyatakan bahwa insang adalah organ yang sensitif dan target utama tekanan lingkungan. *Kedua*, perubahan kecepatan pernapasan yang dipengaruhi oleh keadaan lingkungan dan kondisi insang serta dijadikan indikator tekanan lingkungan, karena dapat diamati secara visual.

Efluen pabrik peleburan tembaga didominasi oleh logam berat. Logam dalam jaringan organisme akuatik dibagi menjadi 2 tipe utama, yaitu logam tipe kelas A seperti Na, K, Ca, Mg yang pada dasarnya bersifat elektrostatis dan pada larutan garam berbentuk ion hidrofilik. Logam tipe kelas B seperti Cu, Zn, dan Ni yang merupakan komponen kovalen dan jarang berbentuk ion bebas. Tipe logam penting lain yang menjadi perhatian pengamat lingkungan adalah logam Cd, Pb, Hg, Cr (Darmono, 2001). Logam kelas B yang merupakan logam berat, sangat mudah dan cepat melakukan penetrasi di dalam tubuh organisme air (Darmono, 2001). Pengaruh toksisitas subletal logam berat terhadap organisme air dapat menyebabkan perubahan patologik dan histopatologik pada jaringan yang penting dan peka seperti insang (Darmono, 1995).

Surfaktan (zat aktif permukaan) digunakan dalam pencucian, pembuatan busa, pembuatan emulsi, pengapungan dan lain-lain. Toksisitas subletal surfaktan pada ikan berupa penghambat pertumbuhan ikan, karena surfaktan dapat merusak epitel insang (Mitrovik, 1972 dalam Connel dan Miller, 1995). Surfaktan berinteraksi dengan membran dan enzim serta dapat menyebabkan perubahan struktur ultra seluler (Halley dkk., 1971 dalam Connel dan Miller, 1995).

Efluen pabrik kertas mempunyai karakteristik fisika, kimia, bahan organik dan juga anorganik yang mudah dibusukkan atau dipecah oleh bakteri dengan adanya oksigen. Sehingga makin tinggi kandungan bahan-bahan tersebut maka semakin berkurang konsentrasi oksigen. Jika zat-zat yang kaya akan karbon organik ini ditambahkan ke dalam perairan akan menyebabkan peningkatan pernapasan terutama pernapasan mikroorganisme yang menyebabkan peningkatan jumlah karbondioksida dan metana.

Insang sebagai organ pernapasan ikan mempunyai permukaan luas dan pipih sehingga cukup untuk pertukaran gas. Insang juga digunakan sebagai alat pengatur tekanan air dalam tubuh ikan (osmoregu-

lasi) (Darmono, 2001). Menurut Robert (1989) tingkat kerusakan insang dikelompokkan menjadi 3 jenis kerusakan yaitu Lamella oedema, Lamella hiperplasia dan Lamella fusi

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis tingkat kerusakan insang dan perubahan fisiologi kecepatan pernapasan ikan nila dalam kaitannya dengan kemampuannya sebagai indikator biologis dalam pemantauan air efluen industri.

2. METODOLOGI

Uji toksisitas air efluen industri menggunakan ikan nila dilakukan dalam skala laboratorium sesuai metoda standar (APHA, 1998). Efluen yang digunakan adalah efluen pabrik peleburan tembaga, efluen pabrik surfaktan dan efluen pabrik kertas. Efluen dianalisis secara kimia dengan parameter lengkap sesuai baku mutu efluen. Variasi konsentrasi efluen adalah 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% volume. Waktu pemaparan yang digunakan adalah jangka pendek (untuk ikan adalah 4 hari atau 96 jam).

Pengamatan dilakukan terhadap respon fisiologis ikan berupa perubahan laju pernapasan harian selama 4 hari dan kondisi insang setelah pemaparan tersebut. Kecepatan pernapasan ikan dihitung dengan cara sebagai berikut: *Pertama*, beker gelas ukuran 1000 ml diisi dengan 500 ml air. *Kedua*, ikan diambil secara acak dan dimasukkan ke dalam beker glass. *Ketiga*, pernapasan dihitung menggunakan *counter* dan waktu dihitung menggunakan *stopwatch*.

