

**ALGA PERIPHYTON EPIFIT SEBAGAI BIOMONITORING
LOGAM BERAT Hg PADA EKOSISTEM PADANG LAMUN
DI ESTUARI TALAWAAN BAJO MINAHASA UTARA**

**DISERTASI
UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN
MEMPEROLEH GELAR DOKTOR**



Oleh:

**NOVA LAURIN ISYE MOUREIN OGI
NIM. 117080100111010**

**PROGRAM DOKTOR ILMU PERIKANAN DAN KELAUTAN
MINAT PENGELOLAAN SUMBERDAYA PESISIR DAN LAUT**

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2019



DISERTASI
ALGA PERIPHYTON EPIFIT SEBAGAI BIOMONITORING LOGAM
BERAT Hg PADA EKOSISTEM PADANG LAMUN DI PERAIRAN
TALAWAAN BAJO MINAHASA UTARA

Oleh:
NOVA LAURIN ISYE MOUREIN OGI
NIM. 117080100111010

Menyetujui
Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H, MS
Promotor

Prof. Ir. Yenny Risjani, DEA., Ph.D
Ko-Promotor 1

Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MS
Ko-Promotor 2

Mengetahui,
Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya

Prof. Dr. Ir. Happy Nursyam, MS
NIP. 196003221986011001

IDENTITAS TIM PENGUJI UJIAN AKHIR DISERTASI

Judul Disertasi : Alga Periphyton Epifit sebagai Biomonitoring Logam Berat Hg pada Ekosistem Padang Lamun di Estuari Talawaan Bajo Minahasa Utara

Nama Mahasiswa : Nova Laurin Isye Mourein Ogi
 NIM : 117080100111010
 Program Studi : Ilmu Perikanan dan Kelautan
 Minat : Pengelolaan Lingkungan Pesisir dan Laut

DOSEN

Promotor : Prof.Dr. Ir. Endang Yuli H, MS
 Ko-promotor I : Prof. Ir. Yenny Risjani, DEA, Ph.D
 Ko-promotor II : Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MS

DOSEN PENGUJI

Penguji 1 : Dr. Ir. Muhamad Musa, MS
 Penguji 2 : Dr. Ir. Mohamad Fadjar, M.Sc
 Penguji 3 : Dr. Agung Pramana Warih Marhendra, MSi
 Penguji 4 : Dr. Tarzan Purnomo, MSi

Tanggal Ujian Akhir Disertasi : 19 Desember 2019



PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia Disertasi (DOKTOR) dibatalkan, serta diproses dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 19 Desember 2019
Penulis

Nova Laurin Isye Mourein Ogi
NIM. 117080100111010



RIWAYAT HIDUP



Nova Laurin Isye Mourein Ogi, Lahir di Kota Tomohon (Sulawesi Utara) pada Tanggal 25 September 1978, anak tunggal dari pasangan suami-istri Bapak Dr. Elvianus Ogi, MPd dan Ibu Dr. Mercheane V.M. Pontoh, MPd., MA. Menamatkan Sekolah Dasar pada Tahun 1990 di SD Katolik 2 St. Clara Tomohon, pada Tahun 1993 tamat SMP Kristen Eben Haezar 02 Manado, dan pada Tahun 1996 tamat dari SMA Kristen Eben Haezar Manado, kemudian pada Tahun 1996 melanjutkan pendidikan Strata 1 di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Sam Ratulangi Manado, tamat pada Tahun 2001. Pada Tahun 2010, mendapatkan gelar Magister Sains (M.Si) pada Program Pascasarja Universitas Negeri Manado Program Studi Biologi Lingkungan, dan pada Tahun 2011 diterima sebagai mahasiswa Program Doktor (S3) Ilmu perikanan di Pascasarjana Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang, dengan minat Pengelolaan Lingkungan Pesisir dan Laut. Sejak Tahun 2006 sampai sekarang, bekerja sebagai staf pengajar di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Manado .

