

Toksistas Logam Besi (Fe) pada Ikan Air Tawar

HERLIYANTO¹⁾, DEDIK BUDIANTA²⁾, HERMANSYAH³⁾

¹⁾Mahasiswa S2 Program Studi Pengelolaan Lingkungan Universitas Sriwijaya; ²⁾Staf Pengajar Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya; ³⁾Staf Pengajar Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya

Intisari: Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan konsentrasi logam berat (besi) dalam dua spesies ikan konsumsi yaitu ikan Sepat Siam (*Trichogaster pectoralis*), ikan Betok (*Anabas testudineus*), beserta air dan sedimen yang diambil dari air kolam limbah pabrik karet di Kelurahan Keramasan, Kecamatan Kertapati, Palembang yang dilakukan pada bulan Maret sampai Juni, 2013. Logam berat ini dianalisa dengan alat AA-7000 Shimadzu, Spektroskopi Serapan Atom (AAS). Konsentrasi logam berat Fe pada ikan Sepat Siam, ikan Betok, air dan sedimen secara berurutan: (2,70 mg/kg; 2,63 mg/kg; 1,78 mg/l dan 9353,1 mg/kg). Hasil analisa menunjukkan bahwa tingkat akumulasi logam Fe melebihi batas baku mutu yang direkomendasikan oleh BPOM RI untuk ikan atau makanan, sehingga ikan yang ada di dalam kolam tersebut tidak layak untuk dikonsumsi manusia. Konsentrasi logam Fe di permukaan air lebih tinggi dari baku mutu yang direkomendasikan oleh pemerintah provinsi Sumatera Selatan, dan berisiko bagi kesehatan manusia. Dibutuhkan pengawasan secara terus-menerus terhadap konsentrasi logam berat dalam air permukaan dan ikan di kolam tersebut.

Kata kunci : Besi, Toksistas, Limbah cair, Sedimen, Ikan

Abstract: The aim of this study is to determine the concentration of heavy metal (Iron) in two important fish consumption species, Sepat Siam fish (*Trichogaster pectoralis*), Betok fish (*Anabas testudineus*), water and sediment taken from wastewater pond of rubber factory at Keramasan Villages, Kertapati Districts, in Palembang City in the periods from March to June, 2013. This heavy metal was determined by means of AA-7000 SHIMADZU Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). The concentration of heavy metal Fe in Sepat Siam fish, Betok fish, water and sediment were in the order: (2.70 mg/kg, 2.63 mg/kg, 1.78 mg/l and 9353.1 mg/kg). The finding that Fe metal accumulations level exceeded BPOM RI recommended limit in fish or food, indicated that the fish caught within the pond, might not be fit for human consumption. Fe had higher concentration in surface water than recommended benchmarks of water quality issued by the government of south Sumatera province, an indication of risk to human health.

There is need for a constant monitoring of the heavy metals concentration in the surface water and fish in the water pond.

Keywords: Iron, Toxicity, Wastewater, Sediment, Fish

Email: herliyantoilhan@rocketmail.com

1 PENDAHULUAN

Air merupakan bagian integral dari kehidupan manusia sehari-hari, namun hampir 98% dari air ini berada di lautan, dan hanya sekitar 45.000 km³ (0,003%) dari air tawar tersedia untuk minum, kebersihan, pertanian dan industri. Dengan bertambahnya populasi manusia yang cepat, secara global terdapat kekurangan air tawar dan kompetisi untuk sumber yang berkurang ini semakin meningkat. Keberadaan air dapat menjadi masalah apabila air tidak tersedia dalam kondisi yang baik dalam kuantitas maupun kualitasnya. Kualitas air perairan ditentukan oleh beberapa faktor seperti zat yang terlarut, zat yang tersuspensi, dan makhluk hidup khususnya jasad renik dalam air (Imamsjah, 2001). Air yang

tidak mengandung zat terlarut tidak baik untuk kehidupan, tetapi zat terlarut dinyatakan bersifat racun jika melebihi standar baku mutu yang telah ditentukan (Mahida, 2003). Menurunnya kualitas perairan disebabkan masuknya sumber polutan ke dalam badan air, salah satunya logam Fe.

Pesatnya perkembangan industri seringkali diikuti dengan meningkatnya polutan dari berbagai sumber. Hampir semua industri menggunakan air sebagai kebutuhan primer terutama pabrik karet, namun efek sampingnya adalah dihasilkannya limbah cair yang banyak mengandung logam salah satunya logam Fe. Sebagian besar logam seperti Fe, Pb, Zn, Al dan Cu mudah terlarut dan sangat mobil pada pH < 5 (Stumm and Morgan, 1996). Pada pH 6,50 – 7 adalah merupakan pH yang ideal. Unsur-unsur hara

akan relatif banyak tersedia pada pH tersebut. Sedangkan pada pH rendah unsur-unsur seperti Al, Mn, dan Fe akan bersifat racun (Tim IPB, 1976). Kadar besi > 1 mg/l dianggap membahayakan kehidupan organisme akuatik (Moore, 1991), nilai LC₅₀ besi terhadap ikan berkisar antara 0,30-10 mg/l (Biesinger and Christensen, 1972)

