

LAMUN (KAJIAN LOGAM BERAT DAN KADAR KLOOROFIL)

by MUHAMMAD RIJAL

Submission date: 29-Dec-2020 12:55AM (UTC-0800)

Submission ID: 1481842560

File name: DRAF_BUKU_PROFIL_LOGAM_BERAT_PADA_LAMUN_NUR_ALIM.pdf (1.54M)

Word count: 32775

Character count: 202550

BAB I PENDAHULUAN

Logam berat dapat berpindah dari lingkungan ke organisme, dan dari organisme satu ke organisme lain melalui rantai makanan. Peningkatan kadar logam berat akan mempengaruhi kehidupan organisme laut yang sebelumnya dibutuhkan untuk proses metabolisme akan berubah menjadi racun jika kadarnya melampaui ambang batas kebutuhan. Logam berat masuk ke dalam jaringan tubuh biota laut melalui beberapa jalan, yaitu saluran pernafasan (insang), saluran pencernaan (usus, hati, ginjal) maupun penetrasi melalui kulit (Ma'ruf, 2007). Sifat logam berat adalah sulit terurai sehingga akan mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (Ika dan Said, 2011).

Lamun salah satu jenis vegetasi yang mampu hidup dan berkembang dengan baik di kawasan pesisir serta menjadi habitat beberapa jenis hewan laut, seperti: teripang, landak laut, bintang laut, dan bulu babi. Lamun merupakan kelompok tumbuhan berbiji tunggal (monokotil) dari kelas angiospermae dan mempunyai fungsi ekologis yang sangat besar. Lamun biasanya terdapat dalam jumlah yang cukup besar dan dapat membentuk suatu padang lamun yang rapat, menutupi suatu area yang luas pada daerah pesisir di daerah subtropis dan daerah tropis. Lamun

merupakan produsen primer di laut yang cukup besar bila dibandingkan dengan ekosistem lainnya (Azkab, 2006). Daun, yang umumnya berbentuk pita, bertindak sebagai perangkap bahan tersuspensi yang dibawa oleh arus ke daerah padang lamun. Rhizoma dan sistem perakarannya dapat menstabilkan sedimen sehingga dapat mencegah erosi, terutama saat terjadi badai, hujan dan banjir (Björk *et al.* 2008).

Beberapa penelitian mengenai kemampuan vegetasi perairan, baik lamun maupun makro alga dalam mengakumulasi logam berat telah diteliti sebelumnya oleh Endang, 2008; Ahmad *et al.*, 2015; Ambo-Rappe *et al.*, 2011; Sudharsan *et al.*, 2012; Supriyantini *et al.*, 2016; Thangaradjou *et al.*, 2010; Tupan dan Azrianingsih, 2016) yang menemukan bahwa lamun merupakan salah satu cara untuk menentukan tingkat cemaran di perairan laut. Penelitian lain oleh Muhammad Rijal *et al.*, (2014) melaporkan bahwa terdapat perbedaan kandungan timbal pada organ (akar, daun, dan buah) lamun (*Enhalus acoroides*) antara Waai dengan Galala. Kadar timbal pada bagian akar, daun, dan buah lamun yang diperoleh dari perairan Waai masing-masing adalah 24, 504 ppm; 9,222 ppm; dan 6,217 ppm. Sedangkan kadar timbal pada bagian akar, daun, dan buah lamun yang diperoleh dari perairan Galala masing-masing 28,853 ppm; 8,581 ppm; dan 5,617 ppm. Kadar timbal pada tanaman lamun tersebut, baik yang diperoleh dari Waai maupun Galala sangat tinggi dan di atas ambang toleransi konsumsi manusia.

Lamun merupakan suatu penanda kapasitas akumulasi logam karena berinteraksi secara langsung dengan badan air dan air tanah (substrat) melalui daun dan akarnya untuk *uptake* ion-ion sehingga lamun dapat merefleksikan status kesehatan perairan secara keseluruhan (Ahmad *et al.*, 2015; Supriyantini *et al.*, 2016). Meskipun penelitian tentang kemampuan lamun dalam mengakumulasi logam berat telah dilakukan, namun kajian tentang profil logam berat pada oragan lamun (akar, batang, dan daun) belum pernah dilakukan.

A. Klasifikasi Lamun

Lamun (seagrass) adalah tumbuhan berbunga (angiospermae) yang dapat tumbuh dengan baik pada lingkungan laut dangkal (Wood *et al.* 1969). Semua lamun adalah tumbuhan berbiji satu (monokotil) yang mempunyai akar, rimpang (rhizoma), daun, bunga dan buah seperti halnya dengan tumbuhan berpembuluh yang tumbuh di darat (Tomlinson, 1974). Beberapa ahli juga mendefinisikan lamun (seagrass) sebagai tumbuhan air berbunga yang hidup di dalam air laut, berpembuluh, berdaun, berimpang, berakar, serta berkembangbiak dengan biji dan tunas (Bengen, 2001).

Pola hidup lamun sering berupa hamparan maka dikenal juga istilah padang lamun (seagrass bed) yaitu hamparan vegetasi lamun yang menutupi suatu area pesisir atau laut dangkal, terbentuk dari satu jenis atau lebih dengan kerapatan padat atau jarang. Sistem (organisasi)

ekologi padang lamun yang terdiri dari komponen chfu biotik dan abiotik disebut Ekosistem Lamun (seagrass ecosystem) (Bengen, 2001). Hampir semua tipe substrat dapat ditumbuhi lamun, mulai dari substrat berlumpur sampai berbatu. Substrat dikategorikan pada beberapa kategori, yakni substrat berlumpur, berpasir, lumpur berpasir, lumpur berbatu dan pasir berbatu (Kiswara, 1992). Lamun memiliki daun-daun tipis yang memanjang seperti pita yang mempunyai saluran-saluran air (Nybakken, 1992) (Gambar 2). Bentuk daun seperti ini dapat memaksimalkan difusi gas dan nutrien antara daun dan air, juga memaksimalkan proses fotosintesis di permukaan daun (Phillips dan Menez 1988).

Padang lamun merupakan ekosistem pesisir yang ditumbuhi oleh lamun sebagai vegetasi yang dominan. Lamun (seagrass) adalah kelompok tumbuhan berbiji tertutup (Angiospermae) dan berkeping tunggal (Monokotil) yang mampu hidup secara permanen di bawah permukaan air laut (Sheppard et al., 1996). Komunitas lamun berada di antara batas terendah daerah pasangsurut sampai kedalaman tertentu dimana cahaya matahari masih dapat mencapai dasar laut (Sitania, 1998).

Pemilahan untuk klasifikasi jenis-jenis lamun lebih ditekankan pada karakteristik dari daun, rimpang dan akarnya. Selain itu, genera di daerah tropis memiliki morfologi yang berbeda sehingga pembedaan spesies dapat dilakukan dengan dasar gambaran morfologi dan anatomi.

Tanaman lamun memiliki bunga, berpolinasi, menghasilkan buah dan menyebarkan bibit seperti banyak tumbuhan darat. Klasifikasi lamun adalah berdasarkan karakter tumbuh-tumbuhan. Selain itu, genera di daerah tropis memiliki morfologi yang berbeda sehingga pembedaan spesies dapat dilakukan dengan dasar gambaran morfologi dan anatomi. Lamun merupakan tumbuhan laut monokotil yang secara utuh memiliki perkembangan sistem perakaran dan rhizoma yang baik. Pada sistem klasifikasi, lamun berada pada Sub kelas Monocotyledoneae, kelas Angiospermae. Dari 4 famili lamun yang diketahui, 2 berada di perairan Indonesia yaitu *Hydrocharitaceae* dan *Cymodoceae*. Famili *Hydrocharitaceae* dominan merupakan lamun yang tumbuh di air tawar sedangkan 3 famili lain merupakan lamun yang tumbuh di laut.

Di seluruh dunia diperkirakan terdapat sebanyak 52 jenis lamun, di mana di Indonesia ditemukan sekitar 15 jenis yang termasuk ke dalam 2 famili: (1) *Hydrocharitaceae*, dan (2) *Potamogetonaceae*. Jenis yang membentuk komunitas padang lamun tunggal, antara lain: *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides*, *Halophila ovalis*, *Cymodocea serrulata*, dan *Thalassodendron ciliatum*.

Eksistensi lamun di laut merupakan hasil dari beberapa adaptasi yang dilakukan termasuk toleransi terhadap salinitas yang tinggi, kemampuan untuk menancapkan akar di substrat sebagai jangkar, dan juga kemampuan untuk

tumbuh dan melakukan reproduksi pada saat terbenam. Salah satu hal yang paling penting dalam adaptasi reproduksi lamun adalah hidrophilus yaitu kemampuannya untuk melakukan polinasi di bawah air.

Secara rinci klasifikasi lamun menurut Den Hartog (1970) dan Menez, Phillips, dan Calumpang (1983) adalah sebagai berikut :

Devisi : Anthophyta

Kelas : Angiospermae

Famili : Potamogetonacea

Subfamili : Zosteroideae

Genus : Zostera, Phyllospadix, Heterozostera.

Menurut Kiswara (1997) di dunia ada 58 jenis lamun yang terdiri dari empat suku (family) yaitu Cymodoceae (17 jenis), Posidoniaceae (9 jenis), Hydrocharitaceae (15 jenis) dan Zosteraceae (17 jenis). Dari seluruh jenis lamun di dunia, di perairan Indonesia dijumpai 13 jenis lamun yang termasuk ke dalam 2 suku yaitu Potamogetonaceae (6 jenis), dan Hydrocharitaceae (6 jenis). Satu spesies diantaranya hanya terdapat di Indonesia Timur, yaitu jenis *Thalassodendron ciliatum* dan dua spesies lainnya yaitu *Halophila spinulosa* hanya terdapat di kepulauan Riau, Anyer, Baloran Utara dan Irian, sedangkan *Halophila decipiens* hanya terdapat di Teluk Jakarta, Teluk Sumbawa dan Kepulauan Aru (den Hartog, 1970).

Berbagai bentuk pertumbuhan berbagai jenis lamun terlihat mempunyai kaitan dengan perbedaan habitatnya (Den hartog, 1977 dalam

Kiswara, 1985). Parvososterid dan Halophylid dapat ditemukan pada hampir semua habitat, mulai dari dasar pasir kasar sampai lumpur yang lunak, mulai dari daerah pasang surut sampai ke tempat yang cukup dalam dan mulai dari laut terbuka sampai estuaria. Bahkan Halophila telah didapatkan dari kedalaman 90 meter. Magnozosterid dapat dijumpai pada berbagai habitat, tetapi lebih terbatas pada daerah sublitoral. Lamun tersebut memasuki daerah dangkal tetapi lebih terbatas sampai batas air surut rata-rata perbani. Batas kedalaman sebagian besar spesiesnya yaitu 10 sampai 12 meter, tetapi pada perairan yang sangat jernih dapat dijumpai pada tempat yang lebih dalam. Enhalid dan Amphibolid juga terbatas pada bagian atas dari sublitoral, tetapi dengan beberapa perkecualian. Posidonia oseaia dapat mencapai kedalaman paling sedikit 60 meter. Kisaran kedalaman dimana phyllospadix hidup agak besar; dia hidup mulai litoral bawah sampai kedalaman 30 meter. Thalassodendron ciliatum dilaporkan pernah ditemukan tumbuh pada kedalaman 30 meter. Enhalid dan Amphibolid hidup pada substrat pasir dan karang, kecuali Enhalus acoroides.

Hal serupa dikatakan oleh Romimohtarto dan Juwana (2001) bahwa ada tiga marga yang banyak kita jumpai di perairan pantai yaitu Halophila, Enhalus dan Cymodocea. Halophila ovalis banyak terdapat di pantai berpasir, di paparan terumbu, dan di dasar pasir dari paras pasut rata-rata sampai batas bawah dari mintakat

pasut. *Enhalus acoroides* adalah tumbuhan lamun yang banyak terdapat di bawah air surut rata-rata pada pasut purnama pada dasar pasir lumpuran. *Enhalus* tumbuh subur pada tempat yang terlindung di pinggir bawah dari mintakat pasut dan di batas atas mintakat bawah-litoral, sedangkan *Cymodocea rotundata* merupakan jenis lamun yang banyak di temukan pada daerah di bawah air surut rata-rata pada pasut purnama pada pantai pasir dan pasir lumpuran (Romimohtarto dan Juwana, 2001).

Berdasarkan potensi sistem padang lamun dalam ekosistem perairan yang begitu baik, maka tentu saja sistem ini perlu dilindungi dari semua faktor yang mempengaruhinya. Ada beberapa faktor yang diketahui sangat mempengaruhi kelangsungan hidup tumbuhan laut, diantaranya adalah penetrasi cahaya matahari, suhu air dan salinitas (Supriharyono, 2000). Dahuri et al. (2001) menambahkan bahwa distribusi dan stabilitas ekosistem padang lamun bergantung pada beberapa faktor seperti kecerahan, temperatur, salinitas, substrat dan kecepatan arus perairan.

Lamun *Enhalus acoroides*

Lamun jenis *Enhalus acoroides* merupakan salah satu jenis lamun yang paling melimpah di perairan Indonesia dan mempunyai ukuran morfologi yang besar (Gambar 3). Lamun jenis *Enhalus acoroides* merupakan spesies yang umum tumbuh di substrat lumpur. Jenis *Enhalus acoroides* dapat tumbuh menjadi padang yang

monospesifik ataupun seringkali tumbuh bersama dengan jenis lamun *Thalassia hemprichii*. Sebaran vertikal jenis *Enhalus acoroides* dapat tumbuh mencapai kedalaman 25 m. *Enhalus acoroides* merupakan naungan yang penting bagi ikan muda (Departemen Kelautan dan Perikanan, 2008). Kelebihan yang dimiliki oleh *Enhalus acoroides* yaitu dalam pertumbuhannya terbilang lebih cepat dibandingkan jenis lamun yang lainnya. Selain itu keistimewaan secara ekonomis adalah buah *Enhalus acoroides* dapat dimanfaatkan sebagai bahan makanan (BTNKpS, 2007).

Klasifikasi lamun *Enhalus acoroides* menurut Den Hartog (1970) :

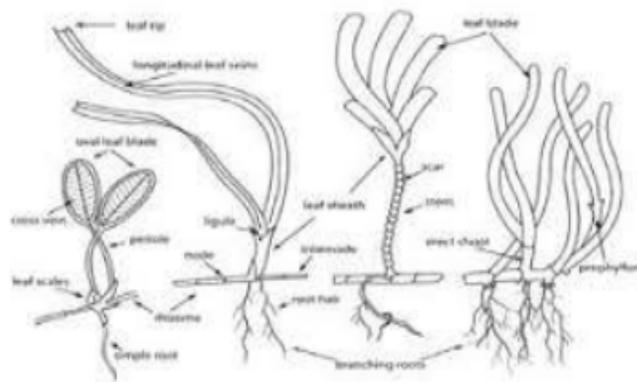
- Divisi : Antophyta
- Kelas : Angiospermae
- Sub kelas : Monocotyledoneae
- Ordo : Helobiae
- Famili : Hydrocaritaceae
- Genus : *Enhalus*
- Spesies : *Enhalus acoroides*

Ukuran : panjang daun sekitar 30–150 cm, lebar daun antara 1.2–1.4 cm. Ciri morfologi: - Daun berbentuk pita dengan penebalan di tepi daun - Ujung daun membulat dan sering kali rusak karena terpapar sinar matahari langsung - Tulang-tulang daun sejajar, tiap tunas terdiri dari 2 – 6 daun - Hidup pada sedimen yang lembut (berlumpur)- Biasanya terdapat di daerah pasang surut. Habitat : tumbuh diperairan dangkal dengan

substrat berpasir dan berlumpur atau kadang-kadang di pecahan terumbu karang.

B. Morfologi Lamun

Bentuk vegetatif lamun umumnya hampir serupa dan memperlihatkan tingkat keseragaman yang tinggi. Hampir semua genera mempunyai rhizome yang berkembang baik dan bentuk daun yang memanjang (linear) dan berbentuk sangat panjang seperti ikat pinggang, kecuali pada genus *Halophila* yang berbentuk bulat telur (Gambar 1). Bentuk pertumbuhan, sistem percabangan dan struktur anatomi memperlihatkan keanekaragaman yang jelas dan menjadi ciri yang digunakan untuk membedakan antara jenis lamun yang satu dengan jenis lamun yang lain. Lamun juga memiliki sistem pembuluh sebagaimana halnya dengan rumput yang tumbuh di darat. Hanya saja, lamun tidak memiliki stomata.



Gambar 1. Morfologi Lamun (Sumber: den Hartog, 1970)

1. Akar

Terdapat perbedaan morfologi dan anatomi akar yang jelas antara jenis lamun yang dapat digunakan untuk taksonomi. Bila dibandingkan dengan tumbuhan darat, akar dan akar rambut lamun tidak berkembang dengan baik. Namun, beberapa penelitian memperlihatkan bahwa akar dan rhizoma lamun memiliki fungsi yang sama dengan tumbuhan darat. Akar-akar halus yang tumbuh di bawah permukaan rhizoma, dan memiliki adaptasi khusus (misalnya: aerenchyma, sel epidermal) terhadap lingkungan perairan. Semua akar memiliki pusat stele yang dikelilingi oleh endodermis. Stele mengandung phloem (jaringan transport nutrien) dan xylem (jaringan yang menyalurkan air) yang sangat tipis. Karena akar lamun tidak berkembang baik untuk menyalurkan air maka dapat dikatakan bahwa lamun tidak berperan penting dalam penyaluran air.

Di antara banyak fungsi, akar lamun merupakan tempat menyimpan oksigen untuk proses fotosintesis yang dialirkan dari lapisan epidermal daun melalui difusi sepanjang sistem lakunal (udara) yang berliku-liku. Sebagian besar oksigen yang disimpan di akar dan rhizoma digunakan untuk metabolisme dasar sel kortikal dan epidermis seperti yang dilakukan oleh mikroflora di rhizospher. Beberapa lamun diketahui mengeluarkan oksigen melalui akarnya (*Halophila ovalis*), sedangkan spesies lain (*Thalassia testudinum*) terlihat menjadi lebih baik pada kondisi anoksik. Larkum et al. (1989)

menekankan bahwa transport oksigen ke akar mengalami penurunan tergantung kebutuhan metabolisme sel epidermal akar dan mikroflora yang berasosiasi. Melalui sistem akar dan rhizoma, lamun dapat memodifikasi sedimen di sekitarnya melalui transpor oksigen dan kandungan kimia lain. Kondisi ini juga dapat menjelaskan jika lamun dapat memodifikasi sistem lakunal berdasarkan tingkat anoksia di sedimen. Dengan demikian pengeluaran oksigen ke sedimen merupakan fungsi dari detoksifikasi yang sama dengan yang dilakukan oleh tumbuhan darat. Kemampuan ini merupakan adaptasi untuk kondisi anoksik yang sering ditemukan pada substrat yang memiliki sedimen liat atau lumpur. Karena akar lamun merupakan tempat untuk melakukan metabolisme aktif (respirasi) maka konsentrasi CO₂ di jaringan akar relatif tinggi.

2. Rhizoma dan Batang

Struktur rhizoma dan batang lamun memiliki variasi yang sangat tinggi tergantung dari susunan saluran di dalam stele. Rhizoma, bersama sama dengan akar, menancapkan tumbuhan ke dalam substrat. Rhizoma merupakan batang yang terbenam dan merayap secara mendatar serta berbuku-buku. Pada buku-buku tersebut tumbuh batang pendek yang tegak ke atas, berdaun dan berbunga. Pada buku tumbuh pula akar dan rhizoma sehingga tumbuhan tersebut dapat menancapkan diri dengan kokoh di dasar laut sehingga tahan terhadap hempasan gelombang dan arus.

3. Daun Lamun

Sebagian besar spesies lamun memiliki bentuk daun panjang dan relatif sempit seperti umumnya daun tumbuhan monokotil. Beberapa genus memiliki bentuk daun yang berbeda, seperti *Halophila* yang memiliki bentuk daun membulat dan *Syringodium* daunnya yang silindris. Daun lamun memiliki kisaran panjang yang lebar mulai dari 1 cm, pada beberapa spesies *Halophila*, hingga mencapai 1 m untuk *Zostera asiatica* dan *Enhalus acoroides* (Hemminga dan Duarte, 2000).

Daun lamun dihasilkan dari node rhizome (Hemminga dan Duarte, 2000), yang biasanya berawal dari puncak samping node seperti pada *Enhalus*, *Halophila*, *Posidonia*, dan *Zosteraceae*. Pada kelompok *Thalassia* dan *Cymodoceaceae*, daun terbentuk dari puncak pada tegakan stem (Kuo dan den Hartog, 2006). Daun lamun umumnya muncul pada setiap node rhizome sebagai tunas lamun (Azkab, 2006). Setiap jenis lamun memiliki jumlah daun yang berbeda-beda, mulai dari hanya satu helai daun per tunas seperti pada *Syringodium*, hingga 10 daun per tunas pada *Amphibolis* (Hemminga dan Duarte, 2000).

Selain itu daun lamun memiliki bentuk umum yang hampir sama dengan tumbuhan lain, spesies lamun memiliki morfologi khusus dan bentuk anatomi yang memiliki nilai taksonomi yang sangat tinggi. Beberapa bentuk morfologi sangat mudah terlihat yaitu bentuk daun, bentuk puncak daun, keberadaan atau ketiadaan ligula. Sebagai contoh puncak daun *Cymodocea serrulata*

berbentuk lingkaran dan berserat, sedangkan *Cymodocea rotundata* datar dan halus. Daun lamun terdiri dari dua bagian yang berbeda yaitu pelepah dan daun. Pelepah daun menutupi rhizoma yang baru tumbuh dan melindungi daun muda. Tetapi genus *Halophila* yang memiliki bentuk daun petiolate tidak memiliki pelepah. Pada daun lamun ketiadaan stomata digantikan oleh tipisnya lapisan kutikula pada permukaan daun. Kondisi ini mempermudah penyerapan nutrisi yang terdapat di dalam air dapat langsung disalurkan kepada sel-sel fotosintesa tanpa harus melalui sistem perakaran.

C. Fungsi dan Peran Lamun

Pada dasarnya ekosistem lamun memiliki fungsi yang hampir sama dengan ekosistem lain di perairan seperti ekosistem terumbu karang ataupun ekosistem mangrove, seperti sebagai habitat bagi beberapa organisme laut, juga tempat perlindungan dan persembunyian dari pemangsa. Menurut Azkab (1988), ekosistem lamun merupakan salah satu ekosistem di laut dangkal yang paling produktif. Di samping itu ekosistem lamun mempunyai peranan penting dalam menunjang kehidupan dan perkembangan jasad hidup di laut dangkal. Menurut hasil penelitian diketahui bahwa peranan lamun di lingkungan perairan laut dangkal sebagai berikut:

1. Sebagai Produsen Primer. Lamun mempunyai tingkat produktifitas primer tertinggi bila dibandingkan dengan ekosistem lainnya yang ada di laut dangkal seperti ekosistem terumbu karang (Thayer et al, 1975).

2. Sebagai Habitat Biota Lamun memberikan tempat perlindungan dan tempat menempel berbagai hewan dan tumbuh-tumbuhan laut (alga). Disamping itu, padang lamun (seagrass beds) dapat juga berfungsi sebagai daerah asuhan, padang penggembalaan dan makanan dari berbagai jenis ikan herbivora dan ikan-ikan karang (coral fishes) (Kikuchi dan Peres, 1977).
3. Sebagai Penangkap Sedimen Daun lamun yang lebat akan memperlambat air yang disebabkan oleh arus dan ombak, sehingga perairan di sekitarnya menjadi tenang. Disamping itu, rimpang dan akar lamun dapat menahan serta mengikat sedimen, sehingga dapat menguatkan dan menstabilkan dasar permukaan. Jadi padang lamun dapat berfungsi sebagai penangkap sedimen dan juga dapat mencegah erosi (Gingsburg dan Lowestan, 1958).
4. Sebagai Pendaaur Zat Hara Lamun memegang peranan penting dalam pendauran berbagai zat hara dan elemen-elemen yang langka di lingkungan laut. Khususnya zat-zat hara yang dibutuhkan oleh alga epifit.

Selain itu menurut Duarte (2000); Fortes, 2013), padang lamun yang membentuk ekosistem memiliki fungsi adalah: (1) produksi bahan organik yang relatif tinggi, (2) menghasilkan partikel detritus sebagai dasar rantai makanan penting, (3) daun dan tegak tunas lamun habitat tumbuhan lain seperti organisme epifit, (4) menstabilkan habitat (Wood et al., 1969; Phillips dan Milchakova, 2003). Sebagai ekosistem, fungsi

ekologis yang unik dari padang lamun memberikan banyak manfaat bagi organisme di yang tinggal di wilayah pesisir dan kontribusi ekosistem lamun ke keanekaragaman hayati yang tinggi dan sumber pendapatan masyarakat lokal.

Ekosistem padang lamun merupakan salah satu ekosistem bahari yang produktif. Ekosistem perairan dangkal mempunyai fungsi antara lain:

1. Menstabilkan dan menahan sedimen-sedimen yang dibawa melalui tekan-tekanan dari arus dan gelombang
2. Daun-daunnya memperlambat dan mengurangi arus dan gelombang serta mengembangkan sedimentasi
3. Memberikan perlindungan terhadap hewan-hewan muda dan dewasa yang berkunjung ke padang lamun
4. Daun-daun sangat membantu organisme-organisme epifit
5. Mempunyai produktivitas dan pertumbuhan yang tinggi
6. Memfiksasi karbon yang sebagian besar masuk ke dalam sistem daur rantai makanan

D. Pertumbuhan Lamun

Pertumbuhan lamun dapat dilihat dari penambahan panjang bagian-bagian tertentu seperti daun dan rhizoma dalam kurun waktu tertentu. Di bandingkan pertumbuhan daun, pertumbuhan rhizome lebih sulit diukur khususnya untuk jenis-jenis lamun tertentu. Hal tersebut mempengaruhi lebih maraknya kajian

pertumbuhan daun lamun (Hemminga dan Duarte, 2000).

Pertumbuhan rhizome mempengaruhi pertumbuhan lamun secara ekstensif, baik horizontal maupun vertikal, untuk membentuk padang lamun. Rhizome horizontal merupakan penentu pertumbuhan lamun secara horizontal. Rhizome vertikal dapat memproduksi rhizome horizontal bila jaringan meristem apikal asli dari rhizome horizontal telah mati (dari cabang rhizome vertikal), sehingga rhizome horizontal yang baru memiliki kapasitas untuk melanjutkan pertumbuhan lamun secara horizontal (Hemminga dan Duarte, 2000). Rhizome vertikal mampu untuk menembus hingga permukaan substrat. Bahkan pada beberapa jenis lamun dapat menembus hingga kolom perairan, misalnya pada *Cymodocea*, *Thalassodendron*, *Amphibolis*, *Halodule* dan *Syringodium* (Marba dan Duarte, 1994 in Hemminga dan Duarte, 2000).

Pengukuran pertumbuhan lamun dapat mengacu bagian akar, rhizome, daun, maupun pada keseluruhan tumbuhan ataupun populasinya. Pengukuran pertumbuhan rhizome lamun dengan mengukur pertambahan internoda pada rhizome atau leaf scar. Internoda ini juga dapat digunakan untuk memperkirakan umur dari tunas lamun (Patriquin, 1973 in Hemminga dan Duarte, 2000). Kemampuan untuk memperkirakan usia lamun ini juga merupakan cara sederhana untuk mengestimasi pertumbuhan rhizome. Rasio antara rhizome dengan panjang tunas dan perbedaan

umur keduanya, merupakan representasi dari jangka waktu terbentuknya potongan rhizome, serta memberikan perkiraan laju pertumbuhan horizontal lamun (Duarte et al., 1994 in Hemminga dan Duarte, 2000).

Tingkat pertumbuhan lamun sangat bervariasi, mulai dari hanya beberapa sentimeter per tahun seperti pada *Posidonia oceanica*, hingga lebih dari 5 meter per tahun pada *Halophila ovalis* (Marba dan Duarte, 1998; Duarte, 1991 in Hemminga dan Duarte 2000). Pertumbuhan lamun akan terhenti sementara pada saat musim yang merugikan untuk pertumbuhan, yang ditandai oleh adanya internoda yang sangat pendek dan leaf scar yang terlalu padat (Bell, 1991 in Hemminga dan Duarte, 2000).

Pertumbuhan juga bisa diartikan dengan perubahan bentuk dan perubahan ukuran pada morfologi suatu tumbuhan. Pertumbuhan lamun dapat dilihat dari penambahan panjang bagian-bagian tertentu seperti daun dan rhizomanya (Gilang, 2013). Namun pertumbuhan rhizoma lebih sulit diukur pada jenis-jenis tertentu karena umumnya berada dibawah substrat, penelitian pertumbuhan daun lamun berada di atas substrat, sehingga lebih mudah diamati (Azkab dan Kiswara, 1994). Pertumbuhan daun lamun berbeda-beda antara lokasi yang satu dengan yang lainnya, hal ini dikarenakan kecepatan atau laju pertumbuhan dipengaruhi oleh faktor-faktor internal seperti fisiologi, metabolisme dan faktor-faktor eksternal seperti zat-zat hara, tingkat

kesuburan substrat dan parameter lingkungan lainnya. Lamun juga memiliki produktivitas tinggi dengan pertumbuhan daun lamun di Teluk Banten rata-rata untuk jenis *Enhalus acoroides* sebesar 16,89 mm/hari dan *Thalassia hemprichii* 4,51 mm/hari untuk daun lama (Kiswara, 1999). Menurut Gilang (2013), laju pertumbuhan lamun *Enhalus acoroides* di pulau Pari Kepulauan Seribu berkisar antara 0,5045 – 0,8208 cm/hari. Sedangkan menurut Deviyan (2012) di Pantai Sayang Heulang Garut pertumbuhan daun muda jenis *Cymodocea rotundata* memiliki laju pertumbuhan 0,74 cm/hari selama dua minggu, sedangkan daun tuanya memiliki laju pertumbuhan 0,36 cm/hari selama dua minggu. Daun muda jenis *Thalassia hemprichii* memiliki laju pertumbuhan 0,40 cm/hari selama dua minggu, sedangkan daun tuanya memiliki laju pertumbuhan 0,32 cm/hari selama dua minggu.

E. Produktivitas dan Biomassa

Biomassa lamun dalam adalah berat dari semua material yang hidup pada suatu satuan luas tertentu, baik yang berada di atas maupun di bawah substrat yang sering dinyatakan dalam satuan gram berat kering per m² (gbk/m²). Sedangkan produksi lamun diartikan sebagai penambahan biomassa lamun selang waktu tertentu (Zieman dan Wetzel 1980) dengan laju produksi (produktivitas) yang sering dinyatakan dengan satuan berat kering per m² perhari (gbk/m²/hari) (Brouns 1985) atau berat karbon per m² pertahun (gC/m²/tahun).

Pengukuran produktivitas lamun dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti metode biomassa, metode penandaan dan metode metabolisme (Zieman dan Wetzel 1980; Azkab 2000a). Penelitian-penelitian produktivitas di Indonesia umumnya menggunakan metode penandaan. Produktivitas yang didapatkan dari metode ini bisa lebih kecil dari produktivitas yang sebenarnya karena tidak memperhitungkan kehilangan serasah dan pengaruh grazing oleh hewan-hewan herbivora yang memanfaatkan lamun sebagai makanan.

Biomassa dan produksi dapat bervariasi secara spasial dan temporal yang disebabkan oleh berbagai faktor, terutama oleh nutrien dan cahaya (Tomascik et al. 1987). Selain itu juga sangat tergantung pada spesies dan kondisi perairan lokal lainnya seperti kecerahan air, sirkulasi air dan kedalaman (Zieman 1987), panjang hari, suhu dan angin (Mellor et al 1993). Fortes (1990) menambahkan bahwa besarnya biomassa lamun bukan hanya merupakan fungsi dari ukuran tumbuhan, tetapi juga merupakan fungsi dari kerapatan. Biomassa lamun dari beberapa tempat di daerah tropik dirangkum oleh Azkab (1999,2000b).

Nateekarnchanalarp dan Sudara (1992) yang melakukan penelitian di Thailand melaporkan adanya perbedaan biomassa lamun menurut lokasi dan musim. Pada musim panas biomassa lamun *H. ovalis* tertinggi ditemukan di Chon Khram (1.094 gbk/m²) kemudian di Yai

(0,935 gbk/m²) dan terendah di Hin Com (0,919 gbk/m²). Pada tempat yang sama (Chon Khram) biomassa lamun *H. ovalis* berbeda menurut musim. Biomassa tertinggi ditemukan sebesar 2,308 gbk/m² pada musim hujan, yang kemudian disusul 1,094 gbk/m² (musim panas) dan 0,144 gbk/m² (musim dingin). Dari laporan tersebut juga terlihat bahwa persentase luas penutupan yang tinggi belum tentu menghasilkan biomassa yang tinggi dibanding yang mempunyai persentase penutupan yang lebih rendah.

Beberapa peneliti membagi biomassa dan produksi menurut letaknya terhadap substrat yaitu biomassa atau produksi di atas substrat (terdiri dari helaian dan pelepah daun) dan biomassa di bawah substrat (terdiri dari akar dan rhizoma). Penelitian-penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa biomassa lamun di bawah substrat lebih besar dibanding di atas substrat. Namun sebaliknya, produksi lamun di atas substrat lebih besar dibanding di bawah substrat (Brouns 1985).

Di kepulauan Seribu, penelitian yang dilakukan oleh Azkab (1992, diolah) pada *T. hemprichii* menunjukkan rasio antara biomassa di bawah dan di atas substrat adalah 4,80 (Pulau Pandan dan Pulau Rambut) dan 4,71 (pulau Bidadari). Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Dawes dan Tomasko (1988) pada *T. testudinum* ditemukan rasio antara bagian dangkal dan bagian dalam padang lamun yang berbeda antara lokasi penelitian. Di lokasi penelitian Egmont Key di dapatkan rasio 3,19 dan 0,79 masing-masing pada

bagian dangkal dan bagian dalam padang lamun. Sedangkan di Ancote Key ditemukan rasio masing-masing 1,31 (bagian dangkal) dan 1,84 (bagian dalam).

Beberapa peneliti melaporkan bahwa produktivitas primer komunitas lamun mencapai 1 kg C/m²/tahun, namun hanya sebagian kecil yang dimanfaatkan langsung oleh herbivora (Kirman dan Reid 1979 dalam Supriharyono 2000). Brouns (1985a) melaporkan rata-rata produktivitas di atas substrat *T. hemprichii* berkisar 0,67 - 1,49 gC/m²/hari. Produksi di atas substrat tersebut dapat menyumbang sampai 85% dari total produksi bersih lamun. Peneliti tersebut juga menemukan adanya hubungan yang erat antara produktivitas *T. hemprichii* di atas substrat dengan siklus bulan. Produktivitas tertinggi ditemukan seminggu setelah bulan baru dan terendah beberapa hari setelah bulan penuh. Produktivitas menurun secara linear dengan kju 0,035 mgbk/tunas/hari yang dimulai pada hari ke-5 setelah bulan baru dan bertambah dengan laju 0,026 mgbk/tunas/hari dari hari ke-18 setelah bulan baru.

F. Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Lamun

• Parameter Fisik

➤ Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme. Perubahan suhu terhadap kehidupan lamun, antara lain dapat

mempengaruhi metabolisme, penyerapan unsur hara dan kelangsungan hidup lamun. Menurut Nontji (1987), pengaruh suhu terhadap sifat fisiologi organisme perairan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi fotosintesis. Kisaran suhu yang optimal bagi spesies lamun untuk tumbuh yaitu 28°C - 30°C, sedangkan untuk fotosintesis lamun membutuhkan suhu optimum 25°C - 35°C. Pengaruh suhu bagi lamun sangat besar, suhu mempengaruhi proses-proses fisiologis lamun, yaitu fotosintesis, laju respirasi, pertumbuhan, dan reproduksi (Berwick, 1983). Berdasarkan penelitian Deviyan (2012), suhu di perairan Sayang Heulang Garut sangat rendah berkisar antara 21-24°C. Hal itu dikarenakan kondisi musim pada saat penelitian sedang musim peralihan (hujan-kemarau) dan angin kencang (angin timur), sehingga berpengaruh terhadap suhu perairan.

➤ **Arus**

Arus mempunyai peranan dalam pendistribusian suhu dan salinitas. Arus yang terjadi di daerah estuari dipengaruhi oleh pasang surut dan aliran sungai. Pola arus yang berubah-ubah menurut musim dan tipe pasang surut di daerah estuari mempengaruhi areal penyebaran partikel yang terangkat oleh massa air sungai. Arus perairan yang kecil menyebabkan daun lamun dipadati oleh alga epifit berikut sedimen yang terperangkap diantara alga tersebut. Sebaliknya, apabila daun lamun bersih dari alga epifit menunjukkan arus setempat relatif kuat (Berwick

1983 dalam Kasim, 2012). Arus di sekitar Teluk Banten berada pada kecepatan 0,037 m/s sampai 0,187 m/s. Lingkungan teluk yang relatif tenang dan berada jauh dari pengaruh oseanik atau laut terbuka mengakibatkan arus memiliki kecepatan rendah. Arus kecil ini menyebabkan permukaan daun *Enhalus acoroides* ditumbuhi alga epifit dan ditutupi oleh sedimen yang terperangkap, terutama pada daun yang berada di stasiun lumpur (Badria, 2007).

Arus juga dapat merubah bentuk permukaan substrat secara perlahan yang membawa substrat berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Hal ini akan menjadi masalah bagi jenis lamun yang berukuran kecil karena dapat menyebabkan lamun terkena sedimentasi dan tidak dapat melakukan fotosintesis.

➤ **Kedalaman**

Kedalaman perairan dapat membatasi distribusi lamun secara vertikal. Lamun hidup pada daerah perairan dangkal yang masih dapat dijumpai sampai kedalaman 40 meter dengan penetrasi cahaya yang masih baik (Hemminga dan Duarte, 2000). Semakin dalam suatu perairan maka intensitas cahaya matahari untuk menembus dasar perairan menjadi terbatas dan kondisi ini akan menghambat proses fotosintesis lamun di dalam air.

Penyebaran lamun berbeda untuk setiap spesies sesuai dengan kedalaman air. Batas kedalaman sebagian spesies adalah 10-12 meter, tetapi pada perairan yang sangat jernih dapat

dijumpai pada tempat yang lebih dalam (Hutomo, 1997). Pengukuran kedalaman di lokasi Pulau Pari Kepulauan seribu memiliki kedalaman rata-rata dibawah 1 m yang merupakan kedalaman ideal untuk pertumbuhan vegetasi lamun. Untuk stasiun 1 memiliki kedalaman rata-rata 0,6794 m dan pada stasiun 2 memiliki nilai kedalaman rata-rata 0,4817 m (Rahayu, 2013).

➤ **Kecerahan**

Penetrasi cahaya yang masuk ke dalam perairan sangat mempengaruhi proses fotosintesis oleh tumbuhan lamun. Proses fotosintesis merupakan hal terpenting dalam pertumbuhan lamun sebagai produsen primer dalam kehidupan laut. Lamun membutuhkan sinar matahari untuk berfotosintesis.

Kecerahan perairan mempengaruhi intensitas cahaya yang masuk ke kolom perairan. Perairan dengan kecerahan tinggi maka intensitas cahaya yang masuk ke kolom air akan semakin dalam dan jika tingkat kecerahan perairan rendah, intensitas cahaya yang masuk akan dangkal. Faktor yang mempengaruhi kecerahan yaitu kekeruhan atau material tersuspensi, perairan dengan substrat lumpur akan memiliki tingkat kecerahan rendah dan tingkat kekeruhan tinggi. Sebaliknya pada perairan dengan substrat pasir atau batu akan memiliki tingkat kecerahan yang lebih tinggi dan kekeruhan yang rendah. Pada perairan pantai yang keruh, cahaya menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan lamun. Kurangnya

penetrasi cahaya dapat menimbulkan gangguan terhadap produksi primer lamun (Dahuri, 2003).

Lamun merupakan tumbuhan yang membutuhkan intensitas cahaya yang cukup tinggi untuk proses fotosintesis. Jika suatu perairan mendapat pengaruh akibat aktivitas pembangunan suatu pelabuhan atau dermaga maka meningkatkan sedimentasi pada badan air yang akhirnya akan mempengaruhi turbiditas. Turbiditas tersebut berdampak buruk terhadap kelangsungan proses fotosintesis, kondisi ini pula secara luas akan mengganggu produktivitas primer ekosistem lamun (Dahuri, 2003). Nilai kecerahan di semua stasiun penelitian didapatkan adalah 100% dimana kecerahan dengan nilai 100% tersebut mempunyai arti bahwa perairan tersebut terbilang jernih, sehingga ekosistem lamun mendapatkan pasokan penetrasi cahaya yang cukup untuk berfotosintesis secara maksimal (Ismail, 2011).

• **Parameter Kimia**

➤ **Salinitas**

Salinitas adalah total konsentrasi ion-ion terlarut yang terdapat di perairan. Salinitas dinyatakan dalam satuan promil (‰). Hutomo (1999) menjelaskan bahwa lamun memiliki kemampuan toleransi yang berbeda terhadap salinitas, namun sebagian besar memiliki kisaran yang lebar yaitu 10-40‰. Nilai salinitas yang optimum untuk lamun adalah 35‰. Walaupun spesies lamun memiliki toleransi terhadap salinitas yang berbeda-beda, namun sebagian besar memiliki kisaran yang tinggi terhadap salinitas

yaitu antara 10-30 ‰. Penurunan salinitas akan menurunkan kemampuan fotosintesis. (Dahuri et al, 2001). Pada penelitian laju pertumbuhan *Enhalus acoroides* di Pulau Pari nilai salinitas di tiap stasiun memiliki kisaran antara 28,7-30,8‰, dimana nilai salinitas optimum untuk lamun adalah 35‰. Rendahnya nilai salinitas pada pulau Pari diduga karena perairan Pulau Pari berada dekat dengan Teluk Jakarta. Hal ini mengakibatkan adanya pengaruh aliran air tawar dari beberapa muara sungai yang bermuara ke Teluk Jakarta (Gilang, 2013).

➤ **Derajat keasaman (pH)**

Derajat keasaman (pH) adalah ukuran tentang besarnya konsentrasi ion hidrogen dan menunjukkan apakah air itu bersifat asam atau basa dalam reaksinya (Wardoyo, 1975). Derajat keasaman (pH) mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap organisme perairan sehingga dipergunakan sebagai petunjuk untuk menyatakan baik buruknya suatu perairan. Menurut Nybakken (1992), kisaran pH yang optimal untuk air laut antara 7,5-8,5. Kisaran pH yang baik untuk lamun ialah pada saat pH air laut 7,5-8,5, karena pada saat kondisi pH berada dikisaran tersebut maka ion bikarbonat yang dibutuhkan oleh lamun untuk fotosintesis dalam keadaan melimpah (Phillip dan Menez, 1988).

Deviyana (2012) dan Rahayu (2013) menyatakan bahwa pH pada lokasi penelitian di masing-masing perairan yang mereka teliti didapat nilai derajat keasamannya antara 7,5 – 8,5, dimana

kisaran pH tersebut merupakan kisaran optimal perairan yang dikatakan baik.

➤ **Oksigen terlarut (DO)**

Kelarutan oksigen dalam air laut dipengaruhi oleh tekanan parsial gas-gas yang ada dalam air dan udara, suhu, pH, dan turbulensi. Kandungan oksigen dalam air berasal dari difusi udara dan hasil fotosintesis organisme berklorofil (termasuk lamun) yang hidup di perairan. Perairan yang hangat memiliki kandungan oksigen terlarut yang rendah dibandingkan dengan perairan yang lebih dingin, dimana konsentrasi kejenuhan oksigen terlarut menurun antara 0,2 dan 0,3 mg/l untuk setiap kenaikan temperatur derajat celcius (Arnell, 2002). Padang lamun merupakan lingkungan yang kaya akan oksigen sehingga cocok bagi makrofauna untuk melakukan kolonisasi ke habitat ini (Zulkifli, 2000). Oksigen terlarut dimanfaatkan untuk respirasi tumbuhan dan hewan air, dekomposisi bahan organik (BOD atau biochemical oxygen demand), dan oksidasi amonia menjadi nitrat dan nitrit. Menurut Badria (2007) menyatakan bahwa oksigen terlarut di substrat pasir pada perairan Teluk Banten lebih tinggi dibandingkan substrat lumpur, ini dikarenakan nilai kecerahan dan kecepatan arus mempengaruhi kelarutan oksigen tersebut. Selain itu beliau juga menyatakan nilai oksigen terlarut diduga dipengaruhi oleh aktifitas (respirasi) organisme penghuni padang lamun. Kepadatan biota penghuni padang lamun di stasiun lumpur diduga lebih tinggi sehingga oksigen yang

dibutuhkan untuk melakukan respirasi tentu besar. Oleh karena itu, kandungan oksigen terlarut di substrat lumpur lebih rendah.

➤ **Substrat**

Substrat merupakan medium dari mana tumbuhan secara normal memperoleh nutrisi. Substrat dapat didefinisikan pula sebagai medium alami untuk pertumbuhan tanaman yang tersusun atas mineral, bahan organik, dan organisme hidup. Perbedaan komposisi jenis substrat dapat menyebabkan perbedaan komposisi jenis lamun dan juga dapat mempengaruhi perbedaan kesuburan dan pertumbuhan lamun. Hal ini didasari oleh pemikiran bahwa perbedaan komposisi ukuran butiran pasir akan menyebabkan perbedaan nutrisi bagi pertumbuhan lamun dan proses dekomposisi dan mineralisasi yang terjadi di dalam substrat (Kiswara, 1992).

Menurut Rohanipah (2009) perbedaan tipe substrat bisa dilihat sebagai berikut :

- Pasir = Substrat pasir memiliki komposisi pasir 85-98% dari seluruh komposisi substrat, dimana kelompok ini memiliki komposisi partikel pasir lebih banyak daripada partikel substrat lainnya. Dengan ukuran partikel 0,117-0,486 mm.
- Pasir Berlumpur = Substrat pasir berlumpur memiliki komposisi pasir 49-84% dari seluruh komposisi substrat, dimana kelompok ini memiliki komposisi terbanyak pasir namun ada sedikit

campuran lumpur. Dengan ukuran partikel 0,096-0,434 mm.

- Lumpur Berpasir = Substrat lumpur berpasir memiliki komposisi pasir 17-49% dari seluruh komposisi substrat, dimana kelompok ini memiliki komposisi lumpur lebih dominan dengan sedikit pasir. Dengan ukuran partikel 0,059-0,225 mm.
- Lumpur = Substrat lumpur memiliki komposisi pasir 0,5-12% dari seluruh komposisi substrat, dimana kelompok ini memiliki komposisi lumpur yang sangat dominan dan banyak. Dengan ukuran partikel 0,053-0,118 mm.

Beberapa penelitian tentang pertumbuhan lamun di substrat yang berbeda dan lokasi yang berbeda memiliki perbedaan yang berbeda juga. Seperti penelitian (Badria, 2007) menyatakan bahwa laju pertumbuhan daun *Enhalus acoroides* di Teluk Banten pertumbuhan daunnya lebih cepat di substrat berlumpur daripada substrat pasir. Sedangkan pada penelitian (Rahayu, 2013) menyatakan pertumbuhan *Enhalus acoroides* di Pulau Pari Kepulauan Seribu pada substrat pasir memiliki nilai tertinggi daripada substrat berlumpur.

- Nutrien

Ketersediaan nutrien menjadi faktor pembatas pertumbuhan, kelimpahan dan morfologi lamun pada perairan yang jernih (Hutomo, 1997).

Nutrien merupakan salah satu faktor penting bagi pertumbuhan lamun yang dibutuhkan

untuk proses fotosintesis. Lamun mampu tumbuh dengan subur pada daerah oligotrofik seperti daerah dekat terumbu karang. Seperti halnya tumbuhan produsen primer akuatik lainnya, lamun hanya membutuhkan nutrisi yaitu nitrogen dan fosfat (Duarte 1995 in Hogarth 2007). Fiksasi nitrogen pada lamun terjadi pada daun dan di dalam sedimen. Sumber nitrogen yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis lamun tersedia dari kadar anoxia dalam tanah dan keseimbangan proses nitrogen dalam tanah.

Sedangkan fosfat diperoleh dari komposisi sedimen atau substrat lamun. Pada daerah sedimen yang mengandung karbonat, seperti sedimen yang mengandung karbonat dari karang, fosfat akan bereaksi dengan karbonat sehingga fosfat bebas menjadi sedikit (Hogarth 2007).

G. Sebaran Jenis dan Karakteristik Ekologi Lamun

- **Sebaran Jenis Lamun**

Tumbuhan lamun merupakan tumbuhan laut yang mempunyai sebaran cukup luas mulai dari benua Artik sampai ke benua Afrika dan Selandia Baru. Jumlah jenis tumbuhan ini mencapai 58 jenis di seluruh dunia (Kuo dan Me. Comb 1989) dengan konsentrasi utama didapatkan di wilayah Indo-Pasifik. Dari jumlah tersebut 16 jenis dari 7 marga diantaranya ditemukan di perairan Asia Tenggara, dimana jumlah jenis terbesar ditemukan di perairan Filipina (16 jenis)

atau semua jenis yang ada di perairan Asia Tenggara ditemukan juga di Filipina.

Dua hipotesis yang saling bertolak belakang yang digunakan untuk menjelaskan penyebaran lamun adalah: 1. Hipotesis Vikarians dan 2. Hipotesis pusat asal usul. Hipotesis vikarians yang dikemukakan oleh McCoy dan Heck (1976), berdasarkan lempeng tektonik, perubahan iklim, dan juga pertimbangan ekologi seperti kepunahan dan hubungan spesies-habitat. Berdasarkan penyebaran terumbu karang (sklerektinia), lamun, dan mangrove, McCoy dan Heck (1976) menyimpulkan bahwa: pola biogeography lebih baik dijelaskan oleh keberadaan penyebaran biota secara luas pada waktu sebelumnya yang telah mengalami perubahan akibat kejadian tektonik, speciation, dan kepunahan, bersama dengan geologi modern dan teori biogeografi. Sedangkan hipotesis pusat asal usul berpendapat bahwa pola distribusi lamun dapat dijelaskan dari penyebarannya yang merupakan radiasi yang berasal dari lokasi yang memiliki keanekaragaman yang paling tinggi yang disebut pusat asal usul (den Hartog, 1970). Hipotesis ini berpendapat bahwa “Malinesia” (termasuk kepulauan Indonesia, Kalimantan-Malaysia, Papua Nugini, dan Utara Australia) merupakan pusat asal usul penyebaran lamun.

Mukai (1993) menunjukkan bahwa pola penyebaran modern dari lamun di barat Pasifik merupakan fungsi dari arus laut dan jarak dari pusat asal usul (Malesia). Datanya menjelaskan

bahwa jika mengikuti arus laut utama yang berasal dari pusat asal usul (Malesia) dengan keanekaragaman lamun tinggi, maka akan terjadi penurunan keanekaragaman lamun secara progresif kearah tepi (Jepang, Selatan Quensland, Fiji) yang memiliki lebih sedikit jenis lamun tropis. Yang perlu dicermati bahwa distribusi lamun sepanjang utara-mengalirnya Kuroshio dan selatan-aliran timur arus Australia juga merefleksikan gradient lintang. Hal lainnya adalah penyebaran lamun sepanjang gradient ini juga dipengaruhi oleh temperatur.

Di Indonesia ditemukan jumlah jenis lamun yang relatif lebih rendah dibandingkan Filipina, yaitu sebanyak 12 jenis dari 7 marga. Namun demikian terdapat dua jenis lamun yang diduga ada di Indonesia namun belum dilaporkan yaitu *Halophila beccarii* dan *Ruppia maritime** (Kiswara 1997). Dari beberapa jenis yang ada di Indonesia, terdapat jenis lamun kayu (*Thalassodendron ciliatum*) yang penyebarannya sangat terbatas dan terutama di wilayah timur perairan Indonesia, kecuali juga ditemukan di daerah terumbu tepi di kepulauan Riau (Tomascik et al 1997). Jenis-jenis lamun tersebut membentuk padang lamun baik yang bersifat padang lamun monospesifik maupun padang lamun campuran yang luasnya diperkirakan mencapai 30.000 km² (Nienhuis 1993).

Jenis dan sebaran lamun di beberapa negara Asia Tenggara (ASEAN) disajikan pada Tabel 1.

**LAMUN (KAJIAN LOGAM BERAT | 2018
DAN KADAR KLOORIFIL)**

Jenis SBL di	Brun ei DS	Indo- nesia	Malays ia	Fili pin a	Singa -pura	Thail and
<i>Enhalus acoroides</i>	+	4-	+	+	+	4-
<i>Halophila decipiens</i>	-	4-	+	-	+	-
<i>H. minor</i>	-	+	+	+	4-	+
<i>H. minor var. nov</i>	-	-	-	+	-	-
<i>H. ovalis</i>	4-	4-	+	+	+	4-
<i>H. spinulosa</i>	4-	4-	+	+	+	4-
<i>H. beccarii</i>	+	?	+	+	+	4-
<i>Halophil a sp</i>	-	-	-	+	-	
<i>Thalassi a hemprich ii</i>	4-	4-	+	+	4-	+
<i>C. serrulata</i>	-	+	+	+	4-	+
<i>Halodule pinifolia</i>	-	+	-	+	4-	4-
<i>H. uninervis</i>	-	+	-	+	4-	4-
<i>Syringod ium isoetifoli um</i>	-	4-	+	+	4-	“
<i>Thalasso dendron</i>	-	+	-	+	-	TM
<i>Ruppia maritima</i>	-	?	-	+	-	-
Jumlah	4	12	9	16	11	10

Keterangan: + : ditemukan - : tidak ditemukan ? : diduga ada
tidak ditemukan ? : diduga ada

Sedangkan penyebaran padang lamun di wilayah laut berdasarkan jenis-jenis yang umum terdapat di Indonesia dapat dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 2. Penyebaran lamun di wilayah laut yang ditemukan di Indonesia

Spesies	Keterangan
<i>Cymodocea rotundata</i>	Terdapat di daerah intertidal dan merupakan makanan duyung
<i>C. serrulata</i>	Umum dijumpai di daerah intertidal di dekat mangrove, dan merupakan makanan duyung
<i>Enhalus acoroides</i>	Tumbuh pada substrat berlumpur dan perairan keruh, dapat membentuk padang lamun spesies tunggal, atau mendominasi komunitas padang lamun
<i>Halodule pinifolia</i>	Pertumbuhannya cepat, merupakan spesies pionir, umum dijumpai di substrat berlumpur
<i>H. uninervis</i>	Membentuk padang lamun spesies tunggal padarataan karang yang rusak
<i>Halophila decipiens</i>	Dikenal sebagai makanan duyung
<i>H. minor</i>	-
<i>H. ovalis</i>	Dapat merupakan spesies yang dominan di daerah intertidal, mampu tumbuh sampai kedalaman 25 m

<i>H.spinulosa</i>	Merupakan makanan duyung
<i>Syringodium isoetifolium</i>	-
<i>Thalassia hemprichii</i>	Umum dijumpai di daerah subtidal yang dangkal dan berlumpur
<i>Thalassodendron ciliatum</i>	Paling banyak dijumpai, biasa tumbuh dengan spesies lain, dapat tumbuh hingga kedalaman 25 m. Sering dijumpai pada substrat berpasir. Sering mendominasi di zona subtidal dan berasosiasi dengan terumbu karang sampai kedalaman 30 m, di lereng terumbu karang

• **Karakteristik Ekologi Lamun**

Ekosistem padang lamun memiliki kondisi ekologis yang sangat khusus dan berbeda dengan ekosistem mangrove dan terumbu karang. Ciri-ciri ekologis padang lamun antara lain menurut Kordi (2011) adalah :

1. Terdapat di perairan pantai yang landai, di dataran lumpur/pasir
2. Pada batas tyerendah daerah pasang surut dekat hutan bakau atau di dataran terumbu karang.
3. Mampu hidup sampai kedalaman 30 meter, di perairan tenang dan terlindung
4. Sangat tergantung pada cahaya matahari yang masuk ke perairan
5. Mampu melakukan proses metabolisme secara optimal jika keseluruhan tubuhnya terbenam air termasuk daur generatif

6. Mampu hidup di media air asin
7. Mempunyai sistem perakaran yang berkembang baik

Tumbuhan ini tumbuh baik pada hampir semua tipe substrat mulai dari substrat berlumpur sampai berbatu. Lamun merupakan tumbuhan yang mampu beradaptasi penuh untuk dapat hidup di lingkungan laut. Eksistensi lamun di laut merupakan hasil dari beberapa adaptasi yang dilakukan termasuk toleransi terhadap salinitas yang tinggi, kemampuan untuk menancapkan akar di substrat sebagai jangkar dan juga kemampuan untuk tumbuh dan melakukan reproduksi pada saat terbenam. Daya adaptasi lamun berpengaruh pada pertumbuhan dan sebaran lamun.



Gambar 1. Penampang daun-daun lamun yang panjang

BAB II

PROFIL LOGAM BERAT

Logam adalah unsur alam yang dapat diperoleh dari laut, erosi batuan tambang, vulkanis dan sebagainya. Untuk kepentingan biologi Clark (1986); Diniyah (1995) *dalam* Yudhanegara (2005) membagi logam kedalam 3 kelompok yaitu :

1. Logam ringan (seperti natrium, kalium, kalsium, dan lain-lain), biasanya diangkut sebagai kation aktif di dalam larutan encer.
2. Logam transisi (seperti besi, tembaga, kobalt dan mangan), diperlukan dalam konsentrasi yang rendah, tetapi dapat menjadi racun dalam konsentrasi yang tinggi.
3. Logam berat dan metaloid (seperti raksa, hitam, timah, selenium, dan arsen), umumnya tidak dipergunakan dalam metabolisme dan sebagai racun bagi racun dalam konsentrasi rendah.

Adanya logam berat di perairan, dapat berbahaya secara langsung terhadap kehidupan organisme maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat yang sulit di degradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alamiah sulit terurai, dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut (Nonji, 1993).

Menurut Darmono (1995), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk kedalam zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam

yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diabsorpsi. Babich dan Stotzky (1978) mengemukakan bahwa berbagai faktor lingkungan berpengaruh terhadap logam berat yaitu keasaman tanah, bahan organik, suhu, tekstur, mineral liat, dan lain-lain. pH merupakan faktor penting yang menentukan transformasi gelombang. Penurunan pH secara umum dapat meningkatkan ketersediaan logam berat kecuali Mo dan Se.

Sifat racun logam berat berbeda-beda tergantung dari anion-kation yang terdapat bersamanya, proses ini dikenal sebagai faktor sinergistik. 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 membentuk koloid dan senyawa kelompok metal yang teradsorpsi pada partikel-partikel yang tersuspensi (Razak, 1980). Unsur-unsur logam berat dapat masuk ke dalam tubuh organisme laut dengan tiga cara, yaitu melalui rantai makanan, insang dan difusi melalui permukaan kulit. Sedangkan pengeluaran logam berat dari tubuh organisme laut melalui dua cara yaitu ekskresi melalui permukaan tubuh dan insang, serta melalui feses dan urin. Sebagian besar logam berat masuk ke dalam tubuh organisme laut melalui rantai makanan, hanya sedikit yang diambil langsung dari air. Akumulasi terjadi karena logam berat dalam tubuh organisme cenderung membentuk

senyawa kompleks dengan zat-zat organik yang terdapat dalam tubuh organisme. Dengan demikian terfiksasi dan tidak diekskresikan oleh organisme yang bersangkutan (Kunarso dan Ruyitno, 1991).

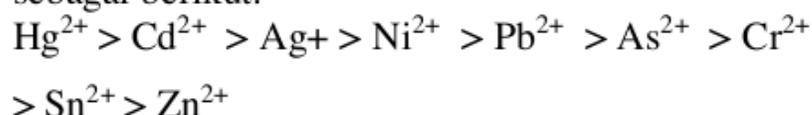
Logam secara alami berasal dari kerak bumi. Proses pelapukan secara kimiawi dan geokimiawi melepaskan berbagai unsur, salah satunya logam, yang ada di kerak bumi ke dalam perairan. Dalam sistem skala periodik, dari 106 unsur terdapat 94 unsur logam. Logam digolongkan ke dalam dua golongan yaitu logam ringan dan logam berat. Menurut Darmono (1995), logam yang mempunyai berat 5 gram atau lebih untuk setiap cm^3 atau setara dengan lima kali berat air disebut logam berat. Definisi logam berat menurut Murphy 1981 *in* Connell&Gregory 1995, didasarkan kepada gaya berat spesifik logam (lebih besar dari 4 atau 5), jumlah atom unsur pada tabel periodik antara 22-34 dan 40-52 serta lantanida dan aktinida dan tanggapan spesifik biokimiawi di dalam tubuh hewan dan tumbuhan.

Logam berat yang terdapat di perairan berasal dari proses erosi, buangan aktivitas industri, limbah domestik dan kegiatan pertanian (Etim *et al.* 1991). Logam berat pada dasarnya sangat diperlukan dalam proses kehidupan manusia. Misalnya dalam proses metabolisme untuk pertumbuhan dan perkembangan sel-sel tubuh. Konsentrasi logam berat yang dibutuhkan tubuh dalam proses metabolisme relatif sangat sedikit. Menurut Lu *et al.*, (2001) Pb anorganik

(*lead acetate*) pada konsentrasi 100 nM dapat menstimulasi sintesis DNA pada sel tubuh dan sebagai pengganti kalsium dalam mengaktifkan protein kinase-C (PKC). Selain itu, Achard-Joris *et al.*,(2006) menyatakan bahwa logam Cd dapat meregulasi *Cytochrome c Oxydase* subunit I yang dilakukan pada tiga jenis bivalvia.

Djuangsih *et al.* (1982) in Rochyatun dan Rozak (2007) menyatakan bahwa penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya yaitu sifat logam berat yang tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh makhluk hidup serta logam berat dapat terakumulasi dalam sedimen sungai dan laut karena dapat berikatan dengan senyawa organik dan anorganik membentuk senyawa kompleks melalui proses adsorpsi dan kombinasi. Dalam tubuh makhluk hidup, logam berat mengalami biokonsentrasi dan bioakumulasi sehingga kadar dalam tubuh lebih tinggi dibandingkan lingkungan. Selain itu, logam berat juga mengalami biomagnifikasi yang tergantung pada posisi organisme pada rantai makanan (Effendi, 2003).

Darmono (1995) menyatakan bahwa, berdasarkan penelitian toksisitas akut terhadap organisme air dan akibatnya yaitu LC-50 selama 48 jam disimpulkan bahwa urutan logam dari toksisitas paling tinggi ke paling rendah adalah sebagai berikut:



Menurut Bryan (1976), kekuatan racun logam berat terhadap ikan dan organisme lainnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Bentuk ikatan kimia dari logam yang larut dalam air
2. Pengaruh interaksi antara logam dan jenis racun lainnya
3. Pengaruh lingkungan seperti temperatur, kadar garam, pH atau kadar oksigen dalam air
4. Kondisi hewan, fase siklus hidup, besarnya organisme, jenis kelamin, dan kecukupan kebutuhan nutrisi
5. Kemampuan hewan untuk menghindari dari kondisi buruk (polusi)
6. Kemampuan hewan untuk beradaptasi terhadap racun

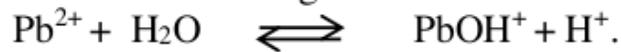
Logam-logam berat dapat berbentuk senyawa organik, anorganik atau terikat dalam senyawa logam yang lebih berbahaya daripada keadaan murninya. Timbal, kadmium dan merkuri merupakan logam berat yang mendapat perhatian besar karena penggunaannya di sebagian besar proses produksi. Selain itu, dampaknya pada sebagian besar orang karena sifat toksisitasnya yang tinggi. Menurut Murtini *et all* (2003), logam berat Hg, Cd dan Pb sangat berbahaya karena bersifat biomagnifikasi yang artinya dapat terakumulasi dan tinggal dalam jaringan tubuh organisme dalam jangka waktu lama sebagai racun terakumulasi.

Dalam tubuh logam Pb, Cd dan Hg memiliki waktu paruh (*half-life*). Logam tersebut akan terakumulasi di darah, ginjal, jaringan, tulang bahkan gigi (Nordberg 2004). Logam Pb memiliki *half-life* yang relatif singkat di darah yaitu 28 hari sedangkan untuk logam merkuri selama 45-70 hari (WHO 2008). Lain halnya dengan logam Cd yang memiliki *half-life* relatif lebih lama yaitu 20 tahun (Nordberg, 2004). Distribusi dan akumulasi logam untuk setiap organisme air sangat berbedabeda. Hal ini bergantung pada makanan yang tersedia, siklus hidup dan laju pertumbuhan (Bryan 1976). Gosling (1992) menyatakan bahwa, tingkat akumulasi bahan pencemar organik dan anorganik pada kerang tergantung faktor abiotik (salinitas dan kedalaman perairan) dan factor biotik (seperti aktivitas memompa, pertumbuhan, komposisi biokimia, kondisi reproduksi, dan metabolisme).

- **Timbal (Pb)**

Timbal mempunyai nomor atom 83, berat atom 207,9, titik cair 327,5°C dan titik didih 1725°C. Timbal di alam dalam bentuk sulfida (gelena), Pb Carbonat (Cerussite), PbSO₄ (Angelisite), sedangkan Timbal dalam air berada dalam bentuk Pb²⁺, PbCO₃, Pb(CO₃)₂²⁻, PbOH⁺, dan Pb (OH)₂. Secara alamiah Timbal tersebar luas pada batua-batuan dan lapisan kerak bumi. Saeni (1989) menyatakan sumber utama timbal di atmosfer dan daratan dapat berasal dari bahan bakar bertimbal sedangkan batuan kapur dan gelena (PbS) merupakan sumber timbal pada perairan alami. Timbal muncul dalam air dalam

bentuk bilangan oksida +II. Ion timbal terhidrolisis sebagian di dalam air dengan reaksi :



Selanjutnya Saeni (1989) menyatakan timbal masuk ke perairan melalui pengendapan, jatuhnya debu yang mengandung timbal yaitu: dari hasil pembakaran bensin yang mengandung timbal tetraetil, erosi, dan limbah industri.

Menurut Darmono (1995) mengemukakan penggunaan timbal dalam yang besar seperti: industri percetakan tinta, pelapis pipa sebagai anti korosif dan digunakan dalam campuran pembuat cat sebagai bahan pewarna karena daya larutnya yang rendah dalam air. Sedangkan Williams *et al*, (2000) dalam Oktavianus dan Salami (2005) mengungkapkan bahwa timbal (Pb) berasal dari industri-industri seperti pabrik baterai, amunisi, kawat, logam campuran, dan cat. Secara alamiah, timbal masuk ke perairan melalui pengkristalan timbal di udara dengan bantuan air hujan dan proses korotifikasi batu-bataun mineral. Timbal masuk ke perairan sebagai dampak aktivitas manusia seperti buangan industri, buangan pertambangan biji timah, dan buangan industri kaleng.

Logam timbal dalam konsentrasi yang tinggi dalam perairan dapat bersifat racun karena bioakumulatif dalam tubuh organisme air dan akan terus diakumulasi hingga organisme tersebut tidak mampu lagi mentolerir kandungan logam berat tersebut dalam tubuhnya (Connel dan Miller, 2006). Karena sifat bioakumulatif logam timbal,

maka dapat terjadi konsentrasi logam tersebut dalam bentuk terlarut dalam air adalah rendah, tetapi dalam sedimen meningkat akibat proses fisik, kimia, biologi perairan, dan dalam tubuh hewan air meningkat sampai beberapa kali lipat (biomagnifikasi). Selanjutnya Rompas (1998) dan Manahan (2002) menjelaskan bahwa apabila konsentrasi logam berat tinggi dalam air, ada kecenderungan konsentrasi logam berat tersebut tinggi dalam sedimen dan akumulasi logam berat dalam tubuh hewan demersial.

Menurut Manahan (2002) bahwa akumulasi logam berat dalam tubuh hewan air dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain:

1. Konsentrasi logam berat dalam air
2. Konsentrasi logam berat dalam sedimen
3. Nilai pH air dan pH sedimen dasar perairan
Nilai pH air dan pH sedimen dapat mempengaruhi akumulasi logam berat dalam tubuh hewan air, karena semakin rendah pH air dan pH sedimen maka logam berat semakin larut dalam air (bentuk ion) sehingga semakin mudah masuk kedalam tubuh hewan tersebut, baik melalui insang, dan bahan makanan ataupun difusi.
4. Tingkat pencemaran air dalam bentuk COD (*chemical oxygen demand*)
Apabila COD dalam perairan relatif tinggi, maka ada kecenderungan kandungan logam berat dalam air dan sedimen juga akan tinggi. COD menunjukkan kadar bahan

organik yang bersifat non biodegradable yang umumnya bersumber dari industri.

5. Kandungan sulfur dalam air dan sedimen
6. Kadar sulfur (S) dalam sedimen juga mempengaruhi kandungan logam berat dalam sedimen, karena unsur sulfur sangat mudah berikatan dengan logam berat membentuk logam-sulfida yang mengendap di dasar perairan.
7. Jenis hewan air
8. Umur dan bobot tubuh dan
9. Fase hidup (telur dan larva).

Apabila timbal (Pb) memasuki lingkungan perairan, maka timbal tersebut akan diserap oleh sedimen atau lumpur, plankton, algae, invertebrata, tanaman akuatik dan lain-lain. Sedimen dan tanah merupakan sink (pengendapan) utama bagi timbal di lingkungan. Konsentrasi timbal dalam air semakin meningkat karena garam yang diekskresikan ikan ke air cenderung bertambah. Kenaikan konsentrasi timbal dalam sistem akuatik secara berurutan : air < mangsa ikan < ikan < sedimen (DVGGM, 1985 dalam Oktavianus dan Salami, 2005). Selanjutnya diungkapkan bahwa peningkatan konsentrasi timbal pada ikan (proses uptake) merupakan peningkatan eksponensial, artinya: bahwa semakin tinggi konsentrasi timbal dalam air, semakin tinggi pula konsentrasi timbal dalam ikan Nila (*Oreochromis niloticus*).

Hasil penelitian Sitorus (2004), mengungkapkan bahwa kadar logam berat timbal

dalam tubuh kerang di perairan pesisir Belawan mencapai 0,042 ppm dan di Tanjung Balai mencapai 0,033 ppm. Hal ini berhubungan, karena kerang hidup di lapisan sedimen dasar perairan, bergerak sangat lambat dan makanannya detritus di dasar perairan, sehingga peluang masuknya logam berat kedalam tubuh sangat besar. Kadar logam berat timbal 0,5 ppm dapat menyebabkan kematian pada ikan dan organisme perairan lainnya.

Logam berat timbal dapat mempengaruhi hewan air yaitu; mengganggu sistem organ seperti insang dalam proses respirasi dan ginjal dalam proses osmoregulasi, kemudian akan mempengaruhi keseimbangan energi dalam ikan, sehingga mempengaruhi mortalitas, pertumbuhan, reproduksi serta aktivitas (Lloyd, 1992 *dalam* Oktavianus dan Salami, 2004).

Sedangkan apabila logam berat timbal masuk kedalam tubuh manusia, maka logam tersebut akan diakumulasi dalam jaringan tubuh dan tidak bisa diekskresikan lagi keluar tubuh. Pada kadar yang sudah tinggi dalam tubuh manusia, akan menyebabkan dampak negatif yang serius, antara lain: (1) menghambat aktivitas enzim, sehingga proses metabolisme terganggu, (2) menyebabkan abnormalitas kromosom (gen), (3) menghambat perkembangan janin, (4) menurunkan fertilitas wanita, (5) menghambat pembentukan sperma pada pria (spermatogenesis), (6) mengurangi konduksi syaraf tepi, (7) menghambat pembentukan hemoglobin, (8) menyebabkan kerusakan ginjal, (9) menyebabkan

kekurangan darah, (10) pembengkakan kepala, (11) menyebabkan gangguan emosional dan tingkah laku (Fergusson, 1990).

Logam ini sangat populer dan banyak dikenal oleh orang awam. Hal tersebut disebabkan banyaknya timah hitam yang digunakan di pabrik dan paling banyak menimbulkan keracunan pada makhluk hidup (Darmono, 1995). Timbal adalah jenis logam yang lunak dan berwarna coklat kehitaman, serta mudah dimurnikan. Dalam bahasa ilmiahnya dinamakan *plumbum*, dan logam ini disimbolkan dengan Pb. Logam ini termasuk ke dalam logam golongan IVA pada tabel periodik unsur kimia (Darmono, 1995), selanjutnya mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2 (Palar, 1994).

Menurut Darmono (1995), penggunaan timbal dalam jumlah yang paling besar adalah bahan produksi baterai pada kendaraan bermotor, sedangkan menurut Palar (1994), timbal digunakan dalam industri kimia yang berbentuk *tetraethyl Pb*, yang biasanya dicampur dengan bahan bakar minyak untuk melindungi mesin supaya awet. Persenyawaan Pb dengan Cr (*Chromium*) digunakan secara luas dalam industri cat (Palar, 1994). Timbal masuk ke dalam perairan melalui pengendapan, jatuhnya debu yang mengandung Pb yaitu dari hasil pembakaran bensin yang mengandung timbal *tetraethyl*, erosi dan limbah industri (Saeni, 1989).

Pembakaran bahan bakar minyak oleh kapal-kapal merupakan sumbangan terbesar polusi

timbal di perairan. Logam berat timbal yang terkandung dalam bahan bakar sebagai anti pemecah minyak (seperti Pb *tertraethyl* dan *tetramethyl*) ini kemudian dilepaskan ke atmosfer melalui alat pembuangan asap dan bagian ini kemudian terlarut dalam laut disamping itu, timbal (Pb) di laut tidak terlalu beracun dibandingkan dengan jenis logam lainnya pada konsentrasi rendah (< 1000 ppb) (Clark, 1992).

Menurut Rompas (2010) timbal termasuk polutan di laut yang sangat berbahaya, tidak hanya bagi biota perairan, tetapi akan berdampak bagi manusia yang memakannya. Faktor yang menyebabkan logam tersebut dikelompokkan ke dalam zat pencemar ialah :

1. Logam tidak dapat terurai melalui biodegradasi seperti pencemar organik,
2. Logam dapat terakumulasi dalam lingkungan terutama dalam sedimen sungai dan laut, karena dapat terikat dengan senyawa organik dan anorganik, melalui proses adsorpsi dan pembentukan senyawa kompleks. Karena logam dapat terakumulasi dalam sedimen, maka kadar logam dalam sedimen lebih besar dari logam dalam air.

Logam berat Pb yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemungkinan diserap oleh organisme yang hidup di perairan tersebut. Pengendapan logam berat di

suatu perairan terjadi karena adanya anion karbonat hidroksil dan klorida. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan berikatan dengan partikel-partikel sedimen, sehingga konsentrasi logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibanding dalam air (Hutagalung, 1991).

Logam berat yang terlarut dalam air akan berpindah ke dalam sedimen jika berikatan dengan materi organik bebas atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen, dan penyerapan langsung oleh permukaan partikel sedimen (Wilson, 1988). Organisme yang terekspos logam berat Pb dengan konsentrasi rendah biasanya tidak mengalami kematian, tetapi akan mengalami pengaruh sublethal, yaitu pengaruh yang terjadi pada organisme tanpa mengakibatkan kematian pada organisme tersebut. Pengaruh sublethal ini dapat dibedakan atas tiga macam, yaitu menghambat (misalnya pertumbuhan dan perkembangan, serta reproduksi), menyebabkan terjadinya perubahan morfologi, dan merubah tingkah laku organisme. Logam berat yang dilimpahkan ke perairan, baik sungai ataupun laut, akan mengalami paling tidak tiga proses, yaitu pengendapan, adsorpsi, dan absorpsi oleh organisme-organisme perairan (Bryan, 1976).

Keberadaan timbal (Pb) di alam lebih tersebar luas daripada logam toksik lainnya. Menurut Laws (1993), dalam pertambangan timbal berasal dari mineral galena atau yang disebut

timbal sulfida (PbS). Dibandingkan logam berat Cd dan Hg, maka unsur Pb tidak terlalu beracun. Akan tetapi, senyawa timbal dalam bentuk organik lebih beracun daripada dalam bentuk anorganik (Pain 1995 *in* Kennish,1996).

Kadar Pb dalam lingkungan meningkat sejalan dengan meningkatnya kegiatan pertambangan, peleburan, dan penggunaannya dalam aktivitas industri. Menurut Lu (1995), penggunaan Pb dalam industri merupakan faktor utama penyebab meningkatnya kadar Pb di lingkungan. Timbal banyak digunakan untuk industri baterai, bahan bakar mobil dan cat (Fergusson 1990). Absorpsi timbal di alam tubuh sangat lambat, sehingga terjadi akumulasi dan menjadi dasar keracunan yang progresif. Konsentrasi yang tinggi akan timbal dalam tubuh moluska dapat menghambat pertumbuhan (Dunstan 2006).

• **Kadmium (Cd)**

Kadmium terdapat di alam biasanya bercampur dengan bijih timbal dan seng (Lu 1995). Kadmium jarang sekali ditemukan dalam bentuk bebas. Keberadaannya di alam dalam berbagai jenis batuan, tanah, dalam batubara dan minyak (Saeni, 1997). Kadmium dalam air laut berbentuk senyawa klorida (CdCl₂), sedangkan dalam air tawar berbentuk karbonat (CdCO₃) (Darmono 1995). Logam ini memiliki sifat tahan panas dan tahan korosif sehingga kadmium banyak digunakan dalam industri cat, PVC, dan baterai. Kadmium banyak digunakan sebagai pelapis

karena dapat membuat logam menjadi antikorosi bila digunakan dalam air laut, air alkalis dan lingkungan tropis (Fergusson 1990).

Pada kadar yang cukup rendah logam berat Cd dalam perairan sudah bersifat racun. Sanusi *et al.* (1984) menyatakan bahwa toksisitas Cd terhadap hewan air meningkat dengan menurunnya kadar oksigen dan kesadahan dan meningkatnya pH dan suhu. Akibat yang ditimbulkan dari keracunan Cd berupa tekanan darah tinggi, kerusakan ginjal, jaringan testikular dan sel-sel darah merah hingga merusak tulang (Saeni 1997).

Menurut Avelar *et al.* (2000) in Goksu *et al.* (2005), konsentrasi Cd yang terakumulasi dalam jaringan tubuh kerang dapat mencapai 100.000 kali lebih besar daripada konsentrasi di perairan habitatnya. Dalam air laut kadar Cd yang normal berkisar antara 0.05 ppb sampai 0.1 ppb (Sanusi *et al.* 1984).

• Tembaga (Cu)

Menurut Palar (1994), tembaga dengan nama kimia *cuprum* dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Dalam tabel periodik, tembaga menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai bobot atau berat atom (BA) 63,546. Selanjutnya Darmono (1995) menyatakan bahwa densitas tembaga ialah 8,90 dan titik cairnya 1084°C. Dalam bidang industri, logam tembaga banyak digunakan, sebagai contoh industri cat sebagai antifouling, industri insektisida, fungisida dan lain-lain. Disamping itu dalam proses

produksi, dipakai dalam industri galangan kapal karena digunakan sebagai campuran bahan pengawet, industri pengolahan kayu, buangan rumah tangga dan lain sebagainya (Palar, 1994)

Tembaga (Cu) adalah logam yang paling beracun terhadap organisme laut selain merkuri dan perak (Clark, 1992). Di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral (Palar, 1994). Dalam badan perairan laut, tembaga dapat ditemukan dalam bentuk persenyawaan seperti CuCO_3^- dan CuOH^- dan lain sebagainya. Adapun logam berat dari aktivitas manusia berupa buangan sisa dari industri ataupun buangan rumah tangga. Sebagai contoh adalah Cu, logam ini secara alamiah dapat masuk ke badan perairan melalui pengompleksan partikel logam di udara karena hujan dan peristiwa erosi yang terjadi pada batuan mineral yang ada di sekitar perairan (Palar, 1994).

Secara biologis Cu tersedia dalam bentuk Cu^2 dan Cu^3 inorganik dan kompleks inorganik. Perpindahan Cu dengan konsentrasi relatif tinggi dari lapisan tanah bumi ditentukan oleh cuaca, proses pembentukan tanah, pengairan, potensial oksidasi reduksi, jumlah bahan organik di tanah dan derajat keasaman (pH).

Logam Cu merupakan salah satu logam berat esensial untuk kehidupan makhluk hidup secara elemen mikro. Logam ini dibutuhkan sebagai unsur yang berperan dalam pembentukan

enzim oksidatif dan pembentukan kompleks Cu-protein yang dibutuhkan untuk pembentukan hemoglobin, kologen, pembuluh darah dan myelin (Darmono, 1995). Logam Cu dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh, maka apabila konsentrasinya cukup besar logam berat akan meracuni manusia tersebut. Pengaruh racun yang ditimbulkan dapat berupa muntah-muntah, rasa terbakar di daerah esopagus dan lambung, kolik, diare, yang kemudian disusul dengan hipotensi, nekrosis hati dan koma (Supriharyono, 2000).

Aktivitas manusia seperti buangan industri, pertambangan Cu, industri galangan kapal dan bermacam-macam aktivitas pelabuhan lainnya merupakan salah satu jalur yang mempercepat terjadinya peningkatan kelarutan Cu dalam badan-badan perairan (Palar, 1994).

• **Merkuri (Hg)**

Merkuri (Hg) berasal dari bahasa Latin *hydrargyrum* yang berarti menguap, sedangkan dalam bahasa Indonesia diterjemahkan sebagai raksa. Namun demikian, di kalangan masyarakat dikenal dengan nama merkuri (Hutagalung, 1984). Sejak dahulu Hg telah dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan manusia, terutama dalam bentuk Hg₂ (Sinabar). Pada waktu itu senyawa raksa hanya digunakan untuk keperluan sederhana, misalnya untuk pembuatan obat dan cat merah (Goldwater & Clarkson, 1972 diacu dalam Hutagalung, 1984).

Merkuri secara alami tersedia di alam sebagai hasil proses vulkanik kerak bumi (El-

Moselhy 2006). Logam merkuri bersifat volatil, larut dalam air dan lemak (Kerby 1991 *in* Fajri 2001 *in* Murtini *et al.* 2003) dan memiliki tekanan uap pada suhu kamar sehingga uap merkuri dapat masuk tubuh manusia melalui saluran pernafasan. Merkuri merupakan logam yang paling beracun bagi manusia dan sebagian besar hewan. Ion metilmerkuri (CH_3Hg^+) merupakan senyawa yang sangat beracun dan membahayakan kesehatan manusia. Zat ini dapat dihasilkan oleh mikroorganisme dari ion Hg^{2+} dalam lingkungan alami yang berbeda. Metilmerkuri mengakibatkan efek teratogenik kuat, karsinogenik, dan aktivitas mutagenik (Saeni,1997).

Toksisitas Hg terhadap hewan air terutama disebabkan oleh terjadinya perubahan komponen Hg-anorganik menjadi Hg-organik (Metilmerkuri) yang bersifat racun oleh aktivitas jasad renik dalam air (Sanusi *et al.* 1984). Kadar metilmerkuri dalam tubuh ikan dan kerang bisa mencapai 90% (Bryan 1976). Menurut Mukhtasor (2007), Ikan dan kerang mampu membuat merkuri bagi tubuhnya tidak beracun melalui proses *methylation*.

Konsentrasi merkuri di air laut berkisar antara 0.05 ppb sampai 0.1 ppb (Sanusi *et al.* 1984). Menurut El-Moselhy (2006), akumulasi Hg pada organisme laut tergantung dari faktor biotik dan abiotik seperti laju pertumbuhan, stadia hidup, *supply* makanan, kebiasaan makan, jenis spesies, tingkat psikologi, suhu, salinitas, dan sumber pencemaran. Merkuri banyak digunakan dalam industri baterai, termometer, lampu, barometer,

listrik, dan kedokteran (untuk pembuatan amalgam) (Fergusson 1990).

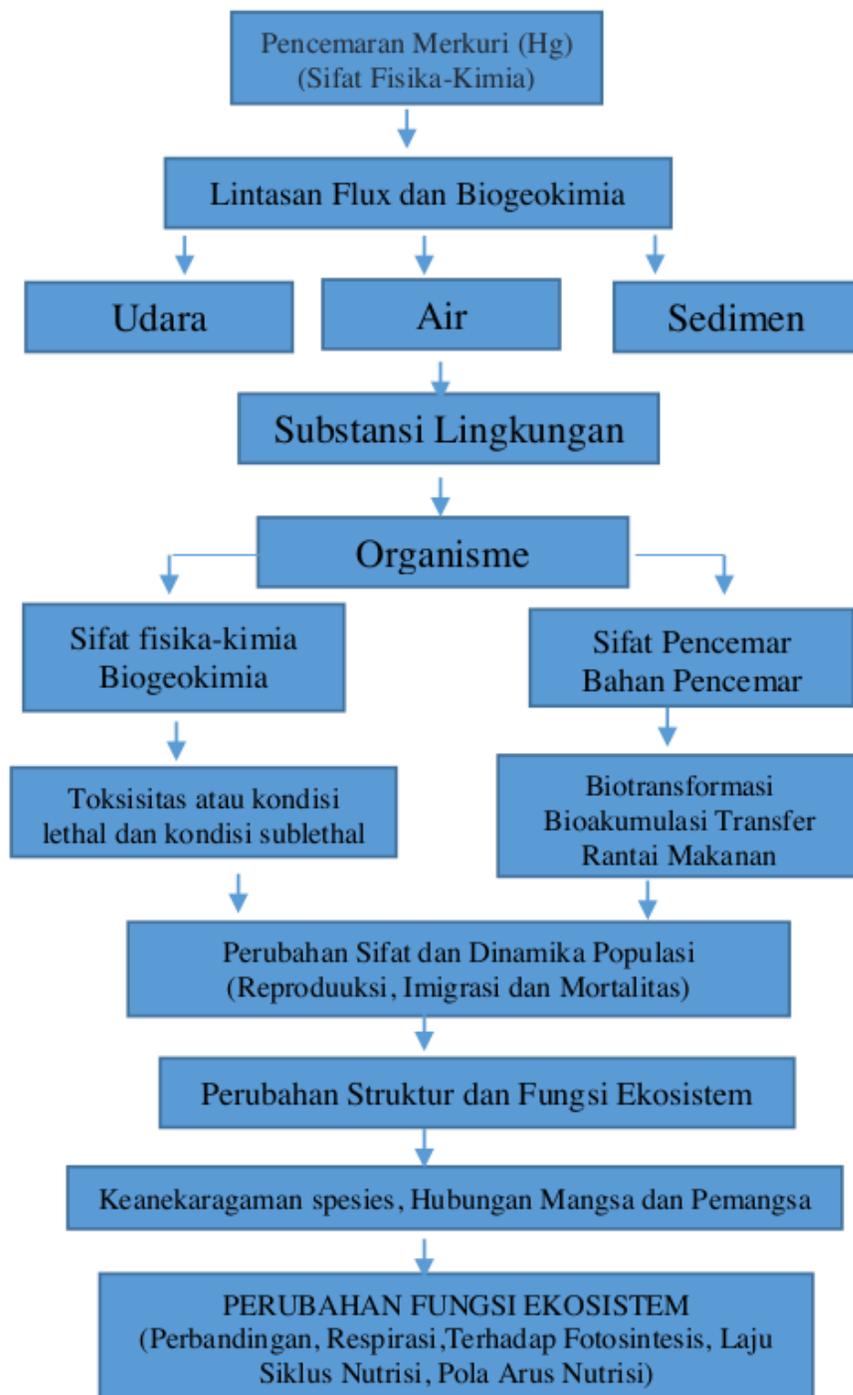
Penggunaan Hg dalam bidang industri cukup banyak, seperti industri pertanian, alat-alat elektronik, industri cat dan sebagainya. Selain itu dalam industri pertambangan emas, Hg ini biasanya digunakan untuk memisah emas dari batuan, umumnya digunakan oleh penambang liar di sekitar daerah pertambangan yang limbahnya dibuang ke sungai yang kemudian bermuara ke laut (Walhi, 2003).

Merkuri di perairan jarang sekali terdapat dalam bentuk bebas, umumnya terkait dengan unsur – unsur lain, terutama dengan klorida (Cl), yang senyawanya diperkirakan berbentuk $(HgCl_4)^{2-}$, $(HgCl_3)^-$, $(HgCl_3Br)^-$ (Rompas, 1991). Kadar logam merkuri dalam air laut sangat rendah berkisar antara 0,1-1,2 ppb. Dalam tubuh ikan laut, Hg berbentuk metil merkuri yang memiliki toksitas yang tinggi dan daya ikat yang kuat melalui proses enzimatik. Melalui proses rantai makanan akan masuk ke dalam tubuh manusia sehingga menimbulkan efek lethal dengan keracunan kronis pada manusia (Palar, 1994).

Rompas (1991) menyatakan bahwa secara alamiah merkuri yang terdapat di dalam perairan adalah kecil. Dengan peningkatan konsentrasi merkuri setelah masuk ke dalam wilayah perairan, maka merkuri akan mengalami berbagai proses yang disebut dengan ekotoksikologi. Proses-proses yang terjadi disajikan pada Gambar 3.

FAO (1990) mengemukakan bahwa Hg yang dapat diakumulasi adalah Hg yang berbentuk methyl merkuri (CH_3Hg) yaitu bentuk senyawa organik dengan daya racun tinggi yang dapat diakumulasi oleh ikan dan *shellfish*. Hg yang diakumulasi dalam tubuh hewan akan merusak /menstimulus sistem enzimatis yang mengakibatkan penurunan kemampuan adaptasi bagi hewan yang bersangkutan terhadap lingkungan yang tercemar. Pada ikan, organ yang paling banyak mengakumulasi merkuri adalah ginjal, hati dan lensa mata (Leland, *et al.*, 1975 *diacu dalam* Sanusi, 1980).

LAMUN (KAJIAN LOGAM BERAT DAN KADAR KLOOROFIL) 2018



Gambar 3. Ekotoksikologi merkuri

Masuknya merkuri ke laut oleh kegiatan manusia menyebabkan peningkatan konsentrasi merkuri secara luas, seperti yang terjadi pada kasus Minamata (Yasuda, 2000). Tambang emas rakyat yang menggunakan system amalgamasi menggunakan merkuri yang disebabkan oleh manusia, ditambah dengan pembakaran fosil dan industri alkali (de Lacerda, 2003 ; Pacyna *et al.*, 2006), dan pabrik asetaldehida (Yasuda *et al.*, 2004). Saat ini, pertambangan emas skala kecil tersebar di Negara-negara yang sedang berkembang, seperti di Guyana, Brazil, Tanzania, Kenya (Veiga, 1998 ; Malm, 1998 ; Harada *et al.*, 1999; Ogola *et al.*, 2002), termasuk Indonesia (Kambey *et al.*, 2001 ; de Lacerda, 2003 ; Limbong *et al.*, 2003). Pertambangan rakyat di Sulawesi Utara berada bersama-sama dengan industri pertambangan besar (Limbong *et al.*, 2003).

Masalah lingkungan berkembang karena kurang lebih 200 ton Hg setiap tahun digunakan di Indonesia dalam pertambangan rakyat (Kambey *et al.*, 2001) dimana, pada umumnya, 40–50% Hg terbuang ke sungai selama amalgamasi (tanpa menggunakan retort) sebagai merkuri metil (*metillic mercury*) dan 5–10 % Hg terbuang ke sungai selama proses pergantian (*recuperation*) Hg yang digunakan. Selanjutnya, perkiraan Hg yang terlepas adalah berkisar 1,32 kg untuk 1 kg emas (Au) yang diperoleh (de Lacerda dan Salomons, 1998).

Industri pertambangan besar dan pertambangan biji cinnabar, yang mengekstrak

cinnabar yang mengandung Hg (HgS) juga adalah sumber Hg dari manusia (*anthropogenic*) karena hasil kegiatan tersebut membuang tailingnya yang mengandung Hg ke lingkungan (Blackwood and Edinger, 2006 ; Edinger *et al.*, 2006). Sedimen berperan penting dalam mengontrol konsentrasi logam berat yang terakumulasi dalam jaringan tubuh biota perairan (Blanchette *et al.*, 2001). Setelah merkuri masuk ke lingkungan, maka merkuri yang berbentuk inorganic akan termetilasi oleh mikroorganisme, terbioakumulasi dalam jaringan tubuh organisme dan terbiomagnifikasi dalam jaringan makanan di perairan (Ikingura dan Akagi, 1999 ; Bustamante *et al.*, 2006 ; Yamaguchi *et al.*, 2007).

Mikroorganisme dipercaya berperan penting dalam penentu keberadaan merkuri di lingkungan (Yamaguchi *et al.*, 2007). Hasil dari proses metilasi yang terjadi adalah merkuri metil (MeHg), yang merupakan merkuri yang paling stabil dan paling beracun terhadap organisme termasuk manusia (JPHA, 2001). Sebaliknya, beberapa mikroorganisme dapat melakukan proses demetilasi dari MeHg menjadi merkuri inorganik (WHO, 2000).

Merkuri yang termetilasi pada umumnya memiliki daya racun (*toxicity*) yang meningkat karena kemampuannya meningkat untuk menembus dinding membran lipida sel (Bustamante *et al.*, 2006) dari organisme perairan dan manusia. Melalui jaringan makanan dimana proses bioakumulasi terjadi, konsentrasi dari

merkuri yang termetilasi meningkat dan termaknifikasi. Pada akhirnya dimana manusia yang menempati jaringan makanan tertinggi akan mengakumulasi merkuri dan dampak (*intoxication*) terjadi. Hal seperti itu terjadi seperti pada kasus Penyakit Minamata di Jepang (JPHA, 2001). Banyak factor yang menyebabkan proses metilasi terjadi, di antaranya adalah faktor biogeokimia sedimen (Celo *et al.*, 2004 ; Lasut & Rares, 2006). Kemudian, MeHg diakumulasi oleh organisme perairan, misalnya ikan (Ikingura & Akagi, 1999), kerang- kerangan (Bergeron *et al.*, 2004), dan oraginsme lainnya (lasut *et al.*, 2005).

Akumulasi merkuri dalam organisme perairan sangat berhubungan dengan posisinya dalam rantai makanan (Desta *et al.*, 2007) dan cara hidupnya (Bustamante *et al.*, 2006) dimana pemangsa memperlihatkan tingkat konsentrasi yang tinggi dalam jaringan tubuhnya dari pada yang dimangsa (Bustamante *et al.*, 2006). Sistem perairan sangat sensitif terhadap input Hg karena laju bioakumalsi logam berat ini lebih tinggi dari logam berat lainnya. Bioakumulasi Hg dapat terjadi dalam rantai makanan perairan sehingga konsentrasi Hg, dapat meningkat seiring dengan tingkatan rantai makanan (Baker *et al.*, 2004). Hal ini disebut sebagai proses “biomaknifikasi”. Menurut Lasut *et al.* (2005), konsentrasi Hg meningkat dari fitoplankton yang berperan sebagai kelompok produser di perairan ke ikan karnivore melalui ikan herbivore, atau dengan kata lain bahwa konsentrasi Hg di fitoplankton lebih kecil

dibandingkan ikan karnivora. Selain itu, apabila input terjadi, maka Hg mengalami proses transformasi menjadi bentuk yang lebih beracun, misalnya melalui proses metilasi yang terjadi di sedimen perairan dimana Hg inorganik dirubah menjadi bentuk Hg organik (Ikingura & Akagi, 1999 ; Acha *et al.*, 2004 ; Bishop *et al.*, 2004 ; Lasut & Reres, 2006), Hg organik umumnya dikenal sebagai Hg metil (MeHg). Pengaruh Hg pada organisme perairan bermacam-macam, di antaranya adalah menghambat kerja acethylcholine esterase (Gill *et al.*, 1990), menghambat ekspresi gen dan perubahan morfologi permukaan filament insang pada kerang laut (Gonzales *et al.*, 2004).

Merkuri inorganik (HgCl_2) dapat terdistribusi ke dalam jaringan/organ vital tubuh organisme ikan (Lasut, 1997). Merkuri organik (MeHg) dapat terakumulasi ke dalam mitokondria dan dapat merusak rantai mitokondria yang menyebabkan pembentukan radikal bebas dan peroxidasi lipida (Gonzales *et al.*, 2004). Selanjutnya, kontaminasi akut terhadap MeHg dapat menyebabkan mortalitas (Yole *et al.*, 2007) dan pada tingkatan yang rendah dan kronis dapat menyebabkan kerusakan organ dalam tubuh ikan, khususnya pada sistem saraf pusat dan sistem kekebalan tubuh. Pengaruh MeHg dengan konsentrasi rendah pada manusia adalah dapat menyebabkan gangguan neurofisiologis pada manusia dewasa dimana pada umumnya disebabkan oleh karena konsumsi ikan yang

terkontaminasi (Baker *et al.*, 2004). Walaupun telah banyak penelitian yang mengkaji tentang peningkatan Hg di perairan, namun masih sedikit yang dipahami tentang dampak potensial dari logam berat tersebut terhadap biota di perairan, apalagi terhadap komunitas hewan invertebrata perairan laut. Jalur yang penting masuknya Hg ke dalam rantai makanan dapat melalui cacing, selain alga (Gorski *et al.*, 2004; Lasut *et al.*, 2005).

Merkuri dapat masuk ke tubuh manusia dengan 3 (tiga) cara, yaitu melalui : (1) Pencemaran, yaitu dengan mengkonsumsi bahan makanan (ikan, kerang, cumi dan biota laut lainnya) yang mengandung metil merkuri (H_3Hg), (2) Pernapasan, yaitu dengan menghirup merkuri (Hg) yang diperoleh dari berbagai sumber, seperti uap merkuri dari hasil pembakaran amalgam, amalgam gigi dan udara ambient, dan (3) Penyerapan melalui kulit dan ini belum banyak diketahui.

Mekanisme Kerja Merkuri Dalam Tubuh

Mekanisme kerja merkuri dalam tubuh adalah sebagai berikut :

1. Absorpsi

Merkuri masuk ke dalam tubuh terutama melalui paru-paru dalam bentuk uap atau debu. Sekitar 80% uap merkuri yang terinhalasi akan diabsorpsi. Absorpsi merkuri logam yang tertelan dari saluran cerna hanya dalam jumlah kecil yang dapat diabaikan, sedangkan senyawa merkuri larut air mudah diabsorpsi. Beberapa

senyawa merkuri organik dan anorganik dapat diabsorpsi melalui kulit.

2. Biotransformasi

Unsur merkuri yang diabsorpsi dengan cepat dioksidasi menjadi ion Hg^{2+} , yang memiliki afinitas berikatan dengan substrat-substrat yang kaya gugus tersebut. Merkuri ditemukan dalam ginjal (terikat pada metalotionen) dan hati. Merkuri dapat melewati darah, otak, dan plasenta. Metal merkuri mempunyai afinitas yang kuat terhadap otak. Sekitar 90% merkuri dalam darah terdapat dalam eritrosit. Metabolisme senyawa alkil merkuri serupa dengan metabolisme merkuri logam atau senyawa anorganiknya. Senyawa fenil dan metoksietil merkuri di metabolisme dengan lambat.

3. Ekskresi

Sementara unsur merkuri dan senyawa anorganiknya di eliminasi lebih banyak melalui kemih daripada feses, senyawa merkuri anorganik terutama diekskresi

Tubuh kita lebih beradaptasi untuk mengurangi pengaruh keracunan potensial dari uap merkuri, sehingga pengaruh terhadap kesehatan dari sumber ini relatif kurang atau langka. Sebaliknya senyawa yang berbentuk metilmerkuri ini sangat beracun dan berbahaya. Senyawa ini bukan hanya karsinogenik (*menyebabkan kanker*) melainkan juga menyebabkan cacat bawaan (*mutagenic*). Dengan kadar 0,05 mg merkuri, dapat meracuni manusia (WHO *diacu dalam* Darmono, 2008). Keracunan

metil-merkuri dapat menyebabkan : (1) gangguan pada sistem pusat saraf, (2) gangguan pada pendengaran, pengucapan, pandangan (dapat menyebabkan kebutaan) dan cara berjalan, (3) gerakan-gerakan otot tak disengaja, (4) rusaknya selaput lender dan kulit, dan (5) kematian.

Dalam setiap kasus, ratusan orang meninggal dan ribuan lainnya terpengaruh dengan kerusakan permanen. Pada kasus keracunan merkuri yang lebih ringan, orang dewasa mengeluh menurunnya kemampuan bergerak, menurunkan sensitifitas indra raba, rasa dan pandangan. Efek-efek yang lebih ringan ini, secara umum dapat kembali pada keadaan semula jika pemakaian merkuri dihentikan. Bayi gagal lahir adalah resiko terbesar dari pemaparan metil merkuri tingkat rendah (Karouw, 2001).

- **Seng (Zn)**

Seng dengan nama kimia Zink dilambangkan dengan Zn. Sebagaisalah satu unsur logam berat Zn mempunyai nomor atom 30 dan memiliki beratatom 65,39. logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada 110-150oC. Zn meleburpada 410oC dan mendidih pada 906oC (Palar, 1994 dalam Al-Harisi, 2008). Zn dalam pemanasan tinggiakan menimbulkan endapan seperti pasir.Zn diperlukan tubuh untuk proses metabolisme, tetapi dalam kadartinggi dapat bersifat menjadi racun (Slamet, 1994 dalam Al-Harisi, 2008).

Seng (Zn) adalah komponen alam yangterdapat di kerak bumi. Zn adalah logam yang memilki karakteristik cukup reaktif, berwarna

putih-kebiruan, pudar bila terkena uap udara, dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Zn dapat bereaksi dengan asam, basa dan senyawa non logam. Seng (Zn) di alam tidak berada dalam keadaan bebas, tetapi dalam bentuk terikat dengan unsur lain berupa mineral. Mineral yang mengandung Zn di alam bebas antara lain kalaminit, franklinite, smithsonite, willsonite, dan zinkit (Widowati et al, 2008). Seng juga merupakan salah satu bentuk materi anorganik yang sering menimbulkan berbagai permasalahan yang cukup serius pada perairan. Penyebab terjadinya biasanya berasal dari masukan air yang terkontaminasi oleh limbah buangan industri dan pertambangan.

a. Sumber Bahan Pencemar Zn

Limbah yang biasa mengandung logam berat berasal dari pabrik kimia, listrik, dan elektronik, logam dan penyepuhan elektro (electroplating), kulit, metalurgi dan cat serta bahan pewarna. Limbah padat permukiman juga mengandung logam berat. Logam berat yang masuk ke dalam perairan kebanyakan berasal dari kegiatan manusia. Akan tetapi logam berat di dalam lingkungan tidak dengan sendirinya membahayakan kehidupan makhluk hidup. Logam berat membahayakan apabila masuk ke dalam sistem metabolisme makhluk dalam jumlah melebihi ambang batas. Ambang batas untuk tiap macam logam berat dan untuk tiap jenis makhluk hidup berbeda-beda. Pemasukan logam berat ke dalam sistem metabolisme manusia dan hewan

dapat secara langsung atau tidak langsung. Pemasukan secara langsung terjadi bersamaan dengan air yang diminum (Notohadiprawiro, 2010).

Sumber cemaran logam berat Zn dapat berasal dari berbagai aktivitas manusia yang menghasilkan limbah berupa pencemar. Bahan-bahan pencemar tersebut diangkut oleh air hujan dan gerakan air dari laut dan perairan tawar menuju muara sungai yang merupakan tempat bertemunya perairan laut dan perairan tawar. Logam Zn dalam perairan dipekatkan melalui proses biologi dan kimia-fisika. Bioakumulasi dan biomagnifikasi merupakan proses biologi yang mampu mengendapkan logam pada tubuh organisme melalui rantai makanan. Pada proses kimia fisika, logam berat terlarut dan terendap pada sedimen dan dapat pula terabsorbi pada zat tersuspensi. Apabila diketahui kadar logam Zn yang telah melebihi baku mutu, maka perlu dilakukan tindak lanjut dalam mencegah gangguan yang dapat disebabkan logam Zn (Amriani, 2011).

Logam Seng (Zn) cenderung membentuk ion jika berada dalam air. Ion Seng (Zn) mudah terserap dalam sedimen dan tanah serta kelarutan logam berat Seng (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.,dkk, 2012).

Adanya aktivitas pembuangan limbah rumah tangga, limbah pertanian yang banyak menggunakan pupuk pestisida, peningkatan aktivitas di industri serta adanya aktivitas pembuangan limbah domestik lain yang mengandung logam berat Seng (Zn). Air limbah industri air yang dihasilkan oleh industri, baik akibat proses pembuatan atau produksi yang dihasilkan

industri tersebut maupun proses lainnya. Limbah non domestik adalah limbah yang berasal dari pabrik, industri, pertanian, peternakan, perikanan, transportasi, dan sumber-sumber lain (Husni dan Esmiralda, 2011).

b. Tingkat Pencemaran Seng

Seng tidak dianggap beracun, tetapi jika senyawa ZnO yang baru dibentuk terhirup, penyakit yang disebut oxide shakes atau zinc chills kadang-kadang bisa muncul.

c. Faktor yang mempengaruhi efek toksit pada organisme dan ekosistem

Menurut Tahir (2012), faktor-faktor yang mempengaruhi toksisitas, meliputi :

1. Faktor-faktor yang terkait dengan paparan; bagi suatu bahan kimia metabolit atau produk konversinya, untuk dapat menimbulkan respon buruk atau memiliki dampak toksik pada organisme perairan maka senyawa/bahan kimia tersebut harus berada dalam posisi kontak dan bereaksi dengan reseptor yang tepat pada organisme, dengan konsentrasi yang cukup tinggi dan durasi kontak yang cukup lama. Konsentrasi dan waktu paparan yang dibutuhkan untuk dapat menimbulkan dampak atau respon buruk bervariasi menurut jenis bahan kimia, spesies organisme dan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan. Dalam pendugaan dampak toksik bahan kimia, faktor-faktor yang nyata terkait dengan paparan adalah: jenis, durasi, frekuensi paparan dan konsentrasi bahan kimia. Organisme perairan dapat terpapar pada bahan kimia yang terdapat dalam air, sedimen dan bahan-bahan makanan. Bahan kimia hidrofilik (larut dalam air) lebih tinggi tingkat ketersediaannya dibanding dengan bahan kimia hidrofobik (sulit larut dalam air).
2. Faktor-faktor yang terkait dengan organisme: spesies memiliki tingkat kerentanan yang berbeda terhadap bahan kimia. Perbedaan kerentanan ini diduga disebabkan oleh beberapa hal seperti: perbedaan aksesibilitas toksikan terhadap organisme dimana beberapa spesies tertentu memiliki kemampuan untuk mengeluarkan bahan toksik dalam waktu

singkat (contoh : mekanisme penutupan cangkang dan kemampuan melakukan anaerob pada kerang/bivalvia). Selain itu, laju dan pola metabolisme dan ekskresi dapat mempengaruhi tingkat kerentanan disebut. Hal lain yang mempengaruhi tingkat kerentanan organism terhadap toksikan adalah faktor genetik, bahan makanan, serta kesehatan dan nutrisi/gizi organisme. Faktor usia atau stadia perkembangan organisme juga menentukan tingkat kerentanan (vulnerability), yang disebabkan oleh perkembangan mekanisme.

3. Faktor-faktor lingkungan eksternal: toksisitas bahan kimia dapat dipengaruhi oleh lingkungan eksternal organisme yang terkait erat dengan ketersediaan bahan kimia dalam media air seperti DO, pH, suhu dan bahan padat terlarut.
4. Faktor-faktor yang terkait dengan bahan kimia. Ketidak murnian (impurities) suatu bahan kimia dijumpai dari batch-batch yang dihasilkan oleh produsen yang berbeda. Hal lain yang patut dicatat adalah perbedaan tingkat kelarutan, tekanan penguapan dan pH, karena faktor-faktor ini secara jelas mempengaruhi ketersediaan, persistensi, transformasi dan bentuk/nasib akhir bahan kimia.

➤ **Efek Toksik Zn pada Organisme dan Perairan**

1. Bagi Kesehatan

Seng adalah mikromineral yang ada di mana-mana dalam jaringan manusia/hewan dan

terlibat dalam fungsi berbagai enzim dalam proses metabolisme. Tubuh manusia dewasa mengandung 2-2,5 gram seng. Tiga perempat dari jumlah tersebut berada dalam tulang dan mobilisasinya sangat lambat. Dalam konsentrasi tinggi seng ditemukan juga pada iris, retina, hepar, pankreas, ginjal, kulit, otot, testis dan rambut, sehingga kekurangan seng berpengaruh pada jaringan-jaringan tersebut. Di dalam darah seng terutama terdapat dalam sel darah merah, sedikit ditemukan dalam sel darah putih, trombosit dan serum. Kira-kira 1/3 seng serum berikatan dengan albumin atau asam amino histidin dan sistein. Dalam 100 ml darah terdapat 900 ml seng dan dalam 100 ml plasma terdapat 90-130 mg seng. Seng terlibat pada lebih dari 90 enzim yang hubungannya dengan metabolisme karbohidrat dan energi, degradasi/sintesis protein, sintesis asam nukleat, biosintesis heme, transpor CO₂ (anhidrase karbonik) dan reaksi-reaksi lain.

Pengaruh yang paling nyata adalah dalam metabolisme, fungsi dan pemeliharaan kulit, pankreas dan organ-organ reproduksi pria, terutama pada perubahan testosteron menjadi dehidrotestosteron yang aktif. Dalam pankreas, seng ada hubungannya dengan banyaknya sekresi protease yang dibutuhkan untuk pencernaan.

Dosis konsumsi seng (Zn) sebanyak 2 gram atau lebih dapat menyebabkan muntah, diare, demam, kelelahan yang sangat, anemia, dan

gangguan reproduksi. Suplemen seng (Zn) bisa menyebabkan keracunan, begitupun makanan yang asam dan disimpan dalam kaleng yang dilapisi seng (Zn) (Almatsier, 2001 dalam Anonim, 2010).

Logam Zn sebenarnya tidak toksik, tetapi dalam keadaan sebagai ion, Zn bebas memiliki toksisitas tinggi. Zinc shakes atau zinc chills disebabkan oleh inhalasi Zn-oksida selama proses galvanisasi atau penyambungan bahan yang mengandung Zn. Meskipun Zn merupakan unsure 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). Zn yang berlebih dan dicampurkan dalam makanan dapat menyebabkan hidrosefalus pada hewan uji tikus dan juga akan memengaruhi metabolisme dalam perkembangan mesoderm untuk rangka.

Konsumsi Zn berlebih mampu mengakibatkan defisiensi mineral lain. Toksisitas Zn bisa bersifat akut dan kronis. Intake Zn 150-450 mg/ hari mengakibatkan penurunan kadar Cu, perubahan fungsi Fe, pengurangan imunitas tubuh, serta pengurangan kadar high density lipoprotein (HDL)

kolesterol. Satu kasus yang dilaporkan karena seseorang mengonsumsi 4 g Zn-glukonat (570 mg unsure Zn) yang setelah 30 menit berakibat mual dan muntah. Pemberian dosis tunggal sebesar 225-50 mg Zn bisa mengakibatkan muntah, sedangkan pemberian suplemen dengan dosis 50-150 mg/ hari mengakibatkan sakit pada alat pencernaan. Konsumsi Zn berlebih dalam jangka waktu lam bisa mengakibatkan defisiensi Cu. Total asupan Zn sebesar 60 mg/ hari (50 mg suplemen Zn dan 10 mg Zn dari makanan) dapat mengakibatkan defisiensi Cu. Konsumsi Zn lebih dari 50 mg/ hari selama beberapa minggu bisa mengganggu ketersediaan biologi Cu, sedangkan konsumsi Zn yang tinggi bisa mempengaruhi sintesis ikatan Cu protein atau metalotionin dalam usus. Konsumsi Zn berlebih akan mengganggu metabolisme mineral lain, khususnya Fe dan Cu (Widowati et al, 2008).

Ion Zn bebas dalam larutan bersifat sangat toksik bagi tanaman, hewan invertebrate, dan ikan. Penggunaan intranasal atau nasal spray Zn bagi penderita sakit tenggorokan bisa mengakibatkan kehilangan indra penciuman (anosnia). Inhalasi debu Zn-oksida bisa mengakibatkan metal iume fever (Widowati et al, 2008). Toksisitas akut Zn terjadi sebagai akibat dari tindakan mengonsumsi makanan dan minuman yang terkontaminasi Zn dari wadah/ panicle yang dilapisi Zn. Gejala toksisitas akut bisa berupa sakit lambung, diare, mual, dan

muntah. Pemberian bersama suplemen Zn dan jenis antibiotik tertentu, yaitu tetracyclines dan quinolones bisa mengurangi absorpsi antibiotik sehingga daya sembuh berkurang (Widowati et al, 2008).

2. Bagi lingkungan

Produksi seng dunia masih meningkat. Ini pada dasarnya berarti bahwa semakin banyak seng berakhir di lingkungan. Air tercemar dengan seng, karena adanya jumlah besar dari seng dalam air limbah tanaman industri. Air limbah ini tidak dimurnikan memuaskannya. Salah satu konsekuensi adalah bahwa sungai tercemar penyeteroran seng-lumpur di bank mereka. Zinc juga dapat meningkatkan keasaman air.

Beberapa ikan dapat terakumulasi seng dalam tubuh mereka, ketika mereka tinggal di seng-saluran air yang terkontaminasi. Ketika seng memasuki tubuh ikan ini ia mampu bio memperbesar sampai rantai makanan. Jumlah besar seng dapat ditemukan di tanah. Ketika tanah lahan pertanian yang tercemar dengan seng, hewan akan menyerap konsentrasi yang merusak kesehatan mereka. Larut dalam air seng yang terletak di tanah dapat mencemari air tanah.

Seng tidak bisa hanya menjadi ancaman bagi ternak, tetapi juga untuk spesies tanaman. Tanaman sering memiliki serapan seng yang sistem mereka tidak dapat menangani, karena akumulasi dari seng di tanah. Pada tanah yang kaya seng hanya sejumlah terbatas tanaman memiliki kesempatan untuk bertahan hidup. Itulah sebabnya tidak ada banyak keanekaragaman tanaman di

dekat pabrik-pabrik membuang seng. Karena efek pada seng tanaman merupakan ancaman serius terhadap produksi lahan pertanian. Meskipun ini mengandung seng pupuk masih diterapkan. Akhirnya, seng dapat mengganggu aktivitas dalam tanah, karena pengaruh negatif aktivitas microorganisms dan cacing tanah. Rincian materi organik serius dapat memperlambat karena hal ini.

3. Kadar batas aman

Beberapa ketentuan/peraturan tentang batasan nilai kandungan seng pada suatu bahan dari berbagai lembaga maupun instansi yang berwenang sebagai berikut : Berdasar pada Pedoman Baku Mutu Lingkungan, kandungan seng dalam makanan maksimum 0,001 ppm . kadar aman dalam tubuh manusia 2-3 gram.

Kandungan Zn di dalam lingkungan air (misalnya yang terabsorp oleh alga) dapat mempengaruhi kesehatan bila terdapat dalam jumlah yang berlebih. Keberadaan Zn dalam lingkungan berdasarkan Badan Kesehatan Dunia (WHO) tahun 1971 yaitu sebesar 5 ppm sedangkan batas maksimal yang diperbolehkan adalah 15 ppm (Buckle, 1987).

Seng merupakan unsur yang berguna dalam tubuh manusia, binatang maupun tumbuh-tumbuhan. Karena kegunaannya tersebut maka Zn ditemukan dalam air, tanaman maupun binatang. Kadar Zn yang terdeteksi dalam air PAM pada penelitian ini berkisar antara 0,01-4,97 ppm dan dalam air sumur berkisar antara 0,01-5,59 ppm. Menurut Permenkes standar dalam air minum maksimum yang diperbolehkan adalah 15 mg/l. Efek racun Zn pada manusia adalah pada

konsentrasi yang tinggi antara 300—360 ppm, yaitu menyebabkan gangguan fisik seperti diare yang berat, keram perut dan muntah. Suatu sumber air minum yang mengandung Zn 26,6 mg/l tidak berbahaya bagi manusia, tetapi untuk air minum dengan kadar Zn 30,8 mg/l sudah menyebabkan mual dan mabuk. Dari segi estetika air yang mengandung Zn 30 mg/l akan tampak seperti susu dan bila direbus timbul suatu lapisan seperti minyak pada permukaan airnya (Suprijanto dan Agustina, 1988).

Nilai Ambang Batas Zn dalam sedimen untuk kehidupan biota adalah 271 ppm. Kadar logam berat Zn yang terdapat dalam sedimen yang tidak terkontaminasi paling rendah adalah sebesar 0.01 ppm. Zn juga bersifat racun dalam kadar tinggi, namun dalam kadar rendah dibutuhkan oleh organism sebagai ko-enzim.

Baku mutu parameter logam untuk biota laut (menurut KepMen LH 51 tahun 2004) Seng (Zn) adalah 0,05 mg/l. Baku mutu parameter logam untuk pelabuhan (menurut KepMen LH 51 tahun 2004) Seng (Zn) adalah 0,05 mg/l. Baku mutu parameter logam untuk wisata bahari (menurut KepMen LH 51 tahun 2004) (Zn) adalah 0,095 mg/l.

Selain itu seng (Zn) termasuk dalam kelompok logam berat yang mempunyai nomor atom 30, berat atom 65,37 dan seng memiliki valensi +2. Titik cair Zn berada pada suhu 419,6⁰C dan titik leburnya pada suhu 906⁰C (Heslop dan Robinson, 1960). Logam berat Zn merupakan suatu logam berat putih keperakan dan dapat larut dalam air. Sumber logam berat Zn terbagi dua

yaitu: (1) secara alamiah dapat berasal dari batu dan lumpur lahar, (2) berasal dari aktivitas manusia seperti: proses produksi elektroda, baterai kimia, dan juga dalam air buangan penambangan logam berat serta industri baja besi. Logam berat seng dimanfaatkan dalam produksi cat, bahan keramik, gelas, lampu dan pestisida (Darmono, 1995).

Seng (Zn) adalah metal yang didapat antara lain pada industri alloy, keramik, kosmetik, pigmen dan karet (Hardjojo dan Djokosetiyanto, 2005). Pada dasarnya Zn bukanlah unsur radioaktif sehingga unsur tersebut pada konsentrasi rendah memiliki fungsi secara biologis. Hal tersebut karena Zn memiliki daya afinitas yang tinggi dan rendah untuk mengikat enzim. Zn dibutuhkan untuk proses metabolisme dalam tubuh, tetapi dalam kadar tinggi dapat bersifat racun. Bagi mikroorganisme termasuk mikroalga, Zn berfungsi sebagai penstabil struktur dari protein, reaksi redoks dan hidrolisis serta menjadi pemicu suatu rangkaian proses.

Menurut keputusan MENLH ambang batas logam berat Zn dalam air limbah adalah 5 ppm untuk kualitas ringan dan 10 ppm untuk kualitas berat. Limbah industri yang mengandung logam Zn di buang ke perairan dalam jumlah banyak, maka dapat menimbulkan pencemaran perairan. Senyawa Zn mempunyai kemampuan melarut yang relatif tinggi, maka logam tersebut tersebar luas di perairan (Llyod, 1992 *dalam* Damaiyanti, 1997). Apabila konsentrasi logam berat Zn dalam perairan berada pada konsntrasi yang tinggi, maka kemungkinan besar logam Zn dapat terakumulasi dalam tubuh biota air.

BAB III PENCEMARAN LOGAM BERAT DALAM PERAIRAN

Lingkungan perairan merupakan suatu kumpulan makhluk hidup yang mengandung keragaman yang luas dimana faktor fisika, kimia dan biologi mengendalikan perkembangannya. Pencemaran lingkungan yang diakibatkan bahan pencemar baik bahan organik, hara makanan tumbuhan, zat-zat beracun serta padatan tersuspensi akan mempengaruhi ekosistem melalui dua cara yaitu pengaruh mematikan (letal) dan pengaruh belum mematikan (subletal).

Seringkali terjadi toksisitas yang menyebabkan kematian dengan waktu kontak yang terbatas. Secara kualitatif, pengaruh letal merupakan suatu tanggapan yang terjadi pada saat zat-zat kimia atau fisika mengganggu proses sel atau subsel dalam makhluk hidup sampai batas terjadinya kematian. Namun kepekatan zat beracun diharapkan menurun seiring dengan proses pengenceran dan degradasi yang terjadi di lingkungan.

Pengaruh subletal dari zat beracun pada makhluk hidup dapat dilihat dari penambahan kepekatannya. Makhluk hidup pada tingkat trofik yang tinggi memiliki penambahan kepekatan yang lambat namun dengan kepekatan yang jauh lebih besar dan laju penghilangan yang lebih rendah daripada makhluk hidup lain dalam ekosistem (Connel,1995). Pengaruh subletal merupakan

pengaruh yang merusak kegiatan fisiologis atau perilaku tetapi tidak menyebabkan kematian langsung meskipun kematian dapat terjadi karena gangguan terhadap struktur biokimia, jaringan dan perkembangbiakan.

Pencemaran dalam perairan dapat menyebabkan berkurangnya keanekaragaman dan punahnya organisme perairan seperti bentos, perifeton dan plankton. Hal ini menyebabkan ekologis perairan dapat terganggu. Sistem ekologis perairan mempunyai kemampuan untuk memurnikan kembali lingkungan yang telah tercemar sejauh beban pencemaran masih berada dalam batas daya dukung lingkungan yang bersangkutan (Salam, 2010).

Wardhana (2004) mengatakan bahwa indikator atau tanda bahwa air lingkungan telah tercemar adalah adanya perubahan atau tanda yang diamati melalui adanya perubahan suhu air, perubahan pH atau konsentrasi ion hidrogen, perubahan bau, rasa dan warna air, timbulnya endapan, koloidal, bahan terlarut, adanya mikroorganisme dan meningkatnya radioaktif lingkungan. Air normal yang dapat digunakan untuk kehidupan pada umumnya tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa.

Menurut PP ¹ Nomor 82 Tahun 2001 pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai

ketingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

Pencemar bahan anorganik dapat berupa logam berat. Logam berat masih termasuk golongan logam tetapi memberikan pengaruh besar jika berikatan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Banyak logam berat yang bersifat toksik terlarut dalam air dan mencemari sumber-sumber air, seperti sungai, danau, laut dan waduk. Sumber pencemaran ini berasal dari industri, laboratorium, peleburan logam, dan lahan pertanian yang menggunakan pupuk yang mengandung logam.

Logam biasanya di dalam air berikatan dalam senyawa kimia atau dalam bentuk ion, bergantung pada kompartemen sangat bervariasi tergantung pada lokasi dan tingkat pencemarannya. Tingkat konsentrasi logam berat dalam air dibedakan menurut derajat pencemarannya, yaitu polusi berat, polusi sedang dan tidak tercemar, suatu perairan dengan tingkat polusi berat biasanya memiliki kandungan logam dalam air dan organisme yang hidup di dalamnya cukup tinggi. Pada tingkat polusi sedang, kandungan logam berat dan biota di dalamnya berada dalam batas marjinal. Sedangkan pada tingkat tidak tercemar, kandungan logam berat dan organisme di dalam air sangat rendah bahkan tidak terdeteksi sama sekali.

Logam berat dalam perairan dapat berbentuk ion logam bebas, pasangan ion anorganik, kompleks organisk, dan ion logam

organik. Kelarutan logam pada prinsipnya diatur oleh pH serta jenis dan kepekaan ligan. Hal ini menyebabkan toksisitas setiap logam dalam perairan berbeda-beda. Daya toksisitas logam berat dalam perairan terhadap makhluk hidup di dalamnya, dipengaruhi oleh bentuk logam dalam air, keberadaan logam-logam lain, pengaruh lingkungan, dan kemampuan organisme beraklimatisasi terhadap bahan toksik logam (Lu, 1995).

Logam-logam berat umumnya memiliki daya racun yang mematikan terhadap organisme yang berbeda-beda. Mekanisme tersebut diawali dengan akumulasi logam berat dalam tubuh biota, lalu selanjutnya diikuti oleh akumulasi pada organ sasaran yang melebihi daya toleransi biota. Keadaan itulah yang menyebabkan kematian biota air. Unsur logam merupakan bahan pencemar yang dapat masuk secara alami karena sudah berada di bumi, batuan dan tanah secara alamiah kemudian masuk ke lingkungan laut melalui hujan dan erosi. Sumber lainnya adalah melalui buangan industri, limbah rumah tangga, pertanian. Laut sering dijadikan sebagai lokasi pembuangan akhir dari berbagai sisa aktivitas manusia di daratan. Banyak sumber polutan pencemar lingkungan akuatik, salah satunya adalah logam, yang kini banyak dipakai dalam proses industri dan dipakai oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari seperti kosmetik, bahan bakar dan lainnya. Limbah tersebut mengandung bahan kimia yang bersifat toksik terhadap biota perairan misalnya

mengandung logam berat dan pestisida. Keadaan ini menyebabkan kondisi lingkungan tidak sesuai lagi dengan peruntukannya, yang pada gilirannya akan berpengaruh pula terhadap sumberdaya hayati perairan.

Selain itu pencemaran yang terjadi akan berdampak bagi manusia sebagai pengguna sumberdaya laut. Polutan dapat masuk ke air dan sedimen dan dapat mempengaruhi rantai makanan. Respon yang timbul akan bermacam-macam, dari tingkat organisme contohnya adalah efek psikologis, patologis, penurunan kondisi lingkungan, pertumbuhan, fekunditas dan ketahanan hidup. Pada tingkat populasi dapat menimbulkan penurunan kelimpahan dan reproduksi dan pada tingkat komunitas, dapat menimbulkan penurunan keanekaragaman dan kepadatan serta perubahan struktur tropik (ANONYM, 1998). Jadi, masuknya suatu polutan akan membawa dampak yang luas mulai dari tingkat organisme sampai tingkat komunitas bahkan bisa meluas sampai ekosistem.

▪ **Kandungan Logam Berat dalam Air**

Logam berat dalam perairan dapat terakumulasi pada padatan di dalam perairan seperti sedimen. Pada umumnya logam berat yang terakumulasi di dalam sedimen tidak berbahaya, namun adanya pengaruh kondisi kimia akuatik seperti perubahan pH dapat menyebabkan logam berat yang terakumulasi pada sedimen terionisasi ke perairan. Hal ini menjadikan logam-logam berat

bersifat racun bagi kehidupan perairan (Connel and Miller, 1995). Pencemaran logam berat dapat merusak lingkungan perairan dalam hal stabilitas dan keanekaragaman ekosistem. Dari aspek ekologis, kerusakan ekosistem perairan akibat pencemaran logam berat dipengaruhi oleh kadar dan sumber zat pencemar yang masuk dalam perairan, sifat toksisitas, dan bioakumulasi. Pencemaran logam berat dapat menyebabkan terjadinya kerusakan sistem perairan laut (Darmono, 2001).

Pencemaran logam berat terhadap lingkungan terjadi karena adanya penggunaan logam tersebut dalam kegiatan manusia, sehingga menghasilkan limbah yang mencemari lingkungan. Daya toksisitas logam berat terhadap makhluk hidup sangat bergantung pada spesies, lokasi, umur (fase siklus hidup), daya tahan (detoksikasi) dan kemampuan individu untuk menghindarkan diri dari pengaruh polusi. Toksisitas pada spesies biota dibedakan menurut kriteria dari biota air dan biota darat, sedangkan toksisitas menurut lokasi dibagi menurut kondisi tempat hidup, yaitu daerah pencemaran berat, sedang, dan daerah nonpolusi (Palar, 1994).

Logam berat biasanya ditemukan sangat sedikit dalam air secara alamiah, yaitu kurang dari 1 $\mu\text{g/L}$. Bila terjadi erosi alamiah, konsentrasi logam tersebut dapat meningkat. Beberapa macam logam biasanya lebih dominan dari pada logam lainnya dan dalam air biasanya tergantung pada asal sumber air (air tanah dan airsungai).

Disamping itu jenis air (air tawar, air payau dan air laut) juga mempengaruhi kandungan logam di dalamnya (Darmono, 2001). Kadar ini dapat meningkat jika terjadi peningkatan limbah yang mengandung logam berat masuk ke dalam laut.

Limbah ini dapat berasal dari aktivitas manusia di laut yang berasal dari pembuangan sampah kapal kapal, penambangan logam di laut, dan lain-lain serta yang berasal dari darat seperti limbah perkotaan, pertambangan, pertanian dan perindustrian. Kadar logam berat yang masuk ke lingkungan laut sesuai dengan keputusan menteri Negara Lingkungan Hidup dapat di lihat pada Tabel 3. di bawah ini.

Tabel 3. Kadar Logam Berat Maksimal yang Masuk ke Lingkungan Laut

Unsur	Kadar (ppm)
Kadmium (Cd)	0,01
Timbal (Pb)	0,005
Tembaga (Cu)	0,05

Sumber: Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut

Menurut Palar (2004), kelarutan dari unsur-unsur logam dan logam berat dalam badan perairan dikontrol oleh :

1. pH badan air.
2. Jenis dan konsentrasi logam.
3. Keadaan komponen mineral teroksidasi dan sistem yang berlingkungan redoks.

Pada musim hujan, kandungan logam dalam air akan lebih kecil karena proses pelarutan, sedangkan pada musim kemarau kandungan logam akan lebih tinggi karena logam menjadi terkonsentrasi (Dharmono,1995). Penelitian oleh Diniah (1995) membuktikan bahwa kadar Hg dalam perairan Teluk Jakarta sebesar 0,00216 ppm, namun dalam daging ikan kadar Hg mencapai 0,80448 ppm. Hal ini disebabkan bahan kimia di perairan akan diabsorpsi organisme melalui proses biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomanifikasi sehingga konsentrasi bahan kimia akan meningkat dalam tubuh organisme dibandingkan dengan perairan itu sendiri (Connell & Miller 1984 ; Rand & Petrocelli 1985).

▪ **Kandungan logam berat dalam sedimen**

Sedimen meliputi tanah dan pasir, bersifat tersuspensi, yang masuk ke badan air akibat erosi atau banjir dan pada dasarnya tidaklah bersifat toksik (Effendi,2000). Menurut Waldichuck (1974) meningkatnya kadar logam berat dalam lingkungan perairan hingga melebihi batas maksimum akan menyebabkan rusaknya lingkungan serta dapat membahayakan kehidupan organisme di dalamnya. Selain itu mengendapnya logam berat bersama-sama dengan padatan tersuspensi akan mempengaruhi kualitas sedimen di dasar perairan dan juga perairan di sekitarnya.

Logam berat yang dilimpahkan ke perairan, baik di sungai ataupun di laut akan dipindahkan dari badan airnya melalui beberapa

proses, yaitu : pengendapan dan terserap oleh organisme-organisme perairan (Connell dan Miller, 1995) . 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 (Harahap, 1991).

Connell dan Miller (1995) menyatakan bahwa sedimen dan detritus biasanya mengandung kepekaan yang tinggi terhadap logam berat di dalam lingkungan yang tercemar, sehingga hewan pemakan sedimen dan detritus cenderung untuk mengakumulasi logam dalam kepekatan yang lebih tinggi. Logam berat yang larut di perairan kemungkinan besar akan menyebar ke beberapa bagian tubuh ikan seperti bagian hati dan daging.

▪ **Kandungan logam berat dalam biota air**

Kebanyakan logam berat secara biologis terkumpul dalam tubuh organisme,menetap untuk waktu yang lama dan berfungsi sebagai racun kumulatif (Darmono, 2001). Keberadaan logam berat dalam perairan akan berpengaruh negatif terhadap kehidupan biota. Logam berat yang terikat dalam tubuh organisme yaitu pada ikan akan mempengaruhi aktivitas organisme tersebut. Menurut Darmono (2001), logam berat masuk ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan, yaitu saluran pernafasan, pencernaan, danpenetrasi melalui kulit. Di dalam tubuh hewan, logam diabsorpsi darah, berikatan dengan protein darah yang kemudian didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh.

Suproyono (2007) melaporkan bahwa kadar logam berat dalam tubuh ikan dan tumbuhan yang terdapat di perairan dapat mencapai 100.000 kali lebih tinggi dibandingkan dengan kadar logam berat di dalam perairan

▪ **Pengaruh Parameter Fisik Kimia Perairan terhadap Peningkatan Kandungan Logam**

Peningkatan kandungan logam berat dalam air laut diikuti oleh peningkatan logam berat dalam tubuh ikan dan biota lainnya, sehingga pencemaran air laut oleh logam berat akan mengakibatkan ikan yang hidup di dalamnya tercemar. Logam berat dalam air mudah terserap dan tertimbun dalam fitoplankton yang merupakan titik awal dari rantai makanan, selanjutnya melalui rantai makanan sampai ke organisme lainnya (Fardiaz, 2005). Kadar logam berat dalam air selalu berubah-ubah tergantung pada saat pembuangan limbah, tingkat kesempurnaan pengelolaan limbah dan musim. Logam berat yang dibawa oleh air sungai masuk ke laut melalui estuari. Konsentrasi logam berat terlarut akan mengalami perubahan selama berada di estuari,

Perubahan konsentrasi logam berat terlarut akan mengalami perubahan selama berada di estuari. Perubahan konsentrasi logam terlarut ini dipengaruhi oleh berbagai proses yang ada diantaranya adalah proses pengenceran, flokulasi, adsorpsi dan desorpsi oleh partikel. Proses adsorpsi antar partikel tersuspensi dalam kolom air terjadi karena adanya muatan listrik pada permukaan partikel tersebut (Sanusi, 2006). Butir

lanau, lempung dan koloid asam humus yang tersuspensi dan terangkut memasuki wilayah estuari melalui aliran sungai mempunyai kecenderungan bermuatan listrik negatif (Libels,1992;Brown et al,1989;Wibisono, 2005; Sanusi, 2006).

Dengan peningkatan salinitas, interaksi dengan kation bebas di perairan menyebabkan adanya penetralan dan mengurangi muatan negatif. Perubahan muatan ini juga dipengaruhi oleh adanya pelapisan (*coating*) partikel tersuspensi oleh bahan organik terlarut (DOM). Fenomena perubahan muatan listrik partikel tersuspensi tersebut menyebabkan gaya atraktiv molekular (*gaya van der walls*) mendominasinya. Peningkatan gaya inimenyebabkan kekuatan tarik menarik antar partikel menjadi lebih kuat, sehingga saat partikel bertabrakan akan membentuk flokulasi yang kemudian disusul terjadinya pengendapan partikel karena gaya gravitasi. Adanya proses adsorpsi oleh partikel, yang kemudian diikuti proses flokulasi maka konsentrasi logam terlarut ini akan mengalami pengurangan dan sebaliknya apabila terjadi proses desorpsi atau pelarutan kembali oleh partikel maka konsentrasi logam berat terlarut ini akan berkurang.

BAB IV TUMBUHAN SEBAGAI BIOINDIKATOR PENCEMARAN LINGKUNGAN

Tumbuhan, sifat-sifatnya merupakan pencerminan yang ada di dalam tumbuhan itu (hereditas), tetapi selain itu pertumbuhannya juga dipengaruhi lingkungan. Jadi fenotipe yang terjadi merupakan paduan dari hereditas dan lingkungan itu. Tumbuhan dapat hidup dengan baik di lingkungan yang menguntungkan. Suatu tumbuhan atau komunitas tumbuhan dapat berperan sebagai pengukur kondisi lingkungan tempat tumbuhnya, disebut *indikator biologi* atau *bioindikator* atau *fitoindikator*. Atau dengan istilah lain tumbuhan yang dapat digunakan sebagai indikator kekhasan habitat tertentu disebut tumbuhan indikator.

Banyaknya tumbuhan yang dapat dijadikan sebagai indikator suatu lingkungan. Dalam suatu komunitas tumbuhan beberapa diantaranya dominan dengan jumlah yang melimpah. Tumbuhan semacam ini merupakan indikator yang penting karena mereka sudah sangat erat hubungan dengan habitatnya. Dengan demikian dapatlah dinyatakan bahwa komunitas atau setidak-tidaknya kebanyakan tumbuhan merupakan indikator yang lebih baik daripada tumbuhan yang tumbuh secara individual.

Pengetahuan tentang indikator tumbuhan dapat membantu mencirikan sifat tanah setempat, dengan demikian dapat untuk menentukan tanaman apa atau apa yang dapat diusahakan di

bagian tanah itu atau seluruh tanah di situ. Indikator tumbuhan juga digunakan untuk memperkirakan kemungkinan lahan sebagai sumber daya untuk hutan, padang rumput atau tanaman pertanian. Bahkan beberapa jenis logam dapat dideteksi dengan pertumbuhan tumbuhan tertentu di suatu areal.

➤ **Azas-azas tumbuhan indikator**

Tumbuhan indikator mempunyai kekhususan, dengan demikian diperlukan adanya pedoman umum yang kemungkinan dipunyai dalam penerapan di lapang.

Pedoman umum atau azas itu antara lain :

1. Tumbuhan sebagai indikator kemungkinan bersifat *steno* atau *eury*.
2. Tumbuhan terdiri atas banyak spesies merupakan indikator yang lebih baik daripada kalau terdiri atas sedikit spesies.
3. Sebelum mempercayai sebagai suatu indikator harus dibuktikan dulu di tempat-tempat lain.
4. Banyaknya hubungan antara spesies, populasi dan komunitas sering memberikan petunjuk sebagai indikator yang lebih dapat dipercaya daripada spesies tunggal.

➤ **Tipe-tipe indikator tumbuhan**

Tipe yang berbeda dalam indikator tumbuhan mempunyai peranan yang berbeda dalam aspek tertentu.

1. Indikator tumbuhan untuk pertanian

Kebanyakan indikator tumbuhan menentukan apakah tanah cocok untuk pertanian

atau tidak. Petumbuhan tanaman pertanian dapat berbeda di beberapa kondisi lingkungan yang berbeda dan jika tumbuh dengan baik di suatu tanah berarti tanah itu cocok untuk tanaman itu. Sebagai suatu contoh, rumput-rumput pendek menandakan bahwa tanah di situ keadaan airnya kurang. Adanya rumput yang tinggi dan rendah menandakan tanah tempat tumbuh rumput itu subur, dengan demikian juga cocok untuk pertanian.

2. Indikator tumbuhan untuk *overgrazing*

Kebanyakan tumbuhan yang menderita perlakuan karena adanya manusia/hewan yang kurang makan ini mengalami modifikasi sehingga vegetasinya berbentuk padang rumput. Sedangkan padang rumput sendiri kalau mengalami *overgrazing* akan mengalami kerusakan dan produksinya sebagai makanan ternak akan turun. Tumbuhan yang tahan tidak rusak tetapi seperti istirahat. Beberapa tumbuhan menunjukkan sifat yang karakteristik bahwa di situ terjadi *overgrazing*. Biasanya hal itu dicirikan dengan adanya beberapa gulma semusim atau gulma tahunan berumur pendek, antara lain seperti *Polygonum*, *Chenopodium*, *Lepidium* dan *Verbena*. Beberapa tumbuhan tidak menunjukkan atau sedikit menunjukkan adanya peristiwa itu, yaitu seperti : *Opuntia*, *Grindelia*, *Vernonia*.

3. Indikator tumbuhan untuk hutan

Beberapa tumbuhan menunjukkan tipe hutan yang karakteristik dan dapat tumbuh pada suatu areal yang tidak terganggu. Pada umumnya di sini

tumbuhan yang ada menunjukkan bahwa sifat pertumbuhannya sesuai dengan kondisi hutan sehingga bila di situ dijadikan hutan kemungkinannya akan berhasil.

4. Indikator tumbuhan untuk humus

Beberapa tumbuhan dapat hidup pada humus yang tebal. *Monotropa*, *Neottia* dan jamur menunjukkan adanya humus di dalam tanah.

5. Indikator tumbuhan untuk kelembaban

Tumbuhan yang lebih suka hidup di daerah kering akan menunjukkan kandungan air tanah yang rendah di dalam tanah, antara lain seperti : *Saccharum munja*, *Acacia*, *Calotropis*, *Agave*, *Opuntia* dan *Argemone*. Sedangkan *Citrullus* dan *Eucalyptus* tumbuh di tanah yang dalam. Tumbuhan hidrofit menunjukkan kandungan air tanah yang jenuh atau di paya. Vegetasi *Mangrove* dan *Polygonus* menunjukkan tanah mengandung air yang beragam.

6. Indikator tumbuhan untuk tipe tanah

Beberapa tumbuhan seperti : *Casuarina equisetifolia*, *Ipomoea*, *Citrullus*, *Cilliganum polygonoides*, *Lycium barbarum* dan *Panicum* tumbuh di tanah pasir bergeluh. *Imperata cylindrica* tumbuh di tanah berlempung. Kapas suka tumbuh di tanah hitam.

7. Indikator tumbuhan untuk reaksi tanah

Rumex acetosa *Rhododendron*, *Polytrichum* dan *Spagnum* menunjukkan tanah kapur. Beberapa lumut menunjukkan tanah berkapur dan halofit menunjukkan tanah bergaram.

8. Indikator tumbuhan untuk mineral

Beberapa tumbuhan suka tumbuh di tanah-tanah dengan kandungan mineral yang khas, tumbuhan semacam ini disebut *Metallocolus* atau *Metallophytes*.

Tumbuhan semacam itu seperti di bawah ini :

- a. *Vallozia candida* menunjukkan adanya intan di Brasilia.
- b. *Equisetum speciosa*, *Thuja sp*, tumbuh di tanah yang mengandung mineral emas.
- c. *Eriogonium ovalifolium* tumbuh di tanah yang mengandung perak di USA.
- d. *Stelaria setacea* tumbuh di tanah yang mengandung air raksa di Spanyol.
- e. *Astragalus sp.*, *Neptunia amplexicalis*, *Stanleya pinnata*, *Onopsis condensator* menunjukkan adanya Selenium.
- f. *Astragalus sp.* tumbuh di tanah berkandungan uranium di USA.
- g. *Viscaria alpina* di Norwegia, *Gymnocolea acutiloba* di Amerika, *Gypsophila patrini* di Rusia tumbuh di tanah yang kandungan Cu nya tinggi.
- h. *Viola calaminara*, *V. lutea* di Eropa tumbuh di tanah yang mineral Zinc nya tinggi.
- i. *Salsola nitrata*, *Eurotia cerutoides* tumbuh di tanah yang kandungan BO tinggi.
- j. *Silene cobalticola* di Kongo dan *Nyssa sylvatica* di Amerika tumbuh di tanah dengan kandungan Cobalt tinggi.
- k. *Lychnis alpina* di Swedia menunjukkan adanya Ni.

- l. *Allium*, *Arabis* *Oenothera*, *Atriplex* tumbuh di tanah yang ber *Sulfur*.
- m. *Lycium*, *Juncus*, *Thalictrum* tumbuh dengan adanya *lithium* (Li).
- n. *Damara orata*, *Dacrydium aledonicum* di skotlandia tumbuh di tanah mengandung mineral Fe (*Iron*).
- o. *Flex aquifolium* di Italia tumbuh dengan adanya *Alumunium*.

Kecuali hal-hal di atas kandungan mineral dalam jaringan tumbuhan dapat menggambarkan bagaimana daur biogeokimianya sehingga dapat juga menggambarkan status lingkungan tempat tumbuhnya. *Lyon* dan *Brooks* (1969) mendapatkan bahwa *Olearia rani* menjadi penilaian untuk molibdenium. Hal yang sama, perak didapati dengan jelas di bagian-bagian tertentu pada daun. Kandungan sulfat pada daun secara langsung berhubungan dengan konsentrasi SO₂ udara. *Farrar* (1977) melihat bahwa kandungan sulfur pada pinus jarum berhubungan dengan konsentrasi SO₂. Kandungan fluororide pada daun *Sorghum vulgare* menunjukkan bahwa udara yang tak terlalu jauh dari tanaman itu tercemar dengan fluoride, jaraknya kira-kira lebih dari 4 km.

9. Indikator tumbuhan untuk logam berat

Tanah yang mempunyai cadas berkandungan logam berat, khususnya Zn, Pb, Ni, Co, Cr, Cu, Mr, Mg, Cd, Se dan lain-lain. Diantaranya Mn, mg, Cd dan Se bersifat toksik untuk kebanyakan tumbuhan. Kontaminasi logam berat juga terjadi di daerah industri, baik yang

berbentuk debu ataupun garam dalam perairan di daerah industri tersebut. Kebanyakan tumbuhan sensitive terhadap logam berat. Membukanya stomata dipengaruhi, fotosintesis S turun, respirasi terganggu dan akhirnya pertumbuhan terhambat. Sebagian besar logam berat ini merupakan deposit di dinding sel-sel perakaran dan daun.

Beberapa tumbuhan metalofit dapat digunakan sebagai indikator untuk suatu deposit dekat dengan permukaan tanah, sehingga cocok untuk ditanam di daerah pertambangan atau industri. *Cardaminopsis halleri*, *Silene vulgaris*, *Agrotis tenuis*, *Minuartia verna*, *Kichornia crassipes*, *Astragalus racemosus*, *Thlaspi alpestre* merupakan tumbuhan metafolit logam berat.

10. Indikator tumbuhan untuk habitat saline

Beberapa tumbuhan tumbuh dan tahan dalam habitat dengan kandungan garam tinggi, yang kemudian disebut halofit. Tumbuhan itu biasa hidup di pantai yang mesofit atau hidrofit tak dapat hidup subur, karena dua yang disebut terakhir biarpun tahan genangan tetapi tidak tahan kadar garam yang tinggi di air ataupun tanah di situ. Kegaraman tanah antara lain oleh NaCl, CaSO₄, NaCO₃, KCl.

Tumbuhan yang dapat tumbuh di habitat semacam itu antara lain : *Chaenopodium album*, *Snaeda fructicosa*, *Haloxylon salicornium*, *Salsola foestrida*, *Tamarix articulata*, *Rhizophora mucronata*, *Avicennia alba*, *Acanthus ilicifolius*. Ketahanan terhadap garam merupakan kemampuan tumbuhan untuk melawan adanya

akibat yang disebabkan oleh garam sehingga kerusakannya tidak serius.

Ketahanan itu tergantung pada spesies, tipe jaringan, vitalitas, nisban ion dan peningkatan konsentrasi ion. Tumbuhan yang dapat hidup dalam 4 – 8% NaCl, sedang yang tidak tahan akan mati bila NaCl 1 – 5%. Tumbuhan yang tahan antara lain : *Betula papyrivera*, *Elaeagnus angustifolia*, *Fraxinus excelstra*, *Populus alba*, *P. canadensis*, *Rosa rugosa*, *Salix alba*, *Ulmus americana*, *Juniperus chinensis*, *Pinus nigra*.

11. Indikator tumbuhan untuk pencemaran

Penggunaan vegetasi sebagai indikator biologi untuk pencemaran lingkungan sudah sejak lama, kira-kira sejak seratus tahun yang lalu di daerah pertambangan. Pengetahuan tentang ketahanan terhadap polutan terutama untuk vegetasi yang tumbuh di daerah industri atau di daerah padat penduduk.

Pada umumnya tumbuhan lebih sensitive terhadap polutan daripada manusia. Tumbuhan yang sensitiv dapat merupakan indikator, sedangkan tumbuhan yang tahan dapat merupakan akumulator polutan di dalam tubuhnya, tanpa mengalami kerusakan. Jamur, fungi dan Lichenea sensitive terhadap SO₂ dan *halide*.

Konsentrasi SO₂ sampai 1% membahayakan tumbuhan yang lebih tinggi. Banyak bahan kimia, pupuk, pestisida dan pemakaian bahan-bahan fosil yang tinggi melepaskan substansi-substansi toksik ke lingkungan dan hal itu dapat diserap juga oleh

tumbuhan melalui udara, air atau tanah. Polutan di atmosfer yang berbahaya untuk tumbuhan antara lain SO_2 , halide (HF, HCl), Ozone dan Peroxiacetyl-nitrat (PAN) yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, industri dan radiasi yang kuat. Substansi berbahaya yang mencapai tumbuhan melalui udara ialah : SO_2 , nitrogenoksida, ammonia, Hidrokarbon, debu, dan habitat.

Tumbuhan yang tumbuh di air akan terganggu oleh bahan kimia toksik dalam limbah (sianida, khlorine, hipoklorat, fenol, derivativ bensol dan campuran logam berat). Pengaruh polutan terhadap tumbuhan dapat berbeda tergantung pada macam polutan, konsentrasinya dan lamanya polutan itu berada. Pada konsentrasi tinggi tumbuhan akan menderita kerusakan akut dengan menampakkan gejala seperti khlorosis, perubahan warna, nekrosis dan kematian seluruh bagian tumbuhan. Di samping perubahan morfologi juga akan terjadi perubahan kimia, biokimia, fisiologi dan struktur.

➤ **Jaringan dalam tumbuhan**

Kerusakan karena pencemaran dapat terjadi karena adanya akumulasi bahan toksik dalam tubuh tumbuhan, perubahan pH, peningkatan atau penurunan aktivitas enzim, rendahnya kandungan asam askorbat di daun, tertekannya fotosintesis, peningkatan respirasi, produksi bahan kering rendah, perubahan permeabilitas, terganggunya keseimbangan air dan penurunan kesuburannya dalam waktu yang lama.

Gangguan metabolisme berkembang menjadi kerusakan kronis dengan konsekuensi tak beraturan.

Tumbuhan akan berkurang produktivitasnya dan kualitas hasilnya juga rendah. Kecuali itu struktur kayu juga berubah, cabang-cabang kering dan secara perlahan pohon akan mati. Gejala adanya pencemaran pada tumbuhan sangat bervariasi dan tidak spesifik. Suatu polutan berpengaruh terhadap tumbuhan yang berbeda dengan cara yang berbeda-beda dan suatu gejala dapat terjadi karena suatu substansi. Pengaruh faktor-faktor luar seperti polutan pada tumbuhan tergantung spesiesnya, fase perkembangannya dan jaringan atau organ yang terkena.

Perubahan morfologi suatu tumbuhan dan komposisi floristik suatu komunitas tumbuhan dapat digunakan untuk menduga adanya perubahan lingkungan. Beberapa perubahan yang terjadi pada tumbuhan yang dapat digunakan sebagai indikator pencemaran antara lain perkecambahan, perubahan morfologi, perubahan biokemis dan fisiologi.

➤ **Penggunaan Lamun sebagai Bioindikator Pencemaran**

Penggunaan lamun sebagai bioindikator telah banyak dilakukan diantaranya adalah pemanfaatan lamun sebagai bioindikator monitoring keberadaan logam berat, antara lain jenis *Cymodeca rotundata*, *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii*, untuk logam berat Cu,

Cd, Pb dan Zn di perairan Teluk Xincun, Cina Selatan (Li & Huang 2012). *Zostera capricorni* sebagai bioindicator Cd, Cu, Pb, Se dan Zn di ekosistem lamun Lake Macquarie, Australia (Rappe 2010). *Halophila ovalis* sebagai bioindikator perairan estuaria (River Science 2013). Berdasarkan peranan dan fungsi tersebut maka ekosistem lamun dijadikan bioindikator lingkungan berdasarkan kriteria Kepmen LH Nomor 200 tahun 2004 tentang kriteria baku kerusakan dan pedoman penentuan padang lamun atau ekosistem lamun.

Endang (2008) dalam penelitiannya yang dilakukan di pesisir utara Kabupaten Lamongan dan pesisir selatan Kabupaten Malang menunjukkan bahwa tumbuhan lamun dapat digunakan sebagai bioindikator logam berat Pb di wilayah pesisir, di mana kandungan logam Pb adalah sebesar (biomass lamun/m² x kandungan Pb mg/kg)/1000 dengan mangakumulasi dari sedimen. Lebih jauh, disebutkan pula bahwa bagian daun lamun dapat berfungsi sebagai bioakumulator terakhir sehingga dapat digunakan untuk menentukan sebaran kandungan logam berat Pb dalam suatu perairan besar.

Selain itu Eko Effendi (2015) melaporkan dalam penelitiannya bahwa lamun mampu mengikat Cu lebih baik daripada Cd dan Pb. Logam berat Cd adalah logam yang paling rendah konsentrasinya yang ditemukan dilokasi penelitian baik yang terkandung dalam lamun atau yang terdapat pada air dan sedimen, kandungan logam

Pb tertinggi terdapat pada bagian daun lamun dibandingkan bagian lainnya termasuk pada air dan sedimen.

➤ **Mekanisme Absorpsi Bahan Pencemar oleh Lamun**

Spesies tumbuhan yang toleran terhadap logam memiliki mekanisme pertahanan yang berkaitan dengan antioksidan sel dan enzim antioksidan yang melindungi beberapa proses fisiologis vital untuk mencegah kerusakan yang diakibatkan oleh bentuk-bentuk oksigen reaktif karena stres yang disebabkan oleh kandungan logam (Panda & Choudhury, 2005). Toleransi dan atau resistensi tanaman terhadap stres akibat kandungan logam bisa dikaitkan dengan satu mekanisme atau lebih (Patra, 2004), misalnya: (1) ekskresi senyawa selatin, (2) pengeluaran logam melalui absorpsi elemen tertentu, (3) penyimpanan logam di dalam akar, yang mencegah pentranslokasian logam itu menuju bagian aerial, (4) selasi atau *sequestration* logam berat oleh ligand, kompartementalisasi, biotransformasi, dan mekanisme perbaikan sel, (5) perkembangan enzim yang toleran terhadap logam, (6) peningkatan produksi senyawa intrasel, (7) imobilisasi logam di dalam dinding sel, (8) mekanisme sel homeostatis untuk mengatur ion-ion logam di dalam sel, (9) induksi *heat-shock protein*, (10) pelepasan fenol dari akar, (11) peningkatan toleransi terhadap defisiensi mineral atau penurunan kebutuhan nutrisi, (12) peningkatan absorpsi makronutrien tertentu, dan

(13) perkembangan kapasitas untuk tetap menyerap dan menggunakan mineral meski terdapat logam berat di dalam tanaman tersebut.

Cekaman polutan menyebabkan terhambatnya laju pertumbuhan organisme perairan termasuk lamun. Laju pertumbuhan tumbuhan perairan termasuk lamun meliputi pertumbuhan pada daun dan rhizome. Daun merupakan salah satu bagian tubuh lamun yang berada pada bagian atas dari tubuh lamun. Pertumbuhan daun lamun ditandai dengan bertambah panjangnya ukuran daun. Pertumbuhan daun lamun tentunya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di sekitarnya. Daun pada lamun memiliki perbedaan yang mendasar dengan daun tumbuhan darat pada umumnya, perbedaan mendasar tersebut terdapat pada kemampuan daun dalam menyerap nutrisi yang berasal dari lingkungan (Romero 2006).

Mekanisme respon tanaman yang tumbuh di perairan dalam menghadapi logam berat dapat dilakukan dengan berbagai cara tergantung jenis tanaman yaitu melalui fitoekstraksi dan fitokelatin. Fitoekstraksi adalah salah satu bentuk fitoremediasi dimana tanaman melalui akar tanaman menyerap pencemar (logam berat) dari larutan tanah dan diakumulasi di batang dan daun (bagian tanaman yang dapat dipanen). Fitoekstraksi biasa digunakan untuk memulihkan tanah tercemar khususnya logam berat seperti Pb (Roselli *et al.*, 2003; Zhuang *et al.*, 2005: Al-

Homaidan *et al.*, 2011). Tanaman yang memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat dalam jumlah yang lebih banyak disebut tanaman hyperaccumulator (hiperakumulator). Tanaman hiperakumulator adalah tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat pada jaringan tanam dan bagian yang dapat dipanen yang berada di atas tanah pada kisaran 0,1 – 1% dari berat keringnya (Baker *et al.*, 1991 dalam Suresh and Ravishankar, 2004).

Dalam sel-sel akar, sistem pengangkutan dan tempat/bagian dengan afinitas pengikatan yang tinggi memediasi pengambilan logam berat melalui plasma membrane. Pengambilan logam berat melalui pengangkut sekunder seperti saluran protein atau protein pembawa H⁺ dimana potensial negatif membrane mendorong pengambilan kation melalui pengangkut sekunder (Suresh and Ravishankar, 2004). Urutan pengambilan logam berat ke dalam symplasma akar dan pergerakan ke xylem mencakup 3 tahapan: penahanan logam berat dalam sel akar, pengangkutan symplastik ke stele dan terakhir dilepas ke xylem yang dimediasi oleh membran pengangkutan protein. Dalam pengangkutan dan translokasi logam berat, phytochelatin dan metalothioneins memainkan peran penting (Anaka *et al.*, 2001).

Phytochelatin adalah kelompok protein yang memiliki asam amino cystein, glycine, dan asam glutamate yang menginduksi tanaman jika tanaman mengalami cekaman logam berat. Senyawa ini mengikat ion logam dan

membawanya ke vakuola dimana logam berat tidak lebih lama menjadi toksik. Metallothionein belum begitu jelas, ada dua hipotesis yang diajukan. Teori yang pertama menyatakan bahwa metallothionein menciptakan pool penyimpanan ion untuk kelebihan ion-ion logam berat bebas yang dihelasi sampai tanaman menggunakannya jika esensial. Teori kedua menyatakan bahwa metallothionein adalah protein transport yang bertanggung jawab pada pemindahan kelebihan logam berat dari satu tempat dimana metallothionein membangun sampai ke tingkat toksik pada tempat dari tanaman dimana logam berat dibutuhkan (Shuresh *and* Ravishankar, 2004).

BAB V
BIOAKUMULASI DAN BIOKONSENTRASI
LOGAM

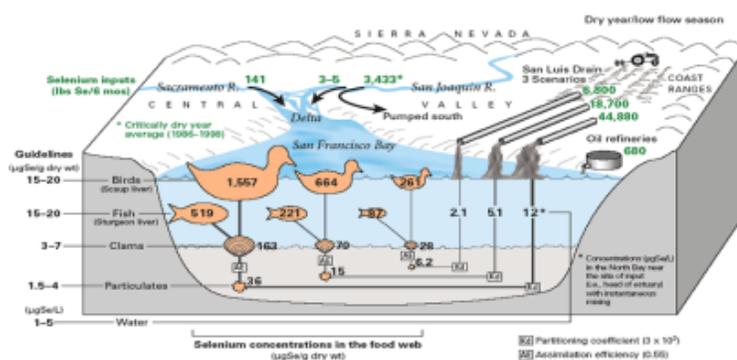
A. Bioakumulasi Logam

Bioakumulasi adalah penumpukkan dari zat-zat kimia seperti pestisida, metilmerkuri, dan kimia organik lainnya di dalam atau sebagian tubuh organisme. Dasar pengertian bioakumulasi dikembangkan oleh ilmuwan tahun 1870an yang menemukan fenomena prinsip perilaku bahan-bahan kimia dalam lingkungan dan makhluk hidup. Bioakumulasi suatu bahan kimia oleh suatu makhluk hidup dapat dilihat dalam banyak situasi sebagai suatu proses partisi.

Bioakumulasi adalah jumlah dari dua proses: biokonstentrasi dan biomagnifikasi. Biokonstentrasi adalah pengambilan langsung suatu zat oleh organisme hidup dari medium (misalnya, air) melalui kulit, insang, atau paru-paru, sedangkan biomagnification adalah pengumpulan kontaminan dari organism di atasnya . Banyak kontaminan sintesis lebih larut dalam lemak daripada dalam air. Poliklorinasi bifenil (PCB), misalnya, yang dapat hadir dalam danau atau air sungai, cenderung baik untuk menjerap partikel atau untuk berdifusi ke dalam sel-sel organisme. Jadi, PCB terbiokonstentrasi di tingkat rendah, misalnya, dalam fitoplankton dengan faktor sekitar 250. Ikan yang aktif menyaring sejumlah besar air melalui insang mereka tunduk pada biokonstentrasi yang jauh lebih tinggi. Selain

itu, biomagnification terjadi dalam organisme pemangsa. PCB beban mangsa ditransfer ke pemangsa. Ikan seperti mencium bau yang mengkonsumsi sejumlah besar mysids dan memperbesar zooplankton konsentrasi PCB. Ini mengarah pada faktor bioakumulasi sebanyak 2,8 juta pada spesies ikan pemangsa seperti danau bass trout dan bergaris. Mamalia-termasuk manusia yang makan ikan, reptil, dan burung-PCB terakumulasi lebih lanjut.

Salah satu konsekuensi dari pelepasan dan penyebaran substansi pencemar di lingkungan adalah penangkapan (uptake) dan penimbunan (accumulation) oleh makhluk hidup mengikuti alur rantai makanan (food chain). Umumnya relasi antara konsentrasi substansi pencemar di lingkungan dan di dalam jaringan makhluk hidup dinyatakan dalam parameter faktor biokonsentrasi (BCF = bioconcentration factor). Parameter ini merupakan nisbah antara konsentrasi suatu senyawa di lingkungan dan konsentrasi senyawa yang sama dalam jaringan makhluk hidup.



Gambar 2. Biodinamik proses Bioakumulasi

Logam berat yang bersifat toksik akan terakumulasi dalam air, sedimen dan biota melalui proses biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi oleh biota laut. Logam yang terikat dalam sedimen akan relatif sukar untuk lepas kembali melarut dalam air, semakin banyak jumlah sedimen maka semakin besar kandungan logam berat di dalamnya. Secara umum pula, kandungan logam berat di sedimen pada perairan lebih tinggi dari kandungan logam berat di air. Hal ini disebabkan karena logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen. Oleh karena itu kandungan logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air,

Pengendapan logam berat di suatu perairan terjadi karena adanya anion karbonat hidroksil dan klorida. 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 (El Nemr, G.F *et al*, 2016).

Logam berat yang larut dalam sedimen pada badan air mengakibatkan peningkatan kekeruhan perairan yang selanjutnya menghambat penetrasi cahaya sehingga menghalangi tanaman air untuk melakukan fotosintesis dan transfer oksigen dari atmosfer ke perairan, juga menghambat daya lihat (*visibilitas*) organisme air sehingga dapat mengurangi kemampuan ikandan organisme air lainnya untuk memperoleh makanan karena tertutup oleh lumpur. Kekeruhan yang

tinggi dapat mengakibatkan terganggunya kerja organ pernafasan seperti insang pada organisme air akan mengakumulasi bahan beracun misalnya pestisida dan senyawa logam. Sedimen yang mengendap di dasar perairan, baik sungai, danau atau perairan lainnya dapat mengurangi populasi ikan dan biota-biota air lainnya karena telur-telur ikan dan sumber makanan tertutup oleh sedimen (Darmono,2001).

Merkuri (Hg) adalah salah satu jenis logam berat yang sangat berbahaya. Bahaya Hg, khususnya Hg metil (MeHg), telah dikenal luas dari tragedi yang terjadi di Teluk Minamata, Jepang, dimana produk sampingan yang mengandung MeHg dibuang ke dalam teluk tersebut oleh pabrik kimia penghasil klorida vinil dan formaldehida milik Perusahaan Chisso. Melalui proses akumulasi secara biologi (bioakumulasi), proses perpindahan secara biologi (biotransfer), dan pembesaran secara biologi (biomagnifikasi) yang terjadi secara alamiah, organisme laut mengakumulasi MeHg dalam konsentrasi tinggi dan selanjutnya terjadi keracunan pada manusia yang mengkonsumsinya (Yasuda, 2000). Organisme perairan dapat mengakumulasi Hg dari air, sedimen, dan makanan yang dikonsumsi.

Pengambilan melalui makanan merupakan sumber penting keberadaan logam berat yang terdapat dalam tubuh organisme. Pentreath (1976a dan b) membandingkan akumulasi dan distribusi Hg dalam jaringan ikan plaice,

Pseudopleuronectes platessa, yang dikontaminasi pada Hg anorganik dan MeHg dalam makanan dan dalam air, serta menemukan bahwa hanya hewan uji yang dikontaminasi pada MeHg melalui makanannya yang mengakumulasi Hg secara efektif, dan Hg tersebut terdistribusi di dalam jaringan hewan uji sama seperti yang diamati di alam. Menurut Bryan & Uysal (1978), makanan adalah sumber utama keberadaan Hg pada clam, *Scrobicularia plana*. Pengkajian mengenai akumulasi Hg dalam jaringan tubuh organisme perairan telah banyak dilakukan, di antaranya adalah Noël-Lambot (1976), Noël-Lambot dkk. (1980), Kohler & Riisgård (1982), Langston & Zhou (1987), Carpene (1993) tentang akumulasi Hg pada kerang-kerangan laut (moluska) *Mytilus edulis*, *M. galloprovincialis*, *Littorina littorea*, dan *Patella vulgata* (limpet), Noël-Lambot & Bouquegneau (1977) dan Noël-Lambot dkk. (1978) pada *Anguilla anguilla*, Kremling dkk. (1978) pada plankton, Zhang dkk. (2009), Lasut & Yasuda (2008) dan Kehrig dkk. (2009) pada beberapa jenis ikan.

Analisis terhadap biota dan organisme perairan sangat penting daripada analisis air itu sendiri, hal ini disebabkan kandungan logam berat dari air yang dapat berubah-ubah dan sangat tergantung pada lingkungan. Pada musim hujan, kandungan logam akan lebih kecil karena proses pelarutan, sedangkan pada musim kemarau kandungan logam akan lebih tinggi karena logam menjadi terkonsentrasi. Kandungan biota air

biasanya akan selalu bertambah dari waktu ke waktu karena sifat logam yang bioakumulatif, sehingga biota air sangat baik digunakan sebagai indikator pencemaran logam dalam lingkungan perairan.

Bioakumulasi sering menjadi ukuran pencemaran bagi suatu organisme dalam ekosistem tercemar karena logam tidak dapat dipecah dalam bentuk yang sederhana. Mengukur bioakumulasi logam sangat kompleks karena pengaruh interaksi logam dan spesies atau biota yang spesifik serta pengaruh lingkungan dengan paparan (Louma *and* Rainbow, 2008).

Logam berat nonesensial seperti Timbal (Pb) secara alami terdapat di tanah pertanian namun konsentrasinya dapat meningkat karena polusi udara serta penggunaan kotoran hewan, pupuk anorganik dan pestisida yang mengandung timbale arsenat. Untuk mencegah peningkatan kandungan Pb di lahan pertanian diperlukan suatu metode untuk menurunkan konsentrasinya. Salah satu metode bioremediasi tanah tercemar logam berat adalah fitoremediasi yang menggunakan tanaman untuk mengekstrak, mensekuestrasi dan mendetoksifikasi polutan (Lasat, 2002).

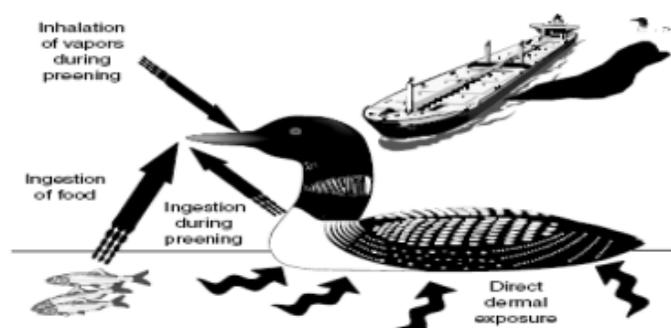
Lamun (*Enhalus acoroides*) merupakan salah satu tanaman air yang mampu bertahan dan mengakumulasi logam berat yang terdapat dalam perairan sehingga dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran.

• **Penyebab Bioakumulasi**

Bioakumulasi dalam tubuh makhluk hidup, akan berbahaya tergantung beberapa faktor, antara lain:

1. Cara penerimaan xenobiotik

Bioakumulasi xenobiotik dalam makhluk hidup masuk ke dalam tubuh melalui 3 cara, yaitu: sentuhan kulit, inhalasi, dan oral. Xenobiotik masuk ke dalam sel dan mempengaruhi kinerja sel tersebut.



Gambar 1, Cara masuknya xenobiotik

2. Distribusi xenobiotik

Xenobiotik yang masuk ke dalam tubuh, terdistribusi dan bertumpuk pada jaringan yang rentan diserangnya. Sifat reaktif zat xenobiotik dan jumlah xenobiotik yang terkumpul mempengaruhi lamanya zat tersebut akan berpengaruh pada makhluk hidup.

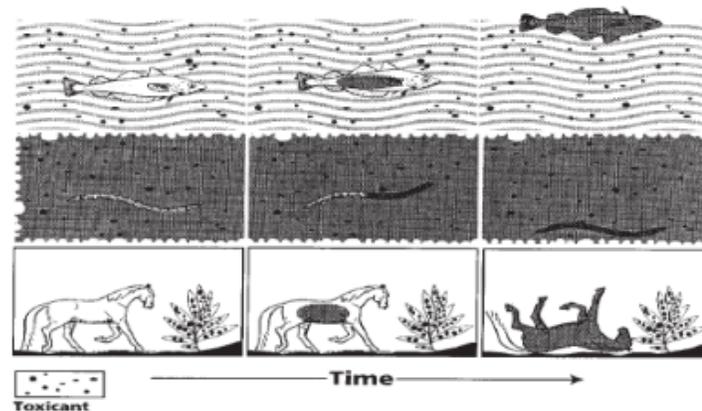
- **Dampak Bioakumulasi**

Dampak dari Bioakumulasi diantaranya rusaknya sistem kesehatan makhluk hidup, baik pada manusia atau hewan, dan rusaknya keseimbangan ekosistem karena dampak panjang yang diberikan pada rantai makanan.

1. **Dampak Kesehatan**

Dampak pada kesehatan yang diterima dalam proses bioakumulasi lebih pada sifat kronis jangka panjang. Biasanya zat-zat xenobiotik ini bersifat karsinogenik. Penimbunan xenobiotik merugikan pada tubuh akan menyebabkan penyakit-penyakit kronis seperti kanker, dan gangguan organ syaraf, gangguan hormon.

Selain dampak karsinogenik, bioakumulasi juga berdampak adanya proses mutagenik dan teratogenik. Misalnya, dampak yang diberikan oleh senjata kimia mengakibatkan gangguan kehamilan dan cacat janin.



Gambar 2, Dampak karsinogenik dalam makhluk hidup (Beek, 2000)

2. Dampak Ekosistem

Keseimbangan ekosistem akan terganggu dengan adanya bioakumulasi di tubuh makhluk hidup. Timbunan zat di lingkungan secara cepat dan lambat akan mempengaruhi daya dukung lingkungannya. Gangguan dalam kesehatan makhluk hidup dapat berpengaruh pada mutasi gen dan teratogenik makhluk hidup yang akan berujung pada kepunahan suatu spesies. Dengan hilangnya suatu spesies tertentu, maka rantai makanan akan kacau dan lingkungan menjadi tidak seimbang. Ketidakseimbangan lingkungan akan berdampak pada kepunahan spesies lain.

B. Biokonsentrasi Logam

Salah satu faktor penting yang terkait dengan pencemaran logam berat di lingkungan perairan yaitu biokonsentrasi. Biokonsentrasi adalah proses masuknya logam berat kedalam tubuh organisme dan lingkungan tempat hidup organisme tersebut. Selanjutnya, logam berat terakumulasi dan tinggal di dalam jaringan tubuh organisme dalam jangka waktu lama sebagai racun terakumulasi (Kolck et al., 2008). Menurut Ghosh and Singh (2005) untuk mengetahui mekanisme akumulasi logam berat dalam organisme perairan dengan cara menghitung nilai bioconcentration factor (BCF) atau faktor biokonsentrasi, yaitu konsentrasi logam berat yang ada di dalam organisme dibagi dengan konsentrasi logam berat dalam medium organisme tersebut. Lebih lanjut Ghosh and Singh (2005) menjelaskan ada tiga

kategori nilai BCF sebagai berikut: (1) nilai lebih besar dari 1000 masuk dalam katagori sifat akumulatif tinggi, (2) nilai BCF 100 s/d 1000 disebut sifat akumulatif sedang dan (3) BCF kurang dari 100 dikategorikan dalam kelompok sifat akumulatif rendah. Alluri et al. (2007) menjelaskan pada umumnya logam berat ada pada batuan, di dalam tanah, udara dan air. Logam berat juga dihasilkan dari penimbunan sampah sehingga terjadi lindih (leaching) yang mencemari air dan tanah. Menurut Shastri dan Diwekar (2008) aktivitas manusia (antropogenik) yang paling banyak memberikan kontribusi keberadaan logam berat di alam adalah pembakaran bahan bakar fosil (batubara), penambangan emas tradisional, limbah dari berbagai industri (industri baterai, soda kaustik, pupuk organisk, pestisida) dan pembuangan limbah rumah sakit yang kurang terkendali.

Menurut Connel dan Miller, (2006) biokonsentrasi adalah masuknya bahan pencemar secara langsung dari air oleh makhluk hidup melalui jaringan seperti insang atau kulit. Harteman et al. (2008) mendefenisikan sebagian logam berat di air terserap dan terakumulasi pada partikel-partikel di air serta terserap dan selanjutnya mengendap di permukaan sedimen muara sungai. Wilson et al. (2009) menerangkan logam kadmium akan mengalami bioakumulasi dalam organisme hidup. Dalam tubuh biota perairan, jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan. Di samping itu,

tingkatan biota dalam sistem rantai makanan turut menentukan jumlah logam berat yang terakumulasi.

C. Mekanisme Biokonsentrasi dan Bioakumulasi Logam

Zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran disebut polutan. Syarat-syarat suatu zat disebut polutan bila keberadaannya dapat menyebabkan kerugian terhadap makhluk hidup. Contohnya, karbon dioksida dengan kadar 0,033% di udara berguna bagi tumbuhan, tetapi bila lebih tinggi dari 0,033% dapat memberikan efek merusak. Suatu zat disebut polutan apabila : (1) jumlahnya melebihi jumlah normal, (2) berada pada waktu yang tidak tepat, (3) berada di tempat yang tidak tepat. Sifat polutan adalah : (1) merusak untuk sementara, tetapi bila telah bereaksi dengan zat lingkungan tidak merusak lagi, (2) merusak dalam waktu lama. Contohnya Pb tidak merusak bila konsentrasinya rendah. Akan tetapi dalam jangka waktu yang lama, Pb dapat terakumulasi dalam tubuh sampai tingkat yang merusak.

Masuknya bahan-bahan yang bersifat toksik ke suatu ekosistem akuatik akan menimbulkan perubahan yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup organisme yang ada di dalamnya. Perubahan ini juga mempengaruhi fungsi dan kegunaan air laut menjadi tidak sesuai lagi dengan peruntukannya. Air yang tercemar tidak lagi bisa digunakan untuk kehidupan karena tidak memenuhi syarat-syarat

kesehatan dan tidak bisa menjadi habitat. Biota akuatik yang aman. Bila konsentrasi polutan yang masuk terus bertambah maka akan menjadi biokonsentrasi yaitu peningkatan konsentrasi suatu polutan dalam suatu ekosistem. Keberadaan polutan dalam suatu lingkungan akan sangat mempengaruhi kehidupan makhluk hidup di dalamnya. Secara umum tahap respon yang terjadi pada sistem akuatik meliputi tahap-tahap yaitu biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi. Tahapan respon ini dalam proses bahan pencemar dalam biota laut prosesnya dinamik, dimana banyak berkaitan dengan variabel-variabel. Sebagai contoh potensi biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam organisme dan jaringan makanan bergantung pada bahan pencemarnya.

Mekanisme biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi sebagai proses bahan pencemar yang beracun belum banyak dibahas. Menurut MADER (1996), bioakumulasi merupakan peningkatan konsentrasi polutan yang diikuti perpindahan dari lingkungan ke organisme pertama pada rantai makanan. ANONYM (1993) menyatakan bahwa proses bioakumulasi melibatkan tahap-tahap antara lain: 1. Pengambilan (Uptake), yaitu masuknya bahan-bahan kimia (melalui pernafasan, atau adsorpsi melalui kulit, pada ikan biasanya dapat melalui insang); 2. Penyimpanan (Storage), yaitu penyimpanan sementara di jaringan tubuh atau organ. Kadar bahan kimia ini akan terus bertambah di dalam

tubuh organisme dan bila kadarnya sampai melebihi kadar bahan tersebut di lingkungan (air atau udara) maka proses bioakumulasi telah terjadi; dan 3. Eliminasi, dapat berupa pemecahan bahan kimia menjadi senyawa yang lebih sederhana, dapat dilakukan dengan proses biologik disebut metabolisme

➤ **Proses Masuknya Bahan Kimia kedalam Tubuh Organisme**

a. ***Uptake* (pengambilan).**

Proses penyerapan bahan kimia ke dalam tubuh organisme melalui sel umumnya melibatkan proses difusi, yaitu proses perpindahan dari tempat yang berkonsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Kemampuan bahan kimia untuk berpindah tempat itu disebut potensial kimia. Banyak faktor yang mempengaruhi potensial kimia dari suatu bahan diantaranya adalah kelarutan bahan tersebut dalam air. Ada bahan yang bersifat mudah larut dalam air disebut lipofobik/ hidrofilik dan ada yang sukar larut dalam air tetapi mudah larut dalam lemak disebut lipofilik/hidrofobik. Bahan yang lipofilik akan dengan mudah terserap masuk ke dalam sel suatu organisme karena ada kesamaan sifat lingkungan dengan sel sehingga dapat dengan mudah menembus lapisan lemak pada membran sel. Bahan yang hidrofilik umumnya mempunyai peluang yang kecil untuk terbioakumulasi karena mengalami kesulitan melewati membran sel (ANONYM,

1993). Senyawa yang mempunyai stabilitas kimiawi yang rendah, cenderung mengalami hidrolisis, sehingga tidak menimbulkan efek merugikan bagi ekosistem akuatik, kecuali bila senyawa tersebut mengalami transformasi menjadi senyawa (produk) yang toksik. Dalam ekosistem akuatik, senyawa yang bersifat volatil cenderung tidak berada dalam waktu yang lama. Polaritas senyawa berperan penting dalam menentukan distribusi dan persistensi senyawa tersebut. Senyawa hidrofilik cenderung terlarut dan terdistribusi pada permukaan air. Sebaliknya senyawa lipofilik berasosiasi dengan materi organik yang berada di dalam sedimen (ANONYM, 1993). Pada sedimen sungai dan danau terdapat bentuk asosiasi antara partikel organikanorganik dengan organisme. Polutan organik dapat diadsorpsi oleh partikel sedimen, sehingga membatasi mobilitas polutan dan availibilitas terhadap organisme akuatik. Namun, keberadaan polutan dalam sedimen memungkinkan terambilnya polutan tersebut oleh organisme benthik tertentu, misalnya makroinvertebrata benthik (grazer), yang menggunakan partikel sedimen (organik) sebagai sumber makanannya. Selain itu, organisme benthik yang bersifat filter feeder (bivalvia), memungkinkan berinteraksi langsung dengan polutan.

b. **Storage** (penyimpanan)

Faktor yang sama seperti stabilitas kimia, potensial kimia, sifat kelarutan bahan juga berpengaruh pada penyerapan di dalam tubuh organisme. Beberapa bahan kimia akan dengan mudah berikatan dengan protein atau dapat juga terlarut dalam lemak. Jika bahan kimia yang masuk ke dalam tubuh hanya sedikit atau proses penyerapan hanya bersifat sementara, bahan kimia tidak terikat kuat di dalam sel dan dapat dieliminasi oleh tubuh. Walaupun demikian ada beberapa perkecualian untuk jenis logam berat seperti merkuri (Hg), copper (Cu), cadmium (Cd), kobalt (Co) dan timbal (Pb), walaupun bersifat hidrofilik tetapi mereka dapat terikat erat dengan tempat-tempat tertentu dalam tubuh sehingga dapat terakumulasi (ANONYM, 1993).

c. **Eliminasi**

Bioakumulasi sebenarnya merupakan proses yang esensial dan normal untuk proses pertumbuhan dan pemeliharaan tubuh bagi semua makhluk hidup. Tanpa proses ini, tubuh tidak akan dapat menyimpan unsur-unsur yang diperlukan. Organisme melakukan bioakumulasi nutrien-nutrien penting seperti vitamin A, K dan D, unsur mineral, asam lemak esensial dan asam amino (ANONYM, 1993). Yang menjadi perhatian untuk para ekotoksikologis adalah berapa kadar

bioakumulasi bahan kimia yang membahayakan tubuh. Ketika suatu bahan kimia masuk ke dalam tubuh dan terdistribusi, maka bahan tersebut dapat diekskresikan, disimpan atau dimetabolisme oleh tubuh tergantung konsentrasi dan potensial kimia dari bahan tersebut.

Pada umumnya bahan-bahan kimia yang masuk ke dalam tubuh organisme akan dipecah dan diekskresikan. Proses pemecahan bahan-bahan kimia secara biologi disebut metabolisme. Kemampuan ini tergantung dari jenis organisme juga tergantung pada karakteristik dari bahan kimianya. Bahan kimia yang lipofilik akan lebih lambat dieliminasi daripada yang hidrophilik. Tetapi ada beberapa pengecualian untuk insektisida diantaranya Pyretin yaitu insektisida alami yang berasal dari tanaman chrysanthemum yang bersifat lipofilik (mudah larut dalam lemak), tetapi dapat dengan mudah terdegradasi dan tidak terakumulasi. Chloropyrifos, bersifat hidrophilik tetapi sulit terdegradasi, dan cenderung untuk terakumulasi. Faktor lain yang mempengaruhi bioakumulasi adalah lamanya terpapar bahan kimia tersebut. Jadi bioakumulasi bervariasi pada setiap individu dan jenis biota tergantung ukuran, umur, laju metabolisme dan laju ekskresinya.

BAB VI KLOOROFIL

1 A. Kadar Klorofil

Istilah klorofil berasal dari bahasa Yunani yaitu Chloros artinya hijau dan Phyllos artinya daun. Ini diperkenalkan pada tahun 1818, dimana pigmen tersebut diekstrak dari tumbuhan dengan menggunakan pelarut organik. Klorofil adalah pigmen pemberi warna hijau pada tumbuhan, alga dan bakteri fotosintetik. Senyawa ini yang berperan dalam proses fotosintesis tumbuhan dengan menyerap dan mengubah tenaga cahaya matahari menjadi tenaga kimia. Proses fotosintesis, terdapat 3 fungsi utama dari klorofil yaitu yg pertama memanfaatkan energy matahari, kedua memicu fiksasi CO₂ menjadi karbohidrat dan yang ketiga menyediakan dasar energetik bagi ekosistem secara keseluruhan. Karbohidrat yang dihasilkan fotosintesis melalui proses anabolisme diubah menjadi protein, lemak, asam nukleat, dan molekul organik lainnya (Muthalib, 2009).

Sifat fisik klorofil adalah menerima dan atau memantulkan cahaya dengan gelombang yang berlainan (berpendar = berfluoresensi). Klorofil banyak menyerap sinar dengan panjang gelombang antara 400-700 nm, terutama sinar merah dan biru. Sifat kimia klorofil, antara lain (1) tidak larut dalam air, melainkan larut dalam pelarut organik yang lebih polar, seperti etanol dan kloroform; (2) inti Mg akan tergeser oleh 2 atom H bila dalam suasana asam, sehingga membentuk

suatu persenyawaan yang disebut feofitin yang berwarna coklat (Dwidjoseputro, 1981).

Klorofil merupakan faktor utama yang mempengaruhi fotosintesis. Fotosintesis merupakan proses perubahan senyawa anorganik (CO_2 dan H_2O) menjadi senyawa organik (karbohidrat) dan O_2 dengan bantuan cahaya matahari. Klorofil merupakan pigmen utama yang terdapat dalam kloroplas. Klorofil menyebabkan cahaya berubah menjadi radiasi elektromagnetik pada spektrum kasat mata (visible). Misalnya, cahaya matahari mengandung semua warna spektrum kasat mata dari merah sampai violet, tetapi seluruh panjang gelombang unturnya tidak diserap dengan baik secara merata oleh klorofil. Klorofil dapat menampung energi cahaya yang diserap oleh pigmen cahaya atau pigmen lainnya melalui fotosintesis, sehingga fotosintesis disebut sebagai pigmen pusat reaksi fotosintesis. Dalam proses fotosintesis tumbuhan hanya dapat memanfaatkan sinar matahari dengan bentuk panjang gelombang antara 400-700 nm (Ai, 2011).

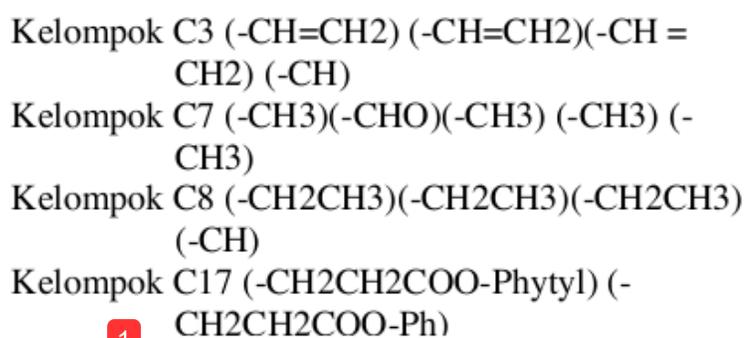
Pada tumbuhan didapatkan bermacam-macam pigmen yang berperan menyerap energi cahaya. Pigmen fotosintetis terdapat dalam kloroplas yang terdiri dari klorofil a, klorofil b, xantofil, karotenoid, bakterioklorofil pada bakteri. Pigmen ini menyerap warna atau gelombang cahaya yang berbeda-beda. Masing-masing menyerap maksimum pada gelombang cahaya tertentu. Pigmen umumnya mempunyai penyerapan maksimum pada gelombang cahaya

1

pendek dan juga panjang. Untuk memaksimalkan penyerapan energi cahaya, maka pada kloroplas terdapat kelompok pemanen cahaya yang disebut dengan antena yang terdiri dari bermacam-macam pigmen, pigmen yang paling banyak pada kloroplas adalah klorofil. Klorofil merupakan pigmen yang berwarna hijau yang terdapat pada kloroplast. Pigmen ini berguna untuk melangsungkan fotosintesis pada tumbuhan .

Aneka bentuk dan ukuran kloroplast ditemukan pada berbagai tumbuhan (Salisbury dan Ross, 1995). Pada tanaman tingkat tinggi ada 2 macam klorofil yaitu) yang berwarna hijau tua dan berwarna hijau muda. Klorofil-a dan b paling kuat menyerap cahaya di bagian merah (600-700 nm), sedangkan yang paling sedikit cahaya hijau (500-600 nm). Sedangkan cahaya berwarna biru dari spektrum tersebut diserap oleh karotenoid. Karotenoid ternyata berperan membantu mengabsorpsi cahaya sehingga spektrum matahari dapat dimanfaatkan dengan lebih baik. Energi yang diserap karotenoid diteruskan kepada klorofil-a untuk diserap digunakan dalam proses fotosintesis, demikian pula dengan klorofil-b. Perbedaan klorofil a dan b adalah pada atom C3 terdapat gugusan metil untuk klorofil a dan aldehid untuk klorofil b. karena itu keduanya mempunyai penyerapan gelombang cahaya yang berbeda. Peranan pigmen klorofil adalah dalam reaksi fotosistem. Klorofil mempunyai banyak electron yang mampu berpindah ke orbit eksitasi karena menyerap cahaya (Nurdin dalam Razione, 2013).

Klorofil a; menghasilkan warna hijau biru, klorofil b; menghasilkan warna hijau kekuningan, klorofil c; menghasilkan warna hijau coklat, klorofil d; menghasilkan warna hijau merah, klorofil a dan klorofil b paling kuat menyerap cahaya bagian merah dan ungu spektrum, cahaya hijau yang paling sedikit diserap maka apabila cahaya putih menyinari struktur-struktur yang mengandung klorofil seperti misalnya daun maka sinar hijau akan dikirimkan dan dipantulkan sehingga strukturnya tampak berwarna hijau. Karoten termasuk ke dalam kromoplas yaitu plastida yang berwarna dan mengandung pigmen selain klorofil. Klorofil c terdapat pada ganggang coklat Phaeophyta serta diatome Bacillariophyta. Rumus kimia klorofil c.



Gambar 3. Rumus kimia klorofil c
(Sumber: ¹Impbell dalam Razono, 2013)

Klorofil d terdapat pada ganggang merah Rhodophyta. Akibat adanya klorofil, tumbuhan dapat menyusun makanannya sendiri dengan bantuan cahaya matahari. Fotosintesis terjadi pada semua bagian berwarna hijau pada tumbuhan karena memiliki kloroplas, tetapi tempat utama berlangsungnya fotosintesis adalah daun. Pigmen

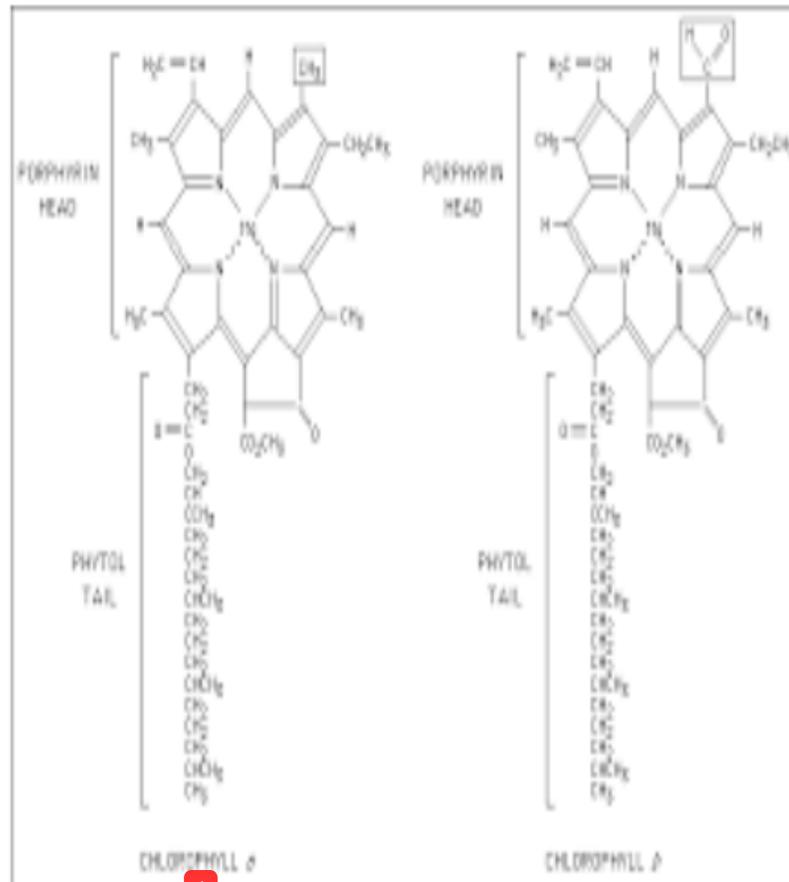
warna hijau yang terdapat pada kloroplas disebut dengan klorofil dan dari zat inilah warna daun berasal. Klorofil menyerap energi cahaya yang menggerakkan sintesis molekul makanan dalam kloroplas untuk menghasilkan energi (Campbell dalam Razione, 2013).

Kadar dari klorofil yang terkandung dalam suatu organ tumbuhan dapat diukur dengan metoda spektrofotometer. Sel penutup pada lembaran daun yang mengandung klorofil, didalam stroma pada sel tersebut akan berlangsung fotosintesis yang akan menghasilkan karbohidrat (gula). Gula tersebut menyebabkan potensial osmotik cairan sel yang menurun, potensial air juga akan menurun, dengan peristiwa itu timbul tekanan turgor yang dapat menyebabkan terbentuknya stroma (Kimball, 1988).

Selain klorofil tumbuhan juga membutuhkan cahaya untuk perkembangannya. Terdapat empat macam penerima cahaya yang dikenal dalam mempengaruhi fotomorfogenesis pada tumbuhan. Pertama, fitokrom yaitu diketahui paling kuat menyerap cahaya merah dan juga mampu menyerap cahaya biru. Kedua adalah kriptoksom, yaitu kelompok sejumlah pigmen yang serupa menyerap cahaya biru dan gelombang ultraviolet. Ketiga, penerima cahaya UV yaitu satu atau beberapa senyawa yang tidak dikenal yang menyerap radiasi ultraviolet antara kurang lebih 280-320 nm. Keempat ialah protoklorofilida, yaitu

pigmen yang menyerap cahaya merah dan biru, bias tereduksi menjadi klorofil a (Sasmitamiharjdo, *dalam* Razono, 2013).

Pada tanaman tingkat tinggi ada 2 macam klorofil yaitu klorofil-a ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) yang berwarna hijau tua dan klorofil-b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) yang berwarna hijau muda. Klorofil-a dan klorofil-b paling kuat menyerap cahaya di bagian merah (600-700 nm), sedangkan yang paling sedikit cahaya hijau (500-600 nm). Sedangkan cahaya berwarna biru diserap oleh karotenoid. Karotenoid membantu menyerap cahaya, sehingga spektrum cahaya matahari dapat dimanfaatkan dengan lebih baik. Energi yang diserap oleh klorofil b dan karotenoid diteruskan kepada klorofil a untuk digunakan dalam proses fotosintesis fase I (reaksi terang) yang terdiri dari fotosistem I dan II, demikian pula dengan klorofil b. Klorofil a paling banyak terdapat pada Fotosistem II sedangkan Klorofil b paling banyak terdapat pada Fotosistem I (Ai, 2011). Berikut ini adalah struktur fungsi klorofil a dan klorofil b:



Gambar 4. Struktur fungsi klorofil a dan klorofil b
 (Sumber: syamsulhuda-fst09.web.unair.ac.id)

Tabel 4. Perbandingan pigmen klorofil a dan klorofil b

Aspek	Klorofil a	Klorofil b
Rumus kimia	C ₅₅ H ₇₂ O ₅ N ₄ Mg	C ₅₅ H ₇₀ O ₆ N ₄ Mg
Gugus pengikat	CH ₃	CHO
Cahaya yang di serap	Cahaya biru-violet dan merah	Cahaya biru dan oranye
Absorpsi maksimum	Pada λ 673 nm	Pada λ 455-640 nm

(Sumber: Ai, 2011).

Molekul klorofil terdiri dari dua bagian yaitu kepala porfirin dan rantai hidrokarbon yang

panjang, atau ekor fitol. Porfirin adalah tetrapirrol siklik, yang terdiri dari empat nitrogen yang mengikat cincin pirol yang dihubungkan dengan empat rantai metana disebut porfin (Hopkins dalam Roziaty, 2009). Perbedaan antara struktur kedua klorofil dapat dilihat pada klorofil b yang mempunyai gugus aldehid sebagai pengganti gugus methyl pada klorofil a yang terikat pada cincin I_1 (Harbone dalam Roziaty, 2009).

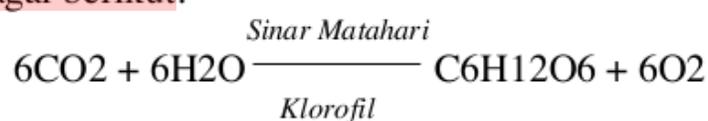
Klorofil a berperan secara langsung dalam reaksi terang, mengubah energi matahari menjadi energi kmiawi, tetapi pigmen lain dalam membran tilakoid dapat menyerap cahaya dan mentranfer energinya ke klorofil a pada reaksi terang. Salah satu pigmen aksesoris ini adalah bentuk klorofil yang lain, yaitu klorofil b. klorofil a bewarna biru-hijau sementara klorofil b bewarna kuning-hijau. Ketika foton cahaya matahari diserap oleh klorofil b, energi disalurkan ke klorofil a sehingga seolah-olah klorofil inilah yang telah menyerap foton tersebut. Pigmen aksesoris lainnya adalah karotenoid, yakni hidrokarbon yang mempunyai warna campur kuning dan jingga. Beberapa karotenoid berfungsi dalam fotoproteksi yaitu menyerap dan melepaskan energi cahaya yang berlebihan, yang jika tidak dilepas akan merusak klorofil.

1 **B. Peran Klorofil dalam Fotosintesis**

Fotosintesis merupakan suatu proses metabolisme dalam tanaman untuk membentuk karbohidrat yang menggunakan CO₂ dari udara

1

bebas dan air dari dalam tanah dengan bantuan cahaya matahari dan klorofil. Fotosintesis adalah suatu proses penyusunan senyawa kimia dengan menggunakan energi cahaya. Proses fotosintesis akan terjadi jika ada cahaya dan pigmen perantara yaitu klorofil. Klorofil bertindak untuk menarik elektron dari cahaya matahari agar terjadi fotosintesis. Struktur kimianya sama dengan heme, suatu senyawa cincin pada haemaglobin, dimana poros Fe pada heme digantikan oleh Mg. Klorofil itu bertindak sebagai pengabsorbansi energi dari sinar matahari sehingga ia berubah menjadi molekul yang berenergi tinggi, yang dapat melepaskan elektron dari molekul air dan proton dari oksigen. Reaksi kimia fotosintesis adalah sebagai berikut.



1

Ada 2 fotosistem; fotosistem klorofil 1 dan fotosistem klorofil 2. Fotosistem klorofil 1 mengabsorbansi cahaya gelombang panjang (merah), fotosistem klorofil 2 mengabsorbansi cahaya gelombang pendek yang termasuk fotosistem klorofil 1 adalah klorofil a, sedangkan yang termasuk fotosistem klorofil 2 adalah klorofil a dan b, dengan kata lain klorofil a mengabsorbansi panjang dan sedikit gelombang pendek. Klorofil b hanya mengabsorbansi cahaya gelombang pendek (Yatim dalam Arrohmah, 2007).

Fotosintesis dimulai ketika cahaya mengionisasi molekul klorofil pada fotosistem II

sehingga elektron-elektronnya terlepas dan elektron tersebut akan ditranfer sepanjang rantai transpor elektron. Energi dari elektron ini digunakan untuk fotofosforilasi yang menghasilkan ATP. Reaksi ini menyebabkan fotosistem II mengalami kekurangan elektron yang dapat dipenuhi oleh elektron dari hasil ionisasi air yang terjadi bersamaan dengan ionisasi klorofil. Hasil ionisasi air ini adalah elektron dan oksigen. Pada saat yang sama dengan ionisasi fotosistem II, cahaya juga mengionisasi fotosistem I, melepaskan elektron yang di transfer sepanjang rantai transpor elektron yang akhirnya mereduksi NADP menjadi NADPH. ATP dan NADPH yang dihasilkan dalam fotosintesis memicu berbagai proses biokimia.

Pada tumbuhan proses biokimia yang terpicu adalah siklus calvin dimana karbon dioksida diubah menjadi ribulosa (kemudian menjadi gula seperti glukosa). Reaksi ini disebut reaksi gelap karena tidak tergantung pada ada tidaknya cahaya (Arrohmah, 2007).

Ketika cahaya mengenai materi, cahaya itu dapat dipantulkan, diteruskan atau diserap. Pigmen tertentu akan menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu dan cahaya yang diserap akan hilang dengan melepaskan panas. Jika suatu pigmen disinari dengan cahaya putih, warna yang terlihat adalah warna yang dipantulkan atau diteruskan oleh pigmen yang bersangkutan. Pigmen klorofil menyerap lebih banyak cahaya tampak pada warna biru (400-450 nm) dan merah

1 (650-700 nm) dibandingkan hijau (500-600 nm). Tumbuhan dapat memperoleh seluruh kebutuhan energi mereka dari spektrum merah dan biru di dalam wilayah spektrum cahaya tampak dan pada wilayah antara 500-600 nm sangat sedikit cahaya yang diserap. Jadi warna hijau pada daun disebabkan karena klorofil menyerap cahaya merah dan biru serta meneruskan dan memantulkan cahaya hijau (Arrohmah, 2007).

C. Struktur dan Fungsi Kloroplas

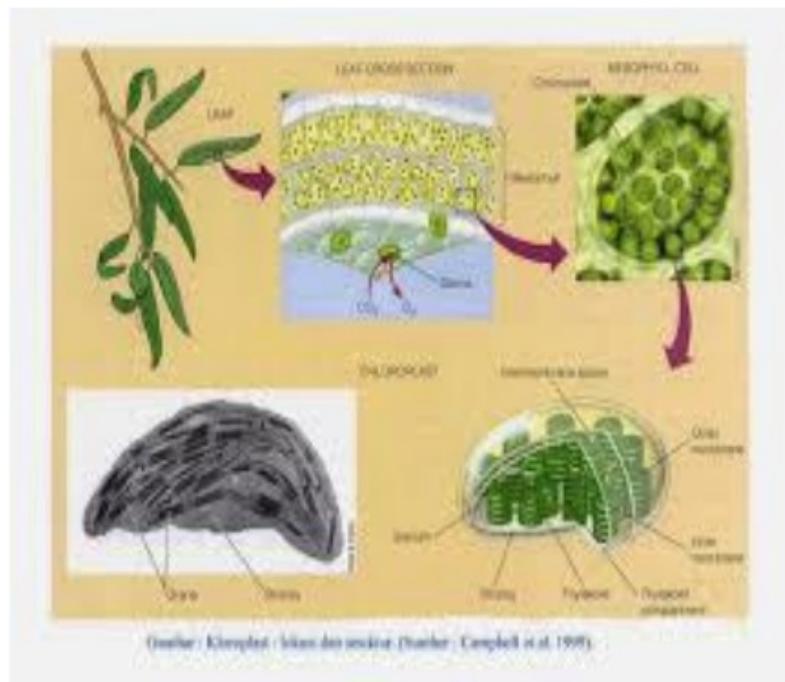
Kloroplas berasal dari proplastida kecil yaitu plastida yang belum dewasa, kecil dan hampir tak berwarna, dengan sedikit atau tanpa membran dalam. Kloroplas merupakan plastida yang mengandung pigmen hijau daun yang disebut klorofil, yang hanya terdapat dalam sel-sel tumbuhan. Klorofil pada umumnya hanya terdapat pada sel-sel batang muda, buah-buahan yang belum matang dan pada daun. Irisan melintang dari daun yang khas menyingkap beberapa lapisan jaringan yang berbeda. Sel-sel ini memiliki sedikit kloroplas oleh karena itu agak transparan sehingga agak melewatkan sebagian besar cahaya mengenainya kemudian menembus sel-sel pada lapisan berikutnya. Di bawah lapisan sel epidermis tersusun sedemikian rupa sehingga sel terbuka terhadap sinar matahari. Matahari matahari adalah sumber energi dasar untuk proses fotosintesis. Cahaya ditangkap oleh klorofil pada daun tanaman. Energi cahaya mengaktifkan beberapa proses sistem enzim yang terlibat dalam rangkaian fotosintesis (Kimball, 1988).

1

Membran ganda kloroplas dapat terlihat jelas di bawah mikroskop dan berfungsi untuk mengatur keluar masuknya ion atau senyawa dari dan ke kloroplas. Pada membran internal kloroplas terdapat pigmen fotosintesis, yang banyak pula terdapat di permukaan luar membran internal yang disebut tilakoid, yang berbentuk bulat pipih seperti kantong. Pada posisi tertentu tilakoid akan menumpuk rapi membentuk struktur yang disebut granum (jamak:grana). Tilakoid yang memanjang menghubungkan granum satu dengan yang lain di dalam matriks kloroplas yang disebut stroma (Lakitan, 2000). Pigmen utama yang terdapat di dalam membran tilakoid adalah klorofil a dan klorofil b. Selain itu, terdapat pigmen-pigmen lain seperti karotenoid dan xantofil. Membran tilakoid bersifat cair sehingga senyawa-senyawa yang ada di dalamnya relatif mobile termasuk molekul-molekul protein yang ada. Adapun fungsi yang vital dari kloroplas adalah sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis. Pigmen-pigmen di dalam membran tilakoid akan menyerap cahaya yang berasal dari matahari atau sumber-sumber cahaya lainnya, kemudian mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk ATP melalui serangkaian proses yang melibatkan eksitasi elektron.

Kloroplas adalah tempat dimana sebagian besar proses utama tumbuhan terjadi. Organel kloroplas berbentuk lensa yang berukuran 1-10 μm menunjukkan dua bagian pokok yaitu; 1) Lamela (membran) terdiri dari lamela stroma (lamela

1 ganda) dan lamela grana (lamela bertumpuk) yang keduanya merupakan bagian pekat berisi pigmen-pigmen fotosintesis, 2) Stroma, bagian cair yang kurang padat merupakan tempat terjadinya reduksi CO₂. Menurut Hopkins dalam Roziaty (2009) terdapat empat kompartemen utama kloroplas yaitu; 1) sepasang membran pembatas bagian luar, yang secara kolektif disebut selubung, 2) matriks dan bentuk yang disebut stroma, 3) struktur membrane internal yaitu tilakoid, dan 4) ruang intra tilakoid, atau lumen. Perhatikan gambar di bawah ini:



Gambar 5. Struktur kloroplas (Sumber: Wainoor.blogspot.co.id)

D. Biosintesis Klorofil

Klorofil dihasilkan dalam kloroplas pada jaringan fotosintesis daun. Prekursor dalam

pembentukan senyawa pigmen klorofil adalah senyawa intermediet, glutamat, yang mengalami deaminasi menghasilkan α -ketoglutarat, kemudian direduksi menjadi γ,δ -dioxovalerate dan mengalami transmisi asam δ amino-laevulinat (ALA), sintesis ini memerlukan ATP dan NADPH (Malkin dan Niyogi dalam Utami, 2014).

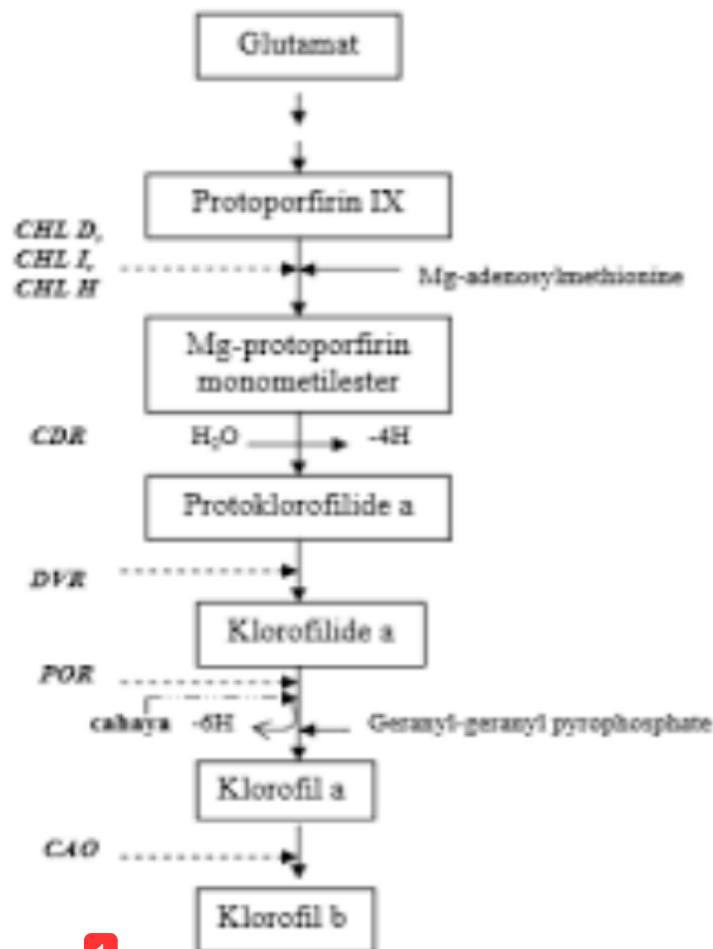
Pelepasan air dari asam amino-laevulinat menghasilkan porphobilinogen yang mengandung struktur cincin pyrrole. Selanjutnya terjadi reaksi pelepasan NH_3 dan CO_2 kemudian membentuk protoporphyrinogen. Pembentukan Mg^{2+} dan adenosylmethionine pada protoporphyrin menghasilkan Mg-protoporphyrin monomethylester. Mg pada klorofil berfungsi sebagai pengatur penyerapan spektrum. Mg-protoporphyrin monomethylester mengalami dehidrasi dan reduksi menghasilkan protochlorophyllide. Penambahan H^+ menghasilkan chlorophyllide a menjadi klorofil a, proses ini sangat dipengaruhi oleh cahaya (Lawlor dalam Utami, 2014).

Klorofil b merupakan bentuk khusus dari klorofil a. Pembentukan klorofil b membutuhkan O_2 dan NADPH_2 dengan bantuan enzim chlorophyll a oxygenasime (CAO). Pigmen klorofil menyusun sekitar 4% bobot kering kloroplas dan klorofil b berjumlah 1/3 dari klorofil a (Hall dan Rao dalam Utami, 2014). Klorofil a berperan sentral untuk menyerap dan menyalurkan energi cahaya ke pusat reaksi untuk mengeksitasi elektron. Klorofil b berfungsi sebagai pigmen antena.

Cahaya ditangkap oleh klorofil b yang bergabung dalam kompleks pemanen cahaya (LHC) kemudian ditranfer ke klorofil a dan pigmen antena lain yang berdekatan dengan pusat reaksi (Salisbury dan Ross, 1995)

Pembentukan klorofil terdapat paling kurang 3 reaksi yang dikendalikan oleh gen-gen inti yaitu: lintasan reaksi antara protoporfirin 9 dan protoklorofilide yang melibatkan gen-gen CHLD, CHLI, CHLH, CDR, perubahan protoklorofilide menjadi klorofilide yang melibatkan gen-gen seperti VDR, POR, dan lintasan sintesis klorofil b yang melibatkan gen CAO (Malkin dan Niyogi dalam Utami, 2014).

Berikut ini adalah bagan pembentukan klorofil:



Gambar 6. Lintasan reaksi pembentukan klorofil a dan klorofil b (Sumber: Malkin dan Niyogi dalam Utami, 2014)

Dua jenis klorofil yang terdapat sebagai butir-butir hijau dalam kloroplas masing-masing berwarna hijau tua untuk klorofil a dengan rumus kimia $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ dan berwarna hijau muda untuk klorofil b dengan rumus molekul $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ (Dwidjoseputro, 1981). Molekul klorofil terdiri dari dua bagian yaitu kepala porfirin dan rantai hidrokarbon yang panjang, atau ekor fitol. Porfirin adalah tetrapirrol siklik, yang terdiri dari empat nitrogen yang mengikat cincin pirol

yang dihubungkan dengan empat rantai metana disebut porfin (Hopkins dalam Roziaty, 2009). Perbedaan antara struktur kedua klorofil dapat dilihat pada klorofil b yang mempunyai gugus aldehid sebagai pengganti gugus methyl pada klorofil a yang terikat pada cincin II (Harbone dalam Roziaty, 2009).

E. Penentuan Kadar Klorofil

Salah satu cara untuk menentukan kadar klorofil daun dengan metoda atau alat spektrofotometer. Spektrofotometer termasuk dalam analisa kuantitatif yang di dasarkan pada sifat warna larutan yang terjadi, atau merupakan salah satu pembagian kalorimetri. Disini dipakai alat spektrofotometer. Metoda ini dapat digunakan apabila, sample yang di ukur harus berwarna, kestabilan warna cukup lama, intensitas warna terjadi cukup tajam, warna larutan harus bebas dari gangguan. Warna larutan yang terjadi berbanding lurus dengan konsentrasi larutan (Khopkar dalam Razione, 2013).

Cahaya yang dipantulkan atau dipancarkan oleh daun tidak efektif bagi fotosintesis, sebab untuk menghasilkan perubahan kimia cahaya itu harus diabsorpsi terlebih dahulu. Diketahui bahwa hanya bagian hijau pada tumbuhan yang melaksanakan fotosintesis daun, cukup alasan untuk menduga bahwa hanya bagian pigmen hijau kloroplaslah yang menyerap cahaya yang dipantulkan untuk proses tersebut. Cahaya yang diserap ini dapat ditentukan dengan

spektrofotometer (Dwijosepturo dalam Razono, 2013).

Penyerapan relatif untuk setiap panjang gelombang oleh pigmen dapat diukur dengan spektrofotometer. Grafik penyerapan cahaya untuk kisaran panjang gelombang tertentu disebut dengan spektrum serapan (Dermawan dalam Razono, 2013). Menurut Noggle dan Fritz dalam Razono (2013), klorofil akan memperlihatkan fluoresensi berwarna merah yang berarti warna larutan tersebut tidak hijau pada cahaya yang diluruskan dan akan merah tua pada cahaya yang dipantulkan. Pada proses fotosintesis banyak diperlukan senyawa kimia yang penting dalam mengubah cahaya menjadi energi kimia pada tumbuhan tingkat tinggi, adalah pigmen yang terdapat didalam kloroplas, melalui pigmen inilah cahaya memulai proses fotosintesis. Pigmen tersebut dalam kloroplas yaitu pada membran internal yang disebut tilakoid. Pigmen tersebut adalah klorofil a, klorofil b, dan karotenoid (Sasmitamihardjo dalam Razono, 2013). Sebagian besar spesies mengabsorpsi lebih dari 90% panjang gelombang biru. Panjang gelombang lembayung dan merah yang diabsorpsi juga dilakukan oleh kloroplas. Dalam tilakoid setiap foton dapat mengeksitasi satu elektron dalam karotenoid atau klorofil (Darmawan dalam Razono, 2013).

Warna hijau pada kloroplas disebabkan oleh adanya empat tipe utama pigmen didalamnya

yaitu klorofil a, dan klorofil b, berwarna hijau karena banyak menyerap warna lembayung dan merah dan memancarkan sinar hijau, selain klorofil dan xantofil dan karoten. Benda-benda berwarna menyerap cahaya dengan berbagai panjang gelombang sampai pada tingkat tertentu, dan warna yang timbul pada warna tersebut adalah cahaya yang diserap paling sedikit. Pada proses fotosintesis warna yang paling sedikit diserap adalah warna dengan cahaya hijau, warna inilah tersebar dipantulkan oleh tumbuhan sehingga tampak warna hijau (Sastamitamihardjo dalam Razono, 2013). Klorofil dibentuk dari kodensasi suksinil CoA beserta dengan asam amino glisin menjadi suatu senyawa. Setelah melalui beberapa tahap reaksi, selanjutnya dengan adanya fitol dan enzim klorofilase dirubah menjadi klorofil. Pada klorofil a terdapat gugusan metal, sedangkan pada klorofil b terdapat gugusan aldehid (Darmawan dalam Razono, 2013).

Kloroplas berasal dari proplastid kecil (plastid yang belum dewasa, kecil dan hampir tidak berwarna, dengan sedikit ataupun membrane dalam). Pada umumnya proplastid berasal hanya dari sel telur yang tidak terbuahi, sperma tidak berperan disini. Proplastid membelah pada saat embrio berkembang, dan berkembang menjadi kloroplas ketika daun dan batang terbentuk. Kloroplas muda juga aktif membelah, khususnya bila organ mengandung kloroplas terpanjang pada cahaya. Jadi, tiap sel dewasa sering terkandung

beberapa ratus kloroplas yang terdapat pigmen klorofil membantu proses fotosintesis organisme (Salisbury and Ross, 1995). Klorofil tidak larut dalam air, melainkan larut dalam etanol, methanol, eter, aseton, bensol dan kloroform. Untuk memisahkan klorofil a dan klorofil beserta pigmen-pigmen lain karotin, xantofil, organ menggunakan suatu teknik spektrofotometri.

F. Degradasi Klorofil

Klorofil bersifat labil terhadap pengaruh cahaya, suhu dan oksigen sehingga mudah terdegradasi menjadi molekul turunannya. Langkah awal degradasi klorofil adalah hilangnya magnesium dari molekul pusat atau hilangnya rantai ekor fitol. Ketika molekul klorofil mengalami degradasi, sejumlah molekul turunan akan terbentuk seperti pheophytins, chlorophyllides, dan phaeophorbides yang tergantung pada molekul induknya. Molekul hasil degradasi atom Mg dari klorofil adalah feofitin, dan molekul hasil degradasi rantai ekor fitol klorofil adalah klorofilida, sedangkan feoforbida terjadi ketika klorofil telah terdegradasi atom Mg serta rantai ekor fitolnya. Atau dengan kata lain, degradasi dari feofitin atau klorofilida akan menghasilkan molekul feoforbida (Carlson dalam Arrohmah, 2007).

¹G. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Klorofil

Pembentukan klorofil dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut ini:

- a. Pembawa faktor, dimana pembentukan klorofil misalnya pada pembentukan pigmen-pigmen lain seperti hewan dan manusia yang dibawah oleh suatu gen tertentu di dalam kromosom. Begitu pula dengan tanaman, jika tidak ada klorofil maka tanaman tersebut akan tampak putih (albino), contoh seperti tanaman jagung.
- b. Sinar matahari, dimana klorofil dapat terbentuk dengan adanya sinar matahari yang mengenai langsung ketanaman.
- c. Oksigen, pada tanaman yang dihasilkan dalam keadaan gelap meskipun diberikan sinar matahari tidak dapat membentuk klorofil, jika tidak diberikan oksigen.
- d. Karbohidrat ternyata dapat membantu pembentukan klorofil dalam daun-daun yang mengalami pertumbuhan. Tanpa adanya karbohidrat, maka daun-daun tersebut tidak mampu menghasilkan klorofil.
- e. Nitrogen, Magnesium, dan Besi merupakan suatu keharusan dalam pembentukan klorofil, jika kekurangan salah satu dari zat-zat tersebut akan mengakibatkan klorosis pada tumbuhan.
- f. Unsur Mn, Cu, dan Zn meskipun jumlah yang dibutuhkan hanya sedikit dalam pembentukan klorofil. Namun, jika tidak ada unsur-unsur tersebut maka tanaman akan mengalami klorosis juga.

g. Air, kekurangan air pada tumbuhan mengakibatkan desintegrasi dari klorofil seperti terjadi pada rumput dan pohon-pohon dimusim kering.

h. Temperatur 30-400C merupakan suatu kondisi yang baik untuk pembentukan klorofil pada kebanyakan tanaman, akan tetapi yang paling baik ialah pada temperatur antara 26-300C (Dwidjoseputro, 1981).

H.Dampak Logam terhadap Mekanisme Klorofil

Logam berat merupakan unsur logam yang memiliki berat molekul yang tinggi, dimana dalam kadar tinggi logam berat pada umumnya bersifat racun bagi makhluk hidup meliputi hewan, manusia, dan tumbuhan. Logam berat di lingkungan dapat membahayakan makhluk hidup jika masuk ke dalam sistem metabolisme makhluk hidup dalam jumlah yang melebihi ambang batas (Priandoko, dkk., 2013). Toksisitas timbal yang membahayakan makhluk hidup salah satunya dapat terjadi pada tumbuhan, sehingga berpengaruh terhadap mekanisme klorofil.

Olivares (2003) menyatakan bahwa terdapat hubungan antara konsentrasi logam berat terhadap perubahan kadar klorofil daun, yaitu kadar klorofil pada daun akan menurun diikuti dengan meningkatnya kandungan logam berat yang terdapat dalam lingkungan tersebut. Terjadinya perubahan kadar klorofil disebabkan

karena meningkatnya konsentrasi Pb yang berkaitan dengan kerusakan yang terjadi pada struktur kloroplas.

Paramitasari (2014) berpendapat bahwa tumbuhan kiambang merupakan salah satu gulma yang sering dijumpai di sawah atau daerah rawa, namun memiliki ketahanan tinggi untuk dapat hidup pada kondisi lingkungan dengan kualitas air yang rendah. Tumbuhan tersebut mampu menyerap logam berat dari lingkungan perairan. Faktor yang diduga dapat mempengaruhi kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi ion logam dalam jaringannya adalah lama waktu kontak tumbuhan dengan limbah tersebut.

Singh (1995) sebagaimana dikutip oleh Saygideger et al., (2004), mengemukakan bahwa mekanisme terhambatnya proses biosintesis klorofil akibat logam Pb yaitu dengan menghalangi kerja enzim yang dibutuhkan pada proses biosintesis klorofil. Salah satu enzim penting yang ikut berperan dalam biosintesis klorofil adalah asam aminolevulinic (ALAD) yang berperan mengkatalisis pembentukan porphobilinogen. Hal ini dijelaskan bahwa logam berat Pb dapat menghambat aktivitas ALAD dengan cara berikatan dengan kelompok enzim SH dan menghambat biosintesis klorofil secara keseluruhan melalui Mg^{2+} .

Hasil penelitian Widowati (2011) menunjukkan bahwa terdapat kaitan antara

akumulasi logam Cd dan Pb dengan warna hijau selada air, dengan korelasi negatif yaitu Cd dan Pb dapat mengurangi warna hijau pada daun dan batang sayuran. Semakin lama tumbuhan dipanen, maka akumulasi logam berat pada tumbuhan akan semakin tinggi, dan mengakibatkan menurunnya warna hijau pada sayuran. Menurut penelitian Monita (2013), pemberian berbagai konsentrasi logam Kadmium berpengaruh terhadap kandungan klorofil dan pertumbuhan kangkung air.

Hasil penelitian Piotrowska et al., (2009) menunjukkan bahwa tumbuhan *Wolffia arrhiza* yang diberi perlakuan dengan logam berat Pb menunjukkan adanya kondisi daun yang mengalami klorosis karena kehilangan kandungan klorofil yang diamati selama 2 minggu. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa Pb dapat menghambat kandungan klorofil pada daun, yaitu terjadi penurunan maksimum kadar klorofil a sebesar 72,7% yang diperoleh setelah pemberian $1000\mu\text{M}$ Pb pada hari ke-14 budidaya.

Selain itu Widowati (2011) melaporkan bahwa, logam berat yang terkandung dalam air yang tercemar dapat mempengaruhi bentuk morfologi dan anatomi kangkung. Hal ini terlihat dengan penurunan warna hijau pada batang dan daun tanaman yang akhirnya menguning dan mengalami klorosis, serta nekrosis pada ujung dan sisi daun sehingga dapat mengalami perubahan penurunan warna hijau, karena logam dapat

menggantikan unsur Mg dalam klorofil, suatu senyawa yang menyebabkan batang dan daun berwarna hijau. Penurunan kandungan klorofil yang terjadi dikarenakan kerusakan struktur kloroplas yang disebabkan konsentrasi logam dalam media pertumbuhan serta lamanya waktu pemaparan logam.

Berdasarkan hasil penelitian (Rane *et al*, 2016) bahwa batang tanaman kangkung air yang terpapar Brown 5R selama 12 jam terlihat sel-sel epidermis batang dan pemaparan pada 24 jam terjadi kerusakan pada bagian korteks dan disekitar lapisan epidermis mengalami degradasi sel sedangkan pada batang tanaman kangkung air yang tidak terpapar sel-selnya masih kelihatan normal atau tidak mengalami kerusakan. Selanjutnya pada organ akar kangkung air setelah pemaparan 72 jam menyatakan bahwa sel-sel pada korteks yang terakumulasi Brown 5R ukurannya sangat kecil jika dibandingkan dengan akar tanaman yang normal, serta terjadi kerusakan pada xilem dan floem. Menurut De Silva *et al.*, (2012), tanaman maple merah yang tumbuh di daerah yang tercemar logam berat mengalami penurunan jumlah stomata dan kadar klorofil. Logam Pb mampu mereduksi ukuran jaringan mesofil pada daun sehingga daun yang terkontaminasi Pb menjadi lebih tipis. Tebal mesofil mempengaruhi massa sel yang ada pada organ tanaman.

Penelitian yang dilakukan Khatimah (2006) menunjukkan serapan logam kadmium sekitar 0,31 ppm sampai 0,61 ppm pada tanaman

tomat akibat penambahan enam macam pupuk organik. Penelitian yang dilakukan Kholidiyah (2010) menunjukkan adanya respon biologis dari tanaman eceng gondok meliputi tingkat nekrosis daun, penurunan panjang akar, berat kering akar, nisbah tajuk akar, berat kering batang, dan kadar klorofil daun akibat adanya akumulasi logam berat Cd dan Pb pada tanaman tersebut. Gejala klorosis dan kerdil (*stunting*) pada pemberian dosis kadmium sebesar 32 mg/kg pada tanaman sawi hijau dan sawi putih (Susana dan Suswati, 2011).

Perubahan warna daun tembakau pada konsentrasi Cd yang tinggi mengakibatkan terjadi perubahan warna daun menjadi kuning (gambar 2). Mineral Cd tidak memiliki fungsi biologis sehingga bersifat toksik bagi makhluk hidup meskipun pada konsentrasi yang rendah. Absorpsi Cd pada daerah akar tinggi sehingga mengalami perubahan penurunan warna hijau, karena logam dapat menggantikan unsur Mg dalam klorofil (Rosidah, 2014).

BAB VII PENENTUAN PROFIL LOGAM BERAT DAN KADAR KLOORIFIL

A. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) atau Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrometri Serapan Atom (SSA) adalah suatu alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metaloid yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Teknik ini mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode spektroskopi emisi konvensional. Sebenarnya selain dengan metode serapan atom, unsur-unsur dengan energi eksitasi rendah dapat juga dianalisis dengan fotometri nyala, akan tetapi fotometri nyala tidak cocok untuk unsur-unsur dengan energi eksitasi tinggi. Fotometri nyala memiliki range ukur optimum pada panjang gelombang 400-800 nm, sedangkan AAS memiliki range ukur optimum pada panjang gelombang 200-300 nm (Scoog et al., 1992).

Prinsip dasar spektrofotometri serapan atom adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan atom. Spektrofotometri serapan atom merupakan metode yang sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah (Khopkar, 1990). Teknik ini adalah teknik yang paling umum dipakai untuk analisis unsur. Spektroskopi serapan atom merupakan metode analisis instrumental yang digunakan untuk menentukan kadar logam dalam larutan. Metode

ini didasarkan pada absorpsi cahaya oleh atom pada panjang gelombang tertentu tergantung pada jenis unsur. Pada analisis dengan SSA akan terjadi proses atomisasi yaitu sampel yang dianalisis diuraikan menjadi atom-atom netral dalam bentuk uap.

Larutan sampel disemprotkan ke suatu nyala dalam bentuk aerosol dan unsur-unsur di dalam sampel diubah menjadi uap atom sehingga nyala mengandung atom unsur-unsur yang dianalisis. Beberapa diantara atom akan tereksitasi secara termal oleh nyala, tetapi kebanyakan atom tetap tinggal sebagai atom netral dalam keadaan dasar (ground state). Atom-atom ground state ini kemudian menyerap radiasi yang diberikan oleh sumber radiasi yang sesuai dengan unsur-unsur yang bersangkutan. Panjang gelombang yang dihasilkan oleh sumber radiasi adalah sama dengan panjang gelombang yang diabsorpsi oleh atom dalam nyala. Proses atomisasi yang terjadi dalam SSA adalah sebagai berikut : larutan sampel disemprotkan dalam bentuk aerosol (kabut) ke dalam nyala/api. Mula-mula terjadi penguapan pelarut yang menghasilkan sisa partikel yang padat dan halus di dalam nyala.

Partikel-partikel padat ini kemudian berubah menjadi bentuk uap (gas), selanjutnya sebagian atau seluruhnya mengalami disosiasi menjadi atom netral. Proses ini disebabkan pengaruh langsung dari panas atau peristiwa reduksi oleh zat-zat dalam nyala. Di dalam nyala atom-atom netral mampu menyerap

(mengabsorpsi) energi cahaya yang dikenakan padanya dengan panjang gelombang yang sesuai dengan besarnya energi transisi dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi.

Untuk analisis kualitatif, metode fotometri nyala lebih disukai dari AAS, karena AAS memerlukan lampu katoda spesifik (hallow cathode). Kemonokromatisasi dalam AAS merupakan syarat utama. Suatu perubahan temperature nyala akan mengganggu proses eksitasi sehingga analisis dari fotometri nyala berfilter. Dapat dikatakan bahwa metode fotometri nyala dan AAS merupakan komplementer satu sama lainnya. Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom, atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Misalkan natrium menyerap pada 589 nm, uranium pada 358,5 nm sedangkan kalium pada 766,5 nm.

Cahaya pada gelombang ini mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat energi elektronik suatu atom. Dengan absorpsi energi, berarti memperoleh lebih banyak energi, suatu atom pada keadaan dasar dinaikkan tingkat energinya ke tingkat eksitasi. Tingkat-tingkat eksitasinya pun bermacam-macam. Misalnya unsur Na dengan nomor atom 11 mempunyai konfigurasi elektron $1s^1 2s^2 2p^6 3s^1$, tingkat dasar untuk elektron valensi 3s, artinya tidak memiliki kelebihan energi. Elektron ini dapat tereksitasi ke tingkat 3p dengan energi 2,2 eV ataupun ke tingkat 4p dengan energy 3,6 eV, masing-masing sesuai

dengan panjang gelombang sebesar 589 nm dan 330 nm. Kita dapat memilih diantara panjang gelombang ini yang menghasilkan garis spektrum yang tajam dan dengan intensitas maksimum, yang dikenal dengan garis resonansi. Garis-garis lain yang bukan garis resonansi dapat berupa pita-pita lebar ataupun garis tidak berasal dari eksitasi tingkat dasar yang disebabkan proses atomisasinya (Scoog, et al, 1992).

Apabila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom-atom bebas yang bersangkutan maka sebagian cahaya tersebut akan diserap dan intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas logam yang berada pada sel. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diturunkan dari:

- **Hukum Lambert:** bila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorpsi.
- **Hukum Beer:** Intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut.

Dari kedua hukum tersebut diperoleh suatu persamaan:

$$A = -\log \frac{I_o}{I_t} = gbc$$

Dimana:

I_0 = intensitas sumber sinar

I_t = intensitas sinar yang diteruskan

ϵ = absortivitas molar

b = panjang medium

c = konsentrasi atom-atom yang menyerap sinar

A = absorbansi

Dari persamaan di atas, dapat disimpulkan bahwa absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Day and Underwood, 2002). Hukum absorpsi sinar (Lambert-Beer) yang berlaku pada spektrofotometer absorpsi sinar ultra violet, sinar tampak maupun infra merah, juga berlaku pada Spektrometri Serapan Atom. Perbedaan analisis Spektrometri Serapan Atom dengan spektrofotometri molekul adalah peralatan dan bentuk spectrum absorpsinya (Day and Underwood, 2002):

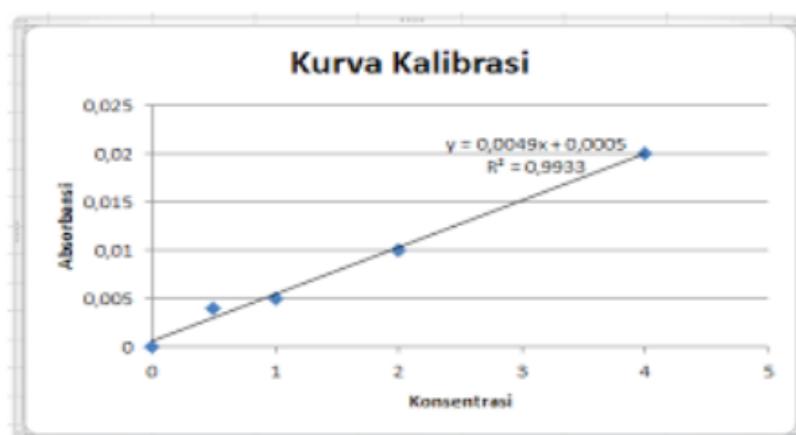
Setiap alat AAS terdiri atas tiga komponen yaitu:

- Unit atomisasi (atomisasi dengan nyala dan tanpa nyala)
- Sumber radiasi
- Sistem pengukur fotometri

Metode Kurva Kalibrasi

Analisis kuantitatif dengan kurva kalibrasi ini diperoleh dengan mengukur konsentrasi zat standar dengan absorbansi. Kurva kalibrasi diperoleh dengan mengukur absorbansi dari sederetan konsentrasi larutan standar. Untuk senyawa atau zat yang mengikuti hukum Lambert-Beer, plot antara absorbansi dengan konsentrasi

merupakan garis lurus yang mengikuti persamaan regresi linear, $y = a + bx$, dimana y adalah besar serapan, x adalah konsentrasi, b adalah slope, dan a adalah intersep. Nilai serapan larutan sampel kemudian diekstrapolasi sehingga memotong sumbu x (sumbu konsentrasi), sehingga kadar sampel dapat ditentukan (Scoog, et al, 1992). Contoh kurva kalibrasi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2. Kurva Kalibrasi

Metode Kurva kalibrasi yang ideal adalah yang mempunyai intersep (a) sama dengan nol, karena larutan tanpa sampel idealnya tidak menyerap cahaya pada panjang gelombang yang diukur.

Metode Adisi Standar

Metode ini banyak digunakan dalam analisis menggunakan SSA. Metode adisi standar digunakan apabila analit memiliki komposisi yang kompleks dan konsentrasi dari analit sangat rendah.

Pada teknik ini larutan sampel dengan volume yang sama dimasukkan kedalam masing-masing labu takar. Kemudian ditambahkan larutan standar dengan konsentrasi yang berbeda. Absorbans dari masing-masing labu takar diukur setelah diencerkan sampai volume tertentu (Sadiq, 1992).

Jika terdapat hubungan linier antara absorbans dan konsentrasi maka,

$$A_x = K C_x \dots\dots\dots (1)$$

Dan

$$A_t = K (C_s + C_x) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana

C_x = konsentrasi unsur dalam larutan sampel

C_s = konsentrasi unsur dalam larutan standar yang ditambahkan

A_x = absorbans larutan sampel

A_t = absorbans larutan sampel dan standar

K = b, slope

Dari persamaan (1) dan (2) akan diperoleh :

$$\frac{A_x}{C_x} = \frac{A_t}{(C_s + C_x)}$$

$$C_x \cdot A_t = A_x(C_s + C_x)$$

$$C_x (A_t - A_x) = C_s \cdot A_x$$

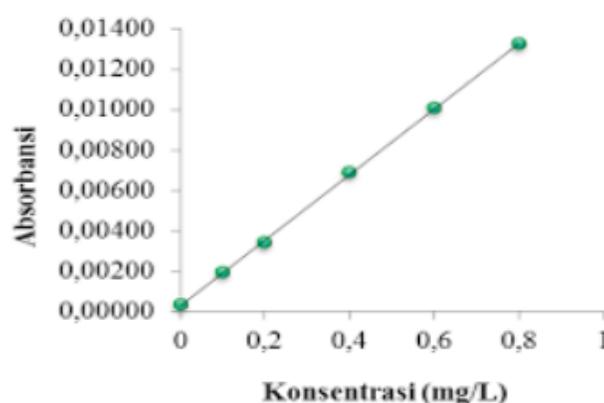
Atau,

$$\frac{C_x}{C_s} = \frac{A_x}{(A_t - A_x)} \dots\dots\dots (3)$$

Konsentrasi unsur dalam larutan sampel dapat dihitung dengan cara ekstrapolasi sampai $A_t = 0$. Dari persamaan (3) terlihat jika $A_t = 0$ maka,

$$C_x = -C_s$$

Hubungan antara konsentrasi unsur yang ditambahkan dengan absorbans dapat dilihat pada Gambar 2.3, yaitu :



Gambar 2.2 Kurva Adisi Standar

Metode Destruksi

Metode destruksi digunakan untuk melepaskan logam-logam dari sampel biologi dan lingkungan. Untuk mempercepat proses destruksi maka campuran tersebut dipanaskan pada temperatur tertentu (bergantung pada jenis logam yang dianalisis). Hasil destruksi disaring sehingga diperoleh larutan mengandung logam yang dianalisis, kemudian larutan yang diperoleh diukur dengan AAS. Ada 2 cara destruksi yang sering diterapkan pada sampel-sampel biologi dan lingkungan, yaitu:

1. Destruksi basah umumnya menggunakan asam pekat tunggal atau campuran untuk menghilangkan senyawa organik dari sampel dan untuk melepas unsur yang akan diteliti dari ikatan senyawa biologi. Asam kuat yang sering digunakan adalah asam nitrat dan asam klorida. Cara ini banyak dipakai karena logam-logam yang dianalisis relatif sedikit.
2. Destruksi kering dilakukan menggunakan pemanasan tinggi menjadi abu kemudian sampel dilarutkan dalam asam encer. Cara ini jarang dilakukan karena dapat menyebabkan hilangnya logam yang akan dianalisis terutama logam-logam yang mudah menguap (Zainudin, 1986)

B. Penentuan Profil Logam Berat dan Kadar Klorofil

➤ Konsentrasi Logam Berat Pada Air dan Sedimen

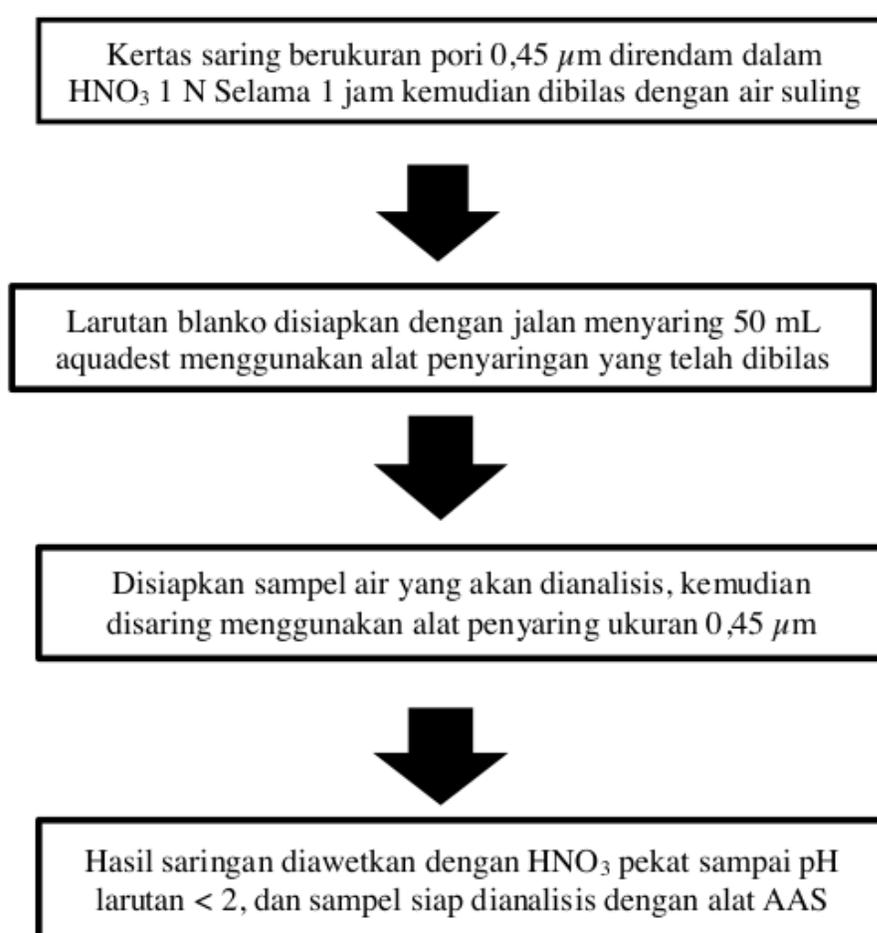
Sampel Air

Sampel air diambil dengan *Van Dorn Water sample* yang mempunyai kapasitas 2 liter, yang diambil dari permukaan. Sampel air disimpan dalam botol *polyethylen* dan disimpan dalam kotak es (*ice box*) untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium. Sebelum digunakan, botol polyethylene telah dibersihkan dengan cara direndam dalam HCl 2 N selama 24 jam dan dibilas dengan air suling bebas ion 3 kali. Sampel air yang sudah dipreparasi, selanjutnya

dianalisis kandungan logam beratnya dengan menggunakan AAS.

➤ **Analisis Kandungan Mercury (Hg) Pada Sampel Air**

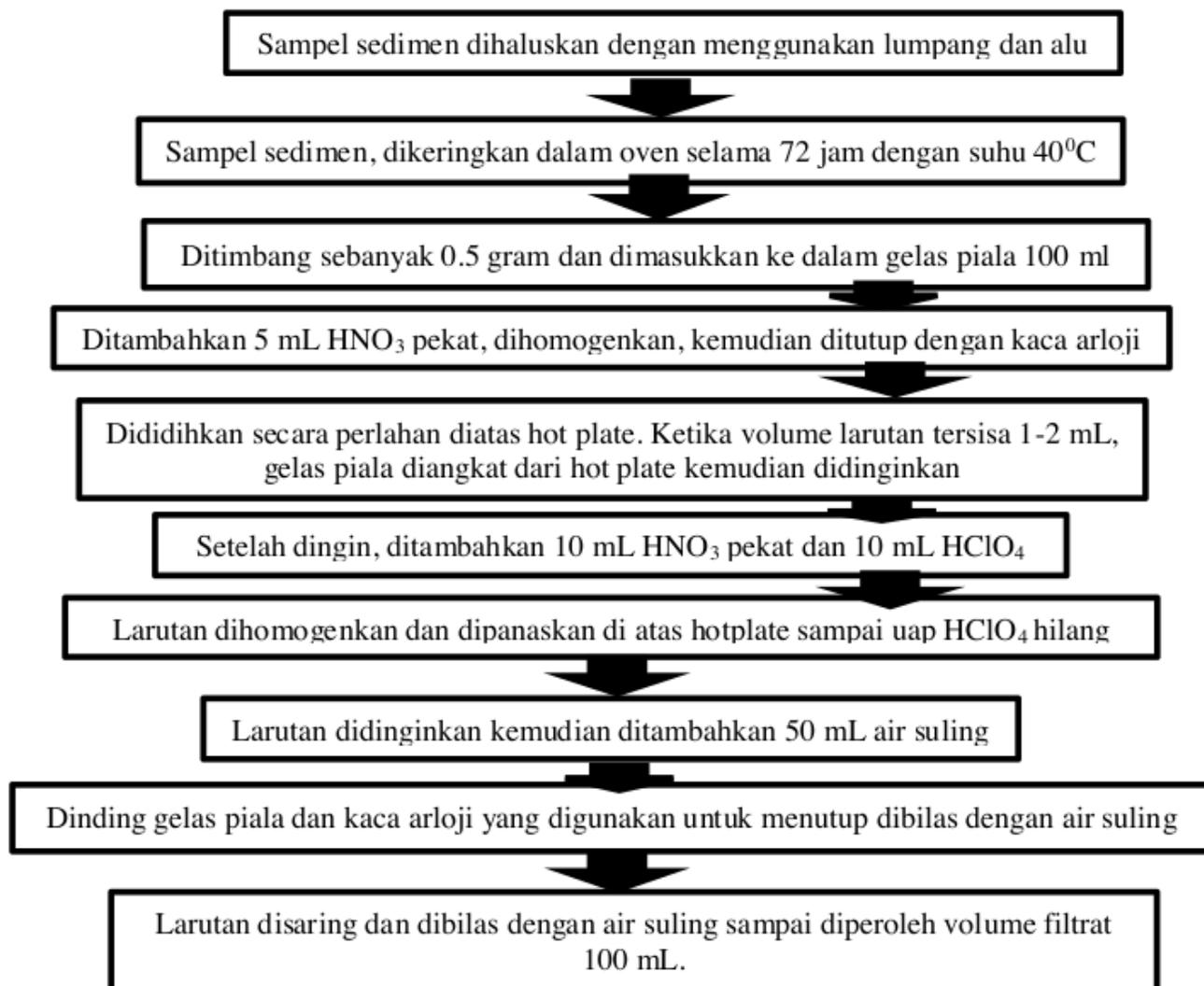
Preparasi sampel air diacu dari metode APHA 3112-B (2012), seperti yang disajikan pada Gambar 7 berikut :



Gambar 3.2. Preparasi sampel air

➤ **Analisis Kandungan Mercury (Hg) Pada Sedimen**

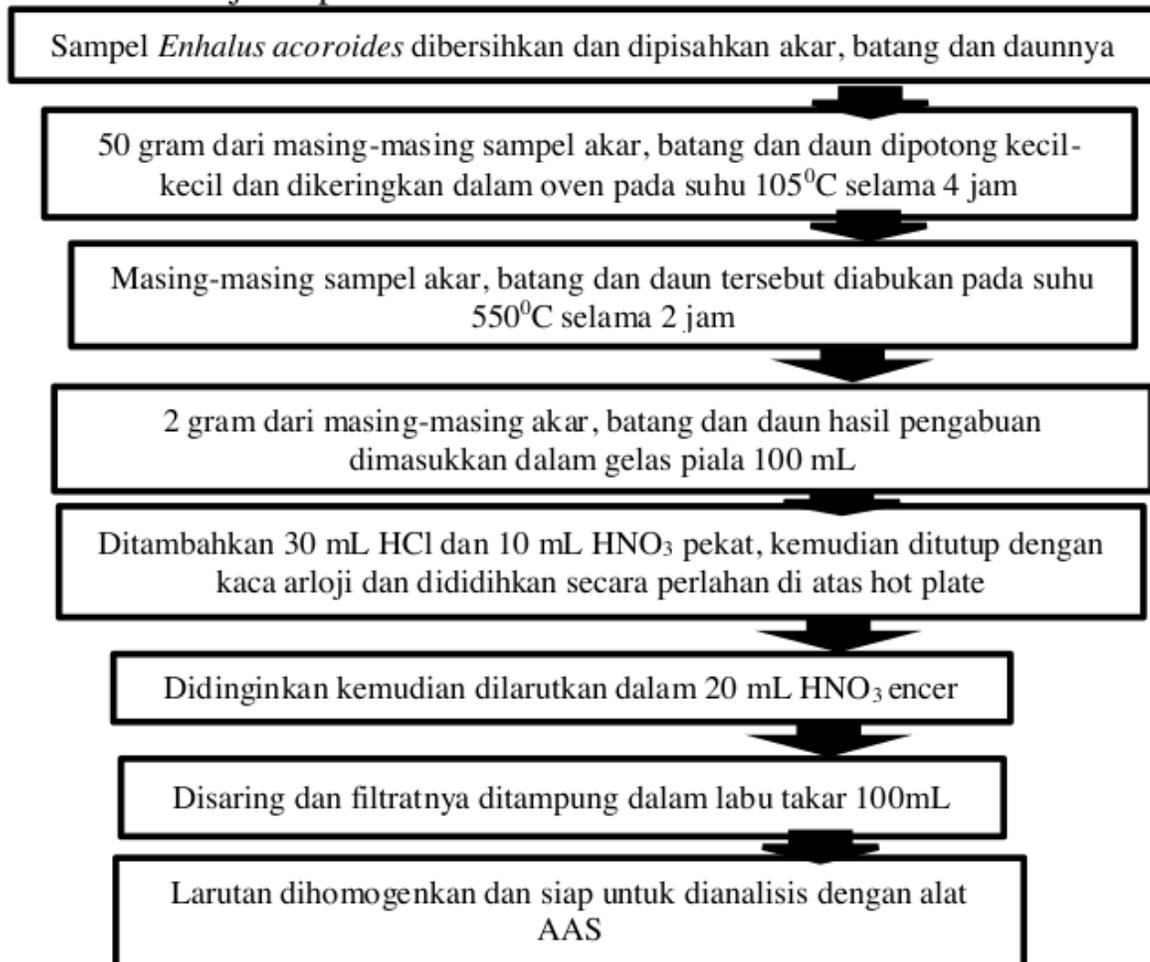
Preparasi sampel sedimen diacu dari metode APHA 3112-B (2012), seperti yang disajikan pada Gambar 8. berikut :



Gambar 3.3. Preparasi sampel sedimen

➤ **Analisis Kandungan Mercury (Hg) Pada Sampel *Enhalus acoroides***

Preparasi sampel *Enhalus acoroides* diacu dari metode APHA 3112-B (2012), seperti yang disajikan pada Gambar 3.4 berikut :



Gambar 3.4. Preparasi sampel *Enhalus acoroides*

Sampel Sedimen

Sampel sedimen diambil dengan *Ekman dredge* yang mempunyai kapasitas 2 Kg, yang diambil dari dasar perairan. Sampel sedimen disimpan dalam botol *polyethylen* dan disimpan dalam kotak es (*ice box*) untuk

dianalisis lebih lanjut di laboratorium dengan menggunakan AAS.

➤ **Pengukuran Kadar Klorofil**

- Ditimbang 1 gr daun, kemudian dihaluskan dengan mortal dan diberi alkohol 85% sebanyak 25 ml.
- Larutan disaring dengan kertas saring dan filtratnya dimasukkan ke dalam cuvet sebanyak 3 ml dengan menggunakan mikropipet.
- Cuvet dimasukkan ke dalam spektrofotometer dengan mengatur panjang gelombang 640 nm dan melakukan pengamatan absorbansi kadar klorofil yang tertera di layar spektrofotometer

Pengukuran kadar klorofil (Arnon,1949) sebagai berikut :

- 1gr daun yang masih segar dirajang kecil-kecil. Rajangan diekstrak dengan acetone 60% sebanyak 100ml, dengan cara digerus ke dalam mortal selama 5 menit. Yakinkan bahwa semua pigmen klorofil dari daun telah keluar seluruhnya yang dapat dilihat dari ampasnya yang berwarna putih.
- Ekstrak klorofil disaring dengan saringan Buchner dan selanjutnya dimasukkan ke dalam labu ukur 100ml. Acetone 80% perlu ditambahkan hanya apabila volume ekstrak dalam labu ukur belum mencapai batas 100ml.

- Dengan menggunakan cuvet, Optica Density (OD) dari ekstrak diukur dengan panjang gelombang 663nm dan 645nm.
- Konsentrasi klorofil dapat dihitung dengan rumus Arnon (1949) dengan membandingkan OD pada 663nm dan 645nm dalam sel yang tebalnya 1cm dengan menggunakan koefisien absorpsi spesifik yang telah ditentukan oleh Mac Kinner (1941) sebagai berikut :
- Klorofil Total (mg/l) = $20,2 D_{645} + 0,02 D_{663}$
- Klorofil a = $12,7 D_{663} + 2,69 D_{645}$
- Klorofil b = $22,9 D_{645} + 0,02 D_{663}$

DAFTAR PUSTAKA

- Adhitya. 2013. Estimasi Biaya Eksternal dan Willingness to Accept Masyarakat Akibat Pencemaran di Sekitar Kawasan Pabrik Gula Cepiring, Kendal. Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan. Fakultas Ekonomi dan Manajemen. Institut Pertanian Bogor
- Agus C, Sukandarrumidi, Wintolo D. 2005. Dampak limbah cair pengolahan emas terhadap kualitas air sungai dan cara mengurangi dampak dengan menggunakan zeolit: studi kasus pertambangan emas tradisional di desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, Vol. 12, No.1, Maret 2005, hal. 13-19 Pusat Studi Lingkungan Hidup Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, Indonesia
- Ahmad, F., S. Azman, M.I. Mohd Said, L. Baloo. 2015. Tropical seagrass as a bioindicator of metal accumulation. *Sains Malaysiana*, 44(2): 203–210.
- Al-Homaidan, A.A., A.A. Al-Ghanayem, A.H. Alkhalifa. 2011. Green algae as bioindicators of heavy metal pollution in Wadi Hanifah Stream, Riyadh, Saudi Arabia. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 1(1): 10–15.
- Ambo-Rappe, R., D.L. Lajus, M.J. Schreider. 2011. Heavy metal impact on growth and

- leaf asymmetry of seagrass, *Halophila ovalis*. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3(6): 149–159
- Anaka S. S., R. Deht, D. Sarker, S. K. M. Samanathan, C. P. Millas and S. Burd. 2001. Analysis of Phytochelatin Complexation in the Lead Tolerant Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash). *Environment Pollutan* (15)7 : 2173-2183.
- Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. 2000. Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Volume 1, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council. Canberra. 29p.
- American Public Health Association. 2012. Standard Methods For The Examination Of Water and Waste Water. 22th eds. Washington DC (US).
- American Water Works Assosiation and Water Pollution Control Federation.
- Arman dan Nisma. 2010. Pengaruh Umur Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Genjer (*Limnocheris flava*) terhadap Penyerapan Logam Pb, Cd dan Cu dalam Ember melakukan dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. *Farmasisains*. Volume 1 No 2 Oktober. Jurusan Farmasi F MIPA. UHAMKA. Jakarta

- Arnell, N. 2002. Hydrology and Global Environmental Change. Pearson Education Limited. U.K
- Azkab, H. 2006. Ada Apa dengan Lamun. J. Oseana., 31(3):45-55.
- Azkab, M.H. 2000. Struktur dan Fungsi pada Komunitas Lamun. Oseana, Volume XXV, Nomor 3, 2000: 9 - 17.
- Badria, S., 2007. Laju Pertumbuhan Daun Lamun Enhalus acoroides Pada Dua Substrat Berbeda Di Teluk Banten. Skripsi. Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor
- Balai Taman Nasional Kepulauan Seribu. 2007. Laporan Rehabilitasi dan Perlindungan Habitat Lamun. BTNKpS. Jakarta. 21 hlm.
- Bennett, S., Roca, G., Romero, J., and Alcoverro, T. 2011. Ecological status of seagrass ecosystems: An uncertainty analysis of the meadow classification based on the *posidonia oceanica* multivariate index (pomi). Marine Pollution Bulletin, 62:1616–1621.
- Bengen, D.G. 2004. Sinopsis ekosistem dan sumberdaya alam pesisir. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Institut Pertanian Bogor.
- Bhattacharya, B., Sarkar, S. K., and Das, R. 2003. Seasonal variations and inherent variability of selenium in marine biota of a tropical wetland exosystem: implications for

- bioindicator species. *Ecological Indicators*, 2:367–375.
- Björk M, Short F, Mcleod E, Beer S. 2008. *Managing Seagrasses for Resilience to Climate Change*: IUCN, Gland, Switzerland.
- Boran M & Altinok I. 2010. A Review of Heavy Metals in Water, Sediment and Living Organisms in The Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science* 10: 565-572
- Campbell, P. 2002. Predicting metal bioavailability-applicability of the Biotic Ligand Model; CIESM Workshop Monographs Metal and radionuclides bioaccumulation in marine organisms; CIESM, Monaco.
- Connell W, Miller G .2006. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. (diterjemahkan oleh Yanti Koestoer dan Sahati). UI Press, Jakarta. p. 366–369.
- Dahlan. 2004, *Membangun Kota Kebun Bernuansa Hutan Kota*, IPB Press, Bogor
- Dahuri, R. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia*. Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungan dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta (ID): Penerbit Universitas Indonesia.
- Dinata, A. 2004. *Waspada! Pengaruh Toksisitas Logam pada Ikan*. *Pikiran Rakyat Cyber Media*.

- Dunstan RH. 2006. Effect of the pollutants lead, zinc, hexadecane and octococane on total growth and shell growth in the akoya pearl oyster. *Pinctada imbricate*. Journal of Shellfish Research. ISSN 0730-8000.
- Effendi H. 2003. Telaahan Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta (ID): Penerbit Kanisius.
- Ekaputri, L.S. 2001. Pola penyebaran spasial dan temporal bahan organik, logam berat dan pestisida di perairan sungai Ciliwung. Disertasi Program Pascasarjana, Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, IPB. 148 hal.
- Eko Effendi. 2015. Akumulasi Logam Cu, Cd dan Pb pada Meiofauna Intertidal dan Epifit di Ekosistem Lamun Monotipic (*Enhalus acoroides*) Teluk Lampung. *AQUASAINS* (Jurnal Ilmu Perikanan dan Sumberdaya Perairan). Jurusan Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian. Universitas Lampung
- El Nemr, A., G.F. El-Said, S. Ragab, A. Khaled, A. El-Sikaily. 2016. The distribution, contamination and risk assessment of heavy metals in sediment and shellfish from the Red Sea coast, Egypt. *Chemosphere*, 165: 369–380.
- El-Moselhy KHM. 2006. Bioaccumulation of mercury in some marine organisms from Lake Timsah and bitter lakes (Suez canal,

- Egypt). *Egyptian Journal of Aquatic Research* 32 (1) :124134.
- El-Moselhy KM, Othman AI, El-Azem HA, El-Metwally MEA. 2014. Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Basic Applied Sciences*. 1: 97-105. Doi 10.1016/j.ejbas.2014.06.001.
- Endang, Y.H. 2008. Lamun (*Cymodocea rotundata*, *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides*) sebagai Bioindikator Logam Berat Timbal (Pb) di Perairan Pesisir. Disertasi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang
- Fahrudin, Muhammad, 2017. Kajian Ekologi Ekosistem Lamun sebagai Dasar Penyusunan Strategi Pengelolaan Pesisir di Desa Bahoi Sulawesi Utara. Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor
- Fardiaz, S. 2005. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fisher, N. 2003. Advantage and Problems in The Application of Radiotracer for Determining The Bioaccumulation of Contaminant in Aquatic Organism. RCM on Biomonitoring, IAEA, Monaco
- Fransisca, I., Sofyan Iskandar, Eri Arianto, Adri Ruslan. 2016. *Sistem Pengelolaan Air Limbah Terpusat Skala Permukiman*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Direktorat Jendral Cipta

- Karya. Direktorat Pengembangan
Penyehatan Lingkungan Permukiman
- Gillanders, B. M. 2006. Seagrasses, Fish, and Fisheries. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. Larkum Anthonyw. D. Netherlands: Springer
- Gobas, F.A.P.C., J.B. Wilcockson, R.W. Russel and G.D. Haffner. 1999. Mechanism of Biomagnification in Fish Under Laboratory and Field Condition. Environmental Science and Technology.
- Goksu MZL, Mustafa A, Fatma C & Oziem F. 2005. Bioaccumulation of some heavy metals (Cd, Fe, Zn, Cu) in two bivalvia species (*Pinctada radiata* Leach, 1814 and *Brachidontes pharaonis* Fischer, 1870). Arikel ilmiah. Hlm 89-93.
- Guyton A.C. and J.E. Hall. 2007. Buku Ajar Fisiologi Kedokteran. Edisi 9. Jakarta: EGC. 74,76, 80-81, 244, 248, 606,636,1070,1340.
- Hemminga, M.A and C.M. Duarte. 2000. Seagrass Ecology. Cambridge University Press. Cambridge, UK
- Ika, T., I. Said. 2011. Analisis logam timbal (Pb) dan besi (Fe) dalam air laut di wilayah pesisir Pelabuhan Ferry Taipa Kecamatan Palu Utara. Jurnal Akademi Kimia, 1(4): 181-186.
- Ismail, A, Nuva, Bryan Adha Langga Perkasa. 2011. Estimasi Nilai Kerugian Ekonomi dan Willingness to Pay Masyarakat Akibat Pencemaran Air Tanah (Studi Kasus di Kelurahan Kapuk Muara, Jakarta Utara).

- Jurnal Ekonomi Lingkungn. Volume 15/
No.2/ 2011. Institut Pertanian Bogor Ismarti,
Ismarti. Ramses Ramses, Fitrah Amelia,
Suheryanto Suheryanto. 2017. Kandungan
tembaga (Cu) dan timbal (Pb) pada lamun
Enhalus acoroides dari Perairan Batam,
Kepulauan Riau, Indonesia. Jurnal Ilmu-
Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan.
Universitas Syiah Kuala Banda Aceh
- Jaibet, J. 2007. Analisis LOgam Berat Cd, Cu dan
Pb dalam Sedimen dan Air Laut di Teluk
Salut Tuaran. Thesis (Tidak dipublikasikan).
Sekolah Sains dan Teknologi. Universitas
Malaysia Sabah
- Jason E. Hall .2002. Bioconcentration,
Bioaccumulation, and Biomagnification in
Puget Sound Biota: Assessing the Ecological
Risk of Chemical Contaminants in Puget
Sound. University of Washington Tacoma,
1900 Commerce St., Tacoma, WA 98402.
Prepared June 6, 2002. courses.washington.
- Kasim, M., A. Pratomo, dan Muzahar. 2013.
Struktur Komunitas Padang Lamun pada
Kedalaman yang Berbeda di Perairan Desa
Berakit Kabupaten Bintan. [Jurnal Perikanan
dan Kelautan]. Universitas Raja Ali Haji,
Riau. 8 hlm.
- Kawaroe. M. 2009. Perspektif Lamun Sebagai
Blue Carbon Sink di Laut. Institut Pertanian
Bogor

- Kawaroe et al. 2016. Kawaroe M, Nugraha AH, Juraij. 2016. Seagrass Ecosystem. IPB Press, Bogor.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut
- Kordi, K.M. Ghufron H. 2011. Ekosistem Lamun (Seagrass) Kordi, K.M.G.H.2011. Ekosistem Lamun (Seagrass) Fungsi, Potensi, dan Pengelolaan. Rineka Cipta. Jakarta.
- LaGrega, M.D., Phillip L. Buckingham, Jeffry C. Evans and Environmental Resources Management. 2001. Hazardous Waste Managemen. Second Edition. McGraw Hill Interntional Edition. New York.
- Lasut, M.T. 2002. Environmental Management Of Coastal. Sam Ratulangi University. Manado.
- Lasut, M.T., V.A. Kumurur, & H.F. Rares. 2005. Studi bioakumulasi dan biotransfer logam merkuri (Hg) serta induksi metallothionein pada organisme perairan laut. Laporan Akhir Kegiatan Penelitian Dasar. Pusat Penelitian Luigkungan Hidup & Sumberdaya Alam, Universitas Sam Ratulangi. 24 hal.
- LBH Bandung, Greenpeace Indonesia dan Tim peneliti Institute Of Ecology Universitas

- Padjadjaran. 2016. Konsekuensi tersembunyi: Valuasi Kerugian Ekonomi Akibat Pencemaran Industri. Jakarta
- Lee, K. S., Short, F. T., and Burdick, D. M. 2004. Development of a nutrient pollution indicator using the seagrass, *zostera marina*, along nutrient gradients in three new england estuaries. *Aquatic Botany*, 78:197–216.
- Lu FC. 2006. Toksikologi dasar: asas, organ sasaran, dan penilaian resiko. Edisi kedua. Edi Nugroho (penerjemah). UI-Press. Jakarta. xv + 429 hlm.
- Madden, C. J., Rudnick, D. T., McDonald, A. A., Cunniff, K. M., and Fourqurean, J. W. (2009). Ecological indicators for assessing and communicating seagrass status and trends in florida bay. *Ecological Indicators*, 9:568–582.
- Male, Y.T., Reiche-Brushet, A.J., Poccok, M., dan Nanlohy, A., 2013, Recent Mercury Contamination from Artisan Gold Mining on Buru Island, Indonesia-Potential Future Risks to Environmental Health and Food Safety, *Jurnal Marine Pollution Bulletin*, 77; 428-433
- Mamboya, F.A. 2007. Heavy metal contamination and toxicity studies of macroalgae from the Tanzanian Coast. Stockholm University, Stockholm.

- Manahan SE. 2002. Environmental Chemistry, Sixth Edition. Lewis Publishers. United State of America.
- Martono, H. 2005. Penanganan Kasus Keracunan Metil Merkuri di Minamata. Laporan Penelitian. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Ekologi Kesehatan, Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Ma'ruf. 2007. Analisis Konsentrasi Logam Berat pada Ikan Baronang (*Siganus sp*) dan Lingkungan Perairan untuk Pengelolaan Wilayah Pesisir Bontang. Thesis (Tidak dipublikasikan). Universitas Mulawarman
- Munzuroglu, O., Obek, E., Karatas, F. & Tatar, S. Y. 2005. Effects of Simulated Acid Rain on Vitamin A, E, and C in Strawberry (*Fragaria vesca*). Pakistan Journal of Nutrition 4(6): 402-406.
- Murtini JT. Peranginangin R. 2006. Kandungan logam berat pada kerang kepah (*Meritrix meritrix*) dan air laut di Perairan Banjarmasin. Jurnal Perikanan. 7(2): 177-184.
- Ning L, Liyuan Y, Jirui D, Xugui P. 2011. Heavy metal pollution in surface water of Linglong Gold Mining Area, China. Procedia Environment Sciences. 10: 914-917.
- Nurhayati, T., H.A. Zamzami.2014. Komposisi mineral mikro dan logam berat pada ikan bandeng dari tambak Tanjung Pasir

- Kabupaten Tangerang. *Depik*, 3(3):234–240.
- Napan, K., K. Kumarasamy, J.C. Quinn, B. Wood. 2016. Contamination levels in biomass and spent media from algal cultivation system contaminated with heavy metals. *Algal Research*, 19: 39–47.
- Nugraha, H., A. 2016. Respon Fisiologis Lamun *Thalassia hemprichii* dan *Cymodocea rotundata* terhadap Tekanan Antropogenik di Gugusan Pulau Pari Kepulauan Seribu. Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor
- Oktavianus dan IRS Salami. 2005. Uptake dan Depurasi Logam Timbal (Pb) Pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Kimia Lingkungan*, Vol.6, No.2. hal. 75 – 81
- Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L. J., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Olyarnik, S., Short, F. T., Waycott, M., and Williams, S. L. 2006. A global crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience* 56:987–996.
- Palar H. 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta (ID): PT. Rineka Cipta, hal 912, 23-37, 74-87, 116-124.
- Palar, H. 2005. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta, Jakarta.
- Panda, S.K. & Choudhury, S. 2005. Chromium Stress in Plants. *Braz. J. Plant. Physiol.*

- Panjaitan. 2009. Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon *Avicennia Marina* di Hutan Mangrove. Skripsi. (Tidak dipublikasikan). Universitas Sumatra Utara
- Patra M.; Bhowmik N.; Bandopadhyay B.; Sharma A. 2004. Comparison of Mercury, Lead and Arsenic with Respect to Genotoxic Effect on Plant System and the Development of Genetic Tolerance. *Environ. Exp. Bot.* 52: 199-223.
- Puspitasari, R. 2007. Laju Polutan Dalam Ekosistem Laut. *Oseana* Volume XXXII No 2 Tahun 2007:21-28.
- Rahayu, A. 2013. Pengaruh Kelimpahan dan Komposisi Mikroalga Epifit terhadap Pertumbuhan Lamun *Enhalus acoroides* di Pulau Pari Kepulauan Seribu Jakarta. Skripsi. UNPAD
- Rijal, M., T. Rosmawati, N. Alim, M. Amin. 2014. Bioaccumulation heavy metals lead (Pb) and cadmium (Cd) seagrass (*Enhalus acroides*) in Waai and Galala Island Ambon. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 16(2): 349–356.
- Rini, DS. 2008. Mangrove Api-Api Alternative Pengendalian Logam Berat Pesisir. Lembaga Kajian Ekologi dan Konservasi Lahan Basah. Surabaya
- Romero J, Lee K-S, Perez M, Mateo MA, Alcoverro T. 2006. Nutrient Dynamic in

- Seagrass Ecosystems. Di dalam Larkum AWD, Orth RJ, Duarte CM, Editor. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. Esplores: Springer. hal: 227
- Rompas RM. 2010. Kimia Lingkungan. Tarsito. Bandung
- Rosselli W., C. Keller and K. Boschi. 2003. Phytoextraction Capacity of Trees Growing on a Metal Contaminated Soil. Plant and Soil 256: 265-272.
- Ruhaibah. 2011. Akumulasi Logam Pb, Cu, dan Zn pada Tanaman Pelindung di Jalur Hijau Kota Banda Aceh, Tesis, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Saefrudin. 2014. Analisis Willingness to Accept Terhadap Program Relokasi Masyarakat di Kampung Pulo Kecamatan Jatinegara Jakarta Timur. Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan. Fakultas Ekonomi dan Manajemen. Institut Pertanian Bogor
- Sahetapy, S. dan Lewerissa, Y.A., 2006. Analisis Logam Berat Pb, Cd, Cr di Perairan Pantai Teluk Ambon Bagian Dalam. Lembaga Penelitian Unpatti Kumpulan Abstrak; Ambon
- Santi, Devi Nuraini. 2001. Pencemaran udara oleh timbal (Pb) Serta penanggulangannya. Fakultas Kedokteran Universitas Sumatera Utara. USU digital library
- Sanusi, H. S. 2006. Kimia Laut, Proses Fisik Kimia dan Interaksinya Dengan Lingkungan.

- Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Shafitri, Rahma Lidya. 2011. Internalisasi Biaya Eksternal Pengolahan Limbah Tahu (Studi Kasus: Desa Kalisari, Kecamatan Cilongok, Purwokerto). Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan. Fakultas Ekonomi dan Manajemen. Institut Pertanian Bogor
- Steel, R. G. D. & J. H. Torrie. 1995. Prinsip dan Prosedur Statistika. Edisi ketiga. Terjemahan: B. Sumantri. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Sitorus H. 2004. Analisis Beberapa Karakteristik Lingkungan Perairan Yang Mempengaruhi Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dalam Tubuh Kerang di Perairan Pesisir Timur Sumater Utara. Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia. Departemen MSP Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, Juni 2004. Jilid 11, No. 1. Hal: 53 – 60.
- Sofia, Diana. 2007. Respon Tanaman Kedelai (Glicine Max (L) Merril) pada Tanah Masam. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatra Utara
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2004. Air dan Limbah dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Badan Standardisasi Nasional
- Sudarmaji, dkk. 2006. Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya terhadap Kesehatan.

- Bagian Kesehatan Lingkungan FKM Universitas Airlangga Suharsono. 2005. Status Pencemaran di Teluk Jakarta dan Saran Pengelolaannya. Interaksi Daratan dan Lautan. LIPI. Jakarta
- Suheryanto, H. P., Loekitowati, dan E.Doyosi. 2013. Kajian Pencemaran Merkuri Total Di Perairan Sungai Rupit Musi Rawas Sumatera Selatan. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung; Lampung. Sumirata 2013 FMIPA UNILA. Hlm 385-39.
- Sunu, Pramudya. 2001. Melindungi Lingkungan Dengan Menerapkan ISO 14000. Gramedia Widiasarana Indonesia. Jakarta.
- Suprpti, N.H., 2008. Kandungan Chromium pada Perairan, Sedimen dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Wilayah Pantai Sekitar Muara Sayung Desa Morosari Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Bioma Vol. 10 No. 2 Hal. 36-40. ISSN: 1410-8801.
- Supriadi, D. Soedharma, dan R.F. Kaswadji., 2006. Beberapa Aspek Pertumbuhan Lamun *E. acoroides*. (Linn. F) Royle di Pulau Barrang Lompo. Makassar.
- Sudharsan, S., P. Seedeви, P. Ramasamy, N. Subhapradha, S. Vairamani, A. Shanmugam. 2012. Heavy metal accumulation in seaweeds and sea grasses along southeast coast of India. Journal of

- Chemical and Pharmaceutical Research, 4(9): 4240–4244.
- Sumardjo, Damin. 2008. Pengantar Kimia Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran. Jakarta: EGC.
- Supriharyono. 2000. Pelestarian dan Pengelolaan Sumberdaya Alam di Wilayah Pesisir Tropis. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 246 hal.
- Supriharyono. 2007. Konservasi ekosistem sumberdaya hayati di wilayah pesisir dan laut tropis. Pustaka Pelajar, Yogyakarta
- Supriyantini, E., S. Sedjati, Z. Nurfadhli. 2016. Akumulasi logam berat Zn (seng) pada lamun *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii* di Perairan Pantai Kartini Jepara. Buletin Oseanografi Marina, 5(1): 14–20.
- Supriyatno, Budi. 2000. Pengelolaan air limbah yang berwawasan lingkungan suatu strategi dan langkah penanganannya. Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol.1, No. 1, Januari 2000: 17-26
- Suresh B., and G. A. Ravishankar. 2004. Phytoremediation A Novel and Promising Approach for Enviromental Clean up. Critical Reviews in Biotechnology 24, 2-3: 97 – 110.
- Tangke, U. 2010. Ekosistem Padang Lamun (Manfaat dan Fungsi Rehabilitasi). Faperta UMMU. Ternate

- Taufik, I., S. Koesoemadinata, Sutrisno dan A. Nugraha. 2003. Tingkat akumulasi residu pestisida pertanian di perairan tambak. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*. Vol. 9 (4): 53-61.
- Taufik, I. 2005. Pengaruh lanjut bioakumulasi insektisida endosulfan terhadap pertumbuhan dan kondisi hematologis ikan mas (*Cyprinus carpio*). Tesis. Sekolah Pascasarjana, Program Studi Ilmu Perairan, IPB. 83 hal.
- Taufik, Imam. 2011. Pencemaran Pestisida pada Perairan Perikanan. Balai Riset Perikanan Budidaya Air Tawar. *Jurnal Media Akuakultur*. Volume 6 Nomor 1 Tahun 2011
- Thangaradjou, T., E.P. Nobi, E. Dilipan, K. Sivakumar, S. Susila. 2011. Heavy metal enrichment in seagrasses of Andaman Islands and its implication to the health of the coastal ecosystem. *Indian Journal of Marine Sciences*, 39(1): 85–91.
- Tuaputty, Una.S. 2014. Eksternalitas Pertambangan Emas Rakyat di Kabupaten Buru Maluku. Tesis. IPB
- Tupan, C. I., R. Azrianingsih. 2016. Accumulation and deposition of lead heavy metal in the tissues of roots, rhizomes and leaves of seagrass *Thalassia hemprichii* (Monocotyledoneae, Hydrocharitaceae). *AAFL Bioflux*, 9(3): 580–589.

- Unsworth RKF, Collier CJ, Waycott M, McKenzie LJ, Cullen-Unsworth LC. 2015. A Framework for The Resilience of Seagrass Ecosystem. *Mar Pol Bull*
- Van der Oost, R., Jonny Beyer dan Nico. P.E. Vermeulen. 2009. Fish Bioaccumulation and Biomarkers in Environmental Risk Assessment: A Review. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 13 (2009), 57-149.
- Vonk JA, Christianen MJA, Stapel J, O'Brien KR. 2015. What Lies Beneath: Why Knowledge of Belowground Biomass Dynamic is Crucial to Effective Seagrass Management. *Eco Indic.* 57:259-267.
- Warlina, Lina. 2004. Pencemaran Air: Sumber, Dampak dan Penanggulangannya. Sekolah Pasca Sarjana S3. Institut Pertanian Bogor
- Widowati W, Sastiono A, Jusuf R. R. 2008. Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Wulandari E, Herawati EY, Arfiati D. 2012. Kandungan logam berat Pb pada air laut dan tiram *Saccostrea glomerata* sebagai bioindikator kualitas Perairan Prigi-Trenggalek, Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Perikanan.* 1(1): 10-14.
- Yulianda, F. 2002. Pengenalan Lamun: Penuntun Praktikum Biologi Laut. Fakultas

Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut
Pertanian Bogor

Zhang J, Huang X, Jiang Z. 2014. Physiological Responses of The Seagrass *Thalassia hemprichii* (Ehrenb.) Aschers as Indicators of Nutrient. *Journal of Marine Pollution Bulletin*. 83 (2014) 508 -515

Zhuang P., Z. H. Ye, C. Y. Lan, Z. W. Xie and W. S. 2005. Chemically Assisted Phytoextraction of Heavy Metal Contaminated Soil Using Trees Plant Species. *Plant and Soil* 278: 153-162

BIODATA PENULIS



Nur Alim Natsir, lahir di Kalumpang Desa Tritiro Kecamatan Bontotiro Kabupaten Bulukumba Sulawesi Selatan pada Tanggal 6 Agustus 1972 anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Alm H. Muh.Natsir, BA dan Hj Siti Djanawang

Malleleang. Penulis memulai jenjang pendidikan Sekolah Dasar dan lulus Tahun 1986 di SD Negeri 134 Kalumpang, pada Tahun 1989 lulus di SMP Negeri 1 Bontotiro Kabupaten Bulukumba. Tahun 1992 lulus di SPP Negeri Rappang. Selanjutnya penulis melanjutkan studi di Fakultas Peternakan Jurusan Nutrisi Universitas Islam Malang dan menyelesaikan Sarjana Tahun 1996. Selama menempuh pendidikan S1 penulis tercatat sebagai penerima beasiswa PPA dan Supersemar. Dengan beasiswa URGE penulis melanjutkan S2 pada Program Pascasarjana MIPA Biologi Universitas Airlangga Surabaya dan lulus Tahun 2000. Selama menempuh pendidikan penulis aktif di Ikatan Mahasiswa MIPA Biologi Pascasarjana UNAIR Surabaya. Tahun 2015 penulis melanjutkan studi pada Program Pascasarjana S3 Ilmu Kelautan Dengan Minat Biologi Laut Universitas Pattimura Ambon dan sementara menyelesaikan tugas akhir disertasi. Saat ini penulis berprofesi sebagai dosen pada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan Insititut Agama Islam Negeri Ambon.

NUR ALIM NATSIR

LAMUN (KAJIAN LOGAM BERAT DAN KADAR KLOOROFIL)

ORIGINALITY REPORT

10%

SIMILARITY INDEX

10%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

eprints.umm.ac.id

Internet Source

10%

Exclude quotes On

Exclude matches < 10%

Exclude bibliography On

LAMUN (KAJIAN LOGAM BERAT DAN KADAR KLOOROFIL)

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

PAGE 23

PAGE 24

PAGE 25

PAGE 26

PAGE 27

PAGE 28

PAGE 29

PAGE 30

PAGE 31

PAGE 32

PAGE 33

PAGE 34

PAGE 35

PAGE 36

PAGE 37

PAGE 38

PAGE 39

PAGE 40

PAGE 41

PAGE 42

PAGE 43

PAGE 44

PAGE 45

PAGE 46

PAGE 47

PAGE 48

PAGE 49

PAGE 50

PAGE 51

PAGE 52

PAGE 53

PAGE 54

PAGE 55

PAGE 56

PAGE 57

PAGE 58

PAGE 59

PAGE 60

PAGE 61

PAGE 62

PAGE 63

PAGE 64

PAGE 65

PAGE 66

PAGE 67

PAGE 68

PAGE 69

PAGE 70

PAGE 71

PAGE 72

PAGE 73

PAGE 74

PAGE 75

PAGE 76

PAGE 77

PAGE 78

PAGE 79

PAGE 80

PAGE 81

PAGE 82

PAGE 83

PAGE 84

PAGE 85

PAGE 86

PAGE 87

PAGE 88

PAGE 89

PAGE 90

PAGE 91

PAGE 92

PAGE 93

PAGE 94

PAGE 95

PAGE 96

PAGE 97

PAGE 98

PAGE 99

PAGE 100

PAGE 101

PAGE 102

PAGE 103

PAGE 104

PAGE 105

PAGE 106

PAGE 107

PAGE 108

PAGE 109

PAGE 110

PAGE 111

PAGE 112

PAGE 113

PAGE 114

PAGE 115

PAGE 116

PAGE 117

PAGE 118

PAGE 119

PAGE 120

PAGE 121

PAGE 122

PAGE 123

PAGE 124

PAGE 125

PAGE 126

PAGE 127

PAGE 128

PAGE 129

PAGE 130

PAGE 131

PAGE 132

PAGE 133

PAGE 134

PAGE 135

PAGE 136

PAGE 137

PAGE 138

PAGE 139

PAGE 140

PAGE 141

PAGE 142

PAGE 143

PAGE 144

PAGE 145

PAGE 146

PAGE 147

PAGE 148

PAGE 149

PAGE 150

PAGE 151

PAGE 152

PAGE 153

PAGE 154

PAGE 155

PAGE 156

PAGE 157

PAGE 158

PAGE 159

PAGE 160

PAGE 161

PAGE 162

PAGE 163

PAGE 164

PAGE 165

PAGE 166

PAGE 167

PAGE 168

PAGE 169

PAGE 170

PAGE 171

PAGE 172

PAGE 173

PAGE 174

PAGE 175

PAGE 176

PAGE 177

PAGE 178

PAGE 179

PAGE 180