Pengamatan histopatologi insang dilakukan dengan cara sampel insang diambil setelah ikan dipaparkan selama 4 hari kemudian insang dibuat preparat dengan metoda parafin lalu kerusakan insang yang nyata berupa hiperplasia dinyatakan dalam persen yaitu jumlah lamella sekunder yang mengalami hiperplasia dibagi jumlah lamella yang ada.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerusakan yang diamati adalah hiperplasia yaitu suatu kondisi bertambahnya jumlah sel karena suatu rangsangan dari luar yang merugikan. Apabila masing-masing lamella sekunder telah mengalami hiperplasia sehingga tidak terdapat jarak antar lamella sekunder maka akan terjadi fusi (penggabungan) antar lamella sekunder. Efek hiperplasia adalah berkurangnya permukaan untuk difusi oksigen

dari air ke dalam darah, suplai oksigen jadi berkurang sehingga kebutuhan respirasi sel untuk penyediaan energi terganggu sehingga berpengaruh pada penurunan kecepatan pernapasan ikan (Robert, 1989). Parameter utama dalam efluen pabrik peleburan tembaga terlihat pada Tabel 1 sedangkan kerusakan insang yang dipaparkan pada efluen pabrik peleburan tembaga terlihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 1. Konsentrasi Air Efluen Pabrik Peleburan Tembaga

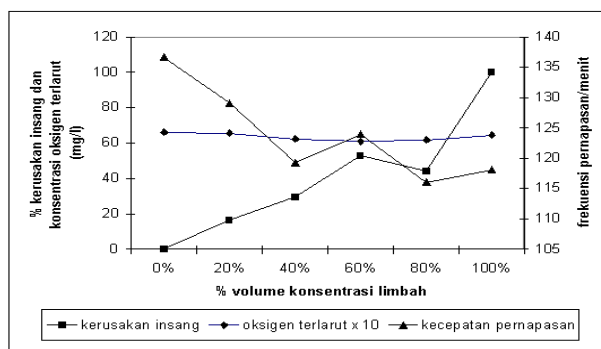
Parameter	Baku Mutu (mg/l)	Konsentrasi parameter pada kadar efluen (mg/l)				
		100% (a)	80% (b)	60% (b)	40% (b)	20% (b)
TDS	18.000	3976	3181	2386	1590	795
TSS	200	68	54	41	27	13,6
Fe	10	0,97	0,78	0,58	0,39	0,194
Zn	10	0,29	0,232	0,174	0,116	0,058
Cd	0,3	0,03	0,024	0,018	0,012	0,006
Pb	0,5	0,12	0,096	0,072	0,048	0,024
F	15	0,11	0,088	0,066	0,044	0,022

Sumber: (a) hasil analisis; (b) hasil perhitungan

Tabel 2. Rata-Rata Kerusakan Insang Pada Efluen Pabrik Peleburan Tembaga

Konsentrasi efluen (% volume)	Rata-rata % hiperplasia	Keterangan
0	0 ± 0,00	
20	16,49 ± 7,50	Ada fusi
40	29,58 ± 13,2	Ada fusi
60	52,85 ± 7,87	Ada fusi
80	44,08 ± 8,34	Ada fusi
100	100 ± 0,00	Yang nampak hanya fusi

Efluen pabrik peleburan tembaga memberi pengaruh pada kerusakan insang dan kecepatan pernapasan. Dari hasil penelitian tampak bahwa semakin pekat konsentrasi efluen, semakin banyak kerusakan yang terjadi dan kecepatan pernapasan cenderung turun seperti terlihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Grafik Kerusakan Insang, Kecepatan Pernapasan dan Konsentrasi Oksigen Terlarut Pada Efluen Pabrik Peleburan Tembaga

Besar kecilnya oksigen terlarut dapat memberi pengaruh baik pada kerusakan insang maupun pada kecepatan pernapasan. Kondisi pernapasan yang normal adalah apabila oksigen dalam air cukup memadai yaitu minimal sekitar 3 sampai 6 mg/l. Dalam penelitian ini konsentrasi oksigen terlarut dijaga agar kebutuhan oksigen tetap terpenuhi dengan memberi aerasi. Sehingga diharapkan bahwa kerusakan insang dan perubahan kecepatan pernapasannya bukan karena kurangnya oksigen, namun karena kondisi efluen.

Zn, Cd dan Pb pada efluen pabrik peleburan tembaga termasuk logam berat yang mudah dan cepat melakukan penetrasi ke dalam tubuh organisme air dan apabila masuk ke dalam sel hewan akan sebanding dengan tingkat konsentrasi logam dalam air (Darmono, 2001). Perubahan morfologis dalam jaringan ikan setelah terjadi kontak subletal dengan logam merupakan pengaruh sekunder dari gangguan pada proses enzim. Insang merupakan organ yang peka terhadap kondisi lingkungan sehingga apabila berada pada lingkungan yang buruk akan terjadi perubahan mikroanatomi dari insang tersebut (Darmono, 1995).

Kriteria aman untuk ikan adalah 0,003 mg/l pada Cd, 0,03 mg/l pada Pb dan 0,165 mg/l pada Zn. Perlakuan efluen pabrik peleburan tembaga dengan konsentrasi 20% menyebabkan hiperplasia rata-rata 16,49%, karena terdapat logam Cd dalam konsentrasi yang signifikan (0,006 mg/l) dan mempengaruhi efek subletal pada insang. Perlakuan efluen pabrik peleburan tembaga pada konsentrasi 40% menyebabkan hiperplasia rata-rata 29,58%. Peningkatan kerusakan insang terus meningkat seiring meningkatnya konsentrasi efluen, namun pada konsentrasi 80% terjadi penurunan prosentase hiperplasia yaitu dari rata-rata hiperplasia sebesar 52,85% pada konsentrasi efluen 60% menjadi 44,08% pada konsentrasi efluen 80%. Hal ini dikarenakan faktor individual yang mempengaruhi ketahanan terhadap toksikan. Pada konsentrasi efluen 100% terjadi hiperplasia maksimal dan terlihat fusi pada seluruh lamella sekunder.

Pada saat ini konsentrasi logam-logam berada di atas kriteria aman, yaitu 0,29 mg/l Zn, 0,03 mg/l Cd dan 0,12 mg/l Pb sehingga berpengaruh pada ikan. Selain itu terdapat juga pengaruh sinergis dari logam terhadap kerusakan insang ikan nilu. Beberapa penelitian yang telah dilakukan pada toksisitas Zn, Cd dan Cu yang dicampurkan dalam air penga-

ruh toksisitasnya lebih besar daripada logam itu secara individu (Darmono, 1995).

Kecepatan pernapasan ikan nila dalam pemaparan efluen pabrik peleburan tembaga ini cenderung melemah. Kondisi lingkungan dan kondisi kesehatan ikan mempunyai andil dalam proses fisiologis pernapasan ini. Kecepatan pernapasan ikan pada kontrol rata-rata 137 kali/menit. Perlakuan pada efluen pabrik peleburan tembaga konsentrasi 20% menyebabkan kecepatan pernapasan rata-rata menjadi 129 kali/menit. Logam menyebabkan kondisi stress pada ikan dan pada konsentrasi 20% insang ikan nila juga telah mengalami hiperplasia rata-rata 16,49%. Perlakuan limbah pabrik peleburan tembaga mulai konsentrasi 40%, 60%, 70% dan 100% rata-rata kecepatan pernapasan ikan nila berturut-turut 119, 124, 119, 118 kali/menit.

Hiperplasia yang terjadi pada ikan menyebabkan berkurangnya area difusi oksigen, sehingga suplai oksigen ke dalam sel berkurang dan proses pernapasan sel menjadi tidak sempurna. Salah satu enzim yang sangat berperan dalam insang adalah enzim karbonik anhidrase yaitu enzim yang mengandung Zn yang berfungsi menghidrolisis CO₂ menjadi asam karbonat. Apabila ikatan Zn itu diganti oleh Cd dari efluen pabrik peleburan tembaga dalam bentuk substansi molekul, maka fungsi enzim akan turun menjadi 4% (Darmono, 1995). Keberadaan partikel tersuspensi (TSS) dalam air akan menyebabkan iritasi terhadap insang. Iritasi membran insang akan menyebabkan peningkatan produksi lendir dan reduksi difusi oksigen sehingga akan menyulitkan proses pernapasan (Jobling, 1993).

Jenis surfaktan yang diproduksi adalah alkil benzen sulfonat (Anonymous, 1999), jadi termasuk kategori surfaktan anionik (Connel dan Miller, 1995). Konsentrasi polutan efluen pabrik surfaktan yang dapat mempengaruhi kerusakan insang dan kecepatan pernapasan dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Konsentrasi Air Efluen Pabrik Surfaktan

Parameter	Baku Mutu (mg/l)	Konsentrasi parameter pada kadar efluen (mg/l)				
		100% (a)	80% (b)	60% (b)	40% (b)	20% (b)
BOD	75	4	3,2	2,4	1,6	0,8
COD	180	29,6	23,68	17,76	11,84	5,92
TSS	60	52	41,6	31,2	20,8	10,4
Minyak	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	10	1,2	0,96	0,72	0,48	0,24
MBAS	30	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2

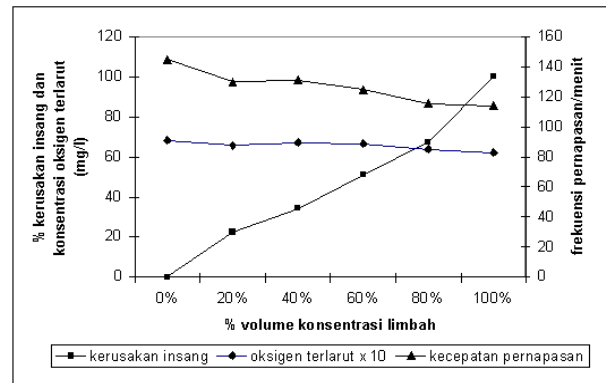
Sumber: (a) hasil analisis; (b) hasil perhitungan

Sedangkan kerusakan insang ikan nila pada efluen pabrik surfaktan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Rata-Rata Kerusakan Insang Pada Efluen Pabrik Surfaktan

Konsentrasi efluen (% volume)	Rata-rata % hiperplasia	Keterangan
0	0 ± 0,00	-
20	22,45 ± 3,17	-
40	34,30 ± 3,66	Ada fusi
60	50,99 ± 11,34	Ada fusi
80	67,22 ± 8,85	Ada fusi
100	100 ± 0,00	Yang nampak hanya fusi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin pekat konsentrasi efluen, semakin banyak terjadi kerusakan pada insang ikan nila. Sedang kecepatan pernapasan ikan nila yang dipapari efluen pabrik surfaktan cenderung mengalami penurunan (Gambar 2). Pengeaerian pada efluen menjamin ketersediaan oksigen (>3 mg/l), sehingga dapat dipastikan bahwa kerusakan insang dan perubahan kecepatan pernapasan ikan disebabkan oleh konsentrasi efluen.



Gambar 2. Grafik Kerusakan Insang, Kecepatan Pernapasan Dan Konsentrasi Oksigen Terlarut Pada Efluen Pabrik Surfaktan

Dari hasil analisa kimia limbah pabrik surfaktan, semua parameter masih berada di bawah baku mutu efluen. Parameter PO₄, dapat dikesampingkan sebagai penyebab kerusakan insang karena pospat tidak beracun terhadap hewan air. Parameter pada efluen pabrik surfaktan yang menyebabkan kerusakan insang adalah surfaktan dan material tersuspensi. Saat konsentrasi efluen pabrik surfaktan 20%, hiperplasia rata-rata telah mencapai 22,45%. Pada saat itu konsentrasi surfaktan (MBAS) adalah 0,2 mg/l. Efek pada pernapasan dan morfologi insang ikan dimulai pada konsentrasi surfaktan 0,1 mg/l dan efek surfaktan anionik terhadap proses

fisiologi ikan terjadi pada paparan 15 menit sampai 30 hari (Lewis, 1991).

Partikel tersuspensi sebanyak 10,4 mg/l menurut Robert (1989) sudah tidak aman untuk kesehatan ikan. Efek lebih lanjut memungkinkan terjadinya kerusakan insang menjadi lebih parah, karena material tersuspensi dapat menyebabkan iritasi sehingga memudahkan surfaktan untuk merusak sel sel epitel insang.

Fujita dan Koga (1976) dalam Connel dan Miller (1995) menyatakan bahwa surfaktan berinteraksi dalam membran dan enzim. Membran sel berfungsi sebagai pembatas dengan sifat permeabilitas yang spesifik dan pengatur laju dan derajat perpindahan zat ke dalam dan ke luar sel pada organel sel. Surfaktan juga dapat menyebabkan suatu perubahan terhadap struktur ultra seluler. Toksisitas surfaktan timbul dari penghambatan enzim atau transmisi selektif ion-ion melalui membran (Halley, 1971 dalam Connel dan Miller 1995). Pada sistem pernapasan ikan, surfaktan merusak epitelium insang (Mitrovic, 1972 dalam Connel dan Miller 1995). Kerusakan insang terus meningkat sampai konsentrasi efluen 100% dengan keadaan hiperplasia mencapai 100% dan sudah terjadi fusi antar semua lamella sekunder.

Kecepatan pernapasan ikan yang dipapar efluen pabrik surfaktan cenderung melemah. Kecepatan pernapasan ikan pada kontrol rata-rata 147 kali/menit. Perlakuan pada konsentrasi 20% limbah pabrik surfaktan menyebabkan penurunan kecepatan hingga menjadi 130 kali/menit.

Analisis efluen pabrik kertas tertera pada Tabel 5. Efluen kertas didominasi oleh efluen yang membutuhkan oksigen untuk degradasi dan dekomposisi, sehingga lama-kelamaan oksigen yang tersedia menjadi habis.

Tabel 5. Konsentrasi Air Efluen Pabrik Kertas

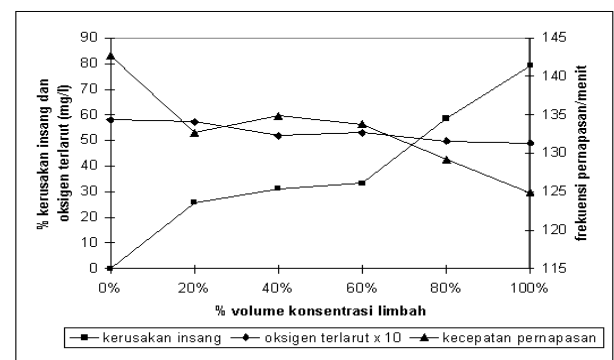
Parameter	Baku Mutu (mg/l)	Konsentrasi parameter pada kadar efluen (mg/l)				
		100% (a)	80% (b)	60% (b)	40% (b)	20% (b)
BOD	70	250	200	150	100	50
COD	150	430	344	258	172	86
TSS	70	115	92	69	46	23
Pb	0,1	-	-	-	-	-

Disamping zat organik, material tersuspensi yang cukup tinggi memberi pengaruh pada kerusakan insang. Kecepatan pernapasan juga mengalami penurunan karena insang mengalami kerusakan. Keru-

sakan insang ikan nilu yang terpapar efluen pabrik kertas dapat dilihat pada Tabel 6. Kerusakan insang, perubahan kecepatan pernapasan serta konsentrasi oksigen terlarut dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 6. Rata-Rata Kerusakan Insang Pada Efluen Pabrik Kertas

Konsentrasi efluen (% volume)	Rata-rata % hiperplasia	Keterangan
0	0 ± 0,00	
20	25,78 ± 4,25	Ada fusi
40	31,25 ± 14,49	Ada fusi
60	33,37 ± 12,17	Ada fusi
80	58,50 ± 11,91	Ada fusi
100	79,13 ± 9,11	Ada fusi



Gambar 3. Grafik Kerusakan Insang, Kecepatan Pernapasan Dan Konsentrasi Oksigen Terlarut Pada Efluen Pabrik Kertas

Peningkatan material tersuspensi maupun terlarut dari efluen kertas berpotensi untuk merusak insang (Robert 1989). Kerusakan umumnya terjadi secara mekanis. Semakin tinggi konsentrasi efluen maka semakin kuat merusak insang.

Kepekatan oksigen terlarut yang lebih rendah di dalam massa air menyebabkan pengambilan oksigen yang rendah oleh ikan dan berakibat otot-otot tidak cukup oksigen untuk melanjutkan pernapasan pada laju yang optimal. Pada ikan keadaan ini dikompensasi dengan cara memompa air lebih cepat melalui insang (Nilsson dan Fritsche, 1993). Namun bila hal ini terjadi terus-menerus akan menyebabkan ikan kehabisan energi dan akhirnya menimbulkan kematian. Pada uji toksisitas efluen pabrik kertas ini, konsentrasi oksigen terlarut masih di atas konsentrasi oksigen minimal untuk pernapasan normal. Keberadaan material tersuspensi pada efluen pabrik kertas menyebabkan kerusakan mekanis pada insang sehingga terjadi hiperplasia. Hiperplasia menyebabkan berkurangnya permukaan untuk pernapasan, sehingga pernapasan menjadi

terganggu dan kecepatannya cenderung melemah (Darmono, 1995).

Sebelum penelitian dilakukan telah diketahui bahwa beberapa aspek mengenai pemilihan persyaratan ikan nila sebagai indikator biologis telah dipenuhi. Mengenai persyaratan bahwa indikator biologis harus mempunyai respon yang kuat terhadap perubahan lingkungan akan ditinjau dari hasil penelitian. Respon ikan nila dalam penelitian ini adalah perubahan mikroanatomi insang dan perubahan kecepatan pernapasan terhadap berbagai jenis limbah dan berbagai konsentrasi.

Klaasen dan Doull (1980) dalam Connel dan Miller (1995) menyatakan bahwa respon adalah fungsi kepekaan zat racun atau toksikan, dimana kepekaan adalah fungsi dosis (konsentrasi toksikan). Uji histopatologis insang dalam penelitian ini menunjukkan kecenderungan bahwa respon meningkat seiring meningkatnya konsentrasi limbah, baik untuk efluen pabrik peleburan tembaga, efluen pabrik surfaktan maupun efluen pabrik kertas. Dengan demikian terbukti bahwa besarnya respon ikan nila tergantung pada konsentrasi toksikan, maka terdapat hubungan sebab akibat antara respon dan dosis.

Ditinjau dari perubahan kecepatan pernapasan, ikan nila mempunyai respon yang kuat terhadap perubahan lingkungan. Dibandingkan dengan kontrol, pernapasan ikan nila yang dipapar efluen akan berubah dan semakin pekat efluen perubahan kecepatan pernapasan nampak lebih nyata.

4. KESIMPULAN

Uji histopatologis insang pada air efluen IPAL pabrik peleburan tembaga dan surfaktan mengakibatkan jumlah lamella sekunder yang mengalami hiperplasia mencapai 100% (terjadi fusi pada semua lamella sekunder). Sedangkan air efluen IPAL pabrik kertas menyebabkan lamella sekunder mengalami hiperplasia rata-rata 79,13 %. Air efluen IPAL yang digunakan pada penelitian ini menyebabkan penurunan kecepatan pernapasan ikan nila. Konsentrasi yang signifikan memberikan pengaruh terhadap kecepatan pernapasan ikan nila adalah pada. *Pertama*, air efluen IPAL pabrik peleburan tembaga dengan konsentrasi 40% volume dengan kandungan TDS 1.590 mg/l, TSS 27 mg/l, Fe 0,39 mg/l, Zn 0,116 mg/l, Cd 0,12 mg/l, Pb 0,048 mg/l dan F 0,044 mg/l. *Kedua*, air efluen IPAL pabrik surfaktan dengan konsentrasi 60% volume dengan kandungan BOD 2,4 mg/l, COD 17,76 mg/l, TSS

31,2 mg/l dan surfaktan (MBAS) 0,6 mg/l. *Ketiga*, air efluen IPAL pabrik kertas adalah konsentrasi 20% volume dengan kandungan BOD 50 mg/l, COD 172 mg/l dan TSS 23 mg/l. Selain itu, penelitian ini juga menyimpulkan bahwa ikan nila (*Oreochromis niloticus*) mampu dan memenuhi persyaratan sebagai indikator biologis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. (1999). **Upaya Pengelolaan Lingkungan Dan Upaya Pemantauan Lingkungan**. PT Albright dan Wilson Manyar. Gresik.
- APHA. (1998). **Standard Methodes For The Examination Of Water And Wastewater**. 20th Edition. Washington.
- Connel, D.W. dan Miller, G.J. (1995). **Kimia Dan Ekotoksikologi Pencemaran**. UI Press. Jakarta.
- Darmono. (1995). **Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup**. UI Press. Jakarta.
- Darmono. (2001). **Lingkungan Hidup Dan Pencemaran Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam**. UI Press. Jakarta.
- Hinton, D.E. dan Darrel, J.L. (1990). **Integrative Histopathological Approaches To Detecting Effects Of Environmental Stressors On Fishes**. *Biological Indicators Of Stress In Fish*. Bethesda. Maryland.
- Jobling, M. (1993). **Environmental Biology of Fishes**. Chapman and Hall. London
- Lewis, M.A. (1991). **Chronic And Sublethal Toxicities Of Surfactan To Aquatic Animals: Areview And Risk Assessment**. *Water Resources*. Vol. 25 (1). pp. 101 - 113.
- Nilsson, S. dan Fritsche, R. (1993). **Cardiovascular And Ventilatory Control During Hypoxia**. *Fish Ecophysiology*. Chapman dan Hall. London.
- Robert, R.J. (1989). **The Pathology And Systemic Pathology Of Teleost**. *Fish Pathology*. Second Edition. Bailliere Tindall. London.
- Tandjung, S.D. (1999). **Pengantar Ilmu Lingkungan**. UGM. Yogyakarta.