Pabrik karet dapat menyebabkan pencemaran logam besi (Fe) karena pabrik karet kebanyakan memasok bahan bakunya dari karet rakyat yang diduga tercemar logam besi (Fe) yang disebabkan karena para petani seringkali merendam hasil karetnya dengan air kotor/lumpur dan mengencerkan lateks dengan air hujan sehingga logam besi (Fe) yang terdapat dalam air kotor/lumpur dan air hujan tersebut dapat terserap kedalam BOKAR (bahan olah karet) baik yang berupa karet cair atau gumpalan. Menurut Danaryanto dan Hadipurwo (2006) air keruh yang bercampur lumpur mengandung kadar logam berat diantaranya logam besi (Fe) yang tinggi. Air hujan mengandung logam besi (Fe) sekitar 0,05 mg/liter (McNeely *et al.*, 1979). Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI. Nomor: 416 /MENKES/ PER/ IX/90 tentang baku mutu air bersih, keberadaan besi juga dapat dilihat dari penampakan pada air yang keruh dan berwarna. Selanjutnya BOKAR diolah oleh pabrik melalui beberapa proses misalnya proses pencucian/pembersihan dan penggilingan akan menghasilkan limbah cair pula yang dapat menyisakan logam besi (Fe) di dalam air kolam limbah pabrik karet tersebut yang dapat berpengaruh terhadap ikan Sepat Siam dan Betok yang hidup di dalam kolam tersebut. Kadar besi > 1 mg/l dianggap membahayakan kehidupan organisme akuatik (Moore, 1991). Pada ikan ada dua lokasi potensial untuk penyerapan logam, seluruh usus yang bersumber dari makanan atau pada jaringan epitel insang (*branchial epithelium*) yang bersumber dari air (Bury, *et al.*, 2001). Insang berperan pada proses respirasi, keseimbangan asam-basa, regulasi ionik dan osmotik karena adanya jaringan epitel insang (*branchial epithelium*) yang menjadi tempat berlangsungnya transport aktif antara organisme dan lingkungan. Insang merupakan organ pertama tempat penyaringan air yang masuk ke dalam tubuh ikan, oleh karenanya jika air tersebut mengandung toksikan seperti logam Fe akan memberikan dampak pada jaringan insang tersebut (Withers, 1992). Hal ini juga dikemukakan oleh Darmono (2001) bahwa toksikan mempengaruhi organisme air dapat menyebabkan kerusakan jaringan organisme terutama pada organ yang peka seperti insang dan usus, kemudian ke jaringan bagian dalam yaitu hati dan ginjal.

Buangan industri yang mengandung persenyawaan logam berat seperti logam besi (Fe) bukan hanya bersifat toksik terhadap tumbuhan, tetapi juga terhadap hewan dan manusia. Tingginya kandungan logam besi (Fe) akan berdampak terhadap kesehatan manusia diantaranya bisa menyebabkan keracunan (muntah), kerusakan usus, penuaan dini hingga kematian mendadak, radang sendi, cacat lahir, gusi berdarah, kanker, *cardiomyopathies*, sirosis ginjal, sembelit, diabetes, diare, pusing, mudah lelah, kulit kehitam-hitaman, sakit kepala, gagal hati, hepatitis, mudah emosi, hiperaktif, hipertensi, infeksi, insomnia, sakit liver, masalah mental, rasa logam di mulut, *myasthenia gravis*, *nausea*, *nevi*, mudah gelisah dan iritasi, parkinson, rematik, *sikoprenia*, sariawan perut, *sickle-cell anemia*, *strabismus*, gangguan penyerapan vitamin dan mineral, serta *hemokromatis* (Parulian, 2009; Paul *et al.*, 1989).

Berdasarkan hasil pengamatan di lokasi penelitian, Ikan Sepat Siam dan ikan Betok adalah jenis ikan yang banyak terdapat di kolam limbah pabrik karet, kelurahan Keramasan, kecamatan Kertapati, Palembang. Mengingat bahwa mengkonsumsi ikan yang terkontaminasi logam dapat membahayakan kesehatan masyarakat, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui sejauh mana kontaminasi logam Fe dalam ikan segar yang dikonsumsi oleh masyarakat terutama yang berada di sekitar lokasi penelitian, karena ikan merupakan salah satu organisme akuatik yang pertama kali terkontaminasi dan mengalami kehidupan buruk secara langsung dari pengaruh limbah dan pencemaran terhadap badan air (Sofyan, 2003). Selain itu juga dilakukan penelitian terhadap kandungan logam besi (Fe) dalam air dan sedimen yang ada di dalam kolam tersebut.

2 BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri (Baristand) Palembang. Waktu yang diperlukan dalam penelitian ini adalah dari bulan Maret – Juni 2013, yang meliputi persiapan, pelaksanaan penelitian, dan penyusunan laporan.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Air suling/aqudest, asam nitrat pekat (HNO₃); asam peroksida 30 % (H₂O₂), asam klorida pekat (HCl), Larutan standar logam besi (Fe), gas asetilen (C₂H₂), Ikan Sepat Siam dan Betok, Sampel air dan sedimen (diambil dari kolam limbah cair pabrik karet, Kelurahan Keramasan, Kecamatan Kertapati, Palembang).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah: Spektrofotometer Serapan Atom

(SSA), Thermometer Hg, pH meter, lampu holow katoda Fe, neraca analitik, elas piala 100 ml dan 250 ml, kaca arloji, erlemeyer 100 ml, corong gelas, pipet ukur 5 ml; 10 ml; 20 ml; 30 ml; 40 ml dan 60 ml, labu ukur 50 ml ; 100 ml dan 1000 ml, pemanas listrik/hot plate atau bunsen (penangas air), kertas saring whatman no. 42 dengan ukuran pori 0.45 μm , labu semprot, cawan platina/silika.

Pengambilan Sampel dan Persiapan Sampel

Sampel yang diperiksa dalam penelitian ini adalah ikan Betok sebanyak 5 ekor (± 250 g) yang berumur $\pm 6 - 10$ bulan dengan ukuran panjang sekitar 9 - 15 cm dan berat $\pm 12 - 50$ g/ekor (Ansyari *et al.*, 2008; Ahmad dan Fauzi, 2010), ikan Sepat Siam sebanyak 5 ekor (± 300 g) yang berumur 6 bulan dengan panjang 10 - 12 cm dan berat $\pm 65 - 75$ g/ekor (Sutrisno, 2011), 1 liter sampel air dan 250 g sampel sedimen yang berasal dari kolam limbah pabrik karet, Kelurahan Keramasan, Kecamatan Kertapati, Palembang.

Sampel ikan: ikan Sepat Siam dan ikan Betok yang telah dicuci bersih, diambil masing-masing bagian daging dan insangnya. Ditimbang sampel ke dalam gelas piala masing-masing; 14,5807 g (daging ikan Sepat), 9,4911 g (insang ikan Sepat), 10,5671 g (daging ikan Betok) dan 11,1126 (insang ikan Betok). Kemudian sampel didestruksi basah dengan ± 12 ml *aqua regia* (3 ml HNO_3 + 9 ml HCl), kemudian diencerkan sampai 50 ml, setelah itu panaskan di atas hot plate pada suhu $\pm 60^\circ\text{C}$ sambil dilakukan pengadukan dalam lemari asam selama ± 2 jam sampai volume larutan tinggal ± 5 ml, setelah sampel larut, kemudian didinginkan. Hasil destruksi sampel diencerkan kembali dengan *aquadest* hingga mencapai garis tanda 50 ml, disaring kedalam labu ukur 50 ml. Kemudian dilanjutkan dengan pengukuran logam berat Fe dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) (Osereme *et al.*, 2012; Martin, Creed and Brockhoff, 1994; Issac and Kerber, 1971; dan Arisandi, 2002).

Sampel sedimen: ditimbang ke dalam gelas piala sampel sedimen sebanyak 6,2526 g, kemudian didestruksi basah dengan ± 12 ml *aqua regia* (3 ml HNO_3 + 9 ml HCl), kemudian diencerkan sampai 50 ml, setelah itu panaskan di atas hot plate pada suhu $\pm 60^\circ\text{C}$ sambil dilakukan pengadukan dalam lemari asam selama ± 2 jam sampai volume larutan tinggal ± 5 ml, setelah sampel larut, kemudian didinginkan. Hasil destruksi sampel diencerkan kembali dengan *aquadest* hingga mencapai garis tanda 50 ml, disaring kedalam labu ukur 50 ml, Kemudian dilanjutkan dengan pengukuran logam berat menggunakan

Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) (Osereme *et al.*, 2012; Martin, Creed and Brockhoff, 1994; Issac and Kerber, 1971; dan Arisandi, 2002).

Sampel air: diukur 50 ml sampel air ke dalam gelas piala, kemudian ditambahkan 2,5 ml HNO_3 pekat, kemudian dipanaskan sampai volumenya menjadi ± 5 ml pada suhu 60°C . Larutan hasil destruksi didinginkan, kemudian diencerkan kembali dengan penambahan 50 ml *aquadest*, selanjutnya dipindahkan ke dalam labu ukur 100 ml dengan cara disaring, kemudian diencerkan kembali dengan *aquadest* hingga mencapai garis tanda 100 ml. Larutan yang diperoleh siap untuk dianalisis kandungan logam beratnya dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) (APHA, AWWA and WEF, 2001).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Logam besi (Fe) yang Dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS)

Setelah dilakukan analisis kandungan logam besi (Fe) terhadap ikan Sepat Siam, Betok, air, dan Sedimen dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) menunjukkan adanya logam besi Fe) pada semua sampel. Hasil analisis selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh data karakteristik air kolam yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Hasil Analisa parameter fisika dan kimia air kolam

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	BML
A. Fisika				
1.	Suhu	$^\circ\text{C}$	27	Normal
2.	TSS	mg/L	8	50
3.	TDS	mg/L	10	1.500
B. Kimia				
1.	pH	-	6,86	6-9
2.	DO	Mg/L	6,6	6
3.	BOD	mg/L	13,3	2
4.	COD	mg/L	58,3	10

BML (Pergub Sumsel No.16 tahun 2005)

Kandungan Logam Besi (Fe) pada Ikan, Air dan Sedimen

Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh data kandungan logam besi (Fe) pada ikan Sepat Siam dan Betok yang dapat dilihat pada Tabel 2 selanjutnya kandungan logam besi (Fe) pada air dan sedimen dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Analisa Logam Besi (Fe) pada Air dan Sedimen

No.	Jenis Sampel	Satuan	Kadar Logam Fe	BML
1	Air	mg/l	1,78	0,3 (Pergub Sumsel, 2005) 0,3 (WHO, 2003) 0,5 (USEPA, 1986) 0,45 (WPCL, 2004)
2	Sedimen	mg/kg	9353,1	8000 (Permentan, 2009) ≥ 35,30 (NOAA, 2009)

Tabel 3. Hasil Analisa Logam Besi (Fe) pada Ikan Sepat Siam dan Betok

No.	Jenis Sampel	Satuan	Kadar Logam Fe	BML
1.	Daging ikan Sepat Siam	mg/kg	2,70	0,5 (BPOM RI, 1989) 0,3 (WHO, 2003) 0,5 (USEPA, 1986) 0,45 (WPCL, 2004)
2.	Daging ikan Betok	mg/kg	2,63	1 (BSN, 2009)
3.	Insang ikan Sepat Siam	mg/kg	17,73	0,3 (WHO, 2003) 0,5 (USEPA, 1986) 0,45 (WPCL, 2004)
4.	Insang ikan Betok	mg/kg	15,12	

Karakteristik Air Kolam

Karakteristik air kolam dapat dibedakan menjadi dua yaitu; karakteristik fisika dan karakteristik kimia yang masing-masing memiliki parameter yang berbeda.

a. Karakteristik fisika

Suhu: Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh nilai suhu air kolam limbah pada stasiun pengamatan yaitu 27°C (Tabel 1). Suhu tersebut masih tergolong normal dan masih dapat ditolerir oleh ikan. Suhu air yang optimal untuk kehidupan dan metabolisme ikan berkisar antara 25-30 °C (Asmawi, 1986). Suhu air permukaan (badan air) yang tinggi (>45°C) akan mempengaruhi tata kehidupan dalam air dan proses dekomposisi bahan organik. Perubahan suhu memperlihatkan aktivitas kimia biologis pada benda padat dan gas dalam air (Prayitno dan Sabarudin, 2010).

Ikan Sepat Siam dan Betok adalah jenis ikan yang paling banyak terdapat di kolam limbah tersebut dan paling mudah beradaptasi terhadap kondisi kualitas

perairan yang buruk karena mempunyai alat pernapasan tambahan, selain itu mereka juga mampu bernafas secara langsung ke udara.

Total Suspended Solid (TSS): Nilai padatan tersuspensi total pada pengamatan ini adalah sebesar 8 mg/l (Tabel 1), nilai tersebut masih dibawah baku mutu yang diperbolehkan, yaitu sebesar 50 mg/l menurut Pergub Provinsi Sumatera Selatan No. 16 tahun 2005 (Prayitno dan Sabarudin, 2010). Hal ini dikarenakan perairan dalam keadaan dangkal sehingga menunjukkan kurangnya padatan yang tersuspensi dalam air. TSS di pengaruhi oleh bahan-bahan tersuspensi seperti lumpur, pasir, bahan organik dan anorganik, plankton serta organisme mikroskopik lainnya (Hariyadi, 1992).

Bahan-bahan tersuspensi dan terlarut pada perairan alami tidak bersifat toksik, akan tetapi jika berlebihan, terutama TSS, dapat meningkatkan nilai kekeruhan, yang selanjutnya akan menghambat penetrasi cahaya matahari ke kolom air dan akhirnya berpengaruh terhadap proses fotosintesis di perairan (Effendi, 2003).

Total Dissolved Solid (TDS): Nilai padatan terlarut total pada pengamatan ini adalah sebesar 10 mg/l (Tabel 1), nilai tersebut masih dibawah standar baku mutu yang diperbolehkan, yaitu sebesar 1500 mg/l menurut Pergub Provinsi Sumatera Selatan No. 16 tahun 2005. Padatan terlarut merupakan padatan yang larut dalam air dengan ukuran <math> < 10^{-6}</math> mm, terdiri dari bahan padat organik maupun anorganik yang larut, mengendap maupun suspensi. Bahan ini akan mengendap pada dasar air yang lama kelamaan menimbulkan pendangkalan khususnya pada badan air permukaan penerima. Akibat lain dari padatan ini menimbulkan tumbuhnya tanaman air tertentu dan dapat menjadi racun bagi makhluk lain (Prayitno dan Sabarudin, 2010).

b. Karakteristik Kimia

Derajat Keasaman (pH): Hasil analisa pH air kolam limbah adalah 6,86 (Tabel 1) nilai pH tersebut masih tergolong asam (< 7), namun demikian kondisi tersebut sudah memenuhi standar baku mutu pH air yaitu 6 - 9 menurut Peraturan Gubernur Provinsi Sumatera Selatan No. 16 tahun 2005 tentang Peraturan Air dan Baku Mutu Air Sungai di Sumatera Selatan (Prayitno dan Sabarudin, 2010). Selain itu pH tersebut juga cukup mendukung terutama bagi kehidupan ikan air tawar yang pHnya berkisar antara 5 - 8,7 (Cahyono, 2001). Kondisi pH air ini harus menjadi perhatian penting apabila air kolam akan digunakan untuk suatu kegiatan atau sebagai sumber air baik untuk perikanan, pertanian dan terutama sumber air minum. Upaya yang perlu dilakukan ada-

lah dengan menaikkan nilai pH menjadi netral yakni dengan perlakuan pengapuran.

Dissolved Oxygen (DO): Hasil pengukuran DO air kolam limbah adalah 6,6 mg/l (Tabel 1) nilai tersebut sudah memenuhi bahkan melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan melalui Peraturan Gubernur Provinsi Sumatera Selatan No. 16 tahun 2005 tentang Peruntukan Air dan Baku Mutu Air Sungai di Sumatera Selatan, yaitu sebesar 6 mg/l (Prayitno dan Sabarudin, 2010). Ikan sendiri dapat hidup, jika air mengandung oksigen paling sedikit 5 mg/l. Apabila kadar oksigen kurang dari 5 mg/l, ikan akan mati, tetapi bakteri yang kebutuhan oksigen terlarutnya lebih rendah dari 5 mg/L akan berkembang (Ramdani, Mawardi dan Kurniawan, 2011). Kadar oksigen terlarut yang terlalu rendah akan mengakibatkan ikan-ikan atau hewan air yang membutuhkan oksigen akan mati, sebaliknya bila kadar oksigen terlalu tinggi dapat mengakibatkan proses pengkaratan, karena mengikat hydrogen yang melapisi permukaan logam (Fardiaz, 1992).

Biochemical Oxygen Demand (BOD): Berdasarkan hasil analisa didapat nilai BOD sebesar 13,3 mg/l (Tabel 1), jika dibandingkan dengan baku mutu yang diperbolehkan untuk air kelas 1 yaitu 2 mg/l menurut Pergub Provinsi Sumatera Selatan No. 16 tahun 2005 tentang Peruntukan Air dan Baku Mutu Air Sungai di Sumatera Selatan (Prayitno dan Sabarudin, 2010). Besarnya nilai BOD di air kolam limbah pabrik karet Kelurahan Keramasan, Kecamatan Kertapati menunjukkan besarnya oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan bahan-bahan organik yang terlarut dan tersuspensi. Dengan demikian jika dilihat dari nilai BOD yang cukup tinggi dan melebihi baku mutu, maka sudah dapat diduga bahwa ada indikasi pencemaran bahan organik di air kolam limbah tersebut.

Chemical Oxygen Demand (COD): Hasil analisa COD di air kolam limbah pabrik karet Kelurahan Keramasan, Kecamatan Kertapati adalah sebesar 58,3 mg/l (Tabel 1), hal ini menunjukkan tingginya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik secara kimia. Berdasarkan standar baku mutu menurut peraturan Gubernur No.16 tahun 2005 nilai COD tersebut melebihi standar baku yang diperbolehkan untuk air kelas satu (air baku untuk air minum) yaitu sebesar 10 mg/l, hal ini menunjukkan bahwa air kolam limbah tersebut tercemar dan perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut jika ingin dibuang ke badan air dalam hal ini sungai yang berada disekitar pabrik tersebut, jika tidak maka akan mencemari sungai yang ada di dekat lokasi pabrik tersebut.

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Maka konsentrasi COD dalam air harus memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan agar tidak mencemari lingkungan.

Kandungan Logam Fe dalam Air Kolam

Berdasarkan hasil analisa diketahui bahwa kandungan logam besi (Fe) pada air kolam limbah pabrik karet di Kelurahan Keramasan, Kecamatan Kertapati tersebut adalah sebesar 1,78 mg/l (Tabel 2). Nilai tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi logam besi (Fe) di air kolam tersebut berada diatas baku mutu air sungai kelas I sebagai sumber air baku untuk air minum yang mensyaratkan kandungan logam besi (Fe) maksimal yaitu sebesar 0,30 mg/l menurut Peraturan Gubernur Provinsi Sumatera Selatan No. 16 tahun 2005 tentang Peruntukan Air dan Baku Mutu Air Sungai di Sumatera Selatan (Prayitno dan Sabarudin, 2010). Hasil ini juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh : WHO (2003); USEPA (1986); dan WPCL (2004) seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Kandungan Logam Fe dalam Daging Ikan

Adanya pencemaran logam berat pada ikan harus diwaspadai karena sifat logam berat yang dapat terakumulasi dalam tubuh. Berdasarkan hasil analisis terhadap daging ikan Sepat Siam dan Betok diperoleh nilai kandungan logam besi (Fe) masing-masing 2,70 mg/kg dan 2,63 mg/kg (Tabel 3). Nilai konsentrasi logam besi (Fe) tersebut menunjukkan bahwa ikan Sepat Siam dan Betok telah terkontaminasi logam besi (Fe) yang telah melebihi standar baku mutu batas maksimum nilai logam berat yang diperbolehkan pada ikan atau makanan yang diizinkan berdasarkan keputusan Badan POM Depkes RI tahun 1989 yaitu sebesar 0,50 mg/kg (Pratiwi, Rostika dan Dhahiyat, 2011), sedangkan menurut Badan Standarisasi Nasional (2009) batas maksimum cemaran logam Fe pada pangan adalah sebesar 1 mg/kg. Hasil analisis tersebut juga dibandingkan dengan : WHO (2003); USEPA (1986); dan WPCL (2004). Dari hasil analisis terhadap logam besi (Fe) ini ternyata kandungannya lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan oleh Wati, Krisdianto, dan Ramli (2009) pada ikan Sepat (*Trichogaster trichopterus Egen*) di sungai Gambut dan Aluh Aluh Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan yaitu berkisar antara 0,001 – 0, 221 mg/kg.

Pada penelitian lain yang dilaporkan oleh Saputra (2009) kandungan logam besi pada ikan patin di

waduk Cirata Kabupaten Cianjur, Jawa Barat sebesar 0,52 mg/kg, jika dibandingkan dengan hasil penelitian tersebut maka kandungan besi pada ikan Sepat Siam dan Betok yang ada di kolam air limbah pabrik karet yang berada di Kelurahan Keramasan, Kecamatan Kertapati ini juga masih lebih tinggi daripada ikan patin tersebut. Hal ini menurut Darmono (1995) dikarenakan, besar kecilnya kandungan logam berat dalam tubuh organisme air ditentukan oleh jenis spesies, konsentrasi logam tersebut di dalam air, pH, fase pertumbuhan dan kemampuan ikan untuk pindah tempat.

Tingkat bioakumulasi logam berat dalam organisme air tergantung pada kemampuan organisme untuk mencerna logam dan konsentrasi logam seperti di sungai, dalam sedimen tanah sekitarnya serta kebiasaan makan organisme. Hewan akuatik (termasuk ikan) mengakumulasi logam berat dalam jumlah yang cukup dan tinggal selama jangka waktu yang lama. Ikan telah diakui sebagai akumulator yang baik terhadap polutan organik dan anorganik. Polutan terutama yang berupa logam berat akhirnya dipindahkan ke hewan lain termasuk manusia melalui rantai makanan (Eneji, Sha'Atol and Annune, 2011).

Proses perpindahan logam berat secara biologis dari suatu tingkatan trofik yang rendah ke tingkatan yang lebih tinggi di dalam suatu struktur rantai makanan disebut proses biotransfer. Proses ini akan menyebabkan organisme yang tingkat trofiknya lebih rendah mempunyai peranan ekologis yang sangat penting pada suatu perairan dalam hubungannya sebagai sumber makanan bagi organisme lainnya (Ikingura *et al.*, 1999).

Kandungan Logam Fe dalam Sedimen dan Insang

Analisa pada sampel sedimen, insang ikan Sepat Siam dan Betok juga dilakukan sebagai informasi pendukung. Dari hasil analisa diperoleh kandungan logam besi (Fe) berurutan masing-masing sebesar 9353,1 mg/kg (Tabel 2); 17,73 mg/kg dan 15,12 mg/kg (Tabel 5).

Dahuri *et al.* (1996) menyatakan bahwa perairan yang sedimentasinya tinggi dapat membahayakan kehidupan di lingkungan perairan. Pengaruh sedimen terhadap biota air secara garis besar melalui beberapa mekanisme, yaitu:

1. Sedimen menutupi tubuh biota perairan terutama yang hidup di dasar perairan (organisme benthik).

2. Sedimen menyebabkan peningkatan kekeruhan air dengan menghalangi penetrasi cahaya yang masuk kedalam air sehingga dapat mengganggu kehidupan organisme air.
3. Sedimen selain mampu mengikat unsur-unsur hara, juga dapat menyerap (mengabsorpsi) logam berat. Kondisi ini dapat menyebabkan kontaminasi zat-zat tersebut kedalam jaringan tubuh biota di perairan dan manusia melalui rantai makan jaring-jaring makanan.

Logam berat masuk ke dalam tubuh ikan melalui air, sedimen dan makanan yang dikonsumsi oleh ikan (Simbolon, Simange dan Wulandari, 2010). Ikan umumnya mengambil logam berat melalui insang, kemudian ditransfer melalui darah ke ginjal. Bentuk logam berat anorganik disimpan dalam jaringan, kemudian ditransfer ke ginjal dan diekskresikan. Logam organik tidak diekskresikan tetapi terakumulasi dalam jaringan otot. Selain itu, masuknya logam berat dalam tubuh ikan juga dapat melalui rantai makanan (Mokoagouw, 2000).

Bioakumulasi logam berat pada organisme akuatik seperti ikan dapat terjadi secara fisis maupun biologis (biokimia). Secara fisis dapat terjadi melalui menempelnya senyawa logam berat pada bagian tubuh, luar tubuh, insang dan lubang-lubang membran lainnya yang terdapat di air maupun dari senyawa yang menempel pada partikel. Secara biologis dapat terjadi melalui rantai makanan dan melalui proses absorpsi logam berat yang sebelumnya hanya menempel. Dari penelitian Suseno *et al.* (2010) diperoleh hasil bahwa insang merupakan organ pertama yang bersentuhan dalam proses akumulasi melalui jalur air.

Berdasarkan hasil penelitian akumulasi logam berat pada sedimen di waduk Cirata Kabupaten Cianjur Jawa Barat menunjukkan bahwa kandungan logam besi yang ada adalah sebesar 29,50 mg/kg (Saputra, 2009). Pada penelitian lain menunjukkan hasil uji pendahuluan terhadap lumpur hasil pengolahan limbah pabrik karet di Laboratorium Dinas Perumahan dan Prasarana wilayah Pemerintah Provinsi Kalimantan Selatan, diperoleh bahwa lumpur tersebut mengandung logam besi (Fe) sebesar 29,9 mg/g (Sa'dah, Halang dan Zaini, 2010). Sedangkan hasil analisa kandungan logam besi yang terdapat pada sedimen di kolam limbah pabrik karet Kelurahan Keramasan, Kecamatan Kertapati yaitu sebesar 9353,1 mg/kg (Tabel 2) lebih besar dari kandungan logam Fe pada sedimen yang ada di waduk Cirata dan sudah melampaui range ambang batas jika ingin dimanfaatkan sebagai pupuk organik, karena logam besi yang dapat digunakan sebagai pupuk organik

menurut Peraturan Menteri Pertanian tentang persyaratan teknis minimal pupuk organik nomor: 28/Permentan/SR.130/5/2009 adalah sebesar 0-8000 ppm (Leiwakabessy, Wahjudin dan Suwarno, 2003). Selain itu menurut NOAA (2009) konsentrasi logam Fe tersebut sudah tergolong ke dalam kategori berbahaya ($\geq 35,30$ mg/kg). Hal ini menunjukkan bahwa logam berat Fe memberikan dampak yang cukup besar terhadap pencemaran pada ikan Sepat Siam dan Betok maupun air kolam limbah pabrik tersebut.

Pada penelitian yang sama Saputra (2009) melaporkan bahwa konsentrasi logam Fe pada insang ikan Patin berkisar antara 6,47-7,30 mg/kg. Sedangkan kandungan logam Fe yang diperoleh pada insang ikan Sepat Siam dan Betok pada penelitian ini secara berurutan adalah 17,73 dan 15,12 mg/kg (Tabel 3). Nilai tersebut jauh lebih besar jika dibandingkan dengan kandungan logam Fe yang ada pada ikan Patin. Konsentrasi logam Fe pada insang ikan tersebut sudah melebihi standar baku mutu yang ditetapkan yaitu sebesar 0,5 mg/kg menurut USEPA (1986); 0,45 mg/kg WPCL (2004) dan 0,3 mg/kg menurut WHO (2003), sehingga ikan tersebut tidak aman untuk dikonsumsi.

Hasil analisa pada penelitian ini menunjukkan adanya kandungan logam besi (Fe) yang terdapat pada semua sampel baik pada sampel ikan, air maupun sedimen. Model bioakumulasi logam yang lebih realistis adalah memperhitungkan rute paparan yaitu melalui air, makanan dan sedimen atau partikulat (Pickhardt *et al.*, 2006 and Kuwabara *et al.* 2007). Sedangkan ikan dapat digunakan sebagai hewan uji hayati karena sangat peka terhadap perubahan lingkungan (Sigit, 1993), seperti yang pernah dilakukan oleh Hendrata (2004) yang memanfaatkan ikan Nila sebagai bioindikator untuk memantau kualitas air limbah Rumah Sakit Pupuk Kaltim, Bontang di instalasi pengolahan air limbahnya (IPAL).

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi logam besi (Fe) yang terdapat pada sedimen, insang ikan Sepat Siam dan ikan Betok masing-masing berurutan 9353,1 ; 17,73 dan 15,12 mg/kg (Tabel 3) dapat dijadikan sebagai suatu indikator bahwa air kolam tersebut tercemar.
2. Ikan Sepat Siam dan ikan Betok di air kolam limbah tersebut mengandung logam besi (Fe) dan kadarnya telah melampaui batas baku mutu yang ditetapkan oleh Badan POM RI, sehingga ikan-ikan tersebut tidak aman untuk dikonsumsi.
3. Air kolam limbah tersebut mengandung logam besi (Fe) yang melebihi batas baku mutu Pergub Sumatera Selatan No. 16 tahun 2005, dan dapat mencemari air sungai jika langsung dialirkan ke sungai tanpa dilakukan proses pengolahan lebih lanjut.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap beberapa jenis logam berat lainnya yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap organisme akuatik terutama pada ekosistem air tawar yang berperan untuk kepentingan domestik, industri dan merupakan sistem pembuangan yang memadai.
2. Perlu dikaji lagi secara mendalam sejauh mana ikan segar konsumsi yang terkontaminasi logam besi (Fe) dapat membahayakan kesehatan masyarakat.
3. Perlu ada kerjasama yang baik antara pemerintah, perusahaan dan masyarakat untuk tetap menjaga serta memperhatikan kualitas lingkungan sehingga dapat memberikan daya dukung yang optimal bagi kelangsungan hidup baik generasi sekarang maupun yang akan datang.

REFERENSI

- [1] Imamsjah, R. 2001. Bahan Kimia Beracun. <http://www.w3journal.unair.ac.d.html> Diakses pada 8 Februari 2013.
- [2] Mahida, U.N. 2003. Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri. Penerbit CV. Rajawali. Jakarta.
- [3] Moore, J.W. 1991. Inorganic Contaminant of Surface Water. Springer Verlag, New York.
- [4] Stumm, W. and J. J. Morgan. 1996. Aquatic chemistry: Chemical equilibria and rates in natural waters. John Wiley & Sons. New York.
- [5] Tim IPB. 1976. Laporan Survei Daerah Banjir dan Rawa-rawa (Daerah Flood Way) Proyek Irigasi Way Jepara Lampung. IPB. Bogor.
- [6] Biesinger, K.E. and Christensen, G.M. 1972. Effects of Various Metals on Survival, Growth, Reproduction, and Metabolism of *Daphnia magna*, J. Fish. Res. Board Can. 29: 1691.
- [7] Danaryanto dan Hadipurwo, 2006. Konservasi Sebagai Upaya Penyelamatan Air Tanah di Indonesia, disampaikan pada Seminar Nasional Hari Air Dunia 2006. Direktorat Pembinaan Pengusahaan Panas Bumi dan Pengelolaan Air Tanah Direktorat Jenderal Mineral Batubara dan Panas Bumi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

- [8] Bury, N.R., Grosell, M., Wood, C.M., Hogstrand, C., Wilson, R.W., Rankin, J.C., Busk, M., Lecklin, T. and Jensen, F.B. 2001 Intestinal iron uptake in the European flounder (*Platichthys flesus*), *J Exp Biol*.
- [9] Withers, P.C. 1992. *Comparative Animal Physiology*. Saunders College Publishing, London.
- [10] Darmono, 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran, Hubungan Toksikologi Senyawa Logam*. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- [11] Parulian, A. 2009. *Monitoring dan Analisis Kadar Aluminium (Al) dan Besi (Fe) Pada Pengolahan Air Minum PDAM Tirtanadi Sunggal*. Medan : Pascasarjana – Universitas Sumatera Utara (USU).
- [12] Sofyan, I. 2003. *Mempelajari Kandungan Sn, Fe dan Pb Dalam Makanan Dalam Kaleng Dengan Spektrometer Serapan Atom*.
- [13] Sutrisno, A. 2011, *Budidaya Ikan Sepat Siam (Trichogaster pectoralis)*
<http://alimansutrisnopspunri.blogspot.com/2011/12/budidaya-sepat-siam-trichogaster.html>. Diakses pada 6 April 2013.
- [14] Ansyari, Pahmi, Rizmi, Y., Asmawi dan Suhaili, 2008. *Telaah Food Habits dan Bio-limnologi Habitat Ikan Betok (*Anabas Testudineus* Bloch) di Perairan Rawa Kalimantan Selatan*. Laporan Penelitian, Lembaga Fakultas Perikanan Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan (tidak dipublikasikan).
- [15] Ahmad, M., dan Fauzi, 2010. *Percobaan Pemijahan Ikan Puyu (*Anabas Testudienus*)*, *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, Januari 2010 : 16-24
- [16] Osereme, E.E.C., Abraham, A.A., Uduak, A.W., Christina, A., and Abiola, E.O. 2012. *Comparison of Three Methods of Digestion for Trace Metal Analysis in Surface Dust Collected From an E-waste Recycling Site*. *Journal of Nature and Science* 10(10) : 42-47.
- [17] Martin, T.D., Creed, J.T., and Brockhoff, C.A. 1994. *Sample Preparation Procedure for Spectrochemical Determination of Total Recoverable Elements: U.S. Environmental Protection Agency Report, Revision 2.8, EMMC Version, 12 p.*
- [18] Issac, R.A. and Kerber, J.D. 1971. *Atomic Absorption and Flame Photometry: Techniques and Uses in Soil, Plant and Water Analysis*. In: *Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissue*. Soil Science Society of America–Agronomy Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, p. 17–37.
- [19] Arisandi, P. 2002. *Bioakumulasi Logam Berat Dalam Pohon Bakau (*Rhizophora mucronata*) dan Pohon Api-api (*Avicennia marina*)*. http://ecoton.terraneet.or.id/tulisan_lengkap.php?id=1345. Diakses pada 4 April 2013.
- [20] (APHA) American Public Health Association, (AWWA) American Water Works Association and (WEF) Water Environment Federation. 2001. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater (20th ed.)*. Washington, D.C. 17 p.
- [21] Peraturan Gubernur Provinsi Sumatera Selatan No. 16 Tahun 2005 Tentang air Baku untuk Air Minum
- [22] WHO, (2003), *Malathion in Drinking Water*. Background Document for Preparation of WHO Guidelines for Drinking Water Quality. World Health Organistaion (WHO/SDE/WSH/03.04/103). Geneva.
- [23] USEPA (1986), *Quality Criteria for Water*. EPA-440/5-86-001, Office of Water Regulations Standards, Washington DC, USA.
- [24] WPCL, 2004, *Land Based Water Quality Classification*. Official Journal, 25687, Water Pollution Control Legislation, Turkey.
- [25] Asmawi, S. 1986. *Pemeliharaan Ikan dalam Keramba*. Jakarta: Gramedia.
- [26] Haryadi. 1992. *Metode Analisa Kualitas Air*.
- [27] Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya. dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta.
- [28] Cahyono, B. 2001. *Budi Daya Ikan di Perairan Umum*. Kanisius, Yogyakarta, Indonesia.
- [29] Ramdani, A., Mawardi, H Dan Kurniawan, W. 2011. *Pencemaran Air*;
<http://3superelektron.wordpress.com/pencemaran-air/>; Diakses pada 23 November 2013
- [30] Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius, Jakarta, Indonesia
- [31] Peraturan Menteri Pertanian tentang persyaratan teknis minimal pupuk organik nomor: 28/Permentan/SR.130/5/2009.
- [32] NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2009. *SQUIRT, Screening Quick Reference Tables for in Sediment*,
- [33] (BSN) Badan Standarisasi Nasional, 2009. [SNI] Standar Nasional Indonesia Nomor 7387:2009. *Tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan*. Jakarta
- [34] Prayitno, M.B dan Sabaruddin. 2010. *Potensi Hidrologi Danau dan Lahan Gambut Sebagai Sumberdaya Air (Studi Kasus: Danau Air Hitam, Pedamaran, Oki)*. Makalah disampaikan dalam Seminar Nasional Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya, 13-14 Desember 2010.
- [35] (BPOM) Badan Pengawasan Obat dan Makanan No. 03725/B/SK/VII/1989 tentang *Batas Maksimum Cemaran Logam dalam Makanan*.
- [36] Pratiwi, Rostika, R dan Dhahiyat, Y. 2011. *Pengaruh Tingkat Pemberian Pakan Terhadap Laju Pertumbuhan dan Deposisi Logam Berat Pada Ikan Nilem di Karamba Jaring Apung Waduk Ir. H. Djuanda*. *Jurnal Akuatika* Vol. II. No. 2. ISSN 0853-2523.
http://www.google.com/#hl=en&scienc=psy&q=baku+mutu+Fe+pada+ikan+Nilem+pdf+waduk+ir.+h.+Juanda&oq=baku+mutu+Fe+pada+ikan+Nilem+pdf+waduk+ir.+h.+Juanda&gs_l=serp.12...88799.90669.3.93985.6.6.0.0.0.3.475.1975.2-2j3j1.6.0.les%3Bcnv_ss%2Cuns%3D0..0.0.0_.1c.1.ixf

- dck6Deg&psj=1&bav=on.2,or.r_qf.&fp=cb0d6a630fe111cd&biw=1173&bih=602; Diakses pada 2 maret 2013.
- [37] Wati, H., Krisdianto dan Ramli, R. 2009. Kandungan Logam Besi (Fe) dalam Air dan Ikan Sepat (*Trichogaster Trichopterus* Egen) di Sungai yang Melewati Kecamatan Gambut dan Aluh Aluh Kabupaten Banjar. *Bioscientiae* 6: 26-39. <http://fmipa.unlam.ac.id/bioscientiae/wp-content/uploads/2012/02/B-Vol.-6-No.-1-4.pdf>. Diakses pada 20 Februari 2013.
- [38] Saputra, A. 2009. Bioakumulasi Logam Berat pada Ikan Patin yang Dibudidayakan di Perairan Waduk Citarata dan Laboratorium. Tesis pada Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor (tidak dipublikasikan)
- [39] Sa'dah, Halang, B dan Zaini, M. 2010. Pengaruh Pemberian Campuran Lumpur Pengolahan Limbah Karet Dan Media Tanah Terhadap Kandungan Cadmium (Cd) Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L). *Jurnal Wahana-Bio* 3: 98-109.
- [40] Darmono, 1995. Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Universitas Indonesia-Press. Jakarta.
- [41] Eneji, S.I., Sha'Atol, R. and Annune. P.A. 2011. Bioaccumulation of Heavy Metals in Fish (*Tilapia Zilli* and *Clarias Gariepinus*) Organs from River Benue, North-Central Nigeria Department of Chemxstrv and Centre for Agrochemical Technology, University of Agriculture P. M. B. 2373 Makurdi, Benue State, Nigeria. *Pak. J. Anal. Environ. Chem* 12(1 & 2): 25-31.
- [42] Ikingura, J.P. & H. Akagi. 1999. Methylmercury production and distribution in aquatic systems. *Science of Total Environment* J. 23(4): 109-118.
- [43] Dahuri, R., Rais J., Ginting, S.P. dan Sitepu, M.J. 1996. Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- [44] Simbolon, D., Simange, M.S. dan Wulandari, Y.S. 2010. Kandungan Merkuri dan Sianida pada Ikan yang Tertangkap dari Teluk Kao, Halmahera Utara. *Ilmu Kelautan* 15(3): 126-134.
- [45] Mokoagouw, D. 2000. Kajian Peredaran Logam Berat (Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn) pada Perairan Pantai di Kodya Bitung Provinsi Sulawesi Utara. Disertasi pada program Pascasarjana IPB, Bogor (tidak dipublikasikan).
- [46] Suseno, S.H., Tajul, A.Y., Nadiyah, W.A., Hamidah, Asti and Ali, S. 2010. Proximate, fatty acid and mineral composition of selected deep sea fish species from Southern Java Ocean and Western Sumatra Ocean, Indonesia. *Int. Food Res.* 17: 905-914.
- [47] Leiwakabessy, F.M., U.M. Wahjudin dan Suwarno. 2003. Bahan kuliah Kesuburan tanah. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- [48] Pickhardt, P.C., Stepanova, M.C., Fisher, N.S. 2006. Contrasting Uptake Routes and Tissue Distributions of Inorganic and Methylmercury in Mosquitofish (*Gambusia affinis*) and Redear Sunfish (*Lepomis microlophus*) *Environ. Toxicol. Chem.* 25(8): 2132-2142.
- [49] Sigit. S. 1993. Toksikologi Limbah Pabrik Kulit terhadap *Cyprinus Carpio* L. dan Kerusakan Insang. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan* 13;4 : hal. 247 – 260. Jakarta.
- [50] Hendrata, S. 2004. Pemanfaatan Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Sebagai Bioindikator untuk Menilai Efektifitas Kinerja IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim, Bontang. Tesis pada Program Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro. Semarang (tidak dipublikasikan).
- [51] McNeely, R.N., et al. 1979. Water Quality Source Book, A guide to Water Quality Parameter. Inland Waters Directorate Water Quality Branch, Ottawa, Canada.
- [52] Peraturan Menteri Kesehatan Nomor: 416/Men.Kes/Per/Lx/1990 Tentang Syarat-syarat Dan Pengawasan Kualitas Air.
- [53] Moore, J.W. 1991. Inorganic Contaminat of Surface Water. Springer Verlag, New York.