Paulus Edison Plaimo

Status
PENCEMARAN
Perairan Teluk Mutiara

Gerbang Surga Berselimut Sampah

Kata Pengantar:
Prof. Dr. Ir. Chafid Fandeli, M.S.

Paulus Edison Plaimo

Kata Pengantar:
Prof. Dr. Ir. Chafid Fandeli, M.S.

STATUS
PENCEMARAN
PERAIRAN TELUK MUTIARA

Gerbang Surga Berselimut Sampah

STATUS PENCEMARAN PERAIRAN TELUK MUTIARA
Gerbang Surga Berselimut Sampah

© Paulus Edison Plaimo

Kata Pengantar : Prof. Dr. Ir. Chafid Fandeli, M.S.
Lay-out & Desain Cover: Hendra

Cetakan I: Desember 2018

Diterbitkan oleh

Q-MEDIA

Dabag No. 52C Condongcatur Depok Sleman Yogyakarta

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian
atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

ISBN: 978-602-6213-20-4

SEKAPUR SIRIH

Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa oleh sebab penyertaanNya buku "Status Pencemaran Perairan Teluk Mutiara" (Gerbang Surga Berselimut Sampah), Alor-NTT ini dapat terselesaikan penulisannya.

Buku ini menyajikan informasi mengenai status pencemaran perairan Teluk Mutiara Kabupaten Alor, alasannya, karena Teluk Mutiara merupakan ibu kota daerah Kabupaten Alor, yang seringkali dikaitkan dengan idiom **SURGA DI TIMUR MATAHARI** sebutan ini datang dari sudut pandang keindahan negeri ini dan keunikan budayanya. Hal lain yang terkesan yaitu pemandangan bawah laut sangat indah dan excoctic karena keragaman terumbu karang dan asosiasi organismenya dan sudah dikenal secara global, selain itu banyak keragaman biota-biota *native* yang dijadikan sumber pangan.

Peningkatan populasi penduduk dan urbanisasi ke daerah Teluk Mutiara sebagai pusat aktivitas, berdampak pada volume barang sisah pakai (sampah) yang meningkat, dan kesadaran masyarakat tentang pengelolaan sampah yang buruk, akibatnya semua dengan mudah terlepas ke lingkungan terutama perairan Teluk Mutiara akhirnya mengganggu kestabilan ekologi, dampak lainnya adalah jarak antara Perairan Teluk Mutiara dengan beberapa spot *diving* sangat dekat sehingga dapat berpengaruh pada kesehatan terumbu karang.

Bagian-bagian artikel buku ini sudah pernah dimuat di beberapa media yang diterbitkan di Alor dan beberapa artikel lainnya merupakan penelitian penulis. Isu lingkungan dengan parameter biota merupakan isu seksi oleh karena Kabupaten Alor merupakan daerah tujuan wisata akan tetapi tidak dibarengi dengan kesiapan Pemerintah dan Masyarakat untuk menata dan menyiapkan peraturan (*policy*) tentang maksud tersebut.

Buku ini di persembahkan kepada siapa saja yang mencintai lingkungan baik bagi para Akademisi maupaun masyarakat umum. Semoga memberi manfaat dalam rangka ikut memikirkan kesehatan lingkungan ataupun strategi-strategi menyiapkan langkah menanggulangi kerusakan lingkungan terutama lingkungan perairan Teluk Mutiara.

Ucapan terima kasih, penulis sampaikan kepada **Prof. Dr. Ir. Chafid Fandeli, M.S.**, yang seluruh aktivitas profesi akademiknya sangat konsen terhadap bidang pariwisata berbasis ekologi (ekowisata), walaupun dengan tingkat kesibukan begitu tinggi sebagai peneliti setelah menjadi Emiritus Guru Besar pada Fakultas Kehutanan Universitas Gajdah Mada Yogyakarta dan saat ini sebagai Rektor Universitas Teknik Yogyakarta, akan tetapi bersedia memberikan dukungan pikiran konstruktif pada buku ini melalui penulisan Kata Pengantar.

Ucapan terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan untuk Bapak Alfons F. Gorang selaku Rektor Universitas Tribuana Kalabahi dan Bapak Permenas L. Kolly selaku Ketua Yayasan Tribuana yang dengan jiwa pengayom telah banyak membantu baik secara moril maupun metaril,

Penulisan buku ini mendapat dukungan berbagai pihak

terutama motivasi sahabat yang menaruh kasih disetiap waktu dan menjadi saudara dalam setiap kesukaran yaitu Fredrik A. Kande dan Zakarias Atapada (Mobi Pada), yang tak lelah memberikan saran yang knstruktif. Sahabat Jon I. Molina, Daud Jaha, dan Yahya B. Moyopu, yang bersedia membuat desain serta menjadi editor. Tidak lupa istri tercinta Merina Kaituka dan anak-anak Omi, Bela dan Galatia yang selalu memberikan dukungan.

Akhirnya "Tak ada jarum yang patah" Buku Status Pencemaran Perairan Teluk Mutiara" (Gerbang Surga Berselimut Sampah), baik dari segi isi maupun bentuknya tentu masih jauh dari harapan. Oleh karena itu penulis menanti kritik dan saran dari pembaca dan pengguna buku ini. Semoga bermanfaat.

Kalabahi, 22 Oktober 2018

Penulis

PENGANTAR

Buku ini, sangat berguna bagi pembangunan di ekosistem perairan laut. Indonesia yang memiliki laut luasnya tiga kali wilayah daratan. Selain sangat luas, pada ekosistem perairan ini memiliki kekayaan yang sangat tinggi dan beranekaragam.

Ekosistem laut yang memiliki zona terjauh dari darat yaitu ZEE hingga pasang surut serta ekosistem pesisir di darat memiliki peluang untuk dimanfaatkan oleh semua sektor pembangunan. Konsep dasar konservasi dalam pembangunan yang memanfaatkan sumberdaya alam laut dapat diketemukan dalam buku ini.

Untuk pembangunan bidang yang paling rendah dampaknya adalah pariwisata marina (*Marine Tourism*). Apalagi bila dikembangkan wisata minat khusus (*Special Interest Tourism*). Upaya mempertahankan kualitas lingkungan di perairan laut telah banyak diuraikan di buku status pencemaran di laut Mutiara ini.

Semoga buku ini bermanfaat bagi para pembacanya.

Prof. Dr. Ir. Chafid Fandeli, M.S.

Salam Hangat,

Muhammad Reno Fandelika, asstn

Departemen Politik dan Pemerintahan
Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik
Universitas Gadjah Mada

DAFTAR ISI

Sekapur Sirih	iii
Pengantar	vii
Bagian Kesatu	1
KARAKTERISTIK SAMPAH	
YANG TERDAPAT DI SEKITAR TELUK MUTIARA	
A. Jenis Sampah	3
B. Model Penanganan Sampah.....	6
Bagian Kedua	9
LAUT SUMBER KEHIDUPAN	
A. Pengaruh Tumpahan Minyak Pada Kehidupan Organisme	13
B. Komponen berbahaya Sampah dari Plastik.....	15
1. Mengapa plastik berbahaya?	17
2. Apa yang berbeda antara plastik dengan styrofoam ?	17
3. Kandungan kimia berbahaya dalam plastik dan styrofoam.....	17
4. Apa dan bagaimana DOP atau DEHP	21

Bagian Ketiga.....	23
MENGUKUR KONTAMINASI DENGAN PENDEKATAN KEHILANGAN BIOTA DI PERAIRAN TELUK MUTIARA	
A. Sumber dan jenis pencemaran di perairan laut.	27
B. Dampak pencemaran air laut terhadap lingkungan	30
C. Mengukur kontaminasi air laut melalui ketersediaan biota di perairan Teluk Mutiara	35
Bagian Keempat.....	39
BIOAKUMULASI Pb DAN Zn PADA KERANG DARAH (ANADARA GRANOSA) DI PERAIRAN TELUK MUTIARA	
A. Efek toksik Pb.....	43
B. Efek toksik Zn.....	47
C. Unsur logam di perairan.....	49
D. Unsur logam di sedimen	52
E. Unsur logam pada biota bentik.....	54
F. Ekofisiologi Kerang darah (<i>Anadara granosa</i>) sebagai bioindikator	57
G. Kandungan Pb pada kerang darah (<i>Anadara granosa</i>)	60
H. Kandungan Zn pada Kerang darah (<i>Anadara granosa</i>)	65
I. Concentration factor dan laju akumulasi Pb dan Zn pada kerang darah (<i>Anadara granosa</i>) ..	69
J. Akumulasi Pb dan Zn pada organ Kerang darah (<i>Anadara granosa</i>)	73
K. Kandungan logam Pb dan Zn pada sedimen	76
L. Parameter lingkungan	77

Daftar Isi

1. Derajat keasaman (pH).....	79
2. Suhu.....	79
3. Salinitas.....	80
M. Distribusi dan kelimpahan kerang darah (<i>Anadara granosa</i>) disemua stasiun pengamatan	82
Bagian Kelima	85
ANALISIS PENCEMARAN BERDASARKAN INDEKS KERAGAMAN POPULASI TERIPANG (<i>Holothuria Sp</i>) DI PERAIRAN TELUK MUTIARA	
A. Alur produktivitas pencemar	89
B. Dampak pencemaran terhadap ekologi laut.....	91
C. Deteksi kontaminasi air laut melalui biota perairan	95
D. Ekofisiologi Teripang (<i>Holothuria sp</i>)	100
E. Morfologi dan anatomi teripang (<i>Holothuria sp</i>)	101
F. Habitat Teripang (<i>Holothuria sp</i>)	103
G. Faktor Lingkungan Pendukung Kehidupan Teripang (<i>Holothuria sp</i>).....	104
H. Peran Krusial Teripang (<i>Holothuria sp</i>)	105
I. Dampak lain dari perkembangan Teluk Mutiara	106
J. Jumlah populasi dan keragaman teripang (<i>Holothuria sp</i>)	108
K. Hasil Indeks Keragaman Shannon-Wiener dan Simpson	110
1. Indeks Keragaman Shannon-Wiener	110
2. Indeks Keragaman Simpson	111
L. Parameter Fisika-kimiawi	112

Bagian Keenam	117
SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	117
B. Saran.....	118
DAFTAR PUSTAKA	119

Bagian Kesatu

KARAKTERISTIK SAMPAH YANG TERDAPAT DI SEKITAR TELUK MUTIARA

Sampah yang dihasilkan oleh masyarakat tentunya sulit dihindarkan akan tetapi dapat diminimalisir dengan perilaku atau cara hidup yang lebih ramah lingkungan. Sampah dihasilkan oleh masyarakat dalam segala aktifitas (*antrophogenik*) selalu memicu terjadinya pencemaran seperti pencemaran tanah, udara dan perairan. Dari berbagai sumber, ditemukan bahwa definisi sampah adalah bahan baik padat atau cair yang tidak dipergunakan lagi dan dibuang. Selanjutnya Connel and Miller (1995); Darmono (1995); (2004) menyebutkan, sampah merupakan konsep buatan manusia, dalam proses-proses alam tidak ada sampah, yang ada hanya produk-produk yang tak bergerak.

Sampah dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia, bila tidak dikelola secara teratur dan berkesinambungan. Lebih lanjut Palar (1994); Connel and Miller (1995); Darmono (1995); (2004) menyatakan peristiwa masuknya sampah ke lingkungan inilah yang dikenal sebagai peristiwa pencemaran lingkungan.

Meningkatnya populasi penduduk disetiap daerah atau kota maka jumlah sampah yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini menjadi persoalan tersendiri bagi daerah-daerah berkembang seperti kota Kalabahi. Penanggulangan sampah secara tuntas belum dapat dilakukan dan umumnya masih dibuang pada penimbunan sampah terbuka (*open dumping*) atau *sanitary lanfield*. Secara umum komposisi dari sampah disetiap daerah atau kota hampir sama (Tabel 1).

Tabel 1. Penyebaran sampah secara umum diberbagai daerah di Indonesia

Kertas dan katun	± 35%
Logam	± 7%
Gelas	± 5%
Sampah halaman dan dapur	± 37%
Kayu	± 3%
Plastik, karet, dan kulit	± 7%
Lain-lain	± 6%

Sumber : Achmad (2004)

Dampak negatif dari sampah-sampah tersebut dapat terjadi di tempat penampungan sementara (TPS) yang terdapat disetiap wilayah seperti disetiap RW atau kelurahan, pasar, maupun di tempat penampungan akhir. Dampak negatif di tempat

penampungan sementara (TPS) biasanya dalam bentuk bau yang kurang sedap karena terjadi penguraian secara anaerob, kumpulan lalat diatas sampah yang dapat menimbulkan terjangkitnya penyakit dan estetika (Fardiaz dan Srikandi, 1992; Soemarwoto, 2004; Arya dan Wisnu, 2009; Suharto, 2011)

Selanjutnya Fardiaz dan Srikandi, (1992); Palar (1994); Darmono (1995); Soemarwoto, (2004); Darmono (2005); Arya dan Wisnu, (2009); Suharto, (2011), mengatakan tempat penampungan sampah yang bersifat sementara jika dibiarkan dalam jangka waktu yang lama dapat menimbulkan dampak negatif yang lebih besar karena selain bau atau aroma yang tidak sedap yang berasal dari penguraian secara anaerob dari komponen-komponen sampah, seperti gas H_2S , NH_3 , CH_4 juga dapat terjadi rembesan dari proses *leaching* logam-logam berbahaya kedalam air tanah atau sumber air.

A. Jenis Sampah

Menurut Arya dan Wisnu, (2009) ada beberapa jenis sampah diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Berdasarkan sumbernya maka sampah dapat dibagi menjadi;
 - 1) Sampah alam;
 - 2) Sampah manusia;
 - 3) Sampah konsumsi;
 - 4) Sampah nuklir;
 - 5) Sampah industry;
 - 6) Sampah pertambangan.

- b. Berdasarkan sifatnya maka sampah dapat dibagi menjadi;
 - 1) Sampah organik - dapat diurai (*degradable*);
 - 2) Sampah anorganik - tidak terurai (*undegradable*).
- c. Menurut bentuknya sampah dapat dibagi menjadi:
 - 1) Sampah Padat. Sampah padat adalah segala bahan buangan selain kotoran manusia, urine dan sampah cair. Sampah ini dapat berupa sampah rumah tangga: sampah dapur, sampah kebun, plastik, metal, gelas dan lain-lain. Menurut bahannya sampah ini dikelompokkan menjadi sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari barang yang mengandung bahan-bahan organik, seperti sisa-sisa sayuran hewan, kertas, potongan-potongan kayu dari peralatan rumah tangga, potongan-potongan ranting, rumput pada waktu pembersihan kebun dan sebagainya. Berdasarkan kemampuan diurai oleh alam (*biodegradability*), maka dapat dibagi lagi menjadi:
 - a) *Biodegradable* yaitu sampah yang dapat diuraikan secara sempurna oleh proses biologi baik aerob atau *anaerob*, seperti: sampah dapur, sisa-sisa hewan, sampah pertanian dan perkebunan.
 - b) *Non-biodegradable* yaitu sampah yang tidak bisa diuraikan oleh proses biologi. Dapat dibagi lagi menjadi: *Recyclable*: sampah yang dapat diolah dan digunakan kembali karena memiliki nilai secara ekonomi seperti plastik, kertas, pakaian dan lain-lain.
 - c) *Non-recyclable*: yaitu sampah yang tidak memiliki

nilai ekonomi dan tidak dapat diolah atau diubah kembali seperti tetra packs, carbon paper, thermo coal dan lain-lain.

- 2) Sampah Cair. Sampah cair adalah bahan cairan yang telah digunakan dan tidak diperlukan kembali dan dibuang ke tempat pembuangan sampah.
 - a) Limbah hitam: sampah cair yang dihasilkan dari toilet. Sampah ini mengandung patogen yang berbahaya.
 - b) Limbah rumah tangga: sampah cair yang dihasilkan dari dapur, kamar mandi dan tempat cucian. Sampah ini mungkin mengandung patogen.

Pada umumnya sampah-sampah yang berserakan di areal pesisir (pantai) Teluk Mutiara adalah berupa plastik jajanan, bekas aqua gelas atau botol, kertas, kayu, dan kaleng yang sulit untuk diuraikan. Bahkan diseperti sudut-sudut kota Kalabahi terdapat sampah-sampah tidak bertuan, sampah-sampah itu dibiarkan berserakan begitu saja semakin hari semakin banyak dan menumpuk. Tumpukan sampah yang berlebihan dapat mengundang, pertumbuhan organisme-organisme yang membahayakan, mencemari udara, tanah dan air. Dampak negatif yang ditimbulkan akan banyak sekali, misalnya menimbulkan bau yang tidak sedap dan akan merusak keindahan lingkungan sekitarnya bahkan kesehatan manusia.

Selain dampak yang telah disebutkan tadi, secara tidak langsung sampah yang menumpuk akan berpengaruh pada perubahan iklim akibat adanya kenaikan temperatur bumi atau yang lebih dikenal dengan istilah **Pemanasan Global**. Seperti

yang telah kita ketahui bahwa pemanasan global terjadi akibat adanya peningkatan gas-gas rumah kaca seperti uap air, karbondioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrooksida (N_2O).

Gas karbondioksida (CO_2), metana (CH_4) dan dinitrooksida (N_2O) tidak hanya berasal dari penumpukan sampah-sampah saja, tetapi berasal juga dari pembakaran-pembakaran sampah plastik. Pembakaran ini akan sangat merugikan terutama bagi kesehatan masyarakat disekitar tempat pembakaran selain itu abu dari sisa pembakaran sampah akan menimbulkan gangguan pernafasan pada masyarakat sekitar (Darmono, 1995; Soemarwoto, 2004; Darmono 2005; Suharto, 2011)

Jenis dan sebaran sampah di areal pesisir Teluk Mutiara dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Penyebaran sampah secara umum di Areal Teluk Mutiara

Kertas dan katun	$\pm 37\%$
Logam	$\pm 7\%$
Gelas	$\pm 2\%$
Sampah halaman dan dapur	$\pm 8\%$
Kayu	$\pm 3\%$
Plastik, karet, dan kulit	$\pm 40\%$
Lain-lain	$\pm 4\%$

Sumber : Data primer

B. Model Penanganan Sampah

Pengelolaan sampah merupakan salah satu proses yang diperlukan, dengan tujuan mengubah sampah menjadi material

yang memiliki nilai ekonomis atau mengolah sampah agar menjadi material yang tidak membahayakan bagi lingkungan sekitar.

Secara garis besar Arya dan Wisnu, (2009); Suharto, (2011), menjelaskan ada tiga sistem pengelolaan sampah, yaitu dengan cara:

1. Kimiawi melalui pembakaran.

Pada sistem ini perlu diketahui bahwa dalam melakukan pembakaran dilakukan di lokasi yang sudah di isolasi dan diperuntukan semata-mata untuk pembakaran sampah tidak disemua tempat, karena sampah bisa terdiri dari berbagai bahan yang belum tentu aman. Bahan seperti kaleng aerosol, plastik dan karet dapat menghasilkan gas yang menimbulkan kanker bila dibakar. Hal ini bisa dihindari dengan memisahkan sampah terlebih dahulu, selain itu harus dipastikan bahwa ketika sampah organik yang dibakar, tidak terlalu banyak sampah basah, dan lakukan jauh dari kerumunan orang banyak atau lingkungan yang padat penduduk, oleh karena dapat menghasilkan gas *karbondioksida* (CO_2) *metana* (CH_4), dan *dinitrooksida* (N_2O) dalam jumlah besar selain itu, menghasilkan senyawa yang disebut *dioksin*. *Dioksin* adalah istilah yang umum dipakai untuk salah satu rumpun bahan kimia beracun yang mempunyai struktur kimia yang mirip serta mekanisme peracunan yang sama. Rumpun bahan kimia beracun ini termasuk.

- a) *Polychlorinated Dibenzo Dioxins* (PCDD);
- b) *Polychlorinated Dibenzo Furans* (PCDF) dan;

- c) *Polychlorinated Biphenyls* (PCB). Racun udara dioksin akan berbahaya pada gangguan fungsi daya tahan tubuh, kanker, perubahan hormon, dan pertumbuhan yang abnormal. Dengan demikian pengurangan sampah dengan pembakaran di lokasi yang berdekatan dengan pemukiman lebih baik dihindari.
- 2. Cara biologis melalui proses *composing*.
Merupakan proses pembusukan secara alami dari materi organik, misalnya daun, limbah pertanian (sisa panen), sisa makanan dan lain-lain. Pembusukan itu menghasilkan materi yang kaya unsur hara, antara lain nitrogen, fosfor dan kalium yang disebut kompos atau humus yang baik untuk pupuk tanaman.
- 3. Daur ulang (pemanfaatan kembali).
Daur ulang sendiri memang tidak mudah, karena kadang dibutuhkan teknologi dan penanganan khusus. Tapi dapat dilakukan dengan cara yang sederhana, yaitu di mulai dari kita sendiri misalnya:
 - a) Mengumpulkan kertas, majalah, surat kabar bekas dan kaleng atau botol gelas untuk di daur ulang dan sisa-sisa untuk di daur ulang lewat proses bank sampah.
 - b) Menggunakan berbagai produk kertas maupun barang lainnya hasil daur ulang.

Bagian Kedua

LAUT SUMBER KEHIDUPAN

Apakah tepat laut menjadi tempat sampah ? Sebuah pertanyaan yang menggelitik, manakala dibandingkan dengan jasa lingkungan yang telah disumbangkan untuk kehidupan manusia. Dari sudut pandang ini sangat terlihat arogansi manusia yang terus membuang sampah tidak pada tempatnya seperti di selokan-selokan, yang kemudian terbawa oleh arus air atau langsung dibuang ke pesisir pantai dan terbawa arus air laut, kemudian terpendam dan mengakibatkan pencemaran laut. Kondisi diatas merupakan rangkaian kejadian yang sedang terjadi hampir disemua kalangan masyarakat diberbagai daerah di Indonesia, termasuk juga di Kabupaten Alor, terutama masyarakat yang

mendiami pesisir Teluk Mutiara. Mengapa Teluk Mutiara menjadi perhatian, hal ini disebabkan Teluk Mutiara memiliki topografi alam yang berpotensi memedamkan limbah pencemar akibat aktivitas manusia (*antrophogenik*) selain itu merupakan daerah yang padat penduduk, pusat aktivitas perkotaan, dilain sisi juga dijadikan areal untuk mencari ataupun memungut sumber daya perikanan untuk dikomersilkan atau dijadikan bahan pangan untuk dikonsumsi sehari-hari.

Melalui konteks pemanfaatan ini perlu disediakan informasi kepada kaum awam (masyarakat) tentang fungsi dan kegunaan perairan laut sehingga dapat memberikan penilaian yang konprehensif yang kemudian dapat menjawab pertanyaan apakah wajar perairan laut dijadikan tempat sampah ? yang telah memberikan banyak jasa kehidupan.

Laut merupakan suatu ekosistem yang kaya akan sumber daya alam termasuk keanekaragaman sumber daya hayati yang dimanfaatkan untuk manusia. Kebersihan suatu perairan laut berhubungan positif dengan kelangsungan kehidupan organisme yang hidup didalamnya seperti berbagai jenis ikan, terumbu karang, mangrove, rumput laut. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (selanjutnya disebut PP) No.19/1999 tentang "Pencemaran Laut" diartikan sebagai masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi dan atau komponen lain kedalam lingkungan laut oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan laut tidak sesuai lagi dengan baku mutu atau fungsinya. Pencemaran itu secara umum akan mengurangi kemampuan lingkungan untuk mendukung pembangunan

berkelanjutan. Secara khusus akan mengurangi kemampuan sumber daya yang diperbarui untuk memperbarui diri (Hutagalung, 1994; Palar, 1994; Sastrawijaya, 2000; Spellerberg, 2005; Widowati, 2008; Wasi *et al.*, 2013; Plaimo, 2016)

Sebagaimana diketahui bahwa 70% wilayah Kabupaten Alor adalah perairan dan dikenal sebagai daerah kepulauan yang telah memberikan jasanya untuk kehidupan manusia namun perilaku manusia terus membebani lingkungan perairan dengan sampah sungguh perilaku ironis dan masuk dalam kategori ***Kejahatan Lingkungan***.

Air merupakan senyawa kimia yang terdiri dari atom H dan O. Sebuah molekul air terdiri dari satu atom O yang berikatan kovalen dengan dua atom H, jika air laut maka di asosiasikan dengan molekul Na^+ dan Cl^- (Achmad, 2004; Soemarwoto, 2004). Molekul air yang satu dengan molekul-molekul air lainnya bergabung dengan satu ikatan hydrogen inilah yang menyebabkan air mempunyai sifat-sifat yang khas (Tabel 3).

Tabel 3. Sifat-sifat penting dari air

Sifat	Efek dan kegunaan
Pelarut yang sangat baik	Transport zat-zat makanan dan bahan buangan yang dihasilkan proses biologi
Konstanta dielektrik paling tinggi diantara cairan murni lainnya	Kelarutan dan ionisasi dari senyawa ini tinggi dalam larutannya
Tegangan permukaan lebih tinggi dari pada cairan lainnya	Faktor pengendali dalam fisiologi; membentuk fenomena tetes dan permukaan

Sifat	Efek dan kegunaan
Transparan terhadap cahaya tampak dan sinar yang mempunyai panjang gelombang lebih besar dari ultraviolet	Tidak berwarna, mengakibatkan cahaya yang dibutuhkan untuk fotosintetis mencapai kedalaman tertentu
Bobot jenis tertinggi dalam bentuk cairan (fasa cair) pada 4° C	Air beku (es) mengapung, sirkulasi vertical menghambat stratifikasi badan cair
Panas penguapan lebih tinggi dari material lainnya	Menentukan transfer panas dan molekul air antara atmosfer dan badan air
Kapasitas kalor lebih tinggi dibandingkan dengan cairan lain kecuali amonia	Stabilisasi dari temperatur organisme dan wilayah geographis
Panas laten dan peleburan lebih tinggi dari pada cairan lain kecuali amonia	Temperatur stabil pada titik beku

Sumber : Manahan 1994

Air merupakan pelarut yang sangat baik bagi banyak bahan, sehingga air merupakan media transport utama bagi zat-zat makanan dan produk buangan (sampah) yang dihasilkan proses kehidupan. Oleh karena itu air yang ada di bumi tidak pernah terdapat dalam keadaan murni, tetapi selalu ada senyawa mineral atau unsur lain yang terdapat didalamnya tidak terkecuali perairan pada Teluk Mutiara. Sumber dari pencemaran laut yang umumnya terlihat di pesisir Teluk Mutiara dan beberapa tempat lain di wilayah Kabupaten Alor umumnya adalah sampah berbahan plastik dan tumpahan minyak yang bersumber dari transportasi laut.

A. Pengaruh Tumpahan Minyak Pada Kehidupan Organisme

Menurut Furkhon (2000), tumpahan minyak yang terjadi di laut terbagi kedalam dua tipe, minyak yang larut dalam air dan akan mengapung pada permukaan air dan minyak yang tenggelam dan terakumulasi didalam sedimen sebagai deposit hitam pada pasir dan batuan-batuan di pantai. Minyak yang mengapung pada permukaan air tentu dapat menyebabkan air berwarna hitam dan akan mengganggu organisme yang berada pada permukaan perairan, mengurangi intensitas cahaya matahari yang siap digunakan oleh fitoplankton untuk berfotosintesis, dan dapat memutus rantai makanan pada daerah tersebut, jika hal demikian terjadi, maka secara langsung akan mengurangi laju produktivitas primer pada daerah tersebut karena terhambatnya fitoplankton untuk berfotosintesis (Suratmo, 1990; Saefudin *et al.*, 2000; Yusma dan Murtini, 2005; Wardhana, 2006; Yokoyama and Ishihi, 2010; Plaimo, 2016)

Sementara pada minyak yang tenggelam dan terakumulasi didalam sedimen sebagai deposit hitam pada pasir dan batuan-batuan di pantai, akan mengganggu organisme interstitial maupun organisme intertidal, organisme intertidal merupakan organisme yang hidupnya berada pada daerah pasang surut, efeknya adalah ketika minyak tersebut sampai ke bibir pantai, maka organisme yang rentan terhadap minyak seperti kepiting, anemon, moluska dan lainnya akan mengalami hambatan pertumbuhan, bahkan dapat mengalami kematian (Palar, 1994; Manahan, 1994; Muhajir *et al.*, 2004; Mislani *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2013; Wasi *et al.*, 2013)

Senyawa Hidrokarbon yang terkandung dalam minyak bumi berupa benzene, toluena, *ethylbenzen*, dan isomer *xylena*, dikenal sebagai BTEX, merupakan komponen utama dalam minyak bumi, bersifat mutagenic dan karsinogenik pada manusia. Senyawa ini bersifat rekalsitran, yang artinya sulit mengalami perombakan di alam, baik di air maupun di darat, sehingga hal ini akan mengalami proses *biomagnetion* pada ikan ataupun pada biota laut lain. Bila senyawa aromatic tersebut masuk kedalam darah, akan diserap oleh jaringan lemak dan akan mengalami oksidasi dalam hati membentuk phenol, kemudian pada proses berikutnya terjadi reaksi konjugasi membentuk senyawa *glucuride* yang larut dalam air, kemudian masuk ke ginjal dan berujung terjadi malfungsi (Hutagalung, 1984; Palar, 1994; Darmono, 1995; 2004; Plaimo, 2016).

Pada saat penetrasi minyak masuk ke lingkungan laut, maka minyak tersebut dengan segera akan mengalami perubahan secara fisik dan kimia. Diantara proses tersebut adalah membentuk lapisan (*slick formation*), menyebar (*dissolution*), menguap (*evaporation*), polimerasi (*polymerization*), emulsifikasi (*emulsification*), emulsi air dalam minyak (*water in oil emulsions*), emulsi minyak dalam air (*oil in water emulsions*), fotooksida, biodegradasi mikorba, sedimentasi, dicerna oleh plankton dan bentukan gumpalan (Achmad, 2004; APHA, 2005; Mukhstasor, 2007). Hampir semua tumpahan minyak di lingkungan laut, dapat dengan segera membentuk sebuah lapisan tipis di permukaan. Hal ini dikarenakan minyak tersebut digerakkan oleh pergerakan angin, gelombang dan arus, selain gaya gravitasi dan tegangan permukaan.

Komponen minyak yang tidak dapat larut didalam air akan mengapung, menyebabkan air laut berwarna hitam. Beberapa komponen minyak tenggelam dan terakumulasi didalam sedimen sebagai deposit hitam pada pasir dan batuan-batuan di pantai. Komponen *hidrokarbon* yang bersifat toksik berpengaruh pada reproduksi, perkembangan, pertumbuhan, dan perilaku biota laut, terutama pada plankton, bahkan dapat mematikan ikan, dengan sendirinya dapat menurunkan produksi ikan. Proses emulsifikasi merupakan sumber *mortalitas* bagi organisme, terutama pada telur, larva, dan perkembangan embrio karena pada tahap ini sangat rentan pada lingkungan tercemar (Fakhrudin, 2004).

Sifat akumulasi ini, dapat dipindahkan dari organisme satu ke organisme lain melalui rantai makanan. Jadi akumulasi minyak didalam zooplankton dapat berpindah ke ikan pemangsanya. Demikian seterusnya bila ikan tersebut dimakan ikan yang lebih besar, hewan-hewan laut lainnya bahkan jika hewan laut itu kemudian dikonsumsi manusia, dapat merusak komunikasi antar sel dan menjadi cikal – bakal tumbuhnya sel tumor dan kanker.

B. Komponen berbahaya Sampah dari Plastik

Dalam keseharian dapat kita jumpai bahan terbuat dari plastik seperti kantong plastik, bekas jajanan, botol-botol plastik dan gelang karet. Berikut ini penjelasan tentang bahan-bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan produk-produk yang digunakan sebagai bahan dasar plastik menurut Achmad, (2004); Winarno (2004) antara lain :

1. *Styrofoam* (Gabus).

Bahan pengemas styrofoam atau polystyrene telah menjadi salah satu pilihan yang paling populer dalam bisnis pangan. Tetapi, penelitian terakhir membuktikan styrofoam sangat diragukan keamanannya. *Styrofoam* yang dibuat dari kopolimer styren ini menjadi pilihan bisnis pangan karena mampu mencegah kebocoran dan tetap mempertahankan bentuknya saat dipegang. Selain itu, bahan tersebut juga mampu mempertahankan panas dan dingin tetapi tetap nyaman dipegang, mempertahankan kesegaran dan keutuhan bahan yang dikemas, biaya murah, lebih aman, serta ringan.

2. *Polyvinylchlorida* (PVC)

Sebagian di antaranya kemasan plastik berasal dari material *polyetilen*, *polypropilen*, *polyvinylchlorida* (PVC) yang jika dibakar atau dipanaskan bisa menimbulkan dioksin, yaitu suatu zat yang sangat beracun dan merupakan penyebab kanker serta dapat mengurangi sistem kekebalan tubuh seseorang. Untuk menjaga plastik agar tidak berubah selama digunakan sebagai pengemas makanan merupakan cara aman untuk menghindari bahaya-bahaya tersebut. Dan bahan utama pembuat PVC adalah DEHP/DOP. DEHP/DOP memang populer digunakan dalam proses plastisasi. Konsumsi DEHP/DOP pada industri PVC mencapai 50-70% dari total produksi *plasticizer* (senyawa aditif yang ditambahkan kedalam polimer untuk menambah fleksibilitas dan daya kerjanya). Selain efisien, DEHP/DOP juga memberikan viskositas yang stabil pada saat aplikasinya

pada PVC. Lebih dari itu, harga DEHP/DOP paling murah di antara sekitar 300 **plasticizer** yang dikembangkan, karena proses sintesanya sederhana dan bahan baku industri petrokimia ini juga melimpah.

1. Mengapa plastik berbahaya?

Winarno (2004) menjelaskan bahwa dewasa ini masih terdapat masyarakat yang tidak mengetahui bahaya dari plastik itu sendiri, apabila kita tidak benar menggunakannya. Beberapa laporan ini menguak sisi lain dari kemudahan yang diberikan oleh bahan-bahan yang terbuat dari polimer sintetis.

2. Apa yang berbeda antara plastik dengan *styrofoam* ?

Styrofoam (gabus) praktis dipakai sebagai kemasan makanan. Demikian juga plastik. Tetapi keduanya juga mengandung zat-zat yang amat berbahaya bagi kesehatan tubuh. Kanker salah satu ancamannya. Bahan dasar pembuatan *Styrofoam* adalah *styren*. *Styren*, bahan dasar *styrofoam*, bersifat larut lemak dalam alkohol dan dapat luruh dalam air jika berada dalam lingkungan perairan yang lama. Hal yang sama juga terjadi pada plastik botol minuman mineral (Achmad, 2004; Winarno 2004).

3. Kandungan kimia berbahaya dalam plastik dan *styrofoam*

Ada bahan-bahan yang terkandung baik pada plastik maupun *styrofoam*. Bahan-bahan tersebut yaitu : *Diethyl phthalate* (DEHP) dan Bis (2-ethyl hexyl) *phthalate* (DOP), logam seng (Zn) dan

formalin. Ingat iklan tentang pipa plastik dari bahan *polyvinyl chlorida* (PVC) yang tak hancur meski diinjak-injak gajah? Sekarang, bayangkan bila unsur-unsur zat itu masuk ke tubuh melalui kemasan makanan dari bahan plastik maupun *styrofoam* (gabus) yang terlanjur kita buang ke pantai dan terbawa air kemudian berada dalam jangka waktu yang lama, masuk kedalam rantai makanan (*biomagnifikasi*) sangat mengancam pada tingkat trofik paling atas yaitu manusia jika hal ini benar-benar terjadi maka saja sistem pencernaan kita sulit mencernanya. Selanjutnya bahan berbahaya ini juga menyimpan zat benzen, suatu larutan kimia yang sulit dilumat oleh sistem pencernaan (Winarno 2004).

Benzen ini juga tidak bisa dikeluarkan melalui feses (kotoran) atau urine (air kencing). Akibatnya, zat ini semakin lama semakin menumpuk dan terbalut lemak. Inilah yang bisa memicu munculnya sel kanker. Sedangkan informasi penelitian yang dilakukan oleh divisi Keamanan Pangan Jepang, Juli 2001, mengungkapkan bahwa *styrofoam* dalam makanan sangat berbahaya. Zat tersebut dapat menyebabkan *endocrine disrupter* (EDC), yaitu suatu penyakit yang terjadi akibat adanya bahan **kimia karsinogen** dalam makanan. *Styrofoam* dalam pembuatan plastik sering digunakan bahan tambahan (aditif) untuk memperbaiki sifat plastik (Hutagalung, 1984; Palar, 1994; Darmono, 1995; 2004; Achmad, 2004; Winarno 2004).

Plastik pada umumnya dapat terurai sekitar 500-1000 tahun, meskipun kita mungkin tidak pernah tahu waktu yang sebenarnya. Banyak bahan kimia berbahaya yang dipancarkan dan dapat menyebabkan penyakit pada makhluk hidup. *Etilen*

oksida, *xylene* dan *benzene* adalah beberapa racun kimia yang terdapat didalam plastik dapat memberikan efek buruk terhadap lingkungan, selain itu menyebabkan kerusakan permanen pada makhluk hidup. Beberapa zat aditif ditemukan dalam plastik seperti *phylates*, *adipates*, dan bahkan *alkilfenol* telah dinyatakan sebagai gas beracun (Achmad, 2004).

Plastik adalah produk *non biodegradable* yang mempunyai potensi dalam membuat kerusakan parah bagi lingkungan. Pencemaran sampah plastik dapat diartikan sebagai akumulasi berbagai jenis bahan plastik baik itu didarat maupun di air seperti di lautan. Pada umumnya plastik merupakan polimer sintetik yang terdiri dari senyawa organik dan anorganik dan sebagian besar berasal dari petrokimia seperti *olefin*. Bahan plastik yang utama diklasifikasi sebagai *termoplastik* dan *termosetting*, meskipun hal ini sangat berguna dalam berbagai keperluan namun pembuangan sampah plastik menjadi ancaman bagi kehidupan semua makhluk hidup di dunia (Achmad, 2004; Winarno 2004).

Unsur-unsur kimia yang sebutkan diatas baik yang terkandung didalam bahan bakar fosil maupun *styrofoam* (gabus) dan plastik, sangat berbahaya jika berada atau terakumulasi dalam bahan pangan (biota) yang diperoleh dari perairan yang, terlihat secara kasat mata adanya tumpahan minyak (bahan bakar fosil) dan sampah plastik yang terpendam dalam jangka waktu yang lama seperti Teluk Mutiara, sudah pasti unsur itu telah terlibat dalam sistem rantai makanan atau trofik dan sesuai mekanismenya akan sangat berbahaya bagi kesehatan tingkatan trofik paling tinggi yaitu manusia. Kelompok limbah kimia ini

merupakan kelompok racun yang sifatnya cenderung masuk terus-menerus seperti *pestisida*, *uran* dan *dioksin* (Hutagalung, 1984; Palar, 1994; Darmono, 1995; 2004; Achmad, 2004; Winarno 2004).

Industri plastik banyak menggunakan senyawa yang dapat membuat plastik bersifat *soft and pliable*. Sedang diindustri pangan, untuk membuat produk pangan yang terdiri lemak dan air agar dapat tercampur dengan baik, dapat digunakan bahan penolong yang disebut *emulsifier* (Palar, 1994; Darmono, 1995; 2004; Winarno 2004). Didalam bahan *emulsifier* tersebut sering terjadi, baik disengaja atau karena keteledoran, terdapat senyawa ***plasticizer*** atau peliat, yang bernama Bis (2-ethyl hexyl) phthalate (DEHP), menurut sistem penamaan IUPAC. Senyawa tersebut boleh disebut dengan singkatan lain yaitu BEHP (Hutagalung, 1984; Darmono, 1995; 2004).

Bila jenis plastik yang digunakan oleh industri pangan mengandung *plasticizer* DOP/DEHP tersebut dan langsung bersentuhan dengan makanan, *plasticizernya* yang dapat bermigrasi masuk kedalam makanan, sehingga makanan tersebut tercemar (*tainted*) (Winarno 2004).

Hal ini disebabkan, dari segi keamanan pangan dan resiko kesehatan, senyawa DOP/DEHP tersebut sangat berbahaya. Menurut Kenneth K. Wu, Presiden Institute Riset Kesehatan Nasional, Taiwan, makanan yang tercemar oleh pengemulsi *plasticizer* tersebut dapat mengakibatkan penyakit kanker dan leukemia, serta penyakit endocrine disruptors, dapat memicu ketidak normalan sistem reproduksi khususnya laki-laki, dengan resiko delapan kali lebih besar bagi anak-anak dibanding

konsumen dewasa. Karena alasan tersebut konsumen muda usia akan menjadi korban yang paling beresiko terkena efek berbahaya bila senyawa DOP/DEHP terkonsumsi oleh mereka (Winarno 2004).

Bapak-bapak yang memiliki perut buncit (obesitas abdominal) dan para penderita insulin resistant (calon diabetes) cenderung memiliki kadar DOP/EDHP dan metabolitnya dalam urin yang lebih tinggi di banding pria yang normal.

4. Apa dan bagaimana DOP atau DEHP

Nama Kimia *Diocetyl phthalate* (DOP) dan DEHP yakni: Bis (*Diethyl Hexyl phthalate*), dengan rumus kimia : $C_{24}H_{38}O_4$ dan memiliki berat Massa : 390.56, serta melting point -50 derajat celcius dan boiling point ; 380,5 derajat celcius. Secara fisik DEHP memiliki tekanan uap yang rendah, tetapi penggunaan suhu tinggi sering terjadi dalam proses produksi barang-barang atau artikel terbuat dari PVC. Hal itu mengakibatkan terlepasnya DOP atau DEHP dalam jumlah yang relatif tinggi, dan hal itu punya konsekuensi dapat mengganggu kesehatan manusia (Hutagalung, 1984; Palar, 1994; Darmono, 1995; 2004; Achmad, 2004; Winarno 2004).

Dalam jumlah tinggi, residu DOP atau DEHP dapat dapat merembes ke dalam cairan yang bersentuhan langsung dengan plastik bahan pembungkus, dan biasanya dapat terjadi secara cepat bila terekstrak ke dalam bahan pangan atau pelarut **non polair**, seperti minyak, dimana makanan tersebut dikemas dalam bahan kemas PVC (Winarno 2004)..

US-FDA telah mengizinkan penggunaan bahan kemasan

yang mengandung DOP atau DEHP dalam makanan yang sebagian besar terdiri dari air. Sedang The US EPA menetapkan batas maksimum DOP atau DEHP dalam air 6 ppb dan US-OSHA dengan batas maksimum *occupational exposure* setinggi 5 mg/m³ udara (APHA 2005). Struktur dan berat massa molekul DOP/DEHP dapat dilihat pada gambar 1.

Gambar 1. Struktur dan berat Massa Molekul DOP/DEHP

DOP/DEHP

- o Primary use as plasticizer.
- o Insoluble in water, Boiling point: 386.9°C, Density: 0.9732 g/L, Molecular weight: 390.5618 g/mol.
- o Production: Phthalic anhydride with 2-octanol:

$$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO})_2\text{O} + 2 \text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4(\text{CO}_2 \text{C}_8\text{H}_{17})_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- o Used in medical devices, Toys, Pacifiers, Vinyl Upholstery, Food containers, Table cloths, Shower curtains.

Sumber: F.G. Winarno (2004)

Bagian Ketiga

MENGUKUR KONTAMINASI DENGAN PENDEKATAN KEHILANGAN BIOTA DI PERAIRAN TELUK MUTIARA

Menurut Hukum Termodinamika ke-2, semua kegiatan, termasuk kegiatan pembangunan, akan menaikkan entropi, yaitu ketidakteraturan. Salah satu bentuk kenaikan entropi ialah pencemaran. Berdasarkan hukum ini industri tidak dapat, tidak melepaskan zat pencemar kedalam lingkungan, (Suratmo, 1990; Sastrawijaya, 2000; Soemarwoto, 2004; Suhart, 2011; Wasi et al., 2013). Kabupaten Alor memiliki peluang sekaligus tantangan yang besar dalam mengembangkan dan mengelola potensi sumberdaya laut yang dimiliki dalam sektor pariwisata dan energi yang terbarukan. Wilayah laut Kabupaten Alor, memiliki kekayaan alam yang kaya serta menyediakan jasa-jasa

lingkungan yang beragam, seperti mineral, perikanan, ekosistem terumbu karang dan mangrove, maupun pariwisata.

Perairan laut adalah suatu komponen yang berinteraksi dengan lingkungan daratan, dimana buangan limbah dari daratan akan bermuara ke laut. Limbah tersebut yang mengandung polutan kemudian masuk kedalam ekosistem perairan pantai dan laut. Sebagian larut dalam air, sebagian tenggelam ke dasar dan terkonsentrasi ke sedimen, dan masuk ke dalam jaringan tubuh organisme laut (Hutagalung, 1984; Palar, 1994; Darmono, 1995; 2004; Achmad, 2004). Selanjutnya Hutagalung (1984); Palar (1994); Darmono (1995; 2004); Achmad (2004); Muhajir et al., (2004); Yusma dan Murtini (2005); Yap et al., (2006); Wahyuni et al., (2013) menyatakan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi kelautan diabad dua puluh ini, maka fungsi laut telah meningkat dengan bertambahnya sarana-sarana transportasi, ditemukannya bahan-bahan tambang dan galian terutama mineral, minyak dan gas bumi serta dimungkinkannya usaha-usaha untuk mengambil kekayaan laut tersebut, baik kekayaan di airnya maupun di dasar laut dan tanah dibawah dasar laut. Akan tetapi, dampak negatif yang dihasilkan sangatlah besar, yaitu polusi atau pencemaran yang mana merupakan peristiwa masuknya zat, energi, unsur, atau komponen lain yang merugikan lingkungan dari akibat aktivitas manusia atau proses alami. Serta menyebabkan polusi yang disebut polutan yang mana bila kadar melebihi atau kurang dari batas normal, berada pada tempat dan waktu yang tidak tepat.

Pencemaran laut adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain kedalam laut

oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga menyebabkan lingkungan laut menjadi kurang atau tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Polusi air laut adalah peristiwa masuknya zat, energi, unsur atau komponen lainnya kedalam air laut sehingga kualitas air terganggu. Kualitas air terganggu ditandai dengan perubahan bau, rasa dan warna, (Manahan, 1994; Sastrawijaya, 2000; Wasi *et al.*, 2013).

Pencemaran lingkungan mempunyai berbagai macam definisi, menurut Surat Keputusan Menteri Kependudukan Lingkungan Hidup No 02/MENKLH/1998, pencemaran lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya zat, makhluk hidup, energi kedalam air, tanah dan udara atau berubahnya tatanan komposisi air, udara, tanah akibat dari berbagai macam pengaruh kegiatan manusia dan proses alam, sehingga kualitas air, udara dan tanah menjadi kurang atau tidak sesuai lagi dengan fungsi awalnya. Sedangkan menurut MONKARIS (2008), pencemaran lingkungan dapat diartikan sebagai penambahan atau masuknya zat-zat asing dalam jumlah tertentu, sehingga dapat menyebabkan ancaman bagi kesehatan manusia, terganggunya kehidupan, terganggunya ekosistem dan rusaknya sumberdaya alam dalam suatu ekosistem.

Permasalahan pencemaran dan kerusakan lingkungan laut di Kabupaten Alor belum merupakan isu yang penting untuk dibahas atau dipikirkan oleh pemerintah bahkan dalam setiap kesempatan diberbagai momentum pemerintah selalu menyatakan Kabupaten Alor adalah **Surga Di Timur Matahari** tanpa mengawasi kondisi lingkungan dimana hampir disetiap sudut kota Kalabahi bertumpuk sampah tidak bertuan anomalnya

ketergantungan penduduk Kabupaten Alor khususnya Teluk Mutiara terhadap sumberdaya laut untuk kelangsungan hidupnya. Ancaman terhadap lingkungan laut juga datang akibat pencemaran, baik dari darat maupun dari laut, serta teknik pemanfaatan yang menyebabkan kerusakan. Limbah cair domestik dan plastik merupakan masalah pencemaran yang paling besar di banyak tempat di Perairan Teluk Mutiara. Hal ini umumnya disebabkan karena tidak atau kurang memadainya fasilitas untuk menangani dan mengelola limbah cair domestik dan plastik serta buruknya pemahaman masyarakat tentang bagaimana memperlakukan material atau barang sisah pakai mereka.

Resiko pencemaran minyak yang cukup tinggi merupakan ancaman tersendiri bagi lingkungan laut di kawasan Teluk Mutiara. Hal ini berkenaan dengan kegiatan transportasi lokal serta pelayaran kapal dan tanker minyak yang cukup intens di perairan Teluk Mutiara. Buangan limbah dari hotel dan restoran dan masyarakat di sepanjang pantai, dapat memberi ancaman berupa pencemaran dan kerusakan lingkungan pesisir. Masalah pencemaran yang dikaitkan dengan pertanian adalah sedimentasi pestisida dan pupuk. Aliran air hujan di daerah pertanian juga banyak mengandung bahan pencemar yang besar, seperti senyawa nitrogen yang jika sampai di perairan laut, dapat menyebabkan masalah *eutrofikasi*. Praktek penangkapan ikan yang salah, dengan menggunakan tuba, dinamit dan bahan beracun, masih terus dilakukan di beberapa daerah di Kabupaten Alor yang telah menyebabkan musnahnya terumbu karang dan ekosistemnya.

A. Sumber dan jenis pencemaran di perairan laut

Menurut, Suratmo, (1990); Fardiaz dan Srikandi, (1992) Manahan, (1994); Sastrawijaya (2004); Wardhana, (2006); Mukhtasor, (2007); Widowati, (2008); Losada et al., (2009) bahwasanya dalam perspektif global, pencemaran lingkungan laut dapat diakibatkan oleh limbah buangan kegiatan atau aktivitas di daratan (*land-based pollution*), maupun kegiatan atau aktivitas di lautan (*sea-based pollution*). Kontaminasi lingkungan laut akibat pencemaran dapat dibagi atas kontaminasi secara fisik dan secara kimiawi.

Sastrawijaya (2004), melakukan pengklasifikasian sumber pencemaran sebagai berikut:

- 1) Aktivitas di daratan (*land-based pollution*) yaitu: penebangan hutan (*deforestation*), buangan limbah industri (*disposal of industrial wates*), buangan limbah pertanian (*disposal of agricultural wates*), buangan limbah cair domestik (*sewage disposal*), buangan limbah padat (*solid waste disposal*), konversi lahan mangrove & lamun (*mangrove swamp conversion*), reklamasi di kawasan pesisir (*reclamation*);
- 2) Aktivitas di laut (*Sea-based pollution*): pelayaran (*shipping*), dumping di laut (*ocean dumping*), pertambangan (*mining*), eksplorasi dan eksploitasi minyak (*oil exploiration and exploitation*), budidaya laut (*mariculture*), perikanan (*fishing*).

Jenis bahan pencemar yang berasosiasi dengan lingkungan laut: patogen, sedimen, limbah padat, panas, material inorganik beracun, material organik beracun, minyak, nutrient (unsur hara), bahan radioaktif, *Oxygen depleting substances* (bahan-bahan yang menyebabkan oksigen yang terlarut dalam air laut

berkurang), material asam-basa, material yang merusak estetika.

Lebih lanjut Suratmo, (1990); Fardiaz dan Srikandi, (1992); Manahan, (1994); Achmad, (2004); Sastrawijaya (2004); Wardhana, (2006); Mukhtasor, (2007); Widowati, (2008); Losada *et al.*, (2009) menyebutkan menurut sumbernya, pencemaran berasal dari alam disebut pencemar alami (*naturally pollutants*) dan pencemar yang berasal dari kegiatan manusia disebut pencemar nyata (*true pollutants* atau *corollary pollutants*). Menurut jenisnya, pencemar perairan (Alabaster and Llyod, 1980; Yap *et al.*, 2004) dinyatakan sebagai berikut :

1. Pencemar Inorganik Lamban (*inner inorganic pollutant*): Bahan inorganik lamban, seperti pasir, partikel-partikel tanah, buangan dari industri pertambangan dan industri metalurgi, umumnya merupakan partikel-partikel padatan inorganik. Partikel-partikel tersebut berada di dalam air atau perairan dalam bentuk koloid maupun tersuspensi (melayang dalam kolom air) sehingga menyebabkan air menjadi keruh (*turbid*);
2. Pencemar Organik (*organic pollutant*): Pencemar organik terdiri dari pencemar organik tidak mudah urai (*nondegradable organic pollutant*) dan pencemar organik mudah urai (*degradable organic pollutants*). Pencemar organik tidak mudah urai diantaranya adalah batang kayu (*log*) yang berada di perairan, menyebabkan gangguan terhadap navigasi dan setelah mengendap, mendangkalkan perairan. *Detergent alkylbehenesulfonate* (sabun detergen dan pestisida *organochlorine* (misalnya, *dieldrin*, DDT) termasuk pencemar organik sukar urai dan pencemar

organik. Pencemar organik mudah urai antara lain sampah rumah tangga, kotoran manusia dan hewan, sampah dan limbah pertanian dan berbagai jenis limbah industri. Pencemar organik tersebut diperairan akan diuraikan oleh mikroba, terutama berbagai jenis bacteria;

3. Pencemar Beracun: Pencemar beracun adalah pencemar yang dapat mengganggu fungsi fisiologis atau merusak organ-organ tubuh termasuk darah, saraf dan enzim secara langsung. Tergantung dari sifat, modus operandi (*mode of actions*) dan kadar pencemar beracun yang mencemari perairan, maka pengaruh dan respon (tingkah laku) ikan yang terkena pencemar tersebut berbeda-beda;
4. Pencemar Radioaktif: Pencemar beradioaktif adalah limbah yang mampu menghasilkan radiasi (bahan tersebut disebut isotope). Pencemar beradioaktif dapat menyebabkan gangguan fungsi fisiologis organ-organ tubuh, kerusakan organ tubuh, terbentuknya sel-sel kanker dan mutasi gen;
5. Pencemar Biologis: Biota-biota penyebab penyakit atau kuman penyakit atau biota patogenik mencemari perairan melalui atau bersumber dari kotoran manusia, kotoran hewan maupun limbah perkolaman atau pertambakan ikan yang terkena penyakit atau ikan-ikan liar yang terkena penyakit dan biota parasitik.

Alabaster and Llyod, (1980); Achmad, (2004); Sastrawijaya (2004); Yap et al., (2004) menyatakan bila ditinjau dari daya urainya maka bahan pencemar pada perairan laut dapat dibagi atas dua jenis yakni:

1. Senyawa-senyawa konservatif, yang merupakan senyawa-senyawa yang dapat bertahan lama di dalam suatu badan perairan sebelum akhirnya mengendap ataupun terabsorpsi oleh adanya berbagai reaksi fisik dan kimia perairan. Contoh: logam-logam berat, pestisida, deterjen, dll.
2. Senyawa-senyawa non konservatif, yang merupakan senyawa yang mudah terurai dan berubah bentuk di dalam suatu badan perairan. Contoh : senyawa-senyawa organik seperti karbohidrat, lemak dan protein yang mudah terlarut menjadi zat-zat anorganik oleh mikroba.

B. Dampak pencemaran air laut terhadap lingkungan

Secara umum, Hutagalung (1984); Suratmo, (1990); Palar (1994); Darmono (1995; 2004); menjelaskan dampak pencemaran laut dapat berpengaruh terhadap :

1) Organisme Laut

Adanya pencemaran akan berdampak terhadap penurunan kualitas perairan, sehingga akan mengganggu berlangsungnya proses biologi maupun fisiologi organisme laut. Dan dengan demikian akan menyebabkan kematian yang pada akhirnya menurunkan populasi dan keanekaragaman hayati.

2) Terhadap ekosistem laut

Masuknya sisa-sisa pupuk dan bahan pencemar organik ke laut akan menyebabkan terjadinya "eutrofikasi" sehingga terjadi peledakan populasi organisme tertentu. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan keseimbangan dalam ekosistem laut.

3) Manusia

Pencemaran oleh logam-logam berat seperti Hg (*merkuri*) dan Cd (*cadmium*), dapat menyebabkan penyakit minimata seperti kasus di Jepang yang menyebabkan kematian dan cacat tubuh.

4) Kegiatan pariwisata dan industri

Perusakan kawasan wisata bahari dan ketersediaan air untuk industri dan pertanian.

Dampak dari beberapa jenis bahan pencemar yang sering menyebabkan terjadinya pencemaran di laut seperti yang nyatakan, Hutagalung (1984); Nybakken (1992); Palar (1994); Darmono (1995; 2004) sebagai berikut:

1) Dampak dari limbah industri

Logam Pb (*timbal*) dan Hg (*merkuri*) yang merupakan jenis bahan pencemar di laut, selain dapat menurunkan kualitas dan produktivitas perairan laut, juga dapat menimbulkan keracunan, karena unsur Hg dan Pb merupakan unsur logam berbahaya yang dapat menimbulkan penyakit pada manusia apabila terakumulasi pada organisme perairan yang dimakan manusia. Limbah industri lainnya yang umumnya terbuang ke badan sungai dan dialirkan ke laut atau yang langsung terbuang ke laut akan terakumulasi. Dalam jumlah tertentu yang melebihi kapasitas daya asimilatif perairan, bahan pencemar ini akan menjadi *sludge* yang menimbulkan bau busuk. Kandungan kimia *sludge* dapat menurunkan DO dan BOD serta meningkatkan COD. Disamping itu *sludge* mengeluarkan pula bahan beracun berbahaya seperti sulfida,

fenol, Cr (*heksavalen*), Pb (*timbal*), dan Cd (*cadmium*) yang dapat terakumulasi dalam organisme perairan tertentu dan secara tidak langsung merupakan ancaman bagi kehidupan manusia. Untuk itu limbah industri harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke laut melalui badan sungai.

2) Dampak dari limbah domestik dan pertanian

Limbah domestik berupa limbah rumah tangga dan kotoran manusia yang terbuang ke perairan apabila melebihi kemampuan asimilasi perairan sungai dan terbawa ke laut dapat mencemari perairan dan menimbulkan penyuburan berlebihan (*eutrofikasi*). Gejala ini akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen terlarut akibat meledaknya populasi organisme tertentu sehingga dapat menimbulkan kematian beberapa organisme perairan. Kondisi perairan yang mengalami "*eutrofikasi*", organisme makro-zoobenthos yang menjadi indikator lingkungan jarang sekali ditemukan. Sedangkan kadar NH_3 perairan meningkat dan pH-nya menjadi rendah (asam). Keadaan ini menunjukkan kondisi perairan yang tidak stabil dimana terjadi penurunan kualitas perairan sehingga organisme laut akan mati atau tidak dapat melaksanakan aktivitas hidupnya untuk proses pertumbuhan dan perkembangbiakan. Sedangkan limbah pertanian selain dapat menimbulkan *eutrofikasi* yang disebabkan akumulasi bahan-bahan organik sisa tumbuhan yang membusuk, akumulasi residu dari pestisida terutama bahan kimia beracun *chlorine* dan *organo-chlorine* juga dapat menimbulkan keracunan bagi organisme perairan yang pada akhirnya akan membawa kematian. Keadaan

ini tidak hanya mengancam kehidupan organisme yang hidup di habitat yang terkena kontaminasi bahan beracun saja, tetapi dapat mengancam kehidupan organisme lain yang secara ekologis mempunyai kaitan erat dengan organisme tersebut melalui aliran rantai makanan. Akibat tidak langsung dari kegiatan pertanian berupa perladangan berpindah dan penebangan hutan secara serampangan juga dapat menimbulkan pencemaran berupa sedimentasi dan pendangkalan sungai yang disebabkan oleh erosi. Proses kekeruhan dan sedimentasi ini bisa mencapai perairan estuaria dan perairan pantai. Secara ekologis proses kekeruhan karena sedimentasi dapat menyebabkan terganggunya penetrasi cahaya matahari kedalam perairan, sehingga kegiatan fotosintesa plankton maupun organisme laut lainnya menjadi terhenti.

3) Dampak dari buangan atau tumpahan minyak.

Buangan dan tumpahan minyak bumi akibat kegiatan penambangan dan pengangkutannya dapat menimbulkan pencemaran laut yang lebih luas karena terbawa arus dan gelombang laut. Pengaruh buangan atau tumpahan minyak terhadap ekosistem perairan laut adalah dapat menurunkan kualitas air laut secara fisik, kimia dan biologis. Secara fisik dengan adanya tumpahan atau buangan minyak maka permukaan air laut akan tertutup oleh minyak. Secara kimia, karena minyak bumi tergolong senyawa aromatik hidrokarbon maka dapat bersifat racun. Sedangkan secara biologi adanya buangan atau tumpahan minyak dapat mempengaruhi kehidupan organisme laut. Tumpahan

minyak bumi pada perairan laut akan membentuk lapisan filem pada permukaan laut, emulsi atau mengendap dan diabsorbsi oleh sedimen-sedimen yang berada di dasar perairan laut. Minyak yang membentuk lapisan filem pada permukaan laut akan menyebabkan terganggunya proses fotosintesa dan respirasi organisme laut. Sementara minyak yang teremulsi dalam air akan mempengaruhi epitel insang ikan sehingga mengganggu proses respirasi. Sedangkan minyak yang terabsorbsi oleh sedimen-sedimen di dasar perairan akan menutupi lapisan atas sedimen tersebut sehingga akan mematikan organisme-organisme penghuni dasar laut dan juga meracuni daerah-daerah pemijahan. Akibat terganggunya proses fotosintesa maka populasi plankton akan menurun. Penurunan populasi plankton akan diikuti oleh penurunan populasi organisme pemakan plankton (misalnya, ikan) yang diikuti pula dengan penurunan populasi burung pemakan ikan. Menurunnya populasi burung akan mengakibatkan guano (penghasil fosfat) akan berkurang sehingga akan terjadi penurunan hasil perikanan. Selain itu, buangan atau tumpahan minyak yang menyebar dengan cepat ke wilayah laut yang lebih luas akan menyebabkan rusaknya ekosistem hutan mangrove sehingga mengakibatkan terjadinya abrasi dan intrusi air laut, rusaknya tempat-tempat pemijahan (*Spawning ground*) dari organisme laut.

C. Mengukur kontaminasi air laut melalui ketersediaan biota di perairan Teluk Mutiara

Pencemaran air laut dapat berdampak sangat luas, misalnya dapat meracuni air laut, meracuni hewan yang hidup disekitar perairan yang terkontaminasi dan terlibat pada rantai makanan dan pada puncak trofik dapat meracuni manusia. Selain itu menjadi penyebab terjadinya ketidak seimbangan ekosistem di perairan tersebut (Suratmo, 1990; Fardiaz dan Srikandi, 1992; Manahan, 1994; Achmad, 2004; Sastrawijaya, 2004; Wardhana, 2006; Mukhtasor, 2007; Widowati, 2008; Losada *et al.*, 2009).

Indikator pencemaran menurut Kementrian Lingkungan Hidup (2004) dibagi dalam empat kategori antara lain :

- 1) Dampak terhadap kehidupan biota air
- 2) Dampak terhadap kualitas air tanah
- 3) Dampak terhadap kesehatan
- 4) Dampak terhadap estetika lingkungan

Keterkaitan dengan point pertama terhadap ketersediaan biota atau organisme ekonomi penting di perairan Teluk Mutiara yang juga dijadikan bahan pangan masyarakat lokal sehingga penelusuran tingkat pencemaran dengan pendekatan aspek biologis merupakan ide yang penting untuk dilakukan. Mengingat dampak pencemaran dapat mengakibatkan kematian atau hilangnya biota perairan laut yang memiliki sensitivitas terhadap kontaminan tertentu terutama di perairan teluk mutiara. Seperti yang dinyatakan oleh Soeparmo dalam sastrawijaya (2002) bahwa, dampak pencemaran air laut dapat mempengaruhi perubahan struktur dan fungsi ekosistem perairan laut baik hewan maupun tumbuhan.

Adapun data biota atau organisme yang populasinya menurun di pesisir Teluk Mutiara dalam 10 tahun terakhir dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Organisme yang telah mengalami penurunan populasi diperaian Teluk Mutiara dalam kurun waktu 10 tahun terakhir.

No	Nama Spesies	Nama Lokal	Nama Latin
1	Ubur-ubur	Ubur-ubur	<i>Aurelia aurita</i>
2	Kuda Laut	Kuda Laut	<i>Hippocampus sp.</i>
3	Teri	Ikan Halus	<i>Engraulidae</i>
4	Lamun	Lamun	<i>Enhalus acoroides</i>
5	Teripang	Teripang	<i>Holothuria</i>

Sumber : Data primer

Sesuai dengan pengamatan yang dilakukan, ditemukan telah terjadi pergeseran komposisi sumber daya (biota), bahkan beberapa biota (organisme) seperti ubur-ubur, kuda laut, ikan teri, lamun, dan teripang sulit ditemukan atau dijumpai di perairan Teluk Mutiara dalam kurun waktu 10-15 tahun terakhir, pada hal biota (organisme) tersebut telah mejadikan perairan Teluk Mutiara sebagai habitatnya, kondisi ini oleh karena biota atau organisme yang disebutkan diatas yang memiliki sensivitas terhadap perubahan lingkungan terutama pada intruksi pencemaran. Tabel 4.

Sumber daya perairan mempunyai daya regenerasi, apabila limbah dibuang ke sungai atau laut, memiliki kemampuan untuk mengasimilasi limbah itu dan membuatnya menjadi tidak mengganggu atau beracun. Sumber daya demikian itu disebut

sumber daya terbaruhari (Nybakken, 1992; Brower *et al.*, 1997 dalam Wasi *et al.*, 2013). Akan tetapi sumberdaya mempunyai daya regenerasi dan asimilasi yang terbatas. Selama eksploitasi atau permintaan pelayanan ada dibawa batas daya regenerasi atau asimilasi, sumber daya terbaruhari itu dapat digunakan secara lestari. Akan tetapi batas itu dilampaui, sumber daya itu akan mengalami kerusakan dan fungsi sumber daya itu sebagai faktor produksi dan konsumsi atau sarana pelayanan akan mengalami gangguan atau goncangan.

Jadi peruntukan itu bersifat non-eksklusif. Akan tetapi apabila pemanfaatan untuk suatu peruntukan melampaui batas daya regenerasi atau asimilasi sumberdaya, peruntukan itu sendiri atau yang lain akan menderita. Misalnya, pembuangan limbah yang melampaui batas daya asimilasi air laut, akan mengganggu atau bahkan merusak sama sekali peruntukan air laut untuk produksi ikan dan budi daya rumput laut (Krebs, 1972).

Krebs, (1972); Brower *et al.*, (1997) dalam Wasi *et al.*, (2013), menyatakan organisme atau biota yang hilang atau punah akibat eksploitasi melewati ambang batas atau tersebut terusik adanya intruksi kontaminan akan mengalami perbaikan (*recovery*) dalam kurun waktu 40 tahun dengan komitmen perbaikan namun berpotensi kehilangan dua *species native*.

Gangguan akan membuat sumber daya yang terperbarui menjadi tak terperbarui. Biaya yang besar akan diperlukan untuk merehabilitasi sumber daya yang rusak itu. Apabila tak dapat disediakan biaya, mutu hidup kita akan menurun. Misalnya sumber daya ikan. Sumber daya itu bersifat terbaruhari, karena dapat memproduksi diri. Tetapi eksploitasi tidak bijaksana dan

kerusakan habitat akibat adanya intruksi limbah akan menjadikan sumber daya itu tak diperbarukan akibat kuantitas dan kualitas produksi menurun, (Suratmo, 1990; Fardiaz dan Srikandi, 1992; Manahan, 1994; Achmad, 2004; Sastrawijaya, 2004; Wardhana, 2006; Mukhtasor, 2007; Widowati, 2008; Losada *et al.*, 2009).

Bagian Keempat

BIOAKUMULASI Pb DAN Zn PADA KERANG DARAH (*Anadara Granosa*) DI PERAIRAN TELUK MUTIARA

Tulisan dibab ini semata-mata didasarkan dari tesis penulis tentang akumulasi logam berat di perairan Teluk Mutira. Walaupun konsentrasi logam berat di perairan Teluk Mutiara bervariasi penulis tertarik untuk mengetahui akumulasi logam Pb dan Zn, oleh karena diamati dari aspek volume dominasi unsur pencemar didapati unsur-unsur logam Pb dan Zn yang tertinggi, seperti tingginya tumpahan minyak (bahan bakar fosil) dan bahan-bahan terbuat dari plastik serta bahan organik yang terbuang dari limbah masyarakat maupun restoran atau rumah-rumah makan yang beroperasi di pesisir Teluk mutiara yang menjadi pemasok bahan kontaminan seperti logam Pb dan Zn.

Pb dan Zn adalah unsur logam yang masuk dalam kategori logam berat, sehingga dikelompokkan logam yang beratnya lebih dari 5gr. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Beberapa jenis logam berat bersifat esensial karena dibutuhkan oleh makhluk hidup tetapi dapat menjadi toksik bila berlebihan, misalnya besi (Fe), tembaga (Cu) dan seng (Zn) yang merupakan logam yang terikat sistem enzim dalam tubuh. Beberapa jenis logam berat lainnya bersifat non esensial karena tidak dibutuhkan oleh makhluk hidup dan toksik dalam jumlah yang sangat sedikit, misalnya arsen (As), timbal (Pb), kadmium (Cd) dan merkuri (Hg).

Pb termasuk dalam kelompok logam-logam golongan IV-A dengan nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2. Pb dapat ditemukan secara alami, cemaran industri dan transportasi. Kadar Pb yang secara alami dapat ditemukan dalam bebatuan sekitar 13 mg/kg. Khusus Pb yang tercampur dengan batu fosfat dan terdapat di dalam batu pasir (*sand stone*) kadarnya lebih besar yaitu 100 mg/kg. Pb yang terdapat di tanah berkadar sekitar 5-25 mg/kg dan di air bawah tanah (*ground water*) berkisar antara 1-60 µg/liter. Secara alami timbal (Pb) juga ditemukan di air permukaan. Kadar Pb pada air telaga dan air sungai adalah sebesar 1-10 µg/liter. Dalam air laut kadar Pb lebih rendah dari dalam air tawar yaitu 0,1 µg/liter. Penggunaan Pb dalam bahan bakar semula adalah untuk meningkatkan oktan bahan bakar fosil.

Seng adalah unsur kimia dengan lambang Zn, dengan nomor atom 30, dan massa atom relatif 65,39. Seng (Zn) merupakan unsur pertama golongan 12 pada tabel periodik. Beberapa aspek

kimia Zn mirip dengan magnesium. Hal ini dikarenakan ion kedua unsur ini berukuran hampir sama. Selain itu keduanya juga memiliki keadaan oksidasi +2. Zn merupakan unsur paling melimpah ke-24 di kerak bumi dan memiliki lima isotop stabil. Biji Zn yang paling banyak ditambang adalah sfalerit (*seng sulfida*).

Sumber logam Zn dapat berasal dari proses alamiah maupun adisi dari limbah industri dan pertanian. Pada lahan pertanian, Zn sangat diperlukan untuk kesuburan tanah. Zn adalah unsur hara mikro esensial bagi manusia, hewan, dan tumbuh-tumbuhan tingkat tinggi. Kadar komposisi unsur Zn di kerak bumi adalah sekitar 75 ppm (0,007%). Tanah mengandung sekitar 5–770 ppm Zn dengan rata-ratanya 64 ppm. Sedangkan pada air laut kadar Zn-nya adalah 30 ppb dan pada atmosfer kadarnya hanya 0,1–4 µg/m³.

Aktivitas manusia dalam memanfaatkan kawasan pesisir seringkali menghasilkan limbah yang dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan. Contoh limbah berbahaya akibat aktivitas antropogenik yang masuk keperairan adalah konsentrasi Pb dan Zn yang berlebihan dapat mengendap di dasar perairan dengan waktu tinggal (*residence time*) sampai ribuan tahun dan terkonsentrasi dalam tubuh makhluk hidup melalui jaring-jaring makanan (Darmono, 2001).

Keputusan Menteri Negara Lingkungan hidup No. 51 tahun 2004, tentang batas maksimal logam berat di perairan yaitu 0,05 mg/L untuk Pb dan 0,1 untuk Zn. Jika kondisi perairan telah terkontaminasi Pb dan Zn melewati batas maksimum, maka logam berat dapat masuk pada jaring-jaring makanan dari tingkat trofik pertama hingga tertinggi.

Selain dalam bentuk logam murni, timbal dapat ditemukan dalam bentuk senyawa anorganik dan organik. Semua bentuk Pb tersebut berpengaruh sama toksik pada manusia (Darmono, 2001). Palar (2004), menyatakan senyawa *tetraetil-Pb*, dapat menyebabkan keracunan akut pada sistem saraf pusat. Meskipun jumlah Pb yang diserap oleh tubuh hanya sedikit, logam ini ternyata menjadi sangat berbahaya. Hal ini disebabkan senyawa-senyawa Pb dapat memberikan efek racun terhadap banyak fungsi organ yang terdapat dalam tubuh. Keracunan yang terjadi sebagai akibat kontaminasi dari logam Pb dapat menimbulkan hal-hal sebagai berikut (a) meningkatkan kadar ALA (*d-Amino Levulinic Acid*) dalam darah dan urine; (b) meningkatkan kadar proporphirin dalam sel darah merah; (c) memperpendek umur sel darah merah; (d) menurunkan jumlah sel darah merah; (e) menurunkan kadar retikulosit (sel-sel darah merah yang masih muda); (f) meningkatkan kandungan logam Fe dalam plasma darah.

Teluk Mutiara secara geografis berada pada posisi garis lintang $8^{\circ} 05' 0'' - 8^{\circ} 34' 11''$ lintang selatan dan garis bujur $123^{\circ} 44' 35'' - 124^{\circ} 39' 30''$ bujur timur, merupakan pusat aktivitas masyarakat yang sering menimbulkan limbah sebagai efek samping agroindustri, perikanan, transportasi yang sebagian besar di buang ke pantai Teluk Mutiara dapat menyebabkan perubahan sifat fisika-kimia maupun biologi perairan. Losada et al., (2009) menyatakan bahwa salah satu area pembuangan limbah industri, limbah rumah tangga maupun limbah area perkotaan adalah pantai. Wilayah ini baik kondisi maupun kualitas nya sudah semakin kritis, karena merupakan terminal limbah terakhir.

Akumulasi dari kondisi ini akan membahayakan kesehatan lingkungan oleh karena kesehatan lingkungan sangat dipengaruhi oleh jenis dan tingkatan pencemaran lingkungan sebab itu perlu dilakukan usaha untuk mencegah, membatasi, dan mengurangi masukan limbah pencemar kedalam lingkungan. Dan yang paling penting ialah meningkatkan pemantauan tingkat pencemaran dan kondisi masyarakat disetiap kurun waktu tertentu secara terus menerus.

Untuk mengetahui konsentrasi logam berat berbahaya yang terakumulasi disuatu perairan dapat dilakukan dengan analisis kuantitatif baik pada sedimen, maupun organisme hidup di perairan tersebut (Fabricius *et al.*, 2012). Jenis organisme yang representatif sebagai indikator biologis untuk pencemaran logam berat adalah jenis kerang-kerangan. Hal ini karena kerang-kerangan bersifat *filter feeder* (penyaring makanan), hidupnya menetap (*sessile*) dan penyebarannya luas dan mempunyai toleransi yang lebar terhadap logam berat sehingga dapat menggambarkan keadaan yang sesungguhnya dari suatu lingkungan perairan.

Salah satu jenis kerang yang baik sebagai bioindikator adalah Kerang darah (*Anadara granosa*). Kerang darah (*Anadara granosa*) banyak ditemukan di perairan dangkal pinggir pantai. Kerang darah (*Anadara granosa*) juga memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap logam berat seperti Pb dan Zn (Yap *et al.*, 2006).

A. Efek toksik Pb

Sistem saraf merupakan sistem yang paling sensitif terhadap efek toksik yang dibawa oleh logam Pb. Keracunan Pb dapat menimbulkan kerusakan pada otak seperti epilepsi,

halusinasi, kerusakan pada otak besar. Widowati (2008) menyatakan mekanisme toksisitas Pb berdasarkan organ yang dipengaruhi adalah

- a) Sistem haemopoietik: Pb menghambat sistem pembentukan hemoglobin, sehingga menyebabkan anemia;
- b) Sistem saraf: dimana Pb menimbulkan kerusakan otak dengan gejala epilepsi, halusinasi, kerusakan otak besar, dan delirium;
- c) Sistem urinaria: Pb bisa menyebabkan lesi tubulus proksimalis, *loop of henle*, serta menyebabkan aminosiduria;
- d) Sistem gastro-intestinal: dimana Pb menyebabkan kolik dan konstipasi;
- e) Sistem kardiovaskuler: dimana Pb dapat menyebabkan peningkatan permeabilitas pembuluh darah;
- f) Sistem reproduksi berpengaruh terutama terhadap *gametotoksitas* atau janin belum lahir menjadi peka terhadap Pb. Ibu hamil yang terkontaminasi Pb bisa mengalami keguguran, tidak berkembangnya sel otak embrio, kematian janin waktu lahir, serta hipospermia, dan teratospermia pada pria;
- g) Sistem endokrin: Pb mengakibatkan gangguan fungsi tiroid dan fungsi adrenal;
- h) Bersifat karsinogenik dalam dosis tinggi.

Mekanisme masuknya Pb kedalam tubuh dapat melalui beberapa cara antara lain :

- 1) Sekitar 80% Pb masuk kedalam tubuh dapat melalui saluran pernafasan, kemudian masuk pembuluh darah paru. Pb

yang terhirup akan berikatan dengan darah dan diedarkan keseluruh jaringan dan organ tubuh. Plasma darah berfungsi dalam mendistribusikan Pb dalam darah kebagian syaraf, ginjal, hati, kulit dan otot skeletal atau rangka. Lebih dari 90% Pb yang terserap oleh darah terikat dengan sel darah merah, Palar (2004);

- 2) Melalui makanan dan minuman (14%) yang akan ikut dimetabolisme oleh tubuh;
- 3) Penetrasi pada selaput atau lapisan kulit (1%), hal disebabkan senyawa Pb dapat larut dalam lemak. Senyawa Pb tersebut dapat melakukan penetrasi apabila partikel Pb dapat menempel pada permukaan kulit, Hariono *et al.*, (2005).

Absorpsi Pb melalui saluran pernafasan dipengaruhi oleh tiga proses yaitu deposisi, pembersihan mukosiliar, dan pembersihan alveolar. Deposisi terjadi di nasofaring, saluran trakeobronkial, dan alveolus. Deposisi tergantung pada ukuran partikel Pb, volume pernafasan, dan daya larut. Partikel yang lebih besar banyak di deposit pada saluran pernafasan bagian atas dibanding partikel yang lebih kecil. Pembersihan mukosiliar membawa partikel disaluran pernafasan bagian atas ke nasofaring kemudian ditelan. Rata-rata 10 – 30% Pb yang terinhalasi diabsorpsi melalui paru-paru, dan sekitar 5-10% dari yang tertelan diabsorpsi melalui saluran cerna. Fungsi pembersihan alveolar adalah membawa partikel, menembus lapisan jaringan paru kemudian menuju kelenjar limfe dan aliran darah. Sebanyak 30-40% Pb yang diabsorpsi melalui saluran pernafasan akan masuk kealiran darah.

Timbal (Pb) yang diabsorpsi melalui saluran pencernaan akan melewati hati sebelum dibawa ke bagian tubuh lain. Hati merupakan organ utama yang dapat mendetoksifikasi zat kimia melalui proses biotransformasi. Proses biotransformasi tersebut akan dihasilkan metabolit yang seringkali lebih larut dalam air sehingga dapat diekskresi oleh tubuh. Sama seperti melalui inhalasi, Pb yang masuk melalui lapisan kulit akan langsung dibawa ke seluruh organ dalam tubuh sebelum menuju ke hati, WHO (2002).

Timbal (Pb) yang diabsorpsi akan diangkut oleh darah ke organ organ tubuh dan kemudian akan disimpan dalam jaringan lunak (sumsum tulang, sistim saraf, ginjal, hati) serta jaringan keras (tulang, kuku, rambut, gigi). Pada jaringan lunak sebagian Pb disimpan dalam aorta, hati, ginjal, otak, dan kulit. Pb yang ada di jaringan lunak bersifat toksik. Akumulasi Pb dalam tubuh manusia dimulai pada janin. Pb mudah bermigrasi melalui plasenta, sehingga konsentrasi Pb anak yang baru lahir akan sama dengan ibu mereka yang terindikasi Pb.

Ekskresi Pb melalui beberapa cara, yang terpenting adalah melalui ginjal dan saluran cerna. Ekskresi Pb melalui urine sebanyak 75 – 80%, melalui feces 15% dan lainnya melalui empedu, keringat, rambut, dan kuku. Ekskresi Pb melalui saluran cerna dipengaruhi oleh saluran aktif dan pasif kelenjar saliva, pankreas dan kelenjar lainnya di dinding usus, regenerasi sel epitel, dan ekskresi empedu. Proses ekskresi Pb melalui ginjal adalah melalui filtrasi glomerulus. Pada umumnya ekskresi Pb berjalan sangat lambat. Waktu paruh didalam darah kurang lebih 25 hari, pada jaringan lunak 40 hari sedangkan pada tulang

25 tahun. Ekskresi yang lambat ini menyebabkan Pb mudah terakumulasi dalam tubuh.

B. Efek toksik Zn

Seng atau yang lebih populer dikenal dengan sebutan Zn termasuk sebagai mineral mikronutrien, artinya logam ini dibutuhkan sebagai nutrien yang esensial oleh organisme dalam jumlah yang sedikit. Kadar Zn yang tinggi dapat bersifat racun dan dapat menyebabkan gangguan metabolisme Fe dan Cu, gejala *teratoma*, *seminoma* serta *choriopathelioma*. Semakin rendah pH maka semakin banyak gugus basa lemah yang terprotonisasi pada permukaan akibatnya terjadi penurunan jumlah serapan ion logam Zn dikarenakan kemampuan untuk menyerap ion logam Zn semakin lemah (Saefudin et al., 2000).

Seng (Zn) cenderung membentuk ion jika berada dalam air. Ion Zn mudah terserap dalam sedimen dan tanah serta kelarutan logam berat Zn dalam air relatif rendah pada air, logam berat cenderung mengikuti aliran air dan pengaruh pengenceran ketika ada air masuk, seperti air hujan, turut mengakibatkan menurunnya konsentrasi logam berat pada air. Konsentrasi logam berat pada air akan turut mempengaruhi konsentrasi logam berat yang ada pada sedimen. Kecenderungan peningkatan konsentrasi logam berat di sedimen diakibatkan oleh tingginya konsentrasi logam berat tersebut di air. Selain itu, terdapat parameter-parameter lain yang berpengaruh dalam kesetimbangan reaksi di sistem perairan, seperti pH, konsentrasi logam dan tipe senyawanya, kondisi reduksi-oksidasi perairan, dan bilangan oksidasi dari logam tersebut (Sunti et al., 2012).

Kelebihan Seng (Zn) hingga dua sampai tiga kali angka kecukupan gizi (AKG) menurunkan absorpsi tembaga. Kelebihan sampai sepuluh kali angka kecukupan gizi mempengaruhi metabolisme kolesterol, mengubah nilai lipoprotein, dan tampaknya dapat mempercepat timbulnya aterosklerosis. Dosis konsumsi Zn sebanyak dua gram atau lebih dapat menyebabkan muntah, diare, demam, kelelahan yang sangat, anemia, dan gangguan reproduksi, Almatsier (2010).

Banyaknya Zn yang diabsorpsi berkisar antara 15-40%. Seperti halnya besi, absorpsi Zn dipengaruhi oleh status seng tubuh. Apabila lebih banyak Zn yang dibutuhkan, lebih banyak pula jumlah Zn yang diabsorpsi. Selain itu, jenis makanan juga mempengaruhi absorpsi Zn. Serat dan fitat menghambat ketersediaan biologik Zn. Sebaliknya, protein histidin membantu absorpsi Zn. Albumin dalam plasma merupakan penentu utama absorpsi Zn. Albumin merupakan alat transpor seng. Absorpsi Zn menurun apabila nilai albumin darah menurun, misalnya dalam keadaan gizi kurang atau kehamilan.

Sebagian besar Zn menggunakan transferin sebagai alat transpor yang juga merupakan alat transpor Fe. Pada keadaan normal kejenuhan transferin akan Fe biasanya kurang dari 50%. Apabila perbandingan antara Fe dengan Zn lebih dari 2:1, maka transferin yang tersedia untuk Zn berkurang, sehingga menghambat absorpsi Zn.

Logam Zn sebenarnya tidak toksik, tetapi dalam keadaan sebagai ion, Zn bebas memiliki toksisitas tinggi disebabkan oleh inhalasi Zn-oksida selama proses galvanisasi atau penyambungan bahan yang mengandung Zn. Meskipun Zn

merupakan unsur esensial bagi tubuh, tetapi dalam dosis tinggi Zn dapat berbahaya dan bersifat toksik. Absorpsi Zn berlebih mampu menekan absorpsi Co dan Fe. Paparan Zn dosis besar sangat jarang terjadi. Zn tidak diakumulasi sesuai bertambahnya waktu paparan karena Zn dalam tubuh akan diatur oleh mekanisme homeostatik, sedangkan kelebihan Zn akan diabsorpsi dan disimpan dalam hati (Widowati *et al*, 2008).

Konsumsi Zn berlebih mampu mengakibatkan defisiensi mineral lain. Toksisitas Zn bisa berifat akut dan kronis. Intake Zn 150-450 mg/ hari mengakibatkan penurunan kadar Cu, pengubahan fungsi Fe, pengurangan imunitas tubuh, serta pengurangan kadar *high density lipoprotein* (HDL) kolesterol. Konsumsi Zn sebesar 60mg/hari dalam jangka waktu lama bisa mengakibatkan defisiensi Cu dan mempengaruhi sintesis ikatan Cu protein atau metalotionin dalam usus sehingga mengganggu proses metabolisme mineral lain, khususnya Fe dan Cu (Widowati *et al.*, 2008).

C. Unsur logam di perairan

Logam dalam perairan biasanya terikat oleh senyawa lain sehingga berbentuk molekul dan jarang dijumpai berbentuk ion tersendiri. Ikatan ini dapat berupa garam organik, seperti senyawa metil, etil, fenil maupun garam anorganik berupa oksida, klorida, sulfida, karbonat, hidroksida dan sebagainya. Bentuk ion dari garam tersebut biasanya banyak ditemukan dalam air dan kemudian bersenyawa atau diserap dan selanjutnya tertimbun dalam tanaman dan hewan air (Darmono, 1995).

Dalam perairan, logam berat dapat ditemukan dalam

bentuk terlarut dan tidak terlarut. Logam berat terlarut adalah logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik, sedangkan logam berat yang tidak terlarut merupakan partikel-partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kelompok metal yang teradsorbsi pada partikel-partikel yang tersuspensi (Razak, 1980 dalam Amriani 2011). Logam berat yang dilimpahkan ke perairan, baik di sungai ataupun laut akan dipindahkan dari badan airnya melalui beberapa proses yakni pengendapan, adsorbsi dan absorpsi oleh organisme perairan. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air (Wahyuni *et al.*, 2003).

Kelarutan logam dalam air pada prinsipnya diatur oleh (1) pH; (2) jenis dan kepekatan ligan dan zat-zat pengkhelat; (3) keadaan oksidasi komponen mineral dan lingkungan redoks sistem tersebut Leckie *and* James, (1974) dalam Connel *and* Miller, (1995). Pada umumnya partikel yang mengendap mempunyai ukuran 100 μm , partikel yang larut adalah yang berukuran kurang dari 1 μm Tinsley, (1979) dalam Connel *and* Miller, (1995). Beberapa jenis interaksi terjadi antara ion logam dan spesies lainnya dalam larutan air, sejalan dengan itu Stumm *and* Morgan, 1970 dalam Connel *and* Miller, (1995) menjelaskan terjadinya reaksi-reaksi tersebut antara lain :

- 1) Reaksi hidrolisis ion-ion logam; sebagian besar ion-ion logam yang paling mudah berpindah (seperti Th^{4+} , Fe^{3+} , dan Cr^{3+}) merupakan yang paling mudah dihidrolisis dalam larutan air;

- 2) Pengompleksan ion-ion logam. Ion-ion logam juga bereaksi dengan zat-zat pengompleks organik dan anorganik yang ada dalam air baik dari sumber alamiah maupun sumber pencemaran.

Logam dalam perairan juga dapat berikatan dengan zat-zat organik alamiah atau buatan dengan jalan :

- 1) Atom karbon yang menghasilkan zat organologam;
- 2) Gugus karboksil yang membentuk garam dari asam organik;
- 3) Atom donor elektron seperti O, N, S, P dan sebagainya yang membentuk kompleks koordinasi.

Kandungan logam berat dalam perairan dipengaruhi oleh parameter fisika seperti arus, suhu, salinitas dan kimiawi yaitu, padatan tersuspensi dan derajat keasaman (pH). Pada umumnya faktor oseanografi yang paling berperan dalam penyebaran bahan pencemar adalah arus, pasang surut, gelombang dan keadaan bathimetri perairan (Uktolseya, 1991 dalam Wahyuni et al., 2013).

Dalam air laut, kadar logam berat berkisar antara 1,0-5 ppm. Kadar tersebut akan meningkat bila limbah perkotaan, pertambangan, pertanian dan perindustrian yang mengandung logam berat masuk ke lingkungan laut. Unsur - unsur logam berat terutama yang bersifat esensial seperti Cu dan Zn dibutuhkan oleh biota perairan untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya, tetapi bila jumlahnya berlebihan maka akan bersifat racun (Phillips, 1980 dalam Wahyuni et al., 2013).

D. Unsur logam di sedimen

Logam berat yang masuk kedalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemudian diserap oleh organisme yang hidup di perairan tersebut. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibanding dalam air (Hutagalung, 1984).

Mengendapnya logam berat bersama-sama dengan padatan tersuspensi akan mempengaruhi kualitas sedimen di dasar perairan dan juga perairan sekitarnya. Kekuatan ionik yang terdapat di air laut disebabkan adanya berbagai kandungan anion dan kation pada air laut, sehingga memungkinkan terjadinya proses koagulasi (penggumpalan) senyawa logam berat yang ada dan memungkinkan terjadinya proses sedimentasi (pengendapan). Jika kapasitas angkut sedimen cukup besar, maka sedimen didasar perairan akan terangkat dan terpindahkan. Sesuai teori gravitasi, apabila partikulat memiliki massa jenis lebih besar dari massa jenis air laut maka partikulat akan mengendap didasar laut atau terjadi proses sedimentasi (Muhajir, 2004).

Menurut Greaney (2005) dalam Wahyuni *et al.*, (2013) ada 2 kemungkinan mekanisme logam masuk dan diikat oleh sedimen serta bahan tersuspensi seperti :

- 1) Proses adsorpsi fisika- kimia dari kolom perairan;
- 2) Proses *uptake* oleh bahan organik atau organisme.

Akumulasi fisik dari bahan partikulat yang banyak mengandung logam oleh proses sedimentasi. Adsorpsi fisika-

kimia secara langsung dari kolom perairan terjadi melalui berbagai cara. Adsorpsi secara fisik biasanya terjadi ketika bahan partikulat secara langsung mengabsorpsi logam berat dari kolom perairan. Adsorpsi secara biologi dan kimia lebih kompleks prosesnya dari pada adsorpsi secara fisik karena dikontrol oleh banyak faktor seperti pH dan oksidasi. Kelarutan logam dalam air dikontrol oleh pH air. Kenaikan pH menurunkan kelarutan logam dalam air, karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air, sehingga akan mengendap membentuk lumpur (Palar, 2004). Selain itu, kenaikan suhu air laut dan penurunan pH akan mengurangi adsorpsi senyawa logam berat pada partikulat. Suhu air laut yang lebih dingin akan meningkatkan adsorpsi logam berat ke partikulat untuk mengendap didasar laut. Pada saat suhu air laut naik, senyawa logam berat akan melarut di air laut karena penurunan laju adsorpsi kedalam partikulat. Logam yang memiliki kelarutan yang kecil akan ditemukan dipermukaan air laut selanjutnya dengan perpindahan dan waktu tertentu akan mengendap hingga ke dasar laut, artinya logam tersebut hanya akan berada didekat permukaan air laut dalam waktu yang sesaat saja untuk kemudian mengendap lagi. Hal ini ditentukan antara lain oleh massa jenis air laut, viskositas (kekentalan) air laut, temperatur air laut, arus serta faktor-faktor lainnya (Muhajir, 2004).

Daya larut logam berat dapat menjadi lebih tinggi atau lebih rendah tergantung pada kondisi lingkungan perairan. Pada daerah yang kekurangan oksigen, misalnya akibat kontaminasi bahan-bahan organik, daya larut logam berat akan menjadi

lebih rendah dan mudah mengendap. Logam berat seperti Zn, Cu, Cd, Pb, Hg dan Ag akan sulit terlarut dalam kondisi perairan yang anoksik (Ramlal, 1987 dalam Muhajir 2004). Logam berat yang terlarut dalam air akan berpindah kedalam sedimen jika berikatan dengan materi organik bebas atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen dan penyerapan langsung oleh permukaan partikel sedimen (Wilson, 1988 dalam Muhajir 2004).

Logam berat mempunyai sifat yang mudah terikat oleh bahan organik dan selanjutnya mengendap didasar perairan dan bersatu dengan sedimen, maka kadar logam berat dalam sedimen umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan di perairan (Rochyatun *et al.*, 2007). Kandungan logam berat pada sedimen umumnya rendah pada musim kemarau dan tinggi pada musim penghujan. Penyebab tingginya kadar logam berat dalam sedimen pada musim penghujan kemungkinan disebabkan oleh tingginya laju erosi pada permukaan tanah yang terbawa kedalam badan sungai, sehingga sedimen dalam sungai yang diduga mengandung logam berat akan terbawa oleh arus sungai menuju muara dan pada akhirnya terjadi proses sedimentasi, Bryan (1976) dalam Rochyatun *et al.*, (2007).

Curah hujan berdasarkan pemantauan di Kabupaten Alor umumnya dan di Teluk Mutiara khususnya berkisar antara 900-1900 mm/tahun dengan hari hujan berkisar antara 67-93 hari dan curah hujan maksimum 89 mm (BMKG Alor, 2014).

E. Unsur logam pada biota bentik

Logam yang ada pada perairan suatu saat akan turun dan mengendap pada dasar perairan, membentuk sedimentasi, hal

ini akan menyebabkan organisme yang mencari makan di dasar perairan (udang, rajungan, dan kerang) akan memiliki peluang yang besar untuk terpapar logam berat yang telah terikat didasar perairan dan membentuk sedimen Rahman (2006). Akumulasi logam berat dalam sedimen dalam jumlah banyak dapat berperan sebagai sumber kontaminan logam untuk kolom air diatasnya ketika tidak ada lagi input ke dalam ekosistem Fadhlina (2008).

Bahan pencemar (*racun*) masuk ke tubuh organisme melalui proses absorpsi. Absorpsi merupakan proses perpindahan racun dari tempat pemejanaan atau tempat absorpsinya kedalam sirkulasi darah. Absorpsi, distribusi dan ekskresi bahan pencemar tidak dapat terjadi tanpa transpor melintasi membran. Proses transportasi dapat berlangsung dengan 2 cara transpor pasif (yaitu melalui proses difusi) dan transpor aktif (yaitu dengan sistem transport khusus, dalam hal ini zat lazimnya terikat pada molekul pengemban) (Hutagalung, 1997).

Simkiss and Mason (1983) dalam Wahyuni *et al.*, (2013) menyatakan bahwa logam-logam ringan seperti Na, K, Ca dan Mg merupakan logam dalam kelompok kelas A yang keterlibatan ion logamnya dalam makhluk hidup menyangkut proses fisiologis. Logam berat yang dimasukkan dalam kelas B merupakan logam-logam yang terlibat dalam proses proses enzimatik dan menimbulkan polusi atau pencemaran misalnya Zn, Cd, Hg dan Pb. Aktivitas dari logam kelas A masuk ke dalam tubuh hewan biasanya dengan cara difusi membran sel, sedangkan kelas B terikat dengan protein.

Faktor lingkungan yang mempengaruhi absorpsi logam berat yaitu konsentrasi logam berat, salinitas, suhu bentuk fisika

kimia logam tersebut (Bayne, 1976 dalam Palar, 2004). Sementara faktor yang mempengaruhi laju absorpsi logam berat pada biota yaitu, konsentrasi logam berat dalam tubuh, ukuran organisme, pertumbuhan, kondisi fisiologi, seks dll. Logam berat masuk kedalam jaringan tubuh biota berdasarkan Simkiss *and* Mason (1983) dalam Palar, (2004) secara umum melalui tiga cara :

- 1) Endositas adalah pengambilan partikel dari permukaan sel dengan membentuk wahana perpindahan oleh membran plasma. Proses endositas seperti ini berperan dalam pengambilan logam berat dalam bentuk tidak terlarut;
- 2) Diserap dari air; kandungan logam berat dalam jaringan tubuh biota 90% berasal dari penyerapan oleh sel epitel *insang*. *Insang* diduga sebagai organ yang menyerap logam berat dalam air;
- 3) Diserap dari makanan dan sedimen; penyerapan logam dari makanan dan sedimen oleh biota tergantung pada strategi makanan dan *life histories* dari biota yang diamati. Pada jenis *filter feeder* penyerapan tersebut bukan dari larutan seperti yang dijelaskan di atas, tetapi makanan dan partikel yang tersaring.

Logam berat merupakan logam yang berperan dalam proses enzimatik. Jenis logam ini masuk ke dalam jaringan melalui ikatan dengan protein (*ligand binding*). Pasangan ion logam dalam air laut akan berbentuk $(\text{LCI})_0$, $(\text{LCO}_3)_0$, $(\text{LSO}_4)_0$, $(\text{LCI}_2)_0$, dan $(\text{LCI}_3)^-$ yang ikatan ionnya bergantung pada pH air. Membran plasma dapat mengatur masuknya logam-logam *trace* sehingga menyebabkan membran menjadi ligan protein dalam sel agar

logam dapat berikatan. Logam berat lebih reaktif terhadap ikatan ligan dibandingkan dengan logam lainnya sehingga dalam sistem *metaloenzim* akan mengganggu proses metabolisme sel (Darmono, 1995).

Menurut Darmono (1995) menyatakan sebagian dari logam berat bersifat *essensial* bagi organisme air untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya, antara lain dalam pembentukan *haemosianin* dalam sistem darah dan enzimatik pada biota. Akan tetapi bila jumlah dari logam berat masuk ke dalam tubuh dengan jumlah berlebih, maka akan berubah fungsi menjadi racun bagi tubuh Palar (2004). Hal ini disebabkan beberapa unsur logam berat mempunyai waktu paruh biologis (*biologic half life*) yang tinggi yaitu 70 hari (Yokoyama *et al.*, 2010). Oleh karena itu beberapa unsur logam berat dapat menimbulkan efek negatif terhadap sistem yang lebih kompleks di perairan seperti rantai makanan, ekosistem serta produktivitas perairan.

F. Ekofisiologi Kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai bioindikator

Klasifikasi (Linnaeus, 1758)

Kerajaan	:	<i>Animalia</i>
Filum	:	<i>mollusca</i>
Kelas	:	<i>Bivalvia</i>
Sub Kelas	:	<i>Pteriormorphia</i>
Ordo	:	<i>Arcoida</i>
Famili	:	<i>Arcidae</i>
Genus	:	<i>Anadara</i>
Spesies	:	<i>Anadara granosa</i>

Kerang darah (*Anadara granosa*) termasuk dalam kelas *pelecypoda* yang didalamnya terdapat sub kelas *pterymorpha* dengan ordo *arcoida*. Kerang darah (*Anadara granosa*) mempunyai dua buah cangkang yang dapat membuka dan menutup dengan menggunakan otot aduktor dalam tubuhnya. Cangkang pada bagian dorsal tebal dan bagian ventral tipis. Cangkang ini terdiri atas 3 lapisan, yaitu (1) periostrakum adalah lapisan terluar dari kitin yang berfungsi sebagai pelindung; (2) lapisan prismatic tersusun dari kristal-kristal kapur yang berbentuk prisma; (3) lapisan nakreas atau sering disebut lapisan induk mutiara, tersusun dari lapisan kalsit (karbonat) yang tipis dan paralel (Kerkut, 1961; Robert, 1978; Garzal et al., 2014).

Ciri Kerang darah (*Anadara granosa*) adalah sebagai berikut (1) mempunyai 2 cangkang yang tebal, elips dan kedua sisi sama, kurang lebih 20 ruas, cangkang berwarna putih ditutupi periostrakum yang berwarna kuning kecoklatan sampai coklat kehitaman; (2) ukuran dewasa 6-9cm; (3) cangkang memiliki belahan yang sama melekat satu sama lain pada batas cangkang; (4) rusuk pada kedua belahan cangkangnya sangat kentara; (5) cangkang berukuran sedikit lebih panjang dibanding tingginya tonjolan (*umbone*) yang sangat kentara; (6) setiap belahan Cangkang memiliki 19-23 rusuk (Kerkut, 1961; Garzal et al., 2014).

Laju pertumbuhan 0,098 mm/hari. Dengan panjang sekitar 4-5 mm, Kerang darah (*Anadara granosa*) memerlukan waktu sekitar 2 bulan. Presentase daging terbesar dimiliki oleh *A. granosa*, yaitu sebesar 24,3% (Kerkut, 1961; Robert, 1978; Garzal et al., 2014).

Kerang darah (*Anadara granosa*) memijah sepanjang tahun dengan puncaknya terjadi pada bulan Agustus-September. Hewan ini termasuk hewan berumah dua (*diocis*). Kematangan gonad terjadi pada saat Kerang darah (*Anadara granosa*) mencapai ukuran panjang 18-20 mm dan berumur kurang dari satu tahun. Pemijahan mulai terjadi pada ukuran 20 mm (Robert, 1978; Garzal et al., 2014).

Kerang termasuk hewan *deposit feeder*, mempunyai proses penyaringan makanan sangat efisien. Partikel-partikel makanan yang berukuran lebih kecil atau sama dengan ukuran μm akan masuk bersama air lewat lobang inhalan melalui pori yang terdapat pada permukaan *insang*, kemudian menuju, ketabung

air dan akhirnya keluar melalui lobang ekshalan (Amriani et al., 2011). Makanan biasanya masuk kedalam tubuh bersama air melalui sisi literal dan frontal *insang*. Proses respirasi terjadi pada saat air masuk bersama makanan. Partikel yang lebih besar dari μm akan dibawah oleh arus air menuju *palpuslabialis*, sebagian masuk kemulut dan sebagian lagi akan dikeluarkan dari tubuh lewat rongga *mantel*.

Kontak dengan substrat dilakukan oleh sepasang tentakel (*proboscides*) yang merupakan pemanjangan pinggir mulut. Setiap tentakel berhubungan dengan dua lipatan lembaran yang berbentuk seperti telapak tangan yang disebut *palpus labialis* yang terdapat pada kedua sisi mulut. Pada waktu mencari makan, kedua tentakel memanjang kearah sedimen dasar. Deposit material akan melekat pada lendir permukaan tentakel kemudian oleh gerakan *silia* akan diteruskan ke *palpus labialis* yang berfungsi sebagai alat seleksi makanan (Robert, 1978; Amriani et al., 2011; Garzal et al., 2014). Hampir semua jenis kerang merupakan pemakan plankton, sebagian besar fitoplankton. Kerang *Anadara* ini termasuk golongan yang hidup membenamkan diri dalam sedimen, habitat kerang biasanya di daerah pasang surut, muara sungai dengan pasir berlumpur dan daerah *mangrove*.

G. Kandungan Pb pada kerang darah (*Anadara granosa*)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, akumulasi Pb pada organ insang hari ke-0, 30, dan 60, pada stasiun 1 (Pantai Mali-Stasiun Kontrol) berturut-turut adalah 3,27, 1,87 1,40 mg/kg; stasiun 2 (Pantai Kedelang) sebesar 1,17, 1,40, 4,44 mg/kg; stasiun 3 (Pantai Wetabua) sebesar 2,10, 3,27, 3,74 mg/kg; selanjutnya

pada stasiun 4 (Pantai Dulionong) sebesar 2,33, 3,04, 21,01 mg/kg. Selanjutnya pada organ mantel hari ke-0, 30, dan 60, pada stasiun 1 (Pantai Mali-Stasiun Kontrol) berturut-turut adalah 1,40, 3,74, 1,63 mg/kg; stasiun 2 (Pantai Kedelang) sebesar 2,10, 1,63, 2,57 mg/kg; stasiun 3 (Pantai Wetabua) sebesar 1,87, 2,57, 2,10 mg/kg; selanjutnya pada stasiun 4 (Pantai Dulionong) sebesar 2,33, 4,44, 3,97 mg/kg. Kemudian pada organ palpuslabialis hari ke-0, 30, dan 60, pada stasiun 1 (Pantai Mali-Stasiun Kontrol) berturut-turut adalah 1,40, 2,57, 2,10 mg/kg; stasiun 2 (Pantai Kedelang) sebesar 3,04, 1,63, 4,60 mg/kg; stasiun 3 (Pantai Wetabua) sebesar 1,63, 6,77, 4,20 mg/kg; selanjutnya pada stasiun 4 (Pantai Dulionong) sebesar 2,57, 2,33, 8,87 mg/kg.

Akumulasi logam Pb pada organ *insang* di stasiun 1 terus mengalami penurunan seiring dengan waktu transplantasi hari ke-0, 30, dan 60, hal ini karena stasiun 1 merupakan daerah yang jauh dari sumber pencemar Pb, sehingga terjadi proses eliminasi logam Pb oleh organ-organ ekskresi Kerang darah (*Anadara granosa*). Yap *et al.*, (2014) kerang jenis *bivalvia* dapat mengeluarkan logam melalui organ ekskresi jika dipindahkan ke tempat yang tidak tercemar oleh logam tertentu. Sedangkan akumulasi logam Pb pada organ *insang* di stasiun 2, 3, dan 4, terus mengalami peningkatan seiring dengan waktu transplantasi. Kondisi ini disebabkan stasiun 2, 3, dan 4, berdekatan dengan sumber pencemar.

Akumulasi logam Pb pada organ *mantel* disemua stasiun cenderung meningkat akan tetapi pada stasiun 1 terjadi penurunan jika waktu transplantasi hari ke-60, kondisi ini karena stasiun 1, kontaminasi logam Pb masih dapat ditolerir dan jauh dari unsur-unsur cemaran Pb. Selanjutnya pada stasiun 2, 3, 4 mengalami

peningkatan akumulasi logam Pb yang melewati ambang batas. Kondisi ini akibat dari stasiun 2, 3, 4 dekat dengan sumber pencemar Pb, lonjakan akumulasi Pb yang terjadi pada stasiun 1, 2, 3, dan 4 pada waktu transplantasi hari ke-30, hal ini disebabkan waktu sampling, siang hari memicu peningkatan suhu yang dapat mempercepat proses metabolisme Kerang darah (*Anadara granosa*), melibatkan unsur logam, selanjutnya organ-organ yang aktif terlibat dalam proses metabolisme tersebut akumulasi logamnya dapat meningkat. Darmono (2001) menyatakan bahwa perbedaan kandungan logam berat dalam tubuh biota perairan dapat dipengaruhi oleh perbedaan spesies, jenis kelamin, kemampuan organisme untuk menghindari kondisi buruk (polusi), fase siklus hidup, kebutuhan makanan, dan pengaruh lingkungan (suhu, salinitas, pH dan oksigen terlarut dalam air).

Akumulasi logam Pb pada organ *palpuslabialis* disemua stasiun cenderung meningkat. Peningkatan logam Pb pada organ *palpuslabialis* terlihat mulai dari stasiun 1, 2, 3 dan 4. Peningkatan akumulasi Pb disemua stasiun umumnya terjadi pada hari ke-30. Kondisi ini disebabkan waktu sampling pada siang hari sehingga suhu mengalami peningkatan yang mempercepat metabolisme yang dapat meningkatkan akumulasi logam kedalam organ Kerang darah (*anadara granosa*).

Darmono (2001) yang menyatakan bahwa perbedaan kandungan logam berat dalam tubuh biota perairan dapat dipengaruhi oleh perbedaan spesies, jenis kelamin, kemampuan organisme untuk menghindari kondisi buruk (polusi), fase siklus hidup, kebutuhan makanan, dan pengaruh lingkungan (suhu, salinitas, pH dan oksigen terlarut dalam air).

Tabel 5. Kandungan Pb pada Kerang darah (*Anadara granosa*) hari ke-0, 30, dan 60, disemua stasiun pengamatan.

No	Organ	Stasiun	Hari (waktu)		
			0	30	60
1	<i>Insang</i> (mg/kg)	1	3,27	1,87	1,40
		2	1,17	1,40	4,44
		3	2,10	3,27	3,74
		4	2,33	3,04	21,01
2	<i>Mantel</i> (mg/kg)	1	1,40	3,74	1,63
		2	2,10	1,63	2,57
		3	1,87	2,10	2,57
		4	2,33	4,44	3,97
3	<i>Palpuslabialis</i> (mg/kg)	1	1,40	2,57	2,10
		2	3,04	1,63	4,60
		3	1,63	6,77	4,20
		4	2,57	2,33	8,87

Hasil uji *analicys of varian* (anova) menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan ($F = 2,27$ $p < 0,05$). Walaupun demikian terjadi peningkatan akumulasi Pb pada Kerang darah (*Anadara granosa*) hampir disemua organ yaitu *insang*, *mantel* dan *palpuslabialis* pada stasiun 2, 3, dan 4, dengan waktu transplantasi hari ke-30, dan 60 (Tabel 5).

Perbedaan akumulasi Pb antar stasiun pengamatan ini disebabkan setiap stasiun pengamatan memiliki kriteria unsur pencemar yang berbeda. Tingginya akumulasi Pb pada stasiun 2, 3, dan 4, karena areal ini merupakan areal kilang minyak, adanya beberapa pelabuhan transportasi serta pusat perkotaan sehingga dapat dipastikan terlepasnya sisa pemakaian bahan

bakar ke lingkungan yang tidak terkendali serta pembuangan sampah sisa pakai oleh masyarakat ke areal pantai memberikan dampak tercemar pada areal tersebut. Selain itu waktu yang dibutuhkan hewan uji (kerang darah) untuk mengakumulasi zat pencemar (logam berat) terpenuhi. Penelitian yang sama telah dilakukan oleh Rochyatun *et al.*, (2007), pemantauan kadar logam berat dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta; Wahyuni *et al.*, (2013), konsentrasi logam berat di perairan, sedimen dan biota dengan faktor biokonsentrasinya di perairan Batu Belubang Kabupaten Bangka Tengah; Wang *et al.*, (2013), memantau pencemaran logam berat di Laut China Selatan, menyatakan keberadaan logam berat didalam tubuh ataupun organ *bivalvia* dapat ditentukan oleh peranan fisiologis masing-masing organ dan ketersediaan unsur pencemar logam tertentu.

Ambang batas logam berat dalam jaringan hewan belum diatur oleh pemerintah. Peraturan yang ada hanya mengatur ambang batas logam berat pada air laut untuk tujuan wisata bahari dan kehidupan biota. Berdasarkan pedoman baku mutu air laut menurut Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: KEP-MEN LH No.51/MenKLH/2004, ambang batas Pb untuk wisata bahari adalah 0,005 ppm dan untuk biota adalah 0,008 ppm. Selanjutnya Muhajir (2004) menyatakan batas toleransi logam berat pada bahan pangan yang ditetapkan Kementrian Kesehatan 0,4 ppm sedangkan WHO 0,2 ppm.

Akumulasi Pb pada Kerang darah (*Anadara granosa*) yang tinggi maka kondisi lingkungan perairan di stasiun pengamatan khususnya stasiun 1, 2, 3, 4 menunjukkan lebih tinggi dari ambang batas.

H. Kandungan Zn pada Kerang darah (*Anadara granosa*)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, akumulasi Zn pada organ insang hari ke-0, 30, dan 60, pada stasiun 1 (Pantai Mali-Stasiun Kontrol) berturut-turut adalah 291,66, 287,82, 192,07 mg/kg; stasiun 2 (Pantai Kedelang) sebesar 170,18, 113,82, 227,63 mg/kg; stasiun 3 (Pantai Wetabua) sebesar 282,90, 300,41, 194,25 mg/kg; selanjutnya pada stasiun 4 (Pantai Dulionong) sebesar 219,43, 383,58, 343,09 mg/kg. Selanjutnya pada organ mantel hari ke-0, 30, dan 60, pada stasiun 1 (Pantai Mali-Stasiun Kontrol) berturut-turut adalah 89,74, 187,69, 94,12 mg/kg; stasiun 2 (Pantai Kedelang) sebesar 142,27, 201,92, 310,81 mg/kg; stasiun 3 (Pantai Wetabua) sebesar 232,01, 101,23, 162,52 mg/kg; selanjutnya pada stasiun 4 (Pantai Dulionong) sebesar 175,10, 312,45, 282,90 mg/kg. Kemudian pada organ palpuslabialis hari ke-0, 30, dan 60, pada stasiun 1 (Pantai Mali-Stasiun Kontrol) berturut-turut adalah 137,89, 284,54, 148,84 mg/kg; stasiun 2 (Pantai Kedelang) sebesar 246,24, 147,20, 224,90 mg/kg; stasiun 3 (Pantai Wetabua) sebesar 314,64, 283,4, 251,16 mg/kg; selanjutnya pada stasiun 4 (Pantai Dulionong) sebesar 185,50, 366,07, 354,58 mg/kg.

Akumulasi logam Zn pada organ *insang*, *mantel* dan *palpuslabialis* disemua stasiun terus mengalami peningkatan seiring dengan waktu transplantasi hari ke-0, 30, dan 60, kondisi yang terjadi pada stasiun 1 mengenai kandungan logam Zn merupakan situasi diluar kontrol mengingat stasiun 1 merupakan stasiun kontrol bagi stasiun 2, 3, dan 4. Kontaminasi logam Zn pada stasiun 1 diduga berasal dari akumulasi sampah yang dilepaskan oleh masyarakat yang sering berekreasi di areal yang berdekatan dengan stasiun 1 mengingat areal tersebut merupakan areal wisata, selain itu adanya pembukaan lahan pertanian yang

dibangun diareal pantai dan menggunakan pupuk Zn sebagai nutrisi kemudian akan tergerus ke perairan pantai disaat terjadi hujan. Sedangkan akumulasi logam Zn pada organ *insang*, *mantel* dan *palpuslabialis* di stasiun 2, 3, dan 4, terus mengalami peningkatan seiring dengan waktu transplantasi. Kondisi ini dikarenakan stasiun 2, 3, dan 4, dekat dengan sumber pencemar.

Akumulasi logam Zn dalam organ kerang darah (*insang*, *mantel* dan *palpuslabialis*) di semua stasiun menunjukkan eskalasi peningkatan akan tetapi hampir semua stasiun terjadi lonjakan akumulasi pada hari ke-30. Kondisi ini disebabkan waktu sampling pada siang hari berdampak pada peningkatan suhu yang dapat mempercepat proses metabolisme. Darmono (2001) yang menyatakan bahwa perbedaan kandungan logam berat dalam tubuh biota perairan dapat dipengaruhi oleh perbedaan spesies, jenis kelamin, kemampuan organisme untuk menghindari kondisi buruk (polusi), fase siklus hidup, kebutuhan makanan, dan pengaruh lingkungan (suhu, salinitas, pH dan oksigen terlarut dalam air).

Kandungan Zn pada Kerang darah (*Anadara granosa*) hari ke-0, 30, dan 60, di semua stasiun pengamatan (Tabel 6)

Tabel 6. Kandungan Zn pada Kerang darah (*Anadara granosa*) hari ke-0, 30, dan 60, di semua stasiun pengamatan.

No	Organ	Stasiun	Hari (waktu)		
			0	30	60
1	<i>Insang</i> (mg/kg)	1	291,66	287,82	192,07
		2	170,18	113,82	227,63
		3	282,90	300,41	194,25
		4	219,43	383,58	343,09

2	<i>Mantel</i> (mg/kg)	1	89,74	187,69	94,12
		2	310,81	201,92	142,27
		3	232,01	101,23	162,52
		4	175,10	312,45	282,90
3	<i>Palpuslabialis</i> (mg/kg)	1	137,89	284,54	148,84
		2	246,24	147,20	224,90
		3	314,64	283,4	251,16
		4	185,50	366,07	354,58

Hasil uji *analicys of varian* (anova) untuk mengetahui perbedaan rata-rata antar perlakuan tentang akumulasi logam Zn menunjukkan, adanya perbedaan yang signifikan ($F = 3,56$ $p < 0,01$).

Perbedaan akumulasi Zn pada organ kerang darah (*insang*, *mantel* dan *palpuslabialis*) di setiap stasiun pengamatan, disebabkan tiap stasiun pengamatan memiliki kriteria unsur pencemar yang berbeda. Beberapa penelitian tentang logam berat pada ikan dan biota lainnya yang dilakukan di lingkungan perairan hasilnya menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi logam berat yang terkandung pada masing-masing spesies. Ini sesuai dengan pendapat Darmono (2001), yang menyatakan bahwa perbedaan kandungan logam berat dalam tubuh biota perairan dapat dipengaruhi oleh perbedaan spesies, jenis kelamin, kemampuan organisme untuk menghindari kondisi buruk (polusi), fase siklus hidup, kebutuhan makanan, dan pengaruh lingkungan (suhu, salinitas, pH dan oksigen terlarut dalam air). Bila dibandingkan dengan penelitian Canli dan Atli (2003) dan Dural *et al.*, (2006) terhadap konsentrasi logam

berat pada biota perairan yang dilakukan dikawasan lainnya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan konsentrasi logam beratnya jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian ini terutama logam berat Zn. Tingginya akumulasi Zn juga disebabkan oleh sifat logam Zn yang esensial bagi organisme. Darmono (1995) menyatakan juga bahwa logam Zn memiliki batasan kadar maksimum lebih tinggi dari logam Pb karena logam berat Zn banyak terdapat di dalam enzim yang digunakan dalam proses metabolisme dan membantu pertumbuhan.

Leung *et al.*, (2001) menyatakan bahwa kecilnya kandungan logam berat pada suatu organisme disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain yaitu perbedaan laju pertumbuhan, kecepatan metabolisme, tingkat sensitivitas tubuh terhadap pemasukan logam berat tertentu dan kebutuhan fisiologis terhadap logam, ditambah lagi dengan banyaknya limbah yang mengandung Zn baik yang berasal dari rumah tangga maupun industri yang masuk ke perairan. Penelitian yang sama telah dilakukan oleh Rochyatun *et al.*, (2007), pemantauan kadar logam berat dalam sedimen di perairan Teluk Jakarta; Wahyuni *et al.*, (2013), konsentrasi logam berat di perairan, sedimen dan biota dengan faktor biokonsentrasinya di perairan Batu Belubang Kabupaten Bangka Tengah; Wang *et al.*, (2013), memantau pencemaran logam berat di Laut China Selatan, menyatakan keberadaan logam berat didalam tubuh ataupun organ *bivalvia* dapat ditentukan oleh peranan fisiologis masing-masing organ dan ketersediaan unsur pencemar logam tertentu.

Ambang batas logam berat dalam jaringan hewan belum diatur oleh pemerintah. Peraturan yang ada hanya mengatur

ambang batas logam berat pada air laut untuk tujuan wisata bahari dan kehidupan biota. Berdasarkan pedoman baku mutu air laut menurut Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: KEP-MEN LH No.51/MenKLH/2004, ambang batas Zn untuk wisata bahari adalah 0,01 ppm dan untuk biota adalah 0,05 ppm. Selanjutnya Muhajir (2004) menyatakan batas toleransi logam berat pada bahan pangan yang ditetapkan Kementerian Kesehatan R.I 0,4 ppm sedangkan WHO 0,2 ppm.

Akumulasi logam Zn pada Kerang darah (*Anadara granosa*) disemua organ (*insang*, *mantel* dan *palpuslabialis*) tinggi maka lingkungan perairan disemua stasiun pengamatan yaitu 1, 2, 3, 4, telah terkontaminasi dengan logam Zn dan telah melewati ambang batas.

1. *Concentration factor* dan laju akumulasi Pb dan Zn pada kerang darah (*Anadara granosa*)

Nilai *concentration factor* (CF) dan *rate of metal accumulation* (RMA) dapat diperoleh dengan membandingkan kandungan logam pada awal Kerang darah (*Anadara granosa*) diamati dan pada saat pengamatan 30, dan 60 hari. Nilai CF adalah konsentrasi logam yang terdapat pada organisme (kerang darah) saat terpapar sedangkan, RMA adalah laju penetrasi logam berat (Pb dan Zn) pada saat terpapar. Nilai faktor konsentrasi (CF) dan *rate of metals accumulation* (RMA) (Tabel 7).

Berdasarkan hasil perhitungan nilai faktor konsentrasi (CF) dalam 30 hari, untuk Pb berkisar 1,16 sampai 1,42 mg/kg untuk 60 hari berkisar antara 0,60 sampai 4,74 mg/kg. Sedangkan untuk Zn (CF) pada hari ke-30 sebesar 0,964 sampai 1,831 mg/kg

Tabel 7. Data Concentration Factor (CF) dan Rate of Metals Accumulation Pb dan Zn pada Kerang darah disemua stasiun pengamatan

Stasiun	CF Kerang darah				RMA Kerang darah			
	Pb (mg/kg)		Zn (mg/kg)		Pb (mg/kg)		Zn (mg/kg)	
	30 hari	60 hari	30 hari	60 hari	30 hari	60 hari	30 hari	60 hari
1	1,16	0,60	1,283	1,017	0,013	-0,015	1,635	0,052
2	1,42	2,09	0,964	1,144	0,023	0,039	0,2	0,43
3	2,40	2,08	1,173	0,01	0,78	0,030	1,289	0,021
4	1,29	4,74	1,831	1,690	0,023	0,150	5,356	2,225

untuk hari ke-60 sebesar 0,01 sampai 1,690 mg/kg. Konsentrasi faktor (CF) merupakan kandungan logam yang terdapat pada Kerang darah (*Anadara granosa*) yang mengalami kenaikan pada saat terpapar. Dari nilai yang ditampilkan menunjukkan bahwa konsentrasi Pb mengalami kenaikan lebih signifikan dibanding Zn yang diamati kemudian dikomperasi antar stasiun. Hal ini disebabkan karena unsur pencemar didominasi oleh Pb, selain itu pada saat pengukuran suhu air yang diambil pada waktu siang hari saat sampling pengambilan Kerang darah (*Anadara granosa*) menunjukkan 28,3 – 34,3°C, kondisi ini mendukung peranan suhu terhadap akumulasi logam didalam organ Kerang darah (*Anadara granosa*) sangat besar karena meningkatnya suhu dapat meningkatkan laju metabolisme pada Kerang darah (*Anadara granosa*) lebih besar.

Amriani et al., (2011), menyatakan bahwa peningkatan suhu perairan cenderung meningkatkan akumulasi dan toksisitas logam berat, ini terjadi karena meningkatnya metabolisme dari organisme air. Kondisi ini didukung pula oleh jenis sedimen yang terdapat pada stasiun pengamatan yaitu sedimen lempung berlumpur, dimana sedimen dengan kandungan lumpur (debu) yang tinggi akan meningkatkan akumulasi logam.

Kondisi sedimen dengan fraksi lumpur akan berpengaruh terhadap konsentrasi logam (Hamzah, 2010). Selanjutnya menurut Waldichuk dalam RudiYanti (2007) menyatakan faktor yang mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat adalah jenis logam berat, jenis atau ukuran organisme, lama pemaparan, serta kondisi lingkungan perairan seperti suhu, pH, dan salinitas. Sejalan dengan itu Hutagalung (1990), menyatakan bahwa

kenaikan suhu, penurunan pH, dan meningkatnya salinitas perairan menyebabkan tingkat bioakumulasi semakin besar.

Laju penetrasi logam berat kedalam organ Kerang darah (*Anadara granosa*) dapat terbaca dari nilai RMA (kecepatan akumulasi logam), yaitu pada hari ke-30 berkisar 0,013 sampai 0,78 mg/kg dan hari ke-60 berkisar - 0,015 sampai 0,150 mg/kg untuk Pb dan Zn untuk 30 hari berkisar 0,2 mg/kg sampai 5,356 mg/kg selanjutnya hari ke-60 berkisar antara 0,021 sampai 2,225 mg/kg.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa laju penetrasi Pb maupun Zn mengalami peningkatan jika dibandingkan antara hari-ke 30, dan 60, yang dikomperasi antar stasiun. Kondisi ini dikarenakan Kerang darah (*Anadara granosa*) yang ditransplantasi mengalami peningkatan ukuran tubuh serta penetrasi unsur pencemar yang terus bertambah kedalam tubuh Kerang darah (*Anadara granosa*) selanjutnya unsur-unsur pencemar terus memenuhi organ-organ Kerang darah (*Anadara granosa*) sehingga sebagai akumulator terus mengakumulasi logam berat. Aunorohim (2006) menyatakan bahwa bioakumulasi logam cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran tubuh. Jika di bandingkan dengan penelitian Yap *et al.*, (2004; 2013) yang melakukan penelitian dengan metode transplantasi di Selat Johor, menyatakan faktor penyebab meningkatnya penetrasi dan akumulasi logam kedalam tubuh kerang jenis *bivalvia* adalah pasokan unsur logam tertentu secara terus-menerus dan peningkatan ukuran tubuh organisme yang terpapar.

J. Akumulasi Pb dan Zn pada organ Kerang darah (*Anadara granosa*)

Akumulasi Pb dan Zn pada setiap organ Kerang darah (*Anadara granosa*) berdasarkan waktu tranplantasi di beberapa stasiun pengamatan bervariasi. Rata-rata kandungan logam Pb pada *insang*, *mantel* dan *palpuslabialis* berturut-turut sebesar 4,08, 2,89 dan 3,07 mg/kg. Selanjutnya untuk logam Zn pada *insang*, *mantel* dan *palpuslabialis* sebesar 250,65, 191,06 dan 245,41 mg/kg, (Gambar 2).

Gambar 2. Akumulasi logam Pb dan Zn berdasarkan organ Kerang darah (*insang*, *mantel* dan *palpuslabialis*).

Akumulasi logam Pb dan Zn dalam beberapa organ Kerang darah (*Anadara granosa*) secara berurutan dari yang tertinggi sampai yang terendah adalah sebagai berikut: Logam Pb : *Insang* > *Palpuslabialis* > *mantel*, selanjutnya logam Zn : *Insang* > *Palpuslabialis* > *mantel* (Gambar 4).

Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui bahwa logam berat

yang masuk kedalam tubuh Kerang darah (*Anadara granosa*), terdistribusi keseluruh bagian tubuh Kerang darah (*Anadara granosa*) tersebut, namun dengan konsentrasi yang berbeda. Konsentrasi rata-rata logam Pb dan Zn didalam *insang*, *mantel* dan *palpuslabialis* Kerang darah (*Anadara granosa*) cukup bervariasi. Perbedaan tingkat akumulasi didalam masing-masing organ dapat disebabkan oleh perbedaan dalam peran fisiologis dari setiap organ tersebut (Karuppasamy dalam Murugan, 2008).

Kemampuan dan fungsi regulasi serta faktor lain juga dapat mempengaruhi perbedaan akumulasi dalam berbagai organ. Seperti halnya konsentrasi logam dalam hati (tidak langsung kontak dengan logam didalam air) yang berperan dalam detoksifikasi maupun penyimpanan akan berbeda dengan konsentrasi yang terdeteksi didalam *insang* (dalam kontak langsung dengan logam didalam air) yang berperan dalam pengambilan dan ekskresi logam (Romanenko et al., dalam Murugan, 2008).

Secara umum terlihat bahwa akumulasi logam berat pada *mantel* tergolong rendah dibandingkan dengan organ Kerang darah (*Anadara granosa*) lainnya. Khaled (2004) menyatakan bahwa rendahnya konsentrasi logam berat didalam *mantel* ada kaitannya dengan peran fisiologi dalam metabolisme Kerang darah (*Anadara granosa*) tersebut. Karadede dan Unlo (dalam Al-Weher, 2008) juga menyatakan bahwa *mantel* bukan merupakan jaringan aktif dalam mengakumulasi logam berat. Wong (dalam Nicula et al., 2008) juga menyatakan bahwa *mantel* merupakan jaringan yang biasanya paling rendah konsentrasi logam esensial dan non esensialnya pada Kerang darah (*Anadara granosa*).

Menurut Prakash *et al.*, (1994), menyatakan akumulasi logam sering lebih tinggi pada sistem pencernaan (*digestive system*), *insang*, *ginjal*, dan *palpuslabialis* sedangkan akumulasi yang lebih rendah dalam jaringan *mantel (mantle)*, *gonad* dan *otot (muscle tissue)*. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukannya, akumulasi terbesar ditemukan pada kelenjar pencernaan. Kemampuan kelenjar pencernaan untuk menghimpun konsentrasi tinggi dari logam difasilitasi oleh adanya lendir (*mucus*) kompleks. Jaringan ini juga memainkan peranan penting dalam penyimpanan logam dan proses detoksifikasi. Dalam kelenjar pencernaan sekitar 80% logam ada dalam *lisosom*, terikat pada protein yang kaya akan (-SH).

Menurut Overnell *et al.*, (1990) *palpuslabialis* merupakan organ lanjutan dari *lamela insang* dan terletak bersambungan dengan *insang*. Lapisan membran *insang* merupakan epitel pipih selapis yang berhubungan langsung dengan sistem pembuluh, dan diduga logam berat yang masuk bersamaan dengan partikel makanan mengalami difusi melalui membran *insang* dan dibawa aliran darah.

Insang bivalvia, termasuk *Anadara granosa* mempunyai *mucus* atau lendir yang penyusun utamanya adalah glikoprotein. Sehingga diduga logam tersebut terikat menjadi *metallothienin* karena penyusun utamanya adalah sistein yaitu protein yang tergolong dalam gugus sulfidril (-SH) yang mampu mengikat logam. Al-yousuf (2000) menyatakan bahwa logam dapat berada dalam konsentrasi tinggi pada *palpuslabialis*, *insang*, *usus* dan *pencernaan kelenjar*. Organ-organ ini memiliki potensi yang relatif tinggi akumulasi logamnya.

Yap et al., (2002), Ada kemungkinan bahwa akumulasi logam berat pada Kerang darah (*Anadara granosa*) dipengaruhi oleh banyak faktor fisiko-kimia dan biologi. Untuk *bivalvia* tampaknya kecenderungan pola akumulasi logam tergantung pada metabolisme dan kemampuan kerang untuk mengekskresikan atau menyimpan logam tersebut. Olaifa (2004) juga menyatakan bahwa akumulasi melalui saluran pencernaan biasanya dipengaruhi oleh pH, laju pergerakan melalui saluran ini dan keberadaan bahan lainnya. Kombinasi dari faktor-faktor ini salah satunya bisa meningkatkan ataupun menurunkan absorpsi logam berat didalam saluran pencernaan.

K. Kandungan logam Pb dan Zn pada sedimen

Kandungan Pb dalam sedimen berkisar antara 1-32 mg/kg, sedangkan kandungan Zn dalam sedimen berkisar 113-402 mg/kg (Tabel 8).

Tabel 8. Kandungan Pb dan Zn pada sedimen (mg/kg), di bulan Februari- April 2016

Stasiun	Parameter	
	Pb	Zn
1	1	113
2	6	171
3	14	217
4	32	402

Secara umum kandungan logam Pb lebih rendah dibandingkan dengan Zn di sedimen. Logam Pb memiliki

daya larut yang rendah dibandingkan dengan Zn, sehingga di sedimen, konsentrasi logam Zn memiliki nilai konsentrasi yang tinggi dibandingkan dengan Pb. Wahyuni et al., (2013), logam Zn di air laut dapat terikat dengan mineral anion seperti Cl^- dan Mg sehingga lebih mudah terlarut dan mengendap di sedimen apabila dibandingkan dengan unsur logam lainnya.

Tingginya konsentrasi logam Zn di sedimen dapat menunjukkan bahwa terdapat masukan dari aktivitas industri, pelabuhan, dan perumahan yang menuju ke areal pantai. Jika dikaitkan dengan kondisi perairan yang asam, Zn akan berikatan dengan Cl^- dan mudah terlarut sehingga bisa meningkat konsentrasi Zn. Tingginya kandungan Zn di sedimen dikarenakan ion Zn sangat mudah terserap kedalam sedimen. Dalam hal ini, konsentrasi Zn, tidak berupa ion melainkan berbentuk senyawa (Effendi, 2003). Penelitian mengenai ketersediaan logam di sedimen juga telah dilakukan oleh Eugene et al., (2013); Yap et al., (2013) di Selat Johor dan Silalahi dkk (2009) di Teluk Kendari, menyatakan penyebab ketersediaan logam tinggi di sedimen terutama, Pb dan Zn dapat diakibatkan oleh aktivitas antropogenik (industri, pembukaan lahan pertanian, pemukiman serta pelabuhan).

L. Parameter lingkungan

Setiap pengambilan sampel Kerang darah (*Anadara granosa*) juga dilakukan pencatatan data mengenai pH, suhu, dan salinitas. Hal ini dilakukan karena parameter tersebut dapat mempengaruhi konsentrasi logam dalam air dan sedimen.

Sesuai hasil penelitian, parameter kualitas perairan dari setiap

stasiun bervariasi baik yang mendukung berkembangbiakan maupun menjadi pemicu akumulasi logam berat kedalam siklus hidup Kerang darah (*Anadara granosa*) (Tabel 9).

Tabel 9. Pengukuran kualitas perairan bulan Februari–April 2016 disemua stasiun pengamatan.

Stasiun	Bulan (2016)	Ph	Suhu(°C)	Salinitas (‰)
1	Februari	7,7±0,251	27,6±1,154	32,6±0,577
	Maret	7,5±0,5	28,3±2,081	34,3±0,577
	April	7,7±0,251	29,6±1,54	33,6±0,577
2	Februari	7,7±0,251	27,6±1,154	32,6±0,577
	Maret	6,5±0,5	29,8±0,040	33,6±0,577
	April	6,3±0,577	30±1	34,6±0,577
3	Februari	7,7±0,251	27,6±1,154	32,6±0,577
	Maret	6,2±0,964	29±2	34,6±0,577
	April	6,6±0,550	29,3±1,527	34,6±0,577
4	Februari	7,7±0,251	27,6±1,154	32,6±0,577
	Maret	6,36±0,814	29,5±0,866	34,6±0,577
	April	6,2±0,750	30,1±1,040	34,6±0,577

Pada Tabel 9, dapat dilihat pH air pada stasiun 1 berkisar 7,5 – 7,8 stasiun 2 berkisar antara 6,3 – 6,8 stasiun 3 berkisar 6,2–6,8 dan stasiun 4 berkisar antara 5,8 – 6,6. Suhu pada stasiun 1 berkisar antara 28,3 – 29,6 stasiun 2 berkisar 32,66 – 34,3 stasiun 3 berkisar 31,5–32,6 dan stasiun 4 berkisar antara 32,1 – 33,3. Salinitas pada stasiun 1 berkisar antara 30,6 – 32,6 stasiun 2 berkisar antara 27,2 – 30,6 stasiun 3 berkisar 26,6 – 30,6, dan stasiun 4 berkisar antara 27,5 – 34,6.

1. Derajat keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan suatu tolak ukur kimia kualitas air yang terpenting dalam membatasi aktivitas dan penyebaran suatu organisme perairan. Hal ini karena pH dapat mempengaruhi sifat fisiko-kimiawi perairan. Menurut Sorenson (1985 dalam APHA, 1981) definisi pH adalah $-\log [H^+]$, yang sangat dipengaruhi oleh kondisi kesetimbangan *buffer* dalam air.

Air laut mempunyai kesetimbangan *buffer* yang sangat tinggi, sehingga pH air laut relatif stabil, tidak akan menjadi sangat asam atau basa, kecuali pada kondisi sangat khusus. Menurut Clydeday dan Selbin (1987 dalam Alabaster dan Lyod 1980) pH air laut pada umumnya normal, yaitu berkisar antara 7,0 – 9,5. pH air laut dapat menjadi asam misalnya apabila terjadi hujan asam atau tercemar oleh limbah yang masuk bersama aliran air sungai.

2. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor fisik lingkungan yang sangat bervariasi. Suhu juga berperan sangat penting dalam aktivitas metabolisme suatu organisme. Hal ini karena suhu mempengaruhi laju berbagai reaksi kimia dalam tubuh yang erat kaitannya dengan proses metabolisme. Hampir semua organisme memiliki mekanisme khusus untuk beradaptasi dengan fluktuasi suhu dilingkungan alamnya (Michael, 1980)

Suhu juga merupakan faktor lingkungan kritis yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan organisme dan penyebarannya. Setiap spesies secara fisiologis beradaptasi terhadap suhu lingkungan alamnya dan dapat terkarakterisasi berdasarkan

responnya terhadap suhu, misalnya dengan cara adaptasi atau aklimatisasi (Bligh *et al.*, 1997). Selanjutnya Michael (1980) menyatakan bahwa beberapa faktor lain yang juga sangat dipengaruhi oleh suhu dalam suatu lingkungan perairan antara lain (1) Perubahan pH perairan; (2) Proses spesiasi beberapa unsur logam berat; (3) Proses pengikatan logam dengan senyawa organik; dan (3) Tingkat toksisitas suatu pencemar logam berat, semakin tinggi suhu suatu lingkungan perairan, maka toksisitas suatu logam berat akan semakin tinggi.

Suhu yang berfluktuasi di setiap perairan laut akan mempengaruhi kandungan nutrisi ditempat tersebut. Suatu lingkungan yang suhunya tinggi relatif lebih sedikit kandungan nutrisinya dibandingkan dengan suatu lingkungan perairan yang suhunya lebih rendah (sutikno, 1991)

3. Salinitas

Salah satu tolak ukur kimia perairan yang juga diamati sebagai pendukung adalah salinitas. Salinitas menunjukkan kondisi keseimbangan garam-garam yang terlarut dalam air. Kehidupan biota laut sangat dipengaruhi oleh salinitas perairan habitat.

Biota air tawar dalam kehidupannya harus mempertahankan pengeluaran air dari tubuhnya. Karena air tawar habitatnya mempunyai konsentrasi garam yang lebih rendah dari cairan tubuhnya. Karena air tawar habitatnya mempunyai konsentrasi garam yang lebih rendah dari cairan tubuhnya sehingga air tawar cenderung masuk kedalam tubuh biota. Pada biota laut terdapat proses sebaliknya, yaitu karena kadar garam air laut lebih tinggi dari kadar garam cairan tubuh, sehingga cairan tubuh cenderung

keluar. Untuk menjaga keseimbangan air dalam tubuhnya biota laut mempunyai mekanisme untuk mencegah air keluar dari tubuhnya.

Selain sangat berpengaruh terhadap kehidupan biota laut secara umum salinitas juga mempengaruhi toksisitas pencemar logam berat yang ada di perairan tersebut (mance 1987) semakin rendah salinitas perairan laut, toksisitas suatu pencemar logam berat akan meningkat. (Clark, 1968 dalam Newell, 1997) menyatakan bahwa faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kondisi salinitas antara lain :

- 1) Sedikit atau banyaknya curah hujan di daerah tersebut;
- 2) Derajat evaporasi;
- 3) Frekuensi penggenangan pasang-surut.

Selain itu salinitas yang relatif konstan kecil pengaruhnya terhadap toksisitas logam berat. Sebaliknya salinitas besar pengaruhnya terhadap toksisitas didaerah estuari atau muara. Salinitas dilautan bebas secara keseluruhan hampir homogen (35 promil), sedangkan di pantai berkisar antara 19-32 promil (sutikno, 1991). Akibat salinitas air laut yang cukup tinggi ini biota laut bersifat isotonik, sedangkan biota air tawar bersifat hipotonik.

Kerang darah (*Anadara granosa*) mampu hidup pada kadar garam 23 promil meskipun tidak optimum sedangkan dibawah 20 promil pertumbuhan kerang kurang sehat. Pada umumnya kerang anadara dapat hidup dengan baik dalam kisaran salinitas 28-31 promil (Broom, 1985).

M. Distribusi dan kemelimpahan kerang darah (*Anadara granosa*) disemua stasiun pengamatan

Rata-rata kemelimpahan Kerang darah (*Anadara granosa*) yang tertinggi ditemukan pada stasiun 1 yaitu 19,5 ind/m² dan yang terendah adalah pada stasiun 4, yaitu 0 ind/m² (Tabel 10). Kondisi ini menunjukkan stasiun 4 telah terkontaminasi dan melebihi batas toleransi sehingga kehidupan Kerang darah (*Anadara granosa*) berangsur hilang.

Tabel 10. Kemelimpahan kerang pada bulan Februari–April 2016 disemua stasiun pengamatan.

Stasiun	Jumlah	Rata – rata (ind/2m ²)
1	39	19,5
2	5	2,5
3	5	2,5
4	0	0
Jumlah	49	24,5

Pola sebaran merupakan metode untuk menentukan sifat penyebaran suatu komunitas di lokasi penelitian. Pola sebaran Kerang darah (*Anadara granosa*) disetiap stasiun pengamatan dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Pola sebaran Kerang darah (*Anadara granosa*) disemua stasiun pengamatan pada bulan Februari – April 2016 (Brower et al., 1990).

Stasiun	N	N	X ²	Id	Pola sebaran
1	2	39	1521	2,12	Mengelompok
2	2	8	64	57,2	Mengelompok
3	2	5	25	160,5	Mengelompok
4	2	0	0	0	Merata
Jumlah		52	1610		

Sumber : Data Primer

Keterangan : Hasil indeks morista di kelompokkan menjadi tiga kategori. Apabila nilai $Id < 1$ maka penyebarannya bersifat merata, apabila nilai $Id = 1$ maka penyebarannya bersifat acak dan apabila nilai $Id > 1$ maka penyebarannya bersifat mengelompok.

Bagian Kelima

ANALISIS PENCEMARAN BERDASARKAN INDEKS KERAGAMAN POPULASI TERIPANG (*Holothuria* Sp) DI PERAIRAN TELUK MUTIARA

Pencemaran laut merupakan persoalan yang krusial saat ini karena habitat ini memiliki keragaman hayati sangat tinggi dan memberikan jasa lingkungan yang sangat besar bagi kehidupan manusia. Guncangan suatu perairan pesisir seringkali terjadi karena *antrophogenik* atau kiriman kontaminan yang berasal dari aktivitas manusia didaratan maupun aktivitas manusia di perairan tersebut (Krebs, 1972; Bengen *et al.*, 1995; Sastrawijaya, 2000; Denny *et al.*, 2009).

Pencemaran laut dapat berdampak sangat luas, misalnya dapat meracuni air laut, meracuni hewan yang hidup disekitar perairan yang terkontaminasi dan terlibat pada rantai makanan

dan pada puncak trofik dapat meracuni manusia. Selain itu menjadi penyebab terjadinya ketidak seimbangan ekosistem di perairan tersebut, (Fardiaz dan srikandi. 1992; Sastrawijaya, 2000).

Pembuangan bahan kimia, limbah maupun pencemar lain kedalam air akan mempengaruhi kehidupan dalam air. Beberapa hal penting diperhatikan terkait kondisi ini, antara lain dimungkinkan suatu pencemar cukup banyak untuk membunuh spesies tertentu, tetapi tidak membahayakan spesies lain. Sebaliknya suatu pencemar dapat mendukung perkembangan spesies tertentu (Krebs, 1972; Spellerberg, 2005; Denny *et al.*, 2009) Penurunan dalam keanekaragaman spesies dapat juga dianggap sebagai suatu tanda adanya pencemaran. Namun penting juga diperhatikan, bahwa pengujian secara kimia bersama dengan data biologi dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai kualitas air (Koesbiono, 1981; Nyabaken, 1992).

Indikator pencemaran menurut Kementrian Lingkungan Hidup (2004) dibagi dalam empat kategori antara lain :

- 1) Terhadap kehidupan biota air;
- 2) Terhadap kualitas air tanah;
- 3) Terhadap kesehatan;
- 4) Terhadap estetika lingkungan.

Menelusuri keberadaan suatu zat pencemar dalam suatu perairan dengan menggunakan organisme sangat penting dilakukan. Organisme atau biota perairan yang digunakan diharapkan memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap pencemaran. Soeparmo dalam Sastrawijaya (2002) menyatakan,

dampak pencemaran air laut dapat mempengaruhi perubahan struktur dan fungsi ekosistem perairan laut baik hewan maupun tumbuhan. Organisme perairan laut yang memiliki sensitivitas atau berperan sebagai detektor terhadap kontaminan menurut Denny *et al.*, (2009) invertebrata air seperti Teripang (*Holothuria sp*), sehingga keberadaan mereka jika berangsur hilang dan dapat dikatakan telah terjadi tekanan akan habitat mereka oleh berbagai kontaminan.

Tingginya pencemaran mempengaruhi keragaman dan populasi Teripang (*Holothuria sp*), hal ini disebabkan hanya spesies yang tahan terhadap pencemaran yang dapat beradaptasi, dengan memakan detritus atau sampah (*detritus feeder*). Sejalan dengan itu (Krebs, 1972) menyatakan, Teripang (*Holothuria sp*) dalam ekosistem laut termasuk dalam katagori benthos yang mendiami dasar perairan pantai dan dapat digunakan sebagai indikator untuk menunjukan keadaan lingkungan dimana komunitas tersebut berada.

Pengukuran kualitas perairan selama ini cenderung dilakukan untuk melihat parameter fisika dan kimia. Namun, parameter fisika dan kimia umumnya bersifat terbatas dan kurang memungkinkan untuk memantau seluruh perubahan variabel yang berkaitan dengan kehidupan biota akuatik dan kondisi ekologi (Darmono, 2004). Selain itu, pengukuran kualitas perairan secara kimia dan fisika memerlukan banyak bahan kimia, peralatan, dan tenaga yang sangat terlatih sehingga penerapan di lapangan tidak praktis dan mahal (Wardhana, 2006).

Keragaman, distribusi dan kelimpahan biota akuatik yang rendah atau tinggi dapat dipakai sebagai indikator kualitas hayati,

yang juga dapat digunakan untuk menentukan atau mengukur kualitas lingkungan. Keragaman, distribusi dan kelimpahan merupakan angka banding antara jumlah spesies, dengan jumlah total individu dalam suatu komunitas. Berhubungan juga dengan kestabilan suatu lingkungan dimana kondisi suatu lingkungan makin stabil apabila keragaman, distribusi dan kelimpahan spesies bertambah. Hal ini sangat penting dalam menentukan batas kerusakan yang dilakukan terhadap sistem alam oleh turut campurnya manusia (Connell dan Miler, 1995)

Teluk Mutiara secara geografis berada pada posisi garis lintang $8^{\circ} 05' 0'' - 8^{\circ} 34' 11''$ lintang selatan dan garis bujur $123^{\circ} 44' 35'' - 124^{\circ} 39' 30''$ bujur timur, secara topografi teluk mutiara memiliki perairan yang menjorok kedalam hingga 26 km dan berpotensi menimbun berbagai material atau unsur pencemar dari daratan maupun aktivitas di lautan. Selain itu Teluk Mutiara juga pusat aktivitas masyarakat yang sering menimbulkan limbah sebagai efek samping agroindustri, perikanan, transportasi yang sebagian besar dibuang ke Pantai Teluk Mutiara menyebabkan perubahan sifat fisika-kimia maupun biologi perairan. Plaimo (2016) menyatakan kandungan logam Pb dan Zn di Perairan Teluk Mutiara terbilang tinggi akibat kontaminasi, hal sesuai dengan pernyataan Losada *et al.*, (2009), bahwa salah satu area pembuangan limbah industri, limbah rumah tangga maupun limbah area perkotaan adalah pantai. Wilayah ini baik kondisi maupun kualitas nya sudah semakin kritis, karena merupakan terminal limbah terakhir.

Perairan Teluk Mutiara dimasa lalu merupakan areal perairan yang kaya akan keragaman sumber hayati dan merupakan

sebuah daerah penopang sumber pangan laut bagi masyarakat pesisir Teluk Mutiara. Sebaliknya saat ini keragaman biota native di perairan Teluk Mutiara mengalami goncangan dan terjadi penurunan bahkan beberapa spesies yang dahulu berlimpah menjadi hilang. Hal ini diakibatkan oleh tekanan banyaknya unsur-unsur pencemar yang terus dihasilkan oleh manusia. Organisme atau biota yang memiliki sensitivitas tinggi akan langsung mengalami *lethal* atau kematian sehingga perlu diinventarisir biota atau organisme yang telah menurun kuantitasnya atau telah hilang di Perairan Teluk Mutiara.

A. Alur produktivitas pencemar

Perairan laut adalah suatu komponen yang berinteraksi dengan lingkungan daratan, dimana buangan limbah dari daratan akan bermuara ke laut. Limbah tersebut yang mengandung polutan kemudian masuk kedalam ekosistem perairan pantai dan laut. Sebagian larut dalam air, sebagian tenggelam ke dasar dan terkonsentrasi ke sedimen, dan masuk ke dalam jaringan tubuh organisme laut dan berpotensi menjadi biomagnifikasi.

Dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi kelautan di abad dua puluh ini, maka fungsi laut telah meningkat dengan bertambahnya sarana-sarana transportasi, ditemukannya bahan-bahan tambang dan galian terutama mineral, minyak dan gas bumi serta dimungkinkannya usaha-usaha untuk mengambil kekayaan laut tersebut, baik kekayaan di airnya maupun di dasar laut dan tanah dibawah dasar laut. Akan tetapi, dampak negatif yang dihasilkan sangatlah besar, yaitu polusi atau pencemaran yang mana merupakan peristiwa masuknya zat, energi, unsur,

atau komponen lain yang merugikan lingkungan dari akibat aktivitas manusia atau proses alami. Serta menyebabkan polusi yang disebut polutan yang mana bila kadar melebihi atau kurang dari batas normal, berada pada tempat dan waktu yang tidak tepat.

Pencemaran laut adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam laut oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga menyebabkan lingkungan laut menjadi kurang atau tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Kualitas air laut menjadi terganggu ditandai dengan perubahan bau dan warna.

Pencemaran lingkungan mempunyai berbagai macam arti dan definisi, menurut Surat Keputusan Menteri Kependudukan Lingkungan Hidup No 02/MENKLH/1998, pencemaran lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya zat, makhluk hidup, energi ke dalam air, tanah dan udara atau berubahnya tatanan komposisi air, udara, tanah akibat dari berbagai macam pengaruh kegiatan manusia dan proses alam, sehingga kualitas air, udara dan tanah menjadi kurang atau tidak sesuai lagi dengan fungsi awalnya. Sedangkan menurut MONKARIS (2008), pencemaran lingkungan dapat diartikan sebagai penambahan atau masuknya zat-zat asing dalam jumlah tertentu, sehingga dapat menyebabkan ancaman bagi kesehatan manusia, terganggunya kehidupan, terganggunya ekosistem dan rusaknya sumberdaya alam dalam suatu ekosistem.

B. Dampak pencemaran terhadap ekologi laut

Koesbiono, (1981); Hutagalung (1984); Suratmo, (1990); Nybakken (1992); Palar (1994); Darmono (1995; 2004); Aunorohim *et al.*, (2006), mengemukakan bahwa secara umum dampak pencemaran laut dapat berpengaruh terhadap:

- 1) Organisme Laut: Adanya pencemaran akan berdampak terhadap penurunan kualitas perairan, sehingga akan mengganggu berlangsungnya proses biologi maupun fisiologi organisme laut. Dan dengan demikian akan menyebabkan kematian yang pada akhirnya menurunkan populasi dan keanekaragaman hayati;
- 2) Terhadap ekosistem laut: Masuknya sisa-sisa pupuk dan bahan pencemar organik ke laut akan menyebabkan terjadinya "*eutrofikasi*" sehingga terjadi peledakan populasi organisme tertentu. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan keseimbangan dalam ekosistem laut;
- 3) Manusia: Pencemaran oleh logam-logam berat seperti Hg (*merkuri*) dan Cd (*cadmium*), dapat menyebabkan penyakit minimata seperti kasus di Jepang yang menyebabkan kematian dan cacat tubuh;
- 4) Kegiatan pariwisata dan industri. Perusakan kawasan wisata bahari dan ketersediaan air untuk industri dan pertanian.
- 5) Dampak dari beberapa jenis bahan pencemar yang sering menyebabkan terjadinya pencemaran di laut :
 - a) Dampak Dari Limbah Industri: Logam Pb (*timbal*) dan Hg (*merkuri*) yang merupakan jenis bahan pencemar di laut, selain dapat menurunkan kualitas dan produktivitas perairan laut, juga dapat menimbulkan

keracunan, karena unsur Hg dan Pb merupakan unsur logam berbahaya yang dapat menimbulkan penyakit pada manusia apabila terakumulasi pada organisme perairan yang dimakan manusia. Limbah industri lainnya yang umumnya terbuang ke badan sungai dan dialirkan ke laut atau yang langsung terbuang ke laut akan terakumulasi. Dalam jumlah tertentu yang melebihi kapasitas daya asimilatif perairan, bahan pencemar ini akan menjadi *sludge* (lumpur) yang menimbulkan bau busuk. Kandungan kimia *sludge* dapat menurunkan DO dan BOD serta meningkatkan COD. Disamping itu *sludge* mengeluarkan pula bahan beracun berbahaya seperti sulfida, fenol, Cr (*heksavalen*), Pb (*Timbal*), dan Cd (*cadmium*) yang dapat terakumulasi dalam organisme perairan tertentu dan secara tidak langsung merupakan acaman bagi kehidupan manusia (Suratmo, 1990). Untuk itu limbah industri harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke laut melalui badan sungai;

- b) Dampak Dari Limbah Domestik dan Pertanian: Limbah domestik berupa limbah rumah tangga dan kotoran manusia yang terbuang ke perairan apabila melebihi kemampuan asimilasi perairan sungai dan terbawa ke laut dapat mencemari perairan dan menimbulkan penyuburan berlebihan (*eutrofikasi*). Gejala ini akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen terlarut akibat meledaknya populasi organisme tertentu sehingga dapat menimbulkan kematian beberapa organisme perairan.

Kondisi perairan yang mengalami "*eutrofikasi*", organisme detektor yang menjadi indikator lingkungan jarang sekali ditemukan. Sedangkan kadar NH_3 perairan meningkat dan pH-nya menjadi rendah (asam). Keadaan ini menunjukkan kondisi perairan yang tidak stabil dimana terjadi penurunan kualitas perairan sehingga organisme laut akan mati atau tidak dapat melaksanakan aktivitas hidupnya untuk proses pertumbuhan dan perkembangbiakan. Sedangkan limbah pertanian selain dapat menimbulkan eutrofikasi yang disebabkan akumulasi bahan-bahan organik sisa tumbuhan yang membusuk, akumulasi residu dari pestisida terutama bahan kimia beracun chlorine dan *organo-chlorine* juga dapat menimbulkan keracunan bagi organisme perairan yang pada akhirnya akan membawa kematian.

Keadaan ini tidak hanya mengancam kehidupan organisme yang hidup di habitat yang terkena kontaminasi bahan beracun saja, tetapi dapat mengancam kehidupan organisme lain yang secara ekologis mempunyai kaitan erat dengan organisme tersebut melalui aliran rantai makanan misalnya pencemaran berupa sedimentasi dan pendangkalan sungai yang disebabkan oleh erosi. Proses kekeruhan dan sedimentasi ini bisa mencapai perairan estuaria dan perairan pantai. Secara ekologis proses kekeruhan karena sedimentasi dapat menyebabkan terganggunya penetrasi cahaya matahari kedalam perairan, sehingga kegiatan fotosintesa plankton maupun organisme laut lainnya menjadi terhenti:

- c) Dampak dari buangan atau tumpahan minyak; Buangan dan tumpahan minyak bumi akibat kegiatan penambangan dan pengangkutannya dapat menimbulkan pencemaran laut yang lebih luas karena terbawa arus dan gelombang laut. Pengaruh buangan atau tumpahan minyak terhadap ekosistem perairan laut adalah dapat menurunkan kualitas air laut secara fisik, kimia dan biologis. Secara fisik dengan adanya tumpahan atau buangan minyak maka permukaan air laut akan tertutup oleh minyak. Secara kimia, karena minyak bumi tergolong senyawa aromatik hidrokarbon maka dapat bersifat racun. Sedangkan secara biologi adanya buangan atau tumpahan minyak dapat mempengaruhi kehidupan organisme laut.

Tumpahan minyak bumi pada perairan laut akan membentuk lapisan filem pada permukaan laut, emulsi atau mengendap dan diabsorpsi oleh sedimen-sedimen yang berada di dasar perairan laut. Minyak yang membentuk lapisan filem pada permukaan laut akan menyebabkan terganggunya proses fotosintesa dan respirasi organisme laut. Sementara minyak yang teremulsi dalam air akan mempengaruhi epitel insang ikan sehingga mengganggu proses respirasi. Sedangkan minyak yang terabsorpsi oleh sedimen-sedimen di dasar perairan akan menutupi lapisan atas sedimen tersebut sehingga akan mematikan organisme-organisme penghuni dasar laut dan juga meracuni daerah-daerah pemijahan. Selain itu, buangan

atau tumpahan minyak yang menyebar dengan cepat ke wilayah laut yang lebih luas akan menyebabkan rusaknya ekosistem hutan mangrove sehingga mengakibatkan terjadinya abrasi dan intrusi air laut, rusaknya tempat-tempat pemijahan (*Spawning ground*) dari organisme laut.

C. Deteksi kontaminasi air laut melalui biota perairan

Pencemaran air laut dapat berdampak sangat luas, misalnya dapat meracuni air laut, meracuni hewan yang hidup disekitar perairan yang terkontaminasi dan terlibat pada rantai makanan dan pada puncak trofik dapat meracuni manusia. Selain itu menjadi penyebab terjadinya ketidak seimbangan ekosistem di perairan tersebut.

Indikator pencemaran menurut Kementrian Lingkungan Hidup (2004) dibagi dalam empat kategori antara lain :

- 1) Dampak terhadap kehidupan biota air;
- 2) Dampak terhadap kualitas air tanah;
- 3) Dampak terhadap kesehatan;
- 4) Dampak terhadap estetika lingkungan.

Menelusuri tingkat pencemaran melalui pendekatan organisme merupakan metode yang penting apalagi organisme tersebut bernilai ekonomis. Dampak pencemaran terhadap kehidupan organisme air laut berupa kematian atau hilangnya organisme tersebut dari perairan laut yang memiliki sensitivitas terhadap kontaminan tertentu terutama di perairan teluk mutiara. Soeparmo dalam sastrawijaya (2002) menyatakan,

dampak pencemaran air laut dapat mempengaruhi perubahan struktur dan fungsi ekosistem perairan laut baik hewan maupun tumbuhan.

Gaufin dalam Denny *et al.*, (2009) mengelompokkan spesies yang dapat berperan menjadi monitoring lingkungan berdasarkan kepekaannya terhadap pencemaran bahan organik, yaitu kelompok intoleran, fakultatif dan toleran seperti :

- 1) Organisme intoleran yaitu organisme yang dapat tumbuh dan berkembang dalam kisaran kondisi lingkungan yang sempit dan jarang dijumpai di perairan yang kaya organik. Organisme ini tidak dapat beradaptasi bila kondisi perairan mengalami penurunan kualitas.
- 2) Organisme fakultatif yaitu organisme yang dapat bertahan hidup pada kisaran kondisi lingkungan yang lebih besar bila dibandingkan dengan organisme intoleran. Walaupun organisme ini dapat bertahan hidup di perairan yang banyak bahan organik, namun tidak toleran terhadap tekanan lingkungan;
- 3) Organisme toleran yaitu organisme yang dapat tumbuh dan berkembang dalam kisaran kondisi lingkungan yang luas, yaitu organisme yang sering dijumpai di perairan yang berkualitas buruk. Pada umumnya organisme tersebut peka terhadap berbagai tekanan lingkungan dan kelimpahannya dapat bertambah di perairan yang tercemar oleh bahan organik. Teripang, ubur-ubur maupun kuda laut merupakan organisme yang tidak dapat ditemukan pada lingkungan yang tercemar, sehingga termasuk kedalam organisme tidak toleran terhadap lingkungan yang tercemar.

Menilai kualitas suatu lingkungan kita dapat memanfaatkan organisme yang ada disekitarnya. Keberadaan organisme pada lingkungan dapat dijadikan sebagai parameter kualitas lingkungan. Biota yang dapat dijadikan sebagai petunjuk keadaan lingkungan umum kita sebut sebagai bioindikator atau indikator biologis. Bioindikator dibedakan dalam tiga organisme, yaitu :

- 1) Organisme indikator, dengan melihat keberadaan spesies tertentu pada lingkungan, misalnya dengan indeks diversitas sebagai organisme penentu kualitas lingkungan;
- 2) Organisme pemantau, baik secara aktif maupun pasif, dengan menempatkan atau mengukur tingkat kerusakan yang dialami oleh suatu organisme;
- 3) Organisme uji, yaitu organisme yang digunakan untuk menguji akumulasi dan reaksi suatu substansi kimia baik dalam laboratorium maupun di lapangan.

Amriani *et al.*, (2011) menyatakan bahwa bioindikator ekologis adalah makhluk yang diamati penampakkannya untuk dipakai sebagai petunjuk tentang keadaan kondisi lingkungan dan sumber daya pada habitatnya. Selain itu, menurut Kopciuch (2004) bioindikator adalah indikator biologis terhadap suatu kualitas lingkungan yang dapat memberikan suatu gambaran situasi ekologi. Menurut Odum (1993) adapun pedoman mengenai makhluk yang dapat digunakan sebagai bioindikator ekologis yaitu:

- 1) Spesies *steno* (kisaran toleransinya sempit) lebih baik dipakai sebagai indikator dibandingkan dengan spesies yang *euri* (kisaran toleransinya luas);

- 2) Spesies yang dewasa lebih baik dipakai sebagai indikator dibandingkan dengan yang masih muda.
- 3) Sebelum mempercayai penampakan makhluk sebagai indikator ekologis, maka terlebih dahulu harus ada bukti yang cukup bahwa suatu faktor yang dipermasalahkan memang benar dapat membatasi.
- 4) Banyak hubungan diantara jenis, populasi, dan seluruh komunitas seringkali memberikan indikator yang lebih dapat dipercaya daripada satu jenis yang tunggal karena integrasi keadaan yang lebih baik dicerminkan oleh keseluruhan daripada oleh sebagian.

Pearson (1994) dalam Shahabuddin (2003) bahwa beberapa kriteria umum yang dapat digunakan untuk menggunakan suatu jenis organisme sebagai bioindikator adalah :

- 1) Secara taksonomi telah stabil dan cukup diketahui;
- 2) Sejarah alamiahnya diketahui;
- 3) Siap dan mudah disurvei dan dimanipulasi;
- 4) Taksa yang lebih tinggi terdistribusi secara luas pada berbagai tipe habitat;
- 5) Taksa yang lebih rendah spesialis dan sensitif terhadap perubahan habitat;
- 6) Pola keanekaragaman menggambarkan atau terkait dengan taksa lainnya yang berkerabat atau tidak;
- 7) Memiliki potensi ekonomi yang penting.

Sebagai organisme yang hidup di perairan, hewan detektor sangat peka terhadap perubahan kualitas air tempat

hidupnya sehingga akan berpengaruh terhadap komposisi dan kelimpahannya. Hal ini tergantung pada toleransinya terhadap perubahan lingkungan. Diantara hewan bentos yang relatif mudah diidentifikasi dan peka terhadap perubahan lingkungan perairan adalah jenis-jenis yang termasuk dalam kelompok invertebrata makro.

Macova (2009) menyatakan bahwa makroinvertebrata memiliki umur yang cukup panjang dan memiliki kontak yang tetap terhadap sedimen sungai sehingga makroinvertebrata sensitif terhadap kontaminasi dan toksisitas yang terjadi pada sedimen sungai. Sebagai bioindikator, biota makroinvertebrata dapat memenuhi tujuan pemantauan kualitas air yang hakiki, yaitu: dapat memberikan petunjuk telah terjadi penurunan kualitas air, dapat mengukur efektivitas tindakan penanggulangan pencemaran, dapat menunjukkan kecenderungan untuk memprediksi perubahan-perubahan yang mungkin terjadi pada waktu yang akan datang. Sehingga pemantauan kualitas air sungai dapat dilakukan dengan melakukan pemantauan pada satwa-satwa yang ada di sungai.

Spellerberg (1995) dalam Agus (2001) memilah spesies indikator polutan menjadi lima kelompok, yaitu :

- 1) Sentinel; Suatu spesies organisme yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap polutan, yang mana spesies organisme ini umumnya diintroduksi ke suatu habitat untuk mengetahui dan memberi peringatan dini terjadinya polusi;
- 2) Detektor; Suatu spesies organisme, penghuni asli disuatu habitat, yang mampu menunjukkan adanya perubahan yang dapat diukur (misalnya perilaku, kematian, morfologi) pada lingkungan yang berubah;

- 3) Eksploitor; Suatu spesies organisme yang kehadirannya menunjukkan adanya suatu goncangan atau polusi disuatu tempat, bahkan jumlah individunya berlimpah ditempat terjadinya polusi (karena kurangnya kompetisi dengan spesies lain yang tidak mampu hidup ditempat terjadinya polusi);
- 4) Akumulator; Suatu spesies organisme yang mengambil dan mengakumulasikan senyawa-senyawa kimia dalam jumlah yang dapat diukur;
- 5) Organisme bioassay suatu spesies organisme terpilih, yang digunakan untuk media pendeteksi adanya polutan di laboratorium, baik besarnya konsentrasi suatu polutan maupun tingkat toksisitas suatu polutan. Dalam hal pembagian tersebut, organisme yang mengalami kehilangan di perairan Teluk Mutiara termasuk kedalam organisme detektor.

D. Ekofisiologi Teripang (*Holothuria sp*)

Klasifikasi Teripang (*Holothuria sp*) menurut Clark dan Rowe (1971) sebagai berikut :

Filum	:	<i>Echinodermata</i>
Sub filum	:	<i>Echinozoa</i>
Kelas	:	<i>Holothuroidea</i>
Sub kelas	:	<i>Aspidochirotacea</i>
Ordo	:	<i>Aspidochirotida</i>
Famili	:	<i>Holothuridae</i>
Genus	:	<i>Holothuria</i>
Spesies	:	<i>Holothuria sp</i>

Teripang (*Holothuria sp*) termasuk kedalam filum *echinodermata* dari kelas *Holothuroidea*. Tubuh hewan ini lunak, panjang silindris, memiliki warna dan corak yang beragam, memiliki tentakel pada bagian mulut atau oral, kaki tabung dan beberapa jenis dapat mengeluarkan cairan yang lengket seperti getah karet untuk melindungi diri (Widigdo et al., 2005).

Teripang (*Holothuria sp*) adalah invertebrata yang tersebar mulai dari zona pasang surut sampai laut dalam. Merupakan hewan yang bergerak lambat dan hidup pada dasar substrat pasir, lumpur pasir maupun dalam lingkungan terumbu karang. Teripang (*Holothuria sp*) merupakan komponen penting dalam rantai makanan diterumbu karang dan ekosistem asosiasinya pada berbagai tingkat struktur pakan (*trophic levels*). Teripang (*Holothuria sp*) berperan penting sebagai pemakan deposit (*deposit feeder*) dan pemakan suspensi (*suspensi feeder*) (Martoyo, 2007).

Teripang (*Holothuria sp*) merupakan salah satu anggota dari filum *echinodermata*, yaitu kelompok hewan invertebrata yang berkulit duri. Namun tidak semua teripang mempunyai duri pada kulitnya (Nontji, 1987). Lebih lanjut Martoyo et al., (2007) menyatakan rangka kapur Teripang (*Holothuria sp*) hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop.

E. Morfologi dan anatomi teripang (*Holothuria sp*)

Teripang (*Holothuria sp*) dalam ekosistem laut termasuk dalam kategori benthos yang mendiami dasar perairan pantai dan dapat digunakan sebagai indikator untuk menunjukkan keadaan lingkungan dimana komunitas tersebut itu berada. Teripang

(*Holothuria sp*) umumnya berbentuk bulat panjang atau selindris sekitar 10-30 cm. Mulutnya dikelilingi oleh tentakel-tentakel atau lengan peraba yang kadang-kadang bercabang, mulut terdapat pada salah satu ujungnya dan dubur pada ujung lainnya. Tubuhnya berotot tipis dan tebal, lunak atau licin serta kulitnya dapat kasar atau berbintil-bintil (Nontji, 1993)

Berdasarkan kedudukan mulut dan anus, tubuh Teripang (*Holothuria sp*) dibagi menjadi dua yaitu anterior dan posterior. Sekeliling mulut terdapat 10-30 tentakel yang dapat dijulurkan dan ditarik kembali karena adanya kontraksi otot refraktor tentakel dan refraktor mulut (Fechter, 1974). Tentakel ini berguna untuk mengambil makanan, yaitu detritus dan plankton yang berada disekitarnya (Barnes, 1963).

Teripang (*Holothuria sp*) termasuk jenis hewan diocius. Artinya alat kelamin atau alat reproduksi terletak pada bagian mulut atau sebelah dorsal anterior yang berbentuk tubulus memanjang sifatnya diocious (Notowinarto, 1994).

Menurut Robert *et al.*, (1978), Teripang (*Holothuria sp*) memiliki dua macam sistem pernafasan, yaitu pernafasan berbentuk saluran yang bercabang-cabang seperti pohon sehingga dikenal dengan nama pohon pernapasan (*respiratory tree*) yang berfungsi menghisap oksigen dan menyalurkan ke darah, dan pernafasan berbentuk kaki tabung (*teube feet*) yang terletak di dinding tubuh berfungsi menghisap oksigen yang terlarut dalam air.

F. Habitat Teripang (*Holothuria sp*)

Teripang (*Holothuria sp*) ditemukan hampir diseluruh perairan pantai mulai dari daerah pasang surut yang dangkal sampai perairan yang dalam (Nontji, 1993). Habitat spesies teripang (*Holothuria sp*) yaitu paparan terumbu karang, tempat berpasir, tempat berbatu, dan pasir lumpur (Martoyo et al., 2007)

Menurut Baakus (1973), kehidupan Teripang (*Holothuria sp*) didalam mulai larva sampai Teripang (*Holothuria sp*) dewasa, hidup sebagai plankton dan sebagai benthik pada fase larva yakni pada stadia *auliculari* hingga *doliolaria*, hidup sebagai plankton, kemudian pada stadia *pentactula* hidup sebagai benthik sampai menjadi Teripang (*Holothuria sp*) dewasa.

Menurut Hyman (1955), pada umumnya *Holothuria sp* adalah *dicocious* artinya, hewan berkelamin jantan terpisah dengan yang berkelamin betina. Proses pembuahan terjadi diluar tubuh dengan cara teripang jantan mengeluarkan sperma terlebih dahulu, dan kira-kira 30 menit kemudian disusul oleh teripang betina yang mengeluarkan telurnya dengan cara menyemburkan ke air, jumlah telur yang dikeluarkan oleh seekor induk betina berkisar antara 4-5 juta butir.

Telur Teripang (*Holothuria sp*) berbentuk bulat dan berwarna putih, ukuran telur bervariasi antara 160-180 μm . Telur yang telah dibuahi akan mengendap beberapa saat di dasar perairan. Sedangkan telur yang tidak dibuahi akan mengendap di dasar perairan (Notowidigdo dan Putro, 1991).

Teripang (*Holothuria sp*) ditemukan hampir di seluruh perairan pantai mulai dari daerah pasang surut yang dangkal sampai perairan yang dalam (Nontji, 1993). Habitat spesies

teripang yaitu paparan terumbu karang, tempat berpasir, tempat berbatu dan pasir lumpur (Martoyo et al., 2007). Menurut Suwarni (1987) dalam Nuraini et al., (1995), Teripang (*Holothuria sp*) dapat dijumpai pada dasar perairan yang berpasir, sedikit berlumpur atau pada pecahan karang bercampur lumpur laut.

Teripang (*Holothuria sp*) lebih suka hidup di perairan yang jernih dan relatif tenang, habitat yang spesifik untuk Teripang (*Holothuria sp*) pasir adalah daerah yang berpasir atau pasir yang bercampur lumpur yang mempunyai kedalaman kurang dari 1 – 40 meter atau perairan dangkal yang banyak di jumpai lamun (Martoyo et al., 2007), selanjutnya Barnes dalam Suprpto et al., (1994), menyatakan bahwa Teripang (*Holothuria sp*) muda biasa berada pada perairan dangkal (2-5 meter) hal ini terjadi karena larva hewan ini bersifat planktonis sehingga akan terbawa arus dari perairan dalam ke arah pantai dan beberapa saat kemudian menjad individu muda yang hidup di perairan dangkal.

Menurut Conand dan Sloan (1989), teripang ditemukan pada habitat yang selalu berada di bawah garis surut terendah. Topografi dan tingkat kekeringan dari rataaan terumbu pada lokasi setempat sangat berpengaruh terhadap distribusi Teripang (*Holothuria sp*) yang ada pada lokasi tersebut. Habitat dengan dasar pasir karang yang ditumbuhi lamun (*seagrass*) merupakan tempat hidup Teripang (*Holothuria sp*).

G. Faktor Lingkungan Pendukung Kehidupan Teripang (*Holothuria sp*)

Salinitas akan mempengaruhi penyebaran organisme baik secara vertikal maupun horizontal (Odum, 1993). Menurut Boolootian

(1955) dalam Hartati (1966) *Holothuria* hidup di daerah yang mempunyai salinitas normal dan tidak dapat mentolerir salinitas yang rendah, selanjutnya Hyman (1955), menjelaskan bahwa, spesies Teripang (*Holothuria sp*) yang hidup di perairan karang dapat menyesuaikan diri pada salinitas 30-37 ppm. *Holothuria* pada umumnya bersifat nocturnal dimana mereka aktif mencari makanan pada malam hari dan menyembunyikan diri pada siang hari (Booolootian, 1966 dalam Hartati (1966).

Menurut Hamidah (1999), kisaran suhu yang baik untuk pertumbuhan Teripang (*Holothuria sp*) adalah 27-29 C. Pada suhu lingkungan yang tinggi, suhu tubuh juga akan meningkat sehingga metabolisme Teripang (*Holothuria sp*) akan meningkat pula dan kecepatan makannya akan bertambah. Pada suhu lingkungan yang rendah suhu tubuh akan menurun dan menurun juga metabolisme sehingga Teripang (*Holothuria sp*) akan berkurang nafsu makannya bahkan Teripang (*Holothuria sp*) akan berkurang nafsu makannya sama sekali.

Berubahnya suhu perairan merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi distribusi suatu organisme, keberadaan jenis dan keadaan seluruh kehidupan di laut dan muara sungai (Rangan, 1996).

H. Peran Krusial Teripang (*Holothuria sp*)

Penurunan populasi Teripang (*Holuthuria*) keseimbangan ekosistem laut terganggu hal sesuai dengan pernyataan Ana Setyastuti (2018) bahwasanya populasi Teripang (*Holuthuria*) penting sekali dijaga, perlindungan tersebut dipandang penting lantaran ketiadaan atau kekurangan Teripang (*Holothuria sp*)

akan berdampak buruk pada ekosistem laut oleh karena Teripang (*Holothuria sp*) adalah *bottom feeder*, yaitu makhluk yang hidup dari memakan organisme di dasar laut.

Selanjutnya Ana Setyastuti (2018) menyebutkan Teripang (*Holuthuria*) akan menyerap pasir laut lalu didalam perutnya, organiknya diserap, dikeluarkan lagi pasir yang sudah bersih. Kemampuan seperti itu membuat area sedimen pesisir dan terumbu karang akan gembur. Efeknya di situ akan ada banyak makhluk, atau ikan. Sehingga jika Teripang (*Holuthuria*) tidak ada, efek jangka panjangnya adalah sendimen tidak gembur, tidak banyak zat-zat organik, kualitas kehidupan organisme lain yang berasosiasi seperti ikan juga akan menurun atau berkurang.

1. Dampak lain dari perkembangan Teluk Mutiara

Perkembangan wilayah pesisir Teluk Mutiara cukup pesat dengan berbagai macam aktivitas baik berupa transportasi laut maupun kegiatan-kegiatan disekitar pantai seperti agroindustri, dan pertambangan yang berkorelasi dengan tingginya beban pencemaran yang masuk ke Teluk Mutiara. Eugene et al., (2013) menyatakan bahwa transportasi, agroindustri dan limbah perkotaan dapat menjadi sumber pencemaran.

Perairan Teluk Mutiara dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan hidup masyarakat sekitar terutama sumber daya hayati sebagai bahan pangan. Disisi lain aktivitas manusia dalam upaya pemanfaatan sumbedaya tersebut telah menimbulkan dampak negatif seperti cemaran logam berat, sehingga konsentrasi logam berat yang masuk ke Teluk Mutiara juga diprediksi tinggi. Wang et al., (2013) menyatakan aktvitas manusia

sering mengabaikan kondisi lingkungan sehingga lingkungan dapat terkontaminasi pada akhirnya tidak menguntungkan bagi kegiatan ekonomi.

Bahan-bahan berbahaya yang terlepas ke lingkungan kemungkinan besar mengandung bahan pencemar (unsur logam) yang sangat sulit terdegradasi. Bahan pencemar yang ada dalam air dapat mengalami proses pengendapan dan terakumulasi dalam sedimen, kemudian terakumulasi dalam tubuh biota laut dan berakibat kematian.

Pengaruh pencemaran lingkungan terhadap kehidupan hewan ataupun manusia, tergantung pada jenis dan tingkat pencemaran yang terjadi secara akut, sub akut atau kronis. Akibat akut dari pencemaran lingkungan pada umumnya berupa gangguan fungsi atau kerusakan sel, organ atau jaringan yang berdampak pada kematian akibat sensitivitas organisme tersebut terhadap kontaminan (Shreadah *et al.*, 2015).

Kurangnya pemantauan dan evaluasi kualitas atau pencemaran lingkungan terutama di perairan pantai, menunjukkan bahwa manajemen pengelolaan limbah yang buruk dengan membiarkan bahan-bahan berbahaya masuk ke lingkungan seperti pestisida, sisa bahan bakar fosil, dan limbah rumah tangga maupun limbah perkotaan (Wasi *et al.*, 2013).

Melakukan pemantauan atau monitoring terhadap status sebuah perairan sangat penting karena pada dasarnya untuk mengetahui tingkat pencemaran serta mengetahui status organisme-organisme yang terpapar bahan-bahan pencemar (Yap *et al.*, 2006). Di lingkungan terdapat organisme yang mampu dijadikan sebagai biomonitoring lingkungan yang tercemar

karena memiliki sensitivitas terhadap kontaminan karena dapat sebagai detektor, organisme itu akan mati atau populasinya menurun apabila terjadi pencemaran.

Giarratano *et al.*, (2010) dalam Eugene *et al.*, (2013) melaporkan penggunaan organisme sebagai biomonitoring merupakan pendekatan yang lebih efisien dan praktis untuk menilai pencemaran logam berat, sehingga metode ini telah digunakan di banyak perairan seperti Ushuaia Bay, Argentina (Giarratano *et al.*, 2010), North West of Laut Mediterania (Favemey *et al.*, 2010), Boston Harbour, Amerika Serikat (berburu & Slone, 2010) dan New Caledonia Lagoon di Pasifik Selatan Prancis (Hedouin *et al.*, 2011).

J. Jumlah populasi dan keragaman teripang (*Holothuria sp*)

Hasil Pengamatan Teripang (*Holothuria sp*) yang ditemukan pada keempat stasiun diperoleh jumlah spesies yang berbeda-beda. Stasiun pertama ditemukan 6 spesies Teripang (*Holothuria sp*). Stasiun kedua terdapat 2 spesies Teripang (*Holothuria sp*). Stasiun ketiga terdapat 4 spesies Teripang (*Holothuria sp*). Stasiun keempat ditemukan 6 spesies. Jumlah total individu Teripang (*Holothuria sp*) pada keseluruhan stasiun sebesar 45. Jenis-jenis Teripang (*Holothuria sp*) dan jumlah individu masing-masing spesies yang ditemukan di empat stasiun pada perairan Teluk Mutiara, yaitu Perairan pantai Afengmale, Perairan pantai Bungawaru, Perairan pantai Watatuku, Perairan pantai Fanating sebagai berikut:

Tabel 12. Jumlah individu dan keragaman Teripang (*Holothuria sp*) yang ditemukan di empat stasiun pada minggu ke- 2 Februari 2018 di Perairan Teluk Mutiara.

No	Spesies	Stasiun				Total
		1	2	3	4	
1	<i>Holothuria nobilis</i>	5	0	1	3	9
2	<i>Holothuria scabra</i>	3	0	0	1	4
3	<i>Holothuria edulis</i>	6	1	3	4	14
4	<i>Holothuria leucospilota</i>	3	0	1	1	5
5	<i>Holothuria impatiens</i>	2	0	2	3	7
6	<i>Holothuria artra</i>	3	1	0	2	6
Jumlah total		22	2	7	14	45

Berdasarkan tabel diatas Spesies *Holothuria edulis* memiliki jumlah individu tertinggi yaitu 14 dan terdapat pada semua stasiun. Kondisi ini terjadi karena *Holothuria edulis* dapat toleran terhadap turbidinitas (kekeruhan) dan pencemaran sehingga dapat terdistribusi pada kisaran yang luas. Bahkan menurut Notowinarto dan Putro (1992), spesies ini dapat ditemukan di habitat dengan turbidinitas yang tinggi.

Spesies yang paling rendah adalah *Holothuria scabra* spesies ini lebih menyukai habitat berpasir dengan karakteristik asosiasi padang lamun. Habitat yang spesifik seperti ini ternyata tidak dijumpai pada hampir semua stasiun. Kekayaan jenis Teripang (*Holothuria sp*) disuatu habitat sangat bergantung pada kemampuan jenis untuk beradaptasi terhadap kondisi lokal dan tipe habitat didalam ekosistem yang dapat mengakomodasi jenis organisme untuk hidup lebih baik (Miller and Pawson, 1990; Martoyo dan Winanto, 2007). Inilah salah satu penyebab

mengapa dalam setiap stasiun pengamatan ditemukan jumlah spesies dan jumlah individu Teripang (*Holothuria sp*) yang berbeda-beda.

K. Hasil Indeks Keragaman Shannon-Wiener dan Simpson

1. Indeks Keragaman Shannon-Wiener

Tabel 13. Hasil perhitungan indeks keragaman Shannon-Wiener

Stasiun	Hasil Indeks Keragaman	Kualitas
1	0,254	Tercemar berat
2	- 6,248	Tercemar berat
3	3,728	Tercemar Berat
4	0,186	Tercemar Berat

Hasil perhitungan Indeks Keragaman Shannon-Wiener diperoleh nilai yaitu stasiun 1 (Perairan pantai Afengmale) sebesar 0,254, stasiun 2 (Perairan pantai Bungawaru) sebesar - 6,248, stasiun 3 (Perairan pantai Watatuku) sebesar -3,728, dan stasiun 4 (Perairan pantai Fanating) sebesar 0,186. Berdasarkan perhitungan nilai keragaman Shannon-Wiener pada stasiun 1,2,3 dan 4 dibawah 1, maka kriteria pencemaran berdasarkan nilai keragaman Shannon-Wiener menurut Lee *et al* (1978) maka keempat stasiun tercemar berat.

Pencemaran berat berdasarkan indeks keragaman Shannon-Wiener pada stasiun 1, 2 dan 3 adalah akibat dari perilaku masyarakat yang membuang sampah di bibir pantai atau

pesisir perairan Teluk Mutiara sehingga pada saat hujan atau air pasang sampah-sampah itu akan tergerus air ke perairan dan mencemari perairan selain itu stasiun-stasiun ini berdekatan dengan pusat kota dan aktivitas yang tinggi, sedangkan pada stasiun 4 terkontaminasi cemaran kiriman dari areal pusat kota akibat pola arus dan pasang-surut sehingga ikut tercemar.

2. Indeks Keragaman Simpson

Tabel 14. Hasil Perhitungan indeks keragaman Simpson

Stasiun	Hasil Indeks Keragaman	Tingkat Pencemaran
1	0,9	Tercemar sedang
2	0,5	Tercemar berat
3	0,7	Tercemar sedang
4	0,8	Tercemar sedang

Hasil perhitungan Indeks Keragaman Simpson didapat nilai pada stasiun 1 (Perairan pantai Afengmale) sebesar 0,9, stasiun 2 (Perairan pantai Bungawaru) sebesar 0,5, stasiun 3 (Perairan pantai Watatuku) didapatkan nilai 0,7 dan stasiun 4 (Perairan pantai Fanating) sebesar 0,8. Berdasarkan angka Indeks Keragaman yang didapat, maka stasiun 1,3 dan 4 masuk dalam kriteria pencemaran sedang, sedangkan stasiun 2 masuk dalam kriteria pencemaran berat. Perbedaan kriteria pencemaran tersebut kemungkinan dapat disebabkan oleh banyaknya jumlah individu Teripang (*Holothuria sp*) yang didapat.

Hal ini sejalan dengan pernyataan Koesoebiono (1987) bahwa Indeks Keragaman Simpson digunakan untuk menentukan

kualitas perairan berdasarkan jumlah individu setiap spesies atau tingkat keragaman yang jenisnya tinggi.

L. Parameter Fisika-kimiawi

Setiap pengamatan atau pengambilan sampel Teripang (*Holothuria sp*) juga dilakukan pencatatan data mengenai pH, suhu, dan salinitas. Hal ini dilakukan karena parameter tersebut dapat mempengaruhi tingkat populasi dan keragaman Teripang (*Holothuria sp*).

Sesuai hasil penelitian, parameter kualitas perairan dari setiap stasiun bervariasi baik yang mendukung perkembangbiakan maupun menjadi pemicu kematian atau kepunahan. Data tentang faktor fisika-kimiawi dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15. Pengukuran kualitas perairan minggu ke-2, bulan Februari 2018 di semua stasiun pengamatan.

Stasiun	pH	Suhu (°C)	Salinitas (‰)
1	7,6 ±0,251	28,6 ±1,154	30,6 ±0,477
2	6,4 ±0,251	33,6 ±1,154	29,6 ±0,377
3	6,7 ±0,251	31,6 ±1,154	29,0 ±0,677
4	7,8 ±0,251	29,6 ±1,154	31,6 ±0,577

Pada Tabel 15, dapat dilihat pH air pada stasiun 1 (Perairan pantai Afengmale) adalah 7,6 stasiun 2 (Perairan pantai Bungawaru) adalah 6,4 stasiun 3 (Perairan pantai Watatuku) adalah 6,7 dan stasiun 4 (Perairan pantai Fanating) adalah 7,8. Suhu pada stasiun 1 adalah 28,6 stasiun 2 adalah 33,6 stasiun 3 adalah 31,6 dan stasiun 4 adalah 29,6. Salinitas pada stasiun

1 adalah 30,6, stasiun 2 adalah 29,6, stasiun 3 adalah 29,0 dan stasiun 4 adalah 31,6. Sesuai dengan data faktor fisiko-kimiawi yang diperoleh pada saat pengamatan berlangsung nilai pH, suhu dan salinitas yang diperoleh bervariasi oleh karena banyaknya sampah dan angin kencang.

Derajat keasaman (pH) merupakan suatu tolak ukur kimia kualitas air yang terpenting dalam membatasi aktivitas dan penyebaran suatu organisme perairan. Hal ini karena pH dapat mempengaruhi sifat fisiko-kimiawi perairan. Hutagalung (1984; 1991); Sanusi (2006) menyatakan pH air laut pada umumnya normal, yaitu berkisar antara 7,0 – 9,5. pH air laut dapat menjadi asam misalnya apabila terjadi hujan asam atau tercemar oleh limbah yang masuk bersama aliran air sungai. Kisaran nilai pH pada stasiun 2 (Perairan pantai Bungawaru) dan 3 (Perairan pantai Watatuku) dibawah nilai normal pH, kondisi ini karena stasiun 2 dan 3 merupakan areal perkotaan atau pusat aktivitas sehingga sampah yang dihasilkan cukup tinggi sedangkan stasiun 1 (Perairan pantai Afengmale) dan stasiun 4 (Perairan pantai Fanating) merupakan daerah yang jauh dari pusat kota, kontaminasi perairan masih sebatas dorongan arus air, sehingga nilai pH nya masih normal. Darmono (2004) menyatakan tinggi atau rendah nilai pH suatu perairan mempengaruhi populasi suatu organisme, lebih lanjut Bakus (1973) menyebutkan kematian suatu organisme dapat disebabkan oleh nilai pH yang rendah (asam) maupun tinggi (basa). Hal ini terlihat pada pola populasi Teripang (*Holothuria sp*) yang diamati di perairan Teluk Mutiara.

Suhu juga merupakan faktor lingkungan kritis yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan organisme dan penyebarannya.

Setiap spesies secara fisiologis beradaptasi terhadap suhu lingkungan alamnya dan dapat terkarakteriasi berdasarkan responnya terhadap suhu, misalnya dengan cara adaptasi atau aklimatisasi (Hutagalung, 1984; 1991; Fajri, 2001; Sanusi, 2006). Selanjutnya Hutagalung (1991); Sanusi (2006) menyatakan, bahwa beberapa faktor lain yang juga sangat dipengaruhi oleh suhu dalam suatu lingkungan perairan antara lain :

- 1) Perubahan pH perairan;
- 2) Proses spesiasi beberapa unsur logam berat;
- 3) Proses pengikatan logam dengan senyawa organik; dan
- 4) Tingkat toksisitas suatu pencemar logam berat, semakin tinggi suhu suatu lingkungan perairan, maka toksisitas suatu logam berat akan semakin tinggi.

Suhu yang berfluktuasi di setiap perairan laut akan mempengaruhi kandungan nutrisi ditempat tersebut. Suatu lingkungan yang suhunya tinggi relatif lebih sedikit kandungan nutrisinya dibandingkan dengan suatu lingkungan perairan yang suhunya lebih rendah (Fajri, 2001; Sanusi, 2006).

Menurut Hamidah (1999), kisaran suhu yang baik untuk pertumbuhan Teripang (*Holothuria sp*) adalah 27-29°C. Pada suhu lingkungan yang tinggi, suhu tubuh juga akan meningkat sehingga metabolisme Teripang (*Holothuria sp*) akan meningkat pula dan kecepatan makannya akan bertambah. Pada suhu lingkungan yang rendah suhu tubuh akan menurun dan menurun pula metabolisme sehingga Teripang (*Holothuria sp*) akan kehilangan nafsu makan sama sekali. Sejalan dengan itu Darmono (2004), menyatakan bahwa tingginya suhu suatu

perairan selain disebabkan oleh pengaruh iklim, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur lain yang terkandung dan ikut mempengaruhi komposisi unsur suatu perairan. Kisaran suhu di perairan Teluk Mutiara yang cukup tinggi memberikan dampak buruk bagi perkembangan populasi Teripang (*Holothuria sp*) oleh karena diduga perairan Teluk Mutiara telah terkontaminasi. Suhu yang relatif tinggi dapat menyebabkan ketersediaan oksigen terlarut dan mempengaruhi proses reproduksi.

Berubahnya suhu perairan merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi distribusi suatu organisme, keberadaan jenis dan keadaan seluruh kehidupan komunitas di laut dan muara sungai (Rangan, 1996). Menurut Panggabean (1987), kondisi suhu Teripang (*Holothuria sp*) untuk pertumbuhan dapat optimal adalah 26-30°C sehingga Bakus (1973), mengemukakan bahwa, faktor penting yang menghalangi penyebaran teripang adalah suhu dan salinitas.

Salah satu tolak ukur kimiaperairan yang juga diamati sebagai pendukung adalah salinitas. Salinitas menunjukkan kondisi keseimbangan garam-garam yang terlarut dalam air. Kehidupan biota laut sangat dipengaruhi oleh salinitas perairan habitat. Hutagalung (1984; 1991; 1996); Sanusi (2006) menyatakan, salinitas sangat berpengaruh terhadap kehidupan biota laut secara umum juga mempengaruhi toksisitas pencemar logam berat yang ada di perairan tersebut, semakin rendah salinitas perairan laut menyebabkan toksisitas suatu pencemar logam berat akan meningkat. Selanjutnya Sanusi (2006) menyatakan, faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kondisi salinitas antara lain :

- 1) Sedikit atau banyaknya curah hujan di daerah tersebut;
- 2) Derajat evaporasi;
- 3) Frekuensi penggenangan pasang-surut.

Selain itu salinitas yang relatif konstan kecil pengaruhnya terhadap toksisitas logam berat. Sebaliknya salinitas besar pengaruhnya terhadap toksisitas di daerah estuari atau muara. Salinitas di lautan bebas secara keseluruhan hampir homogen (35 promil), sedangkan di pantai berkisar antara 19-32 promil (Fajri, 2001; Sanusi 2006). Akibat salinitas air laut yang cukup tinggi ini biota laut bersifat isotonik, sedangkan biota air tawar bersifat hipotonik.

Salinitas akan mempengaruhi penyebaran organisme baik secara vertikal maupun horizontal (Odum, 1993). Menurut Boolootian (1966) dalam Hartati (1966), *Holothuria* hidup di daerah yang mempunyai salinitas normal dan tidak dapat mentolerir salinitas yang rendah, selanjutnya Hyman (1955), menjelaskan bahwa, spesies teripang yang hidup di perairan karang dapat menyesuaikan diri pada salinitas 30-37 ppm.

Bagian Keenam

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Adapun point-point yang diambil sebagai kesimpulan dalam penulisan buku ini anatara lain:

- 1) Aktifitas manusia (*antrophogenik*) merupakan faktor penentu masuknya unsur-unsur pencemar ke perairan Teluk Mutiara.
- 2) Belum adanya upaya peningkatan pemahaman secara kontinyu mengenai penanganan dan pengelolaan sampah kepada masyarakat oleh Pemerintah maupun lembaga-lembaga non pemerintah, oleh karena itu nilai kesadaran mengenai penangan bahkan pengelolaan sampah di masyarakat masih rendah.

- 3) Populasi biota ekonomi penting di perairan Teluk Mutiara mengalami penurunan yang signifikan.
- 4) Unsur pencemar logam berat seperti Pb dan Zn cukup tinggi di perairan Teluk Mutiara

B. Saran

- 1) Peningkatan pengetahuan tentang penanganan dan pengelolaan sampah yang baik dimasyarakat harus terus digalakan terutama oleh Pemerintah sebagai *top leader*
- 2) Penelusuran informasi melalui penelitian-penelitian tentang pencemaran di perairan Teluk Mutiara perlu terus dilakukan sehingga, dapat temukan informasi yang sedetail mungkin untuk sebuah metode konservasi yang tepat di kawasan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. 2004. Kimia Lingkungan. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Akbar. H. S. 2002. Pendugaan tingkat akumulasi logam berat Cd, Pb, Cu, Zn dan Ni pada Kerang darah (*Perna viridis* L.) ukuran >5 cm di perairan.
- Al-Yousuf. M. H., M. S El-Shahawi dan S. M Al-Ghais. 2000. Trace metals in liver, skin and muscle of Lethrinus lentjan fish species in relation to body length and sex, Science of the Total Environment. 256: 87-94.
- American Public Health Association (APHA). 2005. Standard methods for the examination of water and waste water Including Bottom Sediment and sludge. Publ. Health Association Inc. New York. Hal : 1296
- Amriani., B. Hendarto dan A. Hadiyanto. 2011. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Zeng (Zn) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa* L) Dan Kerang Bakau (*Polymesoda bengalensis* L) Di Perairan Teluk Kendari. Jurnal Ilmu Lingkungan. Vol. 2: 45-50
- Ana Setyastuti (2018). Laporan Jerome Wirawan dari BBC Indonesia. Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Yang di akses 13 Oktober 2018.

- Arya dan Wisnu. 2009. Dampak pencemaran lingkungan. Jakarta: Andi Publisher.
- Aunorohim. G., Radenac., D. Fichet. 2006. Konsentrasi Logam Berat Pada Makro Fauna Bentik di Kepulauan Kangean Madura. Berkala Penelitian Hayati. 12 (1) : 79 - 85
- Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Kabupaten Alor. 2014. Data Curah Hujan 2 Tahun terakhir. Kab. Alor, Nusa Tenggara Timur
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kab. Alor. 2015. Kecamatan Teluk Mutiara Dalam Angka. Kab. Alor, Prop. Nusa Tenggara Timur
- Bakus, G.J. 1973. The Biology and Ecology of Tropical Holothurians. P. 325-367. In: *Biology and Geology of Coral Reefs*. Jones, O.A. and Endean, R. (eds). Academic Press, New York.
- Bengen, D.G., R. Widodo, S. Hariadi, 1995. Tipologi Fungsional makrozoobentos sebagai indikator Kualitas Perairan Pesisir Muara aya Bekasi. Laporan penelitian Fakultas Perikanan IPB Bogor.
- Barnes RD. 1963. Invertebrate Zoology. WB Saunders Company, Philadelphia, PA.
- Clark, A.M. and F. W. E. Rowe. 1971. *Monograph of Shallow Water Indo-west Pacific Echinoderms*. London, Trustees of British Museum : 171-210.
- Connel. D. W., G. J. Miller,. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. UI: Jakarta
- Darmono. 1995. Logam dalam sistem mahluk hidup. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Darmono. 2004. Lingkungan Hidup Dan pencemaran, Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. UI Press. Jakarta.

- Denny, M.W., Hunt, L.J.H., Miller, L.P., Harley, C.D.G., 2009. On the prediction of extreme ecological events. *Ecol. Monogr.* 79, 397–421.
- Dinas Perikanan dan Kelautan (DKP) Kab. Alor. 2013. Laporan Tahunan, Potensi Sumber Protein Makanan Laut. Dinas Perikanan dan Kelautan Kab. Alor, Prop. Nusa Tenggara Timur.
- Eugene Ng. Y. J., C. K. Yap., M. P. Zakaria and S. G. Tan. 2013. Assessment of Heavy Metal Pollution in the Straits of Johore by Using Transplanted Caged Mussel, *Perna viridis*. *Pertanika J. Sci. & Technol.* 21 (1): 75 – 96
- Fabricius E. K., T. F. Cooper., Craig Humphrey., Sven Uthicke., G. De, ath., J. Davidson., H. Le Grand., A. Thompson and B. Schaffelke. 2012. A bioindicator system for water quality on inshore coral reefs of the Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin* 65: 320–332
- [FAO] Fisheries and Aquaculture Organization. 2009. *Anadara granosa* (Linnaeus 1758) (terhubung berkala) <http://www.fao.org/fishery/species/3503/en> (9 Februari 2016).
- Facrul, M.F. 2008. *Metode Sampling Bioekologi*. Jakarta: Bumi Aksara
- Fardiaz dan srikandi. 1992. *Polusi Air dan uadara*. Jakarta: Kanisius
- Garza1. R. F., V. L. Rojas., P. F. Rodríguez and C. T. Ramírez. 2014. Diversity, Distribution and Composition of the Bivalvia Class on the Rocky Intertidal Zone of Marine Priority Region 32, Mexico. *Open Journal of Ecology*. 4: 961–973
- Hamidah. 1999. Pengaruh Suhu Terhadap Kelangsungan Hidup, Pertumbuhan, dan Perkembangan larva Teripang pasir (*Holothuria scraba*, jaeger) pada fase doliolaria sampai

- pentacula. Skripsi Manajemen Sumber Daya Perairan. Fakultas Perikanan Dan Kelautan. Institut Pertanian Bogor. 82 hal.
- Hartati, R. dan H. Yanti. 2005. Kajian Gonad Teripang Getah (*Holothuria vagabunda*) Pada Saat Bulan Penuh Dan Bulan Di Perairan Bandengan, Jepara. Jurusan Ilmu Kelautan. Fakultas Perikanan Dan Kelautan. Universitas Diponegoro. Semarang 11(3): 126-132.
- Hutagalung. H. P. 1984. Logam Berat Dalam Lingkungan Laut. Pewarta Oseana IX No.1 Tahun 1984 LON-LIPI, Jakarta.
- Hyman, L.H. 1976. The Invertebrata: Mollusca I. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Irianto. H. E. dan S. Giyatmi 2009. Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan. Jakarta : Universitas Terbuka.
- Jebali. J., M. Sabbagh., M. Banni., N. Kamel., S. Ben-Khedher., N. M. Hamdi and H. Boussetta. 2013. Multiple biomarkers of pollution effects in *Solea solea* fish on the Tunisia coastline. Environ Sci Pollut Res 20: 3812–3821
- Jorge. B. M., V. L. Loro., A. Bianchini., C. M. Wood and P. L. Gillis. 2013. Mortality, bioaccumulation and physiological responses in juvenile freshwater mussels (*Lampsilis siliquoidea*) chronically exposed to copper. Aquatic Toxicology 126: 137– 147
- Kalman. J., I. Riba., A. Del Valls and J. Blasco. 2012. Bioaccumulation and Effects of Metals Bound to Sediments Collected from Gulf of Ca'diz (SW Spain) Using the Polychaete *Arenicola marina*. Arch Environ Contam Toxicol 62: 22–28.
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup. 1998. Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Limbah Cair. Jakarta : 10 – 12 hal.

- Keputusan Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup. 2004. Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Laut. 10 – 12 hal.
- Kerkut. G. A. 1961. The Invertabrate, A manual For The Use Of Students. 4th ed. Cambridge University Press. P. 622-635.
- Krebs, C. J. 1972. Experimental Analysis of Distribution and Abundance. Harper dan Prow Publisher, New York.
- Losada. S., A. Roach, L. Roosens, F. J. Santos, M. T. Galceran, W. Vetter, H. Neels, and A. Covaci. 2009. Biomagnification of anthropogenic and naturally-produced organobrominated compounds in a marine food web from Sydney Harbour, Australia. Environment International 35: 1142–1149
- Koesbiono. 1981. Biologi Laut. Bogor: Fakultas Perikanan, Institut Pertanian Bogor.
- Kopciuch, G., B. Berecka, J. Bartoszewicz, B. Buszewski. 2004. Some Considerations About Bioindicators in Environmental Monitoring. Polish Journal of Environmental Studies (PJES), 13 (5): 453-462.
- Martoyo, J., N. Aji dan T. Winanto. 2007. *Seri Agribisnis: Budi Daya Teripang*, Jakarta: Penebar Swadaya
- Miller, E., John, and D.L. Pawson. 1990. Swimming Sea Cucumbers (*Echinodermata, Holothuria*) Survey with Analysis of swimming behavior in floor Bathesal species.
- Mislan, K.A.S., Wethey, D.S., Helmuth, B., 2009. When to worry about the weather: role of tidal cycle in determining patterns of risk in intertidal ecosystems. Global Change Biol. 15, 3056–3065.
- Manahan., E. Stanley. 1994. Environmental Chemistry. Boston : Lewis Publisher.

- Muhajir., Edward dan Fasmi, A. 2004. Akumulasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn Dan Cr Dalam Sedimen Di Muara Sungai Cisadane Ciliwung Dan Citarum Teluk Jakarta. Jurnal Sorihi. ISSN 169-1483. Pusat Oseanografi LIPI. Jakarta.
- Mukhtasor. 2007. Pencemaran Pesisir dan Laut. Penerbit PT. Pradnya.
- Murugan. S. S., R. Karuppasamy., K. Poongodi and S. Puvaneswari. 2008. Bioaccumulation Pattern of Zinc in Freshwater Fish *Channa punctatus* (Bloch.) After Chronic Exposure. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 8: 55-59
- Nontji, Anugrah. 1987. *Laut Nusantara*. Penerbit Djambatan. Jakarta
- Notowinarto dan D.H. Putro. 1992. Pemijahan Teripang Putih (*H. Scabra*) dengan metode Manipulasi Lingkungan. Buletin Balai Budi Daya Laut, Lampung IV. Hal 1-8
- Nybakken, J. W., 1992. *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. PT. Gramedia.
- Odum, E. P. 1993. *Dasar-Dasar Ekologi*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Olaifa. F. E., A. K. Olaifa., A. A. Adelaja dan A. G. Owolabi. 2004. Heavy Metal Contamination of *Clarias gariepinus* from a Lake and Fish Farm in Ibadan, Nigeria. African Journal of Biomedical Research Vol. 7: 145-148.
- Otto Soemarwoto. 2004. *Ekologi, Lingkungan Hidup Dan Pembangunan*, Djambatan, Jakarta.
- Palar. H. 1994. *Pencemaran dan toksikologi logam berat*. Rineka cipta, Jakarta.
- Pearson, G.A., Lago-Leston, A., Mota, C., 2009. Frayed at the edges: selective pressure and adaptive response to

- abiotic stressors are mismatched in low diversity edge populations. *J. Ecol.* 97, 450–462.
- Plaimo, E.P. 2016. Bioakumulasi Pb Dan Zn Pada Keraang darah (*Anadara granosa*) Di Perairan Teluk Mutiara. Tesis Fak. Biologi, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Prakash N. T., T. S. Naidu and K. S. Rao Jagannatha. 1994. Metal content in selected tissues and shell of *Perna viridis* (L.) from Pondicherry, east cost of India. *Journal of Chemistry in ecology*. vol. 9. p. 1-6
- Robert. D. B. 1978. Invertebrate Zoology. 3rd Edition. W.B. Saunders Company. Philadelphia. P 622-635
- Rochyatun. E. dan R. Abdul. 2007. Pemantauan Kadar Logam Berat Dalam Sedimen Di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Makara Sains* Vol:11 (1). Pusat penelitian Oseanografi. Jakarta.
- Saefudin., P. Trisna dan Kusnadi. 2000. Pengaruh pH dan Waktu Kontak Terhadap Biosorpsi Logam Zn Oleh Biomassa *Aspergillus niger* van Tieghem Pada Larutan Limbah Pertambangan Nikel. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Sastrawijaya. A. T. 2000. Pencemaran Lingkungan. Rineka Cipta. Jakarta
- Schneidera. L., L. Belgerb, J. Burgerc, and R. C. Vogta. 2009. Mercury bioaccumulation in four tissues of *Podocnemis erythrocephala* (Podocnemididae: Testudines) as a function of water parameters. *Science Of The Total Environmet* 407: 1048–1054
- Shreadah. A. M., L. M. A. Fattah and M. A. Fahmy. 2015. Heavy Metals in Some Fish Species and Bivalves from the Mediterranean Coast of Egypt. *Journal of Environmental Protection* 6: 1-9

- Sparks. K. M., J. D. Wells and B. B. Johnsin. 1997. *The interaction of humic acid with heavy metals*. Australian Journal Of soil Research vol. 35: 89 - 101
- Spellerberg, I.F. 2005. *Monitoring Ecological Change*. UK: Cambridge University Press.
- Suharto. 2011. Limbah kimia dalam pencemaran udara dan air. Jakarta: Andi Publisher
- Sunti, I., D. Anwar dan M. Syamsuar. 2012. Studi Kandungan Logam Berat Seng (Zn) Dalam Air Dan Kerang Baja-Baja (*Anodonta woodiana*) Di Sungai Pangkajene Kabupaten Pangkep. Universitas Hasanuddin.
- Suratmo, F.G. 1990. *Analisa Dampak Lingkungan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Wahyuni, H., B. Setia dan P. Dwi. 2013. Konsentrasi Logam Berat Di Perairan, Sedimen Dan Biota Dengan Faktor Biokonsentrasinya Di Perairan Batu Belubang, Kab. Bangka Tengah. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Wang. S. L., X. R. Xu., Y. X. Sun., J. L. Liu and H. B. Li. 2013. Heavy metal pollution in coastal areas of South China: A review. *Marine Pollution Bulletin* 76: 7-15
- [WHO] World Health Organisation. 1976. Guidelines for Heavy Metals Contents, Health Criteria and Other Supporting Information. WHO, New York.
- Wardhana, W. 2006. Pelatihan Penyusunan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Wasi. S., S. Tabrez and M. Ahmad. 2013. Toxicological effects of major environmental pollutants: an overview. *Environ Monit Assess* 185: 2585-2593
- Widowati. W. 2008. Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Andi, Yogyakarta.

- Winarno F.G. 2004. Kimia Pangan dan Gizi. Jakarta:Gramedia Pustaka Utama.
- Yanti. M.P.N., N.J. Subagio, dan J. Wiryanto. 2014. Jenis dan Kepadatan Teripang (*Holothuria*) di perairan Bali Selatan. *J. Simbiosis*, 2(1):158-171.
- Yap. C. K., A. Ismail., S.G. Tan and H. Omar. 2002. *Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel Perna viridis from the west coast of Peninsular Malaysia*. *Environment International* 28 : 117–126
- Yap. C. K., A. Ismail., H. Omar and S. G. Tan. 2003. Accumulation, depuration and distribution of cadmium and zinc in the green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) under laboratory condition. *Hydrobiologia*, 498, 151-160.
- Yap. C. K., A. Ismail., F. B. Edward., S. G. Tan and S. S. Siraj. 2006. Use of different soft tissues of *Pernaviridis* as biomonitors of bioavailability and contamination by heavy metalsn (Cd, Cu, Fe, Pb, Ni, and Zn) in a semi enclosed intertidal water, the Johore Straits. *Toxicological & Environmental Chemistry*; 88(4): 683–695
- Yokoyama. H and Y. Ishihi. 2010. Bioindicator and biofilter function of *Ulva* spp. (*Chlorophyta*) for dissolved inorganic nitrogen discharged from a coastal fish farm – potential role in integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture* 310: 74–83
- Yusma. Y dan J. T. Murtini. 2005. Kandungan Logam Berat Air Laut, Sedimen dan Kerang darah (*Anadara granosa*) di Perairan Menthok dan Tanjung Jabung Timur. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*. 12 (1): 27-32.12 (1) : 27-32

Paulus Edison Plaimo, adalah Dosen Fakultas Pertanian dan Perikanan Universitas Tribuana Kalabahi, Alor. Lahir di Tamalabang, Alor, NTT, 11 Desember 1975. Tamat Sekolah Dasar GMIT Moru 1, 1988; SMP Negeri 1 Kupang, 1991; SPP-SUPM Putra Bangsa Maumere, 1995. Menyelesaikan studi pada jenjang Strata 1 pada Fakultas Perikanan Universitas Kristen Artha Wacana (UKAW) Kupang, 2004. Pendidikan S2 diperoleh dari Program Pasca Sarjana Fakultas Biologi, Universitas Gadjra Mada Yogyakarta (UGM) 2016 dengan minat Ekologi dan Konservasi.

Mata kuliah yang diampuh terdiri dari Pengendalian Pencemaran, Pengolahan Limbah Hasil Perikanan dan Biokimia Hasil Perikanan. Selain itu seringkali menulis artikel yang dimuat di beberapa media masa di daerah.