Malang, Desember 2019
Penulis,

Nova Laurin Isye Mourein Ogi
NIM. 117080100111010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa berkat penyertaan serta perlindunganNya maka saat ini penulis dapat menyelesaikan penulisan disertasi yang berjudul: Alga Periphyton Epifit sebagai Biomonitoring Logam Berat Hg pada Ekosistem Padang Lamun di Estuari Talawaan Bajo Minahasa Utara. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sangat tinggi terhadap berbagai pihak yaitu:

- 1) Direktorat Pendidikan Tinggi Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan Beasiswa Program Pasca Sarjana (BPPS) sehingga penulis dapat menempuh perkuliahan Program Doktor di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang;
- 2) Prof. Dr. Ir. Nuhfil Hanani AR, MS., selaku Rektor Universitas Brawijaya; Prof. Dr. Ir. Happy Nursyam, MS., selaku Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya; terima kasih atas kesediaannya menerima penulis sebagai salah satu mahasiswa di Universitas Brawijaya khususnya Program studi Ilmu Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan.
- 3) Prof. Dr. Julyeta Paulina Runtuwene. MS selaku Rektor Universitas Negeri Manado; Dr. Anetha L. F. Tilaar, MSi; selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Manado; Dr. Jantje Ngangi, MP selaku Ketua Jurusan Biologi, Dr. Yermia Mocosuli, MSi selaku Ketua Program Studi Biologi, serta rekan-rekan dosen Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Manado, terima kasih atas izin, motivasi, dorongan, fasilitas dan bantuan materil yang telah diberikan kepada penulis sampai saat ini..
- 4) Dr. Ir. Anik Martinah Hariati, M.Sc., selaku Ketua Program Doktor Ilmu Perikanan dan Kelautan Universitas Brawijaya; Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh staf administrasi pada PPS Ilmu Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, terima kasih atas motivasi, fasilitas serta bantuan yang diberikan kepada penulis dalam menempuh studi.
- 5) Prof.Dr. Ir. Endang Yuli H, MS; Prof. Ir. Yenny Risjani, DEA, Ph.D dan Dr. Muhammad Mahmudi, MS, sebagai Tim Komisi Pembimbing. Terima kasih yang tak terhingga penulis ucapkan atas kesediaan beliau bertiga dalam membimbing, mengarahkan, membagi ilmu dan wawasan serta keterampilan kepada penulis sejak awal perkuliahan hingga saat ini. Beliau bertiga selalu meluangkan waktu kepada penulis untuk memberikan motivasi, semangat dan berdiskusi bersama tentang berbagai hal baik dalam bidang akademik maupun bidang kehidupan lainnya sehingga sangat bermanfaat bagi pengembangan wawasan keilmuan dan ketrampilan penulis. Penulis sampaikan kekaguman ketika beliau bertiga selalu melontarkan senyum kebanggaannya padahal penulis tahu betul bahwa tulisan yang dibuat sangat jauh dari kualitas yang diharapkan.
- 6) Para Tim Penguji Kelayakan Disertasi :. Prof. Dr. Ir. Happy Nursyam, MS; Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP; Dr. Ating Yuniarti, S.Pi., M.Aqua; Dr.Asus Maizar, S.H., S.Pi., MP; Dr. Ir. Supriatna, M.Si, yang telah memberikan saran dan masukan untuk perbaikan disertasi ini;

- 7) Para Tim Penguji Ujian Akhir Disertasi; Dr. Ir. Muhamad Musa, MS; Dr. Ir. Mohamad Fadjar, M.Sc; Dr. Agung Pramana Warih Marhendra, MSi; Dr. Tarzan Purnomo, MSi, yang telah memberikan saran dan masukan untuk perbaikan disertasi ini;
- 8) Ayah dan Ibu tercinta yang sangat penulis hormati, Dr. Elvianus Ogi, MPd dan Dr. Mercheane V.M. Pontoh, MPd, MA, sembah sujud penulis kepada beliau berdua. Penyelesaian studi pada strata yang tertinggi ini dapat dicapai berkat didikan lahiriah dan batiniah yang telah beliau berdua berikan. Pencapaian ini secara khusus penulis dedikasikan untuk ayah dan ibu tercinta yang senantiasa memberikan doa, dorongan semangat, materi dan cinta kasih yang tiada henti pada penulis sehingga mampu menyelesaikan program doktor ini. Inspirasi mami dan papi yang senantiasa hadir dalam benak dan pikiran penulis untuk segera menyelesaikan kuliah.
- 9) Suami tercinta Reza Aristharcus Israel Mawuntu, SE yang setiap saat bersedia sebagai tempat penulis berbagi suka dan duka selama menjalani studi. Motivasi serta pengorbanan yang telah diberikan mendorong penulis dalam proses studi. Anakku tercinta (alm) Zannota Ogiwilliams Mawuntu, ditengah perjuangan studi penulis, engkau boleh hadir di dunia ini menjawab kerinduan kami keluarga, walaupun akhirnya engkau menjadi malaikat kecil buat kami sekeluarga, menginspirasi penulis dalam penyelesaian proses studi. Penulis menyadari bahwa dalam kesendirian dan kesunyian ketika ditinggalkan selama penulis melaksanakan studi suami selalu berdoa yang kadangkala dihiasi dengan air mata untuk keberhasilan penulis. Biarlah kesuksesan dan keberhasilan ini adalah harga yang terbayar ketika penulis meninggalkan keluarga selama 8 tahun menempuh studi di Kota Malang.
- 10) Oma tercinta Julien Tambotto, BA. Oma yang sekaligus kupanggil oma mami, yang telah membesarkan dan menjaga saya dari kecil sampai saya bergelar Sarjana Perikanan. Bahkan sampai saat ini, masih memperdulikan saya, dengan perhatian dan kehangatan selalu mendoakan saya untuk kesuksesan ini.
- 11) Keluarga Besar Mawuntu Awuy Poluan, papa mertua (Alm) Bpk. Tony Mawuntu, ibu mertua (Almh) Dra. Magdalena Poluan, Adik-adik tercinta Keluarga Melky Mawuntu, AMd dan Prilly Pitoi, S.Pd; Henry Mawuntu dan Meyla, dan semua saudara dalam ikatan keluarga yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas seluruh dukungan yang diberikan baik materil maupun non materil sehingga memudahkan penulis dalam proses perkuliahan, penelitian, penyusunan disertasi hingga ujian akhir.
- 12) Sahabat setia, kakakku Dr. Sony A. E. Moningkey, SPt., MSi dan Ir. Jane S.I.T. Onibala, M.Sc.Agr yang selalu mendampingi dengan berbagai bantuan serta masukan yang membangun, mengingatkan untuk senantiasa bersyukur. Sepanjang studi ini beliau berdua menjadi teman diskusi yang paling diandalkan, pengalaman serta pemikiran yang jauh kedepan dipadu dengan kecerdasan yang luar biasa menjadikan penulis mampu menyelesaikan studi. Hal ini sungguh tidak terlupakan dan menjadi proses yang penuh dengan pembelajaran. Sungguh penulis bersyukur kepada Tuhan yang menghadirkan

beliau berdua sebagai sahabat yang tanpa pamrih telah sangat membantu dan meringankan langkah penulis mencapai kesuksesan ini.

- 13) Teman teman seperjuangan mahasiswa PPS Ilmu Perikanan Angkatan Tahun 2011, lebih khusus ibu Febry, pak Yuliadi dan pak Noor, yang selama ini bersama-sama berjuang di akhir penyelesaian studi memberikan semangat dan saling mendoakan untuk kesuksesan bersama, dan teman teman mahasiswa Sulawesi Utara dan tinggal bersama-sama penulis di Guest House Mahasiswa Sulawesi Utara di Kota Malang yaitu: Novita, Zusye, Sjaloom, Silvia, Nontje, Christie, Winnie, Nancy, Yolanda, Patricia, Injilia, Veronika, Abraham, Chistian, Tri, Rainma, Paul, Koko, Billy, Roof, Theo, Kindly, Jimmy, Fernando, Steven, Agustinus, Varisky, Herry, Nando, Joshua, Andre dan Agung. Terima kasih untuk bantuan serta jalinan persahabatan yang tercipta selama ini sehingga memungkinkan penulis dapat menjalani kuliah, penelitian serta penulisan disertasi. Kepada semua pihak dan relasi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuan baik yang bersifat materil maupun spiritual, teknis dan non teknis sejak penulis memulai perkuliahan hingga saat ini. Semoga harapan, doa dan semangat kita semua dapat mengantarkan kita pada kesuksesan masing-masing.

“Banyak hal sudah dibuat tapi kerja belum selesai, tiada hari tanpa kerja dan tiada hari tanpa kemajuan. Semoga hari ini lebih baik dari kemarin dan esok lebih baik dari hari ini”. Kepada pihak-pihak lainnya yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, juga penulis sampaikan penghargaan dan rasa terima kasih yang tidak terhingga; karena dengan bantuan Bapak dan Ibu semuanya maka disertasi ini dapat diselesaikan penulisannya dengan baik.

Penulis menyadari bahwa hasil disertasi ini memiliki kekurangan dan keterbatasan, namun penulis berharap semoga bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya kepada kita semua dalam melaksanakan pengabdian bagi kemajuan dan kejayaan Negara Kesatuan Republik Indonesia yang kita cintai. Amin.

Malang, Desember 2019

Penulis,

Nova Laurin Isye Mourein Ogi

NIM. 117080100111010

GLOSARIUM

AAS	:	Atomic Adsorbtion Spectrophotometer
ANOVA	:	Analisis of Variance
BCF	:	Bio Concentration Factor
DAS	:	Daerah Aliran Sungai
EPA	:	Badan Lingkungan Amerika Serikat
FAO	:	Food Agriculture Organization atau Organisasi Pangan Dunia
NMR	:	Newmont Minahasa Raya
NTU	:	Nephelometric Turbidity Unit
PT	:	Perseroan Terbatas
PCB	:	Poliklorinasi Bifenil
RE	:	Retikulum Endoplasma
SPSS	:	Statistical Package for the Social Sciences
TEM	:	Transmission Electron Microscopy
WHO	:	World Health Organization atau Organisasi Kesehatan Dunia

DAFTAR ISTILAH

Amphora	:	Spesies spons yang tergolong dalam kelas Calcarea yang merupakan bagian dari filum Porifera
Anatomi	:	Cabang dari biologi yang berhubungan dengan struktur dan organisasi dari makhluk hidup.
Anoxia	:	Kondisi sel, jaringan dan organ dalam tubuh yang kehabisan oksigen
Angiospermae	:	Tumbuhan berbunga
Antropogenic	:	Sumber pencemaran buatan yang timbul karena ada pengaruh aktifitas manusia
Au	:	Emas
Ag	:	Perak
As	:	Arsen
Bacillariophyceae	:	Alga bersifat uniseluler atau berbentuk koloni, pola persebarannya tersebar di air tawar dan air asin
Biokonsentrasi	:	Proses masuknya logam berat kedalam tubuh organisme dan lingkungan tempat hidup organisme tersebut
Cd	:	Cadmium
Cu	:	Tembaga

-COOH	:	Gugus karbohidrat
Cr	:	Khrom
Daya Serap Logam	:	Kemampuan atau kekuatan logam untuk bertindak dalam menyerap.
Endodermis	:	Pusat lapisan korteks terdalam pada tanaman darat. Ini adalah silinder sel hidup yang kompak, dinding radial yang diresapi dengan zat hidrofobik untuk membatasi aliran air apoplastik ke dalam.
Estuari	:	Badan air setengah tertutup di wilayah pesisir, dengan satu sungai atau lebih yang mengalir masuk ke dalamnya, serta terhubung bebas dengan laut terbuka
Excitement	:	Perasaan gembira
Genus	:	Salah satu bentuk pengelompokan dalam klasifikasi makhluk hidup yang secara hierarki tingkatnya di atas spesies, tetapi lebih rendah dari pada famili.
Habitat	:	Tempat suatu makhluk hidup tinggal dan berkembang biak.
Hg	:	Merkuri
Kuadrat	:	Salah satu metode dengan bentuk sampel berupa segi empat atau lingkaran dengan luas tertentu
Mn	:	Mangan
Makroalga	:	kelompok alga multiseluler yang tubuhnya berupa talus yang tidak mempunyai akar, batang dan daun sejati. Kelompok tumbuhan ini hidup di perairan laut yang masih mendapat cahaya matahari dengan menempel pada substrat yang keras
Merkuri inorganik	:	Uang merkuri yang sangat berbahaya
-NH ₂	:	Amina
Ni	:	Nkel
NTU	:	Suatu alat untuk mengukur kekeruhan yang memberikan hasil dalam satuan Nephelometric Turbidity Unit (NTUs). NTUs adalah satuan standar untuk mengukur kekeruhan
Parameter	:	Kondisi dan dinamika perairan laut secara fisik, biologi, dan kimia
Oceanografi	:	
Pb	:	Timah hitam
Periphyton Epifitik	:	Kumpulan jasad renik hewan maupun tumbuhan-tumbuhan (seperti ganggang cyanobacteria dan mikroinvertebrata) yang hidup melekat pada tumbuhan perairan
Pt	:	Platina
pH	:	Derajat keasaman
Pseudo Nitzschia	:	Merupakan salah satu genus fitoplankton yang secara geografis memiliki sebaran yang sangat luas dan merupakan fitoplankton

Seafood
Sb
Spesies

Makanan bersumber dari laut
: Antimon
: Suatu takson yang dipakai dalam taksonomi untuk menunjuk pada satu atau beberapa kelompok individu (populasi) yang serupa dan dapat saling membuahi satu sama lain di dalam kelompoknya (saling membagi gen) namun tidak dapat dengan anggota kelompok yang lain.

Stigeoclonium

: Genus ganggang hijau dalam keluarga Chaetophoraceae.

Run off

: Aliran air permukaan daratan ke arah pantai

Toksisitas

Tingkat merusaknya suatu zat jika dipaparkan terhadap organisme dan efek terhadap substruktur organisme, seperti sel (sitotoksisitas) atau organ tubuh seperti hati (hepatotoksisitas).

Zat Hara

: Berbagai macam mineral yang terdapat di dalam tanah yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk melakukan fotosintesis

Zn

: Seng



RINGKASAN

Nama Mahasiswa: Nova Laurin Isye Mourein Ogi, NIM : 117080100111010
Program Doktor Ilmu Perikanan dan Kelautan, Program Pascasarjana Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang, Desember 2019,
“Alga Periphyton Epifit sebagai Biomonitoring Logam Berat Hg pada Ekosistem Padang Lamun di Estuari Talawaan Bajo Minahasa Utara”, Komisi Pembimbing/Promotor : Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H, MS., Ko-Promotor I : Prof. Ir. Yenny Risjani, DEA, Ph.D., Ko-Promotor II : Dr. Muhammad Mahmudi, MS.

Perifiton yang hidup menempel pada daun lamun umumnya merupakan sumber energi autochthonous di perairan dan memiliki peran yang besar dalam sistem rantai makanan yang mendukung produktivitas primer padang lamun. Karena itu tumbuhan ini dapat menjadi indikator ekologis karena mampu merespon (*biomonitoring*) penyebaran logam-logam berat di dalam lingkungan perairan.

Bebepa penelitian terdahulu telah ditemukan kesamaan pola penyebaran logam-logam berat seperti Arsen (As), Antimon (Sb), dan Merkuri (Hg) dan Mangan (Mn), dimana konsentrasi tertinggi logam berbahaya tersebut ditemukan di sekitar lokasi pembuangan tailing Newmont. Kegiatan-kegiatan tersebut di atas akan memberi tekanan yang cukup besar bagi suatu ekosistem terutama komunitas padang lamun di wilayah pesisir termasuk perifiton yang hidup menempel pada daun lamun sebagai bioindikator pencemaran di perairan. Oleh karena itu Disertasi ini dirancang untuk mengkaji keberadaan “Alga Periphyton Epifit sebagai Biomonitoring Logam Berat Hg pada Ekosistem Padang Lamun di Estuari Talawaan Bajo Minahasa Utara”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi spesies, kepadatan jenis alga periphyton epifit pada lamun, dan menganalisis tingkat pencemaran perairan estuari Talawaan Bajo berdasarkan bioakumulasi kandungan merkuri (Hg) pada periphyton serta menganalisis periphyton sebagai bioindikator tingkat pencemaran Hg di perairan. Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahapan. Tahapan pertama melakukan Identifikasi jenis-jenis lamun dan periphyton dan dilakukan analisis terhadap komposisi dan kepadatan; indeks keanekaragaman, keseragaman dan dominasi periphyton. Tahapan kedua penelitian ini dengan melakukan pengamatan akumulasi logam berat Hg pada skala laboratorium serta memvisualisasi sel periphyton menggunakan TEMsel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi periphyton pada daun lamun *Cymodocea rotundata*, terdiri dari 5 (lima) Famili yang terdiri dari famili Bacillariophyceae (16 genus), Cyanophyceae (3 genus), Chlorophyceae (9 genus), Dinophyceae (1 genus), dan Rhodophyceae (1 genus). Kepadatan tertinggi pada stasiun I yaitu *Cocconeis* sebesar 3,378,046 sel/cm², pada stasiun II yaitu *Navicula* sebesar 1,525,828 sel/cm², sedangkan pada stasiun III adalah *Navicula* sebesar 7,096,514 sel/cm². Sedangkan jenis perifiton makroskopis yang paling banyak ditemukan adalah dari kelas Chlorophyta yaitu *Stigeoclonium* sebesar 59,996,686 sel/cm². Hasil perhitungan indeks diversitas seluruh stasiun didapat nilai berkisar antara 2.759 – 3.006. Nilai-nilai indeks diversitas (keanekaragaman) jenis di stasiun II yaitu 2.759 menunjukkan klasifikasi rendah yang menggambarkan penyebaran individu tiap jenisnya rendah dan tekanan ekologinya tinggi sedangkan pada stasiun 3 menunjukkan klasifikasi tinggi yaitu 3.006, hal ini menