

**IDENTIFIKASI LOGAM MERKURI (Hg) DI PERAIRAN DESA
PERCUT SEI TUAN KECAMATAN PERCUT SEI
TUAN KABUPATEN DELI SERDANG
SUMATERA UTARA**

SKRIPSI

OLEH :

**WINDA ARINI SITORUS
10 870 0005**



**FAKULTAS BIOLOGI
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2015**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 12/6/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)12/6/24

ABSTRAK

Winda Arini Sitorus. Identifikasi Logam Merkuri (Hg) di Perairan Desa Percut Sei Tuan Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang Sumatera Utara. Di bawah bimbingan Ir. Harso Kardhinata, MSc selaku Pembimbing I dan Abdul Karim, S.Si, MSi selaku Pembimbing II.

Penelitian dilakukan di Desa Percut Sei Tuan Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara. Penelitian ini dilaksanakan mulai April 2014 sampai Mei 2014. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kandungan merkuri di Muara Sungai Percut dan mengetahui apakah di daerah penelitian sudah tercemar ataupun tidak berdasarkan baku mutu.

Data yang diperoleh diolah secara deskriptif, yaitu mendata hasil analisis, dengan mentabulasi data-data kemudian menginterpretasikannya. Untuk melihat kondisi pencemaran logam berat pada daerah penelitian dibandingkan dengan baku mutu yang berasal dari standar kualitas Belanda, yaitu IADC/CEDA (1997).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat merkuri paling tinggi pada lokasi 1, 3 dan 5 masing-masing 0,00544 ppm, 0,00448 ppm dan 0,00485 ppm, sedangkan paling rendah pada sampel 2, 4 dan 6 masing-masing 0,00251 ppm, 0,00067 ppm dan 0,0009 ppm. Keenam lokasi sampel secara keseluruhan mengandung logam berat merkuri tetapi masih belum mengkhawatirkan, karena masih dibawah level target sebesar 0,3 ppm.

Kata Kunci: Identifikasi, Logam Merkuri (Hg).

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan berkatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan usulan penelitian yang berjudul “Identifikasi Logam Merkuri (Hg) di Perairan Desa Percut Sei Tuan Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang Sumatera” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar serjana pertanian di Fakultas Biologi Universitas medan area.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Harso Kardhinata, Msc. Sebagai Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan saran dan arahan kepada penulis, Bapak Abdul Karim, S.Si, MSi Sebagai Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan saran dan arahan kepada penulis, Ibu sartini, Msc . Selaku Dekan Fakultas Biologi Universitas Medan Area, Seluruh dosen Fakultas Biologi Universitas Medan Area yang telah banyak memberikan ilmu dan bimbingan kepada penulis, diperkuliahan sampai dengan selesai, Ibunda tercinta yang telah banyak memberikan dorongan dan bantuan moril maupun materil kepada penulis, Almarhum ayahanda tercinta yang telah memberikan dorongan dan bantuan moril semasa hidupnya, Rekan – rekan sesama mahasiswa Fakultas Biologi Universitas Medan Area yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu namanya, yang selalu memberikan semangat dan bantuan moril yang tak dapat penulis sebut nilainya.

**Medan, Maret
Penulis**

WINDA ARINI SITORUS

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Kegunaan Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pencemaran	5
2.2. Logam Berat.....	6
2.3. Merkuri (Hg).....	14
2.4. Sedimen.....	19
BAB III. BAHAN DAN METODE	21
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2. Alat dan Bahan	21
3.3. Metode Penelitian	21
3.4. Metode Pengambilan Sampel.....	21
3.5. Metode Analisis Data Penelitian	22
3.6. Pelaksanaan Penelitian.....	23
3.7. Parameter yang Diamati.....	24
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Lokasi Penelitian	25
4.2. Kualitas Sedimen.....	26
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	30
5.1. Simpulan	30
5.2. Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	34

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keberadaan ekosistem mangrove di Indonesia saat ini benar-benar telah pada posisi yang sangat mengawatirkan, mengingat untuk pemenuhan keragaman kebutuhan penduduk yang jumlahnya makin bertambah pesat ini telah pula merebak ke wilayah mangrove. Kehidupan modern dan kemudahan aksesibilitas hasil produksi ekosistem mangrove ke pasaran serta pemanfaatan yang berlebihan tanpa memperhatikan kaedah kelestarian lingkungan telah mengakibatkan penurunan kuantitas maupun kualitasnya. Padahal ekosistem mangrove merupakan peralihan antara daratan dan lautan yang mempunyai perbedaan sifat lingkungan tajam, yang kelestariannya sangat rentan terhadap perubahahan lingkungan (Tomlinson, 1986).

Berdasarkan data tahun 1984, Indonesia diyakini masih memiliki kawasan hutan mangrove seluas 4,25 juta ha, kemudian berdasar hasil interpretasi citra landsat (1992) luasnya tersisa 3,812 juta ha (Ditjen INTAG dalam Martodiwirjo, 1994). Bahkan berdasar data Ditjen RRL (1999), luas mangrove Indonesia dalam kawasan hutan hanya seluas 3,7 juta ha, itupun sekitar seluas 1,6 juta ha (43,2%) nya dalam kondisi rusak parah. Di luar kawasan, Indonesia diperkirakan memiliki mangrove seluas 5,5 juta ha, yang sebanyak 4,8 juta ha (87,3%) dalam keadaan rusak parah. Kecepatan kerusakan kawasan mangrove selama 16 tahun, dengan demikian, mencapai lebih dari 134.000 ha/th.

Fungsi dan manfaat mangrove telah banyak diketahui, baik sebagai tempat pemijahan ikan-ikan di perairan, pelindung daratan dari abrasi oleh ombak,

pelindung daratan dari tiupan angin, penyaring intrusi air laut ke daratan dan kadungan logam berat yang berbahaya bagi kehidupan, tempat singgah migrasi burung, dan sebagai habitat satwa liar serta manfaat langsung lainnya bagi manusia. Musibah gempa dan ombak besar tsunami yang melanda Nanggroe Aceh Darussalam (NAD) dan Pulau Nias akhir tahun 2004 yang lalu telah mengingatkan kembali betapa pentingnya mangrove dan hutan pantai bagi perlindungan pantai. Dilaporkan bahwa ada wilayah yang memiliki mangrove dan hutan pantai relatif baik, cenderung kurang terkena dampak gelombang tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan mangrove selebar 200 m dengan kerapatan 30 pohon/100 m² dengan diameter 15 cm dapat meredam sekitar 50% enersi gelombang tsunami (Harada dan Fumihiko, 2003 dalam Diposaptono, 2005).

Mangrove yang dapat berfungsi untuk menyerap bahan organik dan non-organik sehingga dapat dijadikan bioindikator logam berat (Wittig 1993 dalam Amin, 2001). Melalui akarnya, vegetasi ini dapat menyerap logam berat yang ada sedimen maupun kolom air.

Pencemaran yang berasal dari kegiatan manusia memiliki kontribusi besar dibandingkan dengan pencemaran yang berasal dari kegiatan alam. Hal ini dipengaruhi oleh semakin bertambah besarnya populasi manusia. Dalam hal ini semakin bertambah besarnya populasi manusia. Dalam hal ini semakin tingginya pertambahan populasi manusia, maka kebutuhan akan pangan, bahan bakar, pemukiman, kebutuhan-kebutuhan dasar yang lain juga akan meningkat, sehingga akan meningkatkan limbah domestik dan limbah industri (Kristanto,

2002). Meningkatnya jumlah limbah domestik dan limbah industri yang masuk ke dalam perairan, mengakibatkan terjadinya perubahan kualitas perairan.

Logam berat merupakan salah satu jenis pencemar yang banyak ditemukan pada ekosistem mangrove. Berbagai jenis logam seperti Fe, Mn, Cr, Cu, Co, Ni, Pb, Zn, Hg dan Cd merupakan jenis-jenis logam yang banyak ditemukan di ekosistem mangrove (Marchand *et al.*, 2006). Konsentrasi logam berat dalam ekosistem mangrove terus mengalami peningkatan karena terjadinya akumulasi. Berbagai aktivitas manusia seperti industrialisasi dan urbanisasi memberikan dampak jangka panjang terhadap lingkungan, termasuk kontaminasi logam berat pada ekosistem mangrove (Davari *et al.*, 2012).

Akumulasi logam pada ekosistem mangrove terjadi baik pada sedimen maupun perairan (terlarut). Sedimen mangrove memiliki kemampuan untuk menahan logam berat dari perairan, baik dari sungai maupun dari pasang surut. Mochado *et al.* (2002) menyebutkan bahwa struktur komunitas mangrove memiliki peran dalam pengendalian transport logam ke perairan di sekitarnya. Mangrove menyerap logam berat yang terdapat dalam lingkungan sehingga mampu mengurangi aliran logam berat ke perairan pantai. Pada penelitian ini penulis ingin mengidentifikasi unsur Hg (merkuri) di lahan mangrove.

Borkar *et al.* (2006) menyebutkan bahwa Hg digunakan dalam berbagai industri. Pada vegetasi mangrove, Hg paling banyak terakumulasi pada bagian daun dan semakin tinggi pohon mangrove maka akumulasi Hg dalam tanaman juga semakin tinggi (Kumar *et al.*, 2010).

Penelitian terhadap kandungan logam berat di perairan sebenarnya sudah banyak dilakukan, namun mengingat pencemaran terjadi terus menerus

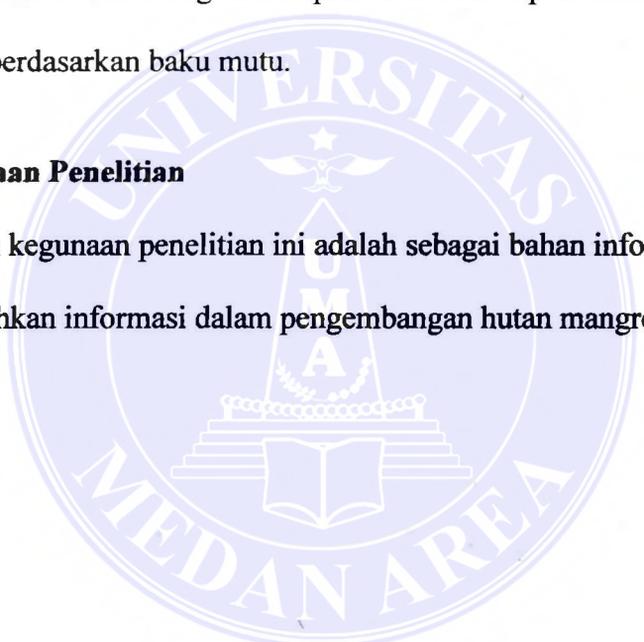
serta adanya perubahan alam diduga akan berpengaruh pada terjadinya perubahan konsentrasi logam berat di sedimen yang berbeda dari waktu ke waktu. Sehingga diduga jumlahnya dalam perairan semakin meningkat dengan bertambahnya waktu. Oleh sebab itu maka, penelitian mengenai identifikasi kandungan kandungan logam berat merkuri dan cadmium perlu dilakukan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kandungan merkuri di muara Sungai Percut dan mengetahui apakah di daerah penelitian sudah tercemar ataupun tidak berdasarkan baku mutu.

1.3. Kegunaan Penelitian

Adapun kegunaan penelitian ini adalah sebagai bahan informasi bagi pihak yang membutuhkan informasi dalam pengembangan hutan mangrove.



TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pencemaran

Pencemaran lingkungan hidup menurut Undang-Undang No. 23 tahun 1997 adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukkannya. Menurut Odum (1996) pencemaran perairan adalah suatu perubahan fisika, kimia dan biologi yang tidak dikehendaki pada ekosistem perairan yang akan menimbulkan kerugian pada sumber kehidupan, kondisi kehidupan dan proses industri. Sedangkan menurut definisi GESAMP (*Group of Expert on Scientific Aspect on Marine Pollution*) dalam Sanusi (1980) pencemaran laut diartikan sebagai masuknya zat-zat (substansi) atau energi ke dalam lingkungan laut dan estuari baik langsung maupun tidak langsung akibat adanya kegiatan manusia yang menimbulkan kerusakan pada lingkungan laut, kehidupan di laut, kesehatan manusia, mengganggu aktivitas di laut (usaha penangkapan, budidaya, alur pelayaran) serta secara visual mereduksi keindahan (estetika). Fardiaz (2006) mengistilahkan pencemaran air dengan istilah yang berbeda, yaitu polusi air. Polusi air yang dimaksud adalah penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal.

Darmono (2001) mengklasifikasikan sumber pencemaran logam berat berdasarkan lokasinya :

1. Pada perairan estuaria, pencemaran memiliki hubungan yang erat dengan penggunaan logam oleh manusia.
2. Pada perairan laut lepas kontaminasi logam berat biasanya terjadi secara langsung dari atmosfer atau karena tumpahan minyak dari kapal-kapal tanker yang melaluinya,
3. Sedangkan di perairan sekitar pantai kontaminasi logam kebanyakan berasal dari mulut sungai yang terkontaminasi oleh limbah buangan industri atau pertambangan.

2.2. Logam Berat

Logam adalah unsur yang dapat diperoleh dari lautan, erosi batuan tambang dan vulkanisme. Proses alam seperti perubahan siklus alami mengakibatkan batuan-batuan dan gunung berapi memberikan kontribusi yang sangat besar ke lingkungan. Selain itu masuknya logam berat juga berasal dari aktivitas manusia, seperti pertambangan minyak, emas dan batu bara, pembangkit tenaga listrik, pestisida, keramik, peleburan logam dan pabrik-pabrik pupuk serta kegiatan industri lainnya (Suhendrayatna, 2001).

Connell dan Miller (1995) mengatakan bahwa logam berat adalah unsur yang memiliki berat lebih besar dari 4 atau 5 dengan jumlah atom 22 - 34 dan 40 - 52, serta unsur lantanida dan aktinida, serta memiliki pengaruh spesifik biokimiawi di dalam hewan dan tumbuhan.

Menurut Vouk (1986) dalam Putra (2008) terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia di muka bumi ini yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat. Beberapa logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan

terutama adalah Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Arsenik (As), Kadmium (Cd), Khromium (Cr), dan Nikel (Ni). Di alam logam sangat jarang ditemukan dalam elemen tunggal, biasanya dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain.

Menurut Palar (2004) logam dalam perairan memiliki sifat sebagai berikut:

1. Memiliki kemampuan yang baik dalam penghantar listrik (konduktor);
2. Memiliki kemampuan yang baik dalam penghantar panas;
3. Memiliki rapatan yang tinggi;
4. Dapat membentuk alloy dengan baik;
5. Logam padat dapat ditempa dan dibentuk

Pada tahun 1968, Katsuna melaporkan adanya epidemi keracunan Hg di teluk Minamata, dan pada tahun 1967 terjadi pencemaran Hg di sungai Agano di Niigata. Pada saat terjadi epidemi, kadar Hg pada ikan di teluk Minamata sebesar 11 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat basah dan di sungai Agano sebesar 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat basah. Di Irak pada tahun 1971-1972 terjadi keracunan alkil merkuri akibat mengkonsumsi gandum yang disemprot dengan alkil merkuri yang menyebabkan 500 orang meninggal dunia dan 6000 orang masuk rumah sakit.

Berdasarkan temuan Diner dan Brenner (1998) serta Frackelton dan Christensen (1998) di dalam Sudarmaji, dkk., (2006), dikatakan bahwa diagnosa klinis keracunan Hg tidaklah mudah dan sering disamakan dengan diagnosa kelainan psikiatrik dan autisme. Kesukaran diagnosa tersebut disebabkan oleh panjangnya periode laten dari mulai terpapar sampai timbulnya gejala dan tidak jelasnya bentuk gejala yang timbul, yang mirip dengan kelainan psikiatrik.

Berhubung sukarnya untuk mendiagnosis kelainan yang disebabkan oleh keracunan Hg, untuk memudahkannya diagnosis para klinisi (Vroom dan Greer, 1972 dalam Sudarmaji, dkk., 2006) membuat kriteria sebagai berikut :

1. Observasi kemunduran fungsi, berupa: kerusakan motorik, abnormalitas sensorik, kemunduran psikologik dan perilaku, kemundura neuro logik dan koknitif, kelainan bicara, pendengaran, kemunduran penglihatan dan kelainan kulit serta gangguan reflek.
2. Waktu paparan oleh Hg bersifat akut atau kronis. Deteksi Hg pada urine, darah, kuku dan rambut.

Keracunan Hg yang sering disebut sebagai mercurialism banyak ditemukan di negara maju, misalnya Mad Hatter's Disease yang merupakan suatu Outbreak keracunan Hg yang diderita oleh karyawan di Alice Wonderland. Bencana Minamata yang merupakan suatu outbreak keracunan Hg pada penduduk makan ikan yang terkontaminasi oleh Hg di Minamata Jepang, dan kejadian ini dikenal sebagai Minamata Disease. Penyakit lain yang disebabkan oleh keracunan Hg adalah Pink Disease yang terjadi di Guatemala dan Rusia yang merupakan outbreak keracunan Hg akibat mengkonsumsi padi-padian yang terkontaminasi oleh Hg.

Paparan logam berat Hg terutama methyl mercury dapat meningkatkan kelainan janin dan kematian waktu lahir serta dapat menyebabkan Fetal Minamata Disease seperti yang terjadi pada nelayan Jepang di teluk Minamata. Selain yang tersebut di atas Hg dapat menyebabkan kerusakan otak, kerusakan syaraf motorik, cerebral palsy, dan retardasi mental. Paparan di tempat kerja utamanya oleh anorganik merkuri pada pria akan dapat menyebabkan impotensi dan gangguan

libido sedangkan pada wanita akan menyebabkan **gangguan menstruasi**

(Sudarmaji, dkk., 2006).

Pengaruh Toksisitas Merkuri Pada Manusia Pengaruh langsung polutan (terutama pestisida) terhadap ikan biasa dinyatakan sebagai lethal(akut), yaitu akibat-akibat yang timbul pada waktu kurang dari 96 jam atau sublethal(kronis), yaitu akibat-akibat yang timbul pada waktu lebih dari 96 jam (empat hari). Sifat toksis yang lethal dan sublethal dapat menimbulkan efek genetik maupun teratogenik terhadap biota yang bersangkutan (FAO, 1971 di dalam Budiono, 2003).

Pengaruh lethal disebabkan gangguan pada saraf pusat sehingga ikan tidak bergerak atau bernapas akibatnya cepat mati. Pengaruh sublethal terjadi pada organ-organ tubuh, menyebabkan kerusakan pada hati, mengurangi potensi untuk perkembangbiakan, pertumbuhan dan sebagainya (Caln, 1965 di dalam Budiono, 2003). Seperti peristiwa yang terjadi di Jepang, dimana penduduk di sekitar teluk Minamata keracunan metal merkuri akibat hasil buangan dari suatu pabrik plastik. Metil merkuri yang terdapat dalam ikan termakan oleh penduduk disekitar teluk tersebut. Ikan-ikan yang mati disekitar teluk Minamata mempunyai kadar metil merkuri sebesar 9 sampai 24 ppm. Faktor-faktor yang berpengaruh di dalam proses pembentukan metil merkuri adalah merupakan faktor-faktor lingkungan yang menentukan tingkat keracunannya. (Budiono, 2003).

Telah banyak orang-orang yang mengetahui tentang merkuri dan kebanyakan mereka mengkonsumsi metal merkuri dari ikan dan hewan lain yang terkontaminasi merkuri dimana hewan tersebut merupakan rantai makanan bagi manusia. National Research Council di dalam beberapa laporannya tentang efek

Toxicological dari metil merkuri yang ditunjukkan bahwa populasi pada resiko yang paling tinggi adalah keturunan dari wanita-wanita yang mengkonsumsi sejumlah besar ikan dan makanan hasil laut. Laporan penyelidikan yang didapat, menyatakan bahwa lebih dari 60.000 anak yang lahir tiap tahunnya berhadapan dengan resiko neurodevelopmental yang kurang baik dalam kaitannya dengan kandungan metil merkuri. Environmental protection agency menyimpulkan bahwa merkuri merupakan sumber penyakit atau resiko bagi beberapa orang dewasa dan populasi hewan jika mengkonsumsi sejumlah besar air minum dan ikan yang terkontaminasi oleh merkuri (Anonim, 2000).

Merkuri merusak sistem pusat nerves, sistem endokrin, ginjal, dan organ bagian badan yang lain, dan akan mempengaruhi mulut, gusi, dan gigi. Uap air raksa/merkuri di udara jika terhirup oleh manusia dapat mengakibatkan kerusakan otak dan pada akhirnya menimbulkan kematian. Merkuri dan campurannya adalah senyawa yang terutama sekali meracuni janin dan bayi. Wanita-wanita yang telah mengkonsumsi merkuri di dalam kondisi hamil terkadang melahirkan anak-anak dengan cacat kelahiran yang serius (Anonim, 2007)

Kebanyakan manusia keracunan merkuri akibat dental amalgam restoration dan mengkonsumsi makanan dari hewan air dan mamalia yang terkontaminasi oleh limbah pabrik. Limbah tersebut bisa berasal dari bahan sisa hasil pembuatan chlorine dan sodium hydroxide dengan menggunakan elektrolisis. Limbah tersebut selain dari elektrolisis, bisa juga berasal dari pembuatan alat listrik (batere, tombol, dan bohlam lampu neon). Limbah tersebut meracuni manusia melalui makanan baik dari hasil perairan maupun hewan yang hidup di sekitar limbah (Björkman, et. al., 2007)

Studi Kasus Pencemaran Oleh Logam Merkuri Di Minamata, Jepang Minamata adalah sebuah desa kecil yang menghadap ke laut Shiranui (lihat gambar 6), bagian selatan Jepang sebagian besar penduduknya hidup sebagai nelayan, dan merupakan pengonsumsi ikan cukup tinggi, yaitu 286-410gram/hari (Setyorini, 2003)

Minamata disease, kadang-kadang dikenal sebagai Chisso-Minamata disease, adalah suatu neurological syndromeyang disebabkan oleh racun merkuri. Gejalanya meliputi kehilangan keseimbangan, numbness ditangan dan kaki, kelemahan otot umum, penglihatan yang terbatas dan kerusakan pada pendengaran dan suara. Di dalam kasus yang tinggi, penyakit gila, kelumpuhan, pingsan dan kematian bisa terjadi dalam hitungan minggu dari serangan dari gejala. Suatu bentuk congenial dari penyakit dapat juga mempengaruhi janin di dalam kandungan (Pabico, 2006)

Logam berat seperti Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) memiliki afinitas yang tinggi terhadap unsur S (sulfur) menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tidak aktif. Selain sulfur logam berat juga dapat bereaksi terhadap gugus karboksilat (-COOH) dan amina (-NH₂). Kadmium dan tembaga terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transformasi melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya (Manahan, 1977).

Logam berat memiliki tingkat atau daya racun yang berbeda bergantung pada jenis, sifat kimia dan fisik logam berat. Kementerian Negara

Kependudukan dan Lingkungan Hidup 1990 dalam Marganof (2003)

membagi kelompok logam berat berdasarkan sifat toksisitas dalam 3 kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn; bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co; dan bersifat toksik rendah yang terdiri atas unsur Mn dan Fe (Sanusi, 2006). Sutamihardja *et al.* (1982) mengurutkan berdasarkan sifat kimia dan fisiknya, maka tingkat atau daya racun logam berat terhadap hewan air dapat diurutkan (dari tinggi ke rendah) sebagai berikut : Merkuri (Hg), Kadmium (Cd), Seng (Zn), Timah Hitam (Pb), Krom (Cr), Nikel (Ni), dan Kobalt (Co). sedangkan menurut Darmono (1995) daftar urutan toksisitas logam paling tinggi ke paling rendah terhadap manusia yang mengkonsumsi ikan adalah sebagai berikut:

$Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$.

Adanya logam berat di perairan memiliki dampak yang berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat (Sanusi, 2006) yaitu :

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan);
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut;
3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Di samping itu sedimen

mudah tersuspensi karena pergerakan masa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

Kandungan kelompok anorganik logam di perairan alami sangat rendah (trace element). Kelompok ini terdiri dari logam berat yang bersifat esensial (Cr, Ni, Cu, Zn) dan yang bersifat nonesensial (As, Cd, Pb, Hg). Elemen yang bersifat esensial dibutuhkan dalam proses kehidupan biota akuatik. Kelompok elemen esensial maupun nonesensial dapat bersifat toksik atau racun bagi kehidupan biota perairan, terutama apabila terjadi peningkatan kadarnya dalam perairan (Sanusi, 2006).

Sifat toksik dan sifat terurainya suatu logam berat dalam perairan ditentukan oleh karakteristik fisik dan kimia suatu jenis logam berat dan ditentukan juga oleh faktor lingkungan. Lingkungan atau ekosistem laut yang mengalami gangguan kesetimbangan akibat polutan, dapat bersifat tetap (*irreversible*) atau sementara (*reversible*) bergantung pada faktor-faktor berikut (Sanusi, 2006) :

1. Kemantapan ekosistem (*constancy*); terkait dengan kecilnya pengaruh perubahan.
2. Persistensi ekosistem (*persistent*); terkait dengan lamanya waktu untuk kelangsungan proses-proses normal ekosistem.
3. Kelembaman ekosistem (*inertia*); terkait dengan kemampuan bertahan terhadap gangguan eksternal.
4. Elastisitas ekosistem (*elasticity*); terkait dengan kekenyalan ekosistem untuk kembali ke keadaan semula setelah mengalami gangguan.

5. Amplitudo ekosistem (*amplitude*); terkait dengan besarnya skala

gangguan yang masih memungkinkan adanya daya pulih (*recovery*).

Menurut Hutagalung (1984) faktor-faktor yang memengaruhi tingkat toksisitas logam berat antara lain suhu, salinitas, pH, dan kesadahan. Penurunan pH dan salinitas perairan menyebabkan toksisitas logam berat semakin besar. Peningkatan suhu menyebabkan toksisitas logam berat meningkat. Sedangkan kesadahan yang tinggi dapat mengurangi toksisitas logam berat, karena logam berat dalam air dengan kesadahan tinggi membentuk senyawa kompleks yang mengendap dalam air.

Tingkat toksisitas logam berat untuk biota perairan dipengaruhi oleh jenis logam, spesies biota, daya permeabilitas biota, dan mekanisme detoksikasi (Darmono, 2001). Logam berat dapat mengumpul (terakumulasi) di dalam tubuh suatu biota dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama sebagai racun (Fardiaz, 2005).

Pada batas dan kadar kadar tertentu semua logam berat dapat menimbulkan pengaruh yang negatif terhadap biota perairan.

2.3. Merkuri (Hg)

Merkuri merupakan unsur trece elemen yang bersifat cair pada suhu ruang dan daya hantar listrik yang tinggi (Budiono, 2003). Merkuri dalam tabel periodik terdapat pada golongan XII D, periode VI, memiliki nomor atom 80 dan berat atom 200,59 g/mol.

Merkuri memiliki sifat-sifat sebagai berikut Fardiaz (2005):

1. Merkuri merupakan satu-satunya logam yang berbentuk cair pada suhu kamar (25°C) dan memiliki titik beku yang paling rendah dibanding logam lainnya, yaitu -39°C .
2. Merkuri dalam bentuk cair memiliki kisaran suhu yang luas, yaitu 396°C .
3. Memiliki volatilitas yang tinggi dibanding logam lainnya.
4. Merupakan konduktor yang baik karena memiliki ketahanan listrik yang rendah.
5. Banyak logam yang dapat dalam merkuri yang membentuk komponen yang disebut amalgam (alloy).
6. Merkuri dan komponen-komponennya bersifat toksik terhadap semua makhluk hidup.

Sifat-sifat itulah yang menyebabkan merkuri banyak digunakan oleh manusia seperti dalam aktivitas penambangan, peleburan untuk menghasilkan logam dari bijih tambang sulfidnya, pembakaran bahan bakar fosil dan produksi baja, semen serta fosfat. Pemakai utama merkuri adalah pabrik alkali-klor, industri bubur kayu, dan pabrik perlengkapan listrik (Lu, 2006).

Fardiaz (2005) mengatakan bahwa merkuri di alam ditemukan dalam bentuk gabungan dengan elemen lainnya, dan jarang ditemukan dalam bentuk terpisah. Beliau juga mengklasifikasikan bentuk merkuri di alam menjadi dua bentuk, yaitu :

1. Merkuri anorganik, termasuk logam merkuri (Hg^{2+}) dan garam-garamnya seperti merkuri klorida (HgCl_2) dan merkuri oksida (HgO_2).
2. Komponen merkuri organik atau organomerkuri, terdiri dari:

a. Aril merkuri, mengandung hidrokarbon aromatik seperti fenil merkuri

asetat.

b. Alkil merkuri, mengandung hidrokarbon alifatik dan merupakan merkuri yang paling beracun, misalnya metil merkuri dan etil merkuri.

c. Alkoksialkil merkuri (R-O-Hg).

Komponen organomercuri yang terpenting secara komersil adalah fenil merkuri asetat (FMA). Industri-industri pulp dan kertas menggunakan FMA untuk mencegah pembentuk lendir pada pulp kertas yang masih basah selama pengolahan dan penyimpanan.

Sumber alami merkuri adalah cinnabar (HgS) dan mineral sulfida, misalnya sphalerite (ZnS), chalcopyrite (CuFeS) dan galena (PbS). Pelapukan batuan dan erosi tanah dapat melepas merkuri ke dalam perairan. Penambangan, peleburan, pembakaran bahan bakar fosil, dan produksi baja, semen dan fosfat juga merupakan sumber merkuri yang dapat menambah keberadaannya di alam (Lu, 2006). Proses-proses industri, seperti pertanian, pencampuran logam, katalis pada pertambangan, kedokteran gigi, peralatan listrik, obat-obatan dan penggunaan di laboratorium yang kemudian sebagian besar merkuri dunia akhirnya dibuang ke lingkungan sekitarnya. Beberapa penelitian mencatat bahwa setiap ton Hg dapat melepaskan sekitar 150-200 g merkuri ke atmosfer dan air buangan (Maanema dan Berhimpon, 2007).

Di perairan alami logam berat merkuri terdapat dalam bentuk Hg, Hg⁺ dan Hg²⁺ yang ditentukan oleh kondisi reduksi atau oksidasi. Perairan dengan oksigen terlarut cukup baik ($E_h \geq 0,5$ mV), maka Hg²⁺ terlarut menjadi dominan. Dalam keadaan reduksi atau fakultatif akan terbentuk Hg dan Hg⁺, dan apabila terdapat

sulfid akan terbentuk senyawa HgS (Sanusi, 2006). Kelarutan merkuri di perairan

laut dalam bentuk $HgCl_4$ dan $HgCl_3$ dengan klorida yang dominan. Merkuri tidak hanya larut dalam air tetapi juga akan terabsorpsi oleh partikel-partikel tersuspensi. Dalam substrat anoksida, merkuri ada dalam bentuk HgS dan HgS_2 .

Sistem mikroba dalam laut dapat mengubah semua bentuk merkuri anorganik menjadi metil merkuri, untuk selanjutnya dapat diakumulasi oleh organisme hidup (Clark, 1997). Hal senada juga dikatakan oleh

Lu (2006) bahwa unsur merkuri akan menjadi senyawa anorganik melalui proses oksidasi dan kembali menjadi unsur merkuri lewat reduksi. Merkuri anorganik dapat menjadi merkuriorganik melalui kerja kuman anaerobik tertentu, dan senyawa ini secara lambat terdegradasi menjadimerkurianorganik.

Proses metilasi terpengaruh dengan adanya dominasi unsur sulfur (S), yaitu pada keadaan anaerob dan redok potensial yang rendah. Faktor-faktor yang sangat berpengaruh di dalam pembentukan metil merkuri antara lain : suhu, kadar ion Cl^- , kandungan organik, derajat keasaman (pH), dan kadar merkuri. Hasil akhir dari proses metilasi adalah metil merkuri (CH_3-Hg) yang memiliki daya racun tinggi dan sukar terurai dibandingkan zat asalnya.

Merkuri dimanfaatkan dalam bidang kedokteran, pertanian dan industri. Dalam bidang kedokteran merkuri digunakan untuk pengobatan penyakit kelamin (sifilis). Sebelum diketahui berbahaya, $HgCl$ digunakan sebagai pembersih luka, bahan kosmetik, dan digunakan dalam bidang kedokteran gigi (Fardiaz, 2006).

Merkuri digunakan sebagai pembunuh jamur, sehingga baik untuk bahan pelapis benih sebagai pencegah pertumbuhan kapang (Fardiaz, 2006). Merkuri

juga digunakan sebagai bahan pembasmi hama. Sedangkan dalam bidang industri merkuri dimanfaatkan sebagai bahan dasar lampu merkuri untuk penerangan jalan, pembuatan baterai, pembuatan klor alkali yang menghasilkan klorin (Cl_2) yang dimanfaatkan perusahaan air minum untuk penjernihan air minum dan membasmi kuman, pembuatan kaustik soda, bahan campuran cat, dan pembuatan plastik. Untuk mencegah lender pada pulp kertas pada industri kertas (Fardiaz, 2006)

Unsur merkuri di perairan laut secara alamiah berada dalam kadar yang rendah, yaitu 10⁻²-10⁻⁵ mg/l (Maanema dan Berhimpon 2007). Suatu perairan dikategorikan tidak tercemar jika kadar Hg 2⁺ terlarut sekitar 0,02-0,1 mg/l untuk air tawar dan kurang dari 0,01-0,03 mg/l untuk air laut (Sanusi, 2006). Moore (1991) menyatakan kadar merkuri yang diperbolehkan untuk air minum tidak lebih dari 0,3 µg/liter.

Kadar merkuri untuk biota laut sebaiknya tidak melebihi 0,2 µg/l. Sedangkan berdasarkan baku mutu air laut untuk budidaya perikanan/biota laut yang tercantum Keputusan Menteri Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004, adalah 0,001 ppm. Metil merkuri merupakan merkuri organik yang selalu menjadi perhatian serius dalam toksikologi. Hal ini karena metil merkuri dapat diserap secara langsung melalui pernapasan dengan kadar penyerapan 80%. Selain itu metil merkuri menyerang sistem saraf pusat sehingga menyebabkan gangguan saraf sensoris, gangguan saraf motorik, gangguan lain, seperti gangguan mental, sakit kepala, dan hipersalivasi (Darmono, 2001).

2.4. Sedimen

Secara umum sedimen adalah lapisan bawah yang melapisi sungai, danau, reservoir, teluk, muara, dan lautan yang terdiri atas bahan organik dan anorganik. Sedangkan menurut Fardiaz (2005) sedimen adalah padatan yang dapat langsung mengendap jika air didiamkan tidak terganggu selama beberapa waktu. Padatan yang mengendap tersebut terdiri dari partikel-partikel padatan dengan ukuran relatif besar dan berat sehingga dapat mengendap dengan sendirinya. Sedimen yang mengendap tersebut kemudian membentuk dasar suatu perairan dimana tumbuhan dan hewan dasar perairan tinggal.

Perairan pesisir banyak didominasi oleh substrat lunak seperti lumpur dan butir-butir pasir. Fajri (2001) dalam Sarjono (2009) menyatakan bahwa air sungai mengangkut partikel lumpur dalam bentuk suspensi, ketika partikel mencapai muara dan bercampur dengan air laut partikel lumpur akan membentuk partikel yang lebih besar dan mengendap di dasar perairan. Menurut Fardiaz (2005) adanya sedimen dalam jumlah tinggi diperairan dapat merugikan karena:

1. Menyebabkan pendangkalan dan penyumbatan sehingga mengurangi volume air yang ditampung, mengurangi populasi.
2. Mengurangi populasi ikan dan hewan air lainnya karena telur dan sumber makanan terendam oleh sedimen.
3. Mengurangi penetrasi cahaya ke dalam perairan sehingga mengurangi kecepatan fotosintesis.
4. Menyebabkan air menjadi keruh.

Sedimen diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu lithogenous, biogenous, dan hydrogenous. Lithogenous adalah sedimen yang berasal dari

batuan, umumnya berupa mineral silikat yang berasal dari pelapukan batuan.

Biogenous adalah sedimen yang berasal dari organisme berupa sisa-sisa tulang, gigi atau cangkang organisme. Sedangkan hydrogenous adalah sedimen yang terbentuk karena reaksi kimia yang terjadi di laut (Hutabarat dan Stewart, 1985).

Pada umumnya logam-logam berat pada sedimen tidak terlalu berbahaya bagi makhluk hidup perairan, tetapi oleh adanya pengaruh kondisi perairan yang bersifat dinamis seperti perubahan pH, akan menyebabkan logam-logam yang mengendap dalam sedimen terionisasi ke perairan. Hal inilah yang merupakan bahan pencemar dan akan memberikan sifat toksik terhadap organisme hidup bila ada dalam jumlah yang berlebih (Connel dan Miller, 1995).



BAHAN DAN METODE

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Desa Percut Sei Tuan Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara. Dilaksanakan dari April 2014 sampai Mei 2014.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan adalah untuk pengambilan contoh, pengukuran dan analisis contoh, serta alat dan bahan lain yang menunjang selama penelitian. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat tulis, alat dokumentasi (kamera), pipa paralon dan bahan yang digunakan plastik, tali plastik.

3.3. Metode Penelitian

Metode yang dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif yang dilaksanakan melalui berbagai tahap yaitu :

Penelitian Kepustakaan (*Library Research*) yaitu penelitian yang dilakukan dengan mencari informasi buku-buku literatur, masalah-masalah, tulisan-tulisan ilmiah dan Penelitian Lapangan (*Field Research*) yaitu jenis penelitian yang dilakukan pada objek penelitian dilapangan dengan cara langsung. Pengumpulan data seperti ini langsung mengambil contoh sediman sebanyak 10 titik di areal penelitian kemudian dianalisis.

3.4. Metode Pengambilan Sampel

Sampel diambil secara *purposive sampling*. *Purposive sampling* adalah cara pengambilan sampel berdasarkan tujuan penelitian. Sampel yang diambil terdiri dari 6 lokasi, yaitu:

1. Muara Percut lumpur tengah dengan titik kordinat 3°43'33.00''N
2. Muara Percut dengan titik kordinat 3°43'30.16''N
3. Sungai Merah dengan titik kordinat 3°43'17.48''N
4. Muara Palu 80 Lumpur Pinggir dengan titik kordinat 3°43'36.60''N
5. Muara Palu 80 Lumpur Tengah dengan titik kordinat 3°43'40.26''N
6. Sungai Percut dengan titik kordinat 3°42'58.15''N

Lokasih pengambilan sampel 1 yang berada di muara percut lumpur tengah yaitu aliran sungai amplas dengan sungai percut dan laut, pengambilan sampel 2 yang berada di muara percut sama alirannya dengan sampel 1, pengambilan sampel 3 sungai merah yaitu aliran sungai amplas dan sungai merah, pengambilan sampel 4 muara palu 80 lumpur pinggir yaitu aliran sungai amplas, sungai merah dan laut, pengambilan sampel 5 muara palu 80 lumpur tengah sama alirannya dengan sampel 4, sedangkan pengambilan sampel 6 sungai percut yaitu aliran dari sungai amplas.

3.5. Metode Analisis Data

Data yang diperoleh diolah secara deskriptif, yaitu mendata hasil analisis, dengan mentabulasi data-data kemudian menginterpretasikannya. Untuk melihat kondisi pencemaran logam berat pada daerah penelitian dibandingkan dengan baku mutu yang berasal dari standar kualitas Belanda, yaitu *Ducth Quality Standards For Metals in Sediment* IADC/CEDA (1997).

1. **Level target 0,3 ppm.** Jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai level target, maka substansi yang ada pada sedimen tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan.
2. **Level limit 0,5 ppm .** Jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen memiliki nilai maksimum yang dapat ditolerir bagi kesehatan manusia maupun ekosistem.
3. **Level tes 1,6 ppm.** Jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen berada pada kisaran nilai antara level limit dan level tes, maka dikategorikan sebagai tercemar ringan.
4. **Level intervensi 10 ppm.** Jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen berada pada kisaran nilai level tes dan level intervensi, maka dikategorikan sebagai tercemar sedang.
5. **Level bahaya 15 ppm.** Jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen memiliki nilai yang lebih besar dari baku mutu level bahaya maka harus segera dilakukan pembersihan sedimen.

3.6. Pelaksanaan Penelitian

Analisis preparasi sedimen dilakukan di Laboratorium. Preparasi sampel sedimen dimulai dengan memisahkan sedimen dengan serasah/cangkang kerang, kemudian contoh sedimen dikeringkan dalam oven pada suhu 105° C selama 3 jam. Sedimen kering yang diperoleh digerus dan ditumbuk hingga halus. Bubuk sedimen yang dihasilkan kemudian ditimbang seberat 1 gram dan dimasukkan ke dalam gelas piala, kemudian ditambahkan HNO₃ dan H₂SO₄. Selanjutnya ditambahkan 20 ml campuran HNO₃/HCl dan didestruksi selama 3 jam pada suhu 120° C. Hasil destruksi ini disaring dan filtratnya ditampung

Filtrat ini kemudian diukur dengan (Atomic Absorption Spectrometry) AAS (Cahyadi, 2000 in Siaka, 2008).

3.7. Parameter yang Diamati

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah logam berat merkuri. Merkuri (Hg) merupakan jenis logam yang dikenal memiliki tingkat bahaya tertinggi bagi kesehatan manusia. Logam-logam tersebut sering digunakan dalam kegiatan industri (Darmono, 2001). Dengan mengetahui konsentrasi logam-logam tersebut akan dapat diketahui kondisi lingkungan di areal penelitian. Pengukuran logam berat dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Masing-masing contoh sedimen ke dalam beaker Teflon secara merata agar mengalami proses pengeringan sempurna. Kemudian dikeringkan contoh sedimen dalam oven pada suhu 105° C selama 24 jam. Contoh sedimen yang telah kering kemudian ditumbuk sampai halus. Setiap contoh sedimen ditimbang sebanyak kurang lebih 4 gram dengan alat timbang digital. Contoh sedimen yang telah ditimbang dimasukkan kedalam beaker Teflon yang tertutup. Selanjutnya ditambahkan 5 ml larutan aqua regia dan dipanaskan pada suhu 130° C. Setelah semua sedimen larut, pemanasan diteruskan hingga larutan hampir kering dan selanjutnya didinginkan pada suhu ruang dan dipindahkan ke sentrifus polietilen. Kedalamnya ditambahkan aquades hingga volumenya mencapai 30 ml dan dibiarkan mengendap, kemudian tampung fasa airnya. Selanjutnya siap diukur dengan (Atomic Absorption Spectrometry) AAS, menggunakan nyala udara-asetilen.

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan:

1. Seluruh lokasi penelitian telah dicemari logam berat merkuri dengan tingkat kontaminasi yang bervariasi lokasi Muara Percut dengan kandungan sebesar 0,00544 ppm, diikuti Muara Palu 80 0,00485 ppm, Sungai Merah 0,00448, Muara Percut, Muara Palu 80 pinggir dan Sungai Percut masing-masing 0,00251 ppm, 0,00067 ppm dan 0,0009 ppm.
2. Logam berat merkuri yang terdapat pada semua lokasi penelitian ini masuk di ambang batas menurut Baku Mutu Konsentrasi Logam Berat dalam Sedimen *Ducth Quality Standard for Metals Sediment* IADC/CEDA (1997)

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas maka disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan pada flora mangrove dan melakukan pengulangan dalam pengambilan data dan menambah jenis logam berat yang diteliti.

DAFTAR PUSTAKA

- ___ .Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut.
- Amin, B. 2001. Akumulasi Dan Distribusi Logam Berat Pb Dan Cu Pada Mangrove (*Avicennia marina*) Di Perairan Pantai Dumai Riau. Laboratorium Kimia Laut, Faperika, Universitas Riau.
- Anonimous. 1997. Undang-Undang RI Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Anonim 2000. Mercury In Environment, U.S. Geological Survey. URL: <http://www.minerals.usgs.gov/mercury>. [Online Tanggal 8 November 2007].
- Anonim 2007b.<http://www.buffer.forestry.iastate.edu/Photogallery/illustrations/Images/Hydrologic-Cycle.jpg> [Online Tanggal 8 November 2007].
- Anonimous. 1997. Undang-Undang RI Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Björkman, Lars, et. al. 2007. Mercury in human brain, blood, muscle and toenails in relation to exposure: an autopsy study. Environmental health. <http://www.ehjournal.net/content/6/1/30> [Online Tanggal 8 November 2007]
- Budiono, A. 2003. Pengaruh Pencemaran Merkuri Terhadap Biota Air. Institut Pertanian Bogor. e-mail : brdoloro@yahoo.com [Online Tanggal 8 November 2007]
- Borkar, M.U., R.P. Athalye dan G. Quadros, 2006, Occurrence of Heavy Metals in Abiotic and Biotic Components of the Mangrove Ecosystem of Thane Creek, Ecol. Env. & Cons. 12(4): 723 – 728.
- Connel, D. W. dan Miller, G. J. 1995. Kimia dan Otoksikologi Pencemaran. Cetakan Pertama. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Clark, R.B. 1997. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. *Plant and Soil* 192:15-22
- Darmono, 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran (Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam), Penerbit : Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Davari, A., A. Danekar, N. Khorasani dan A. Javanshir, 2012, Identification of

- Diposaptono. S. 2005. Rehabilitasi Pascatsunami yang Ramah Lingkungan. Kompas, 10 Januari 2005.
- Ditjen Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan, 1999. Inventarisasi dan Identifikasi Hutan Bakau (Mangrove) yang Rusak di Indonesia. PT Insan Mandiri Konsultan. Jakarta (tidak diterbitkan).
- Fardiaz, S. 2005. Polusi Air Dan Udara. PT.Kanisius : Yogyakarta.
- Hutagalung, H .P 1984. Logam berat dalam lingkungan laut, Pewarya Ocean IX no. 1 . Hal 12-19
- Hutabarat, S. dan S.M. Evans. 1986. Pengantar Oseanografi. Jakarta:Djambatan.
Hutabarat, S dan Stewart, M.E. 1985. Pengantar Oseanografi. Universitas Indo- nesia Press. Jakarta. 159 hal.
- Kristianto, P. 2002. Ekologi Industri Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Kumar, J.I.N., P.R. Sajih, R.N. Kumar, B. George dan S. Viyol, 2010, An Assessment of the Accumulation Potential of Lead (Pb), Zinc (Zn) and Cadmium (Cd) by *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. In Vamleshwar Mangroves Near Narmada Estuary, West Coast of Gujarat, India, World Journal of Fish and Marine Sciences 2(5): 450 – 454
- Lu, Q.S., Tang, X., Lu, H.Q. dan Ma, S.D. (2006), "Face Recognition Using Kernel Scatter-Difference-Based Discriminant Analysis", Transactions On Neural Networks, Vol.17, No. 4.
- Maanema, Max dan Berhimpon, Siegfried. 2007. Dampak Aktifitas Pertambangan terhadap Ekonomi Kelautan. Seminar Nasional, Pertambangan, Lingkungan Hidup dan Kesejahteraan Masyarakat. Manado: Universitas Sam Ratulangi. Diakses 28 Oktober 2007 dari <URL :<http://www.unsrat.ac.id/UserFiles/File/seminarPaperPDF/Paper.Maanema&berhimpon.pdf>>
- Machado, W., E.V. Silva-Filho, R.R. Oliveira dan L.D. Lacerda, 2002, Trace Metal Retention in Mangrove Ecosystems in Guanabara Bay, SE Brazil, Marine Pollution Bulletin 44: 1277 – 1280
- Manahan, SE. 1977. Enviromental Chemistry. Second Edition. Boston: Williard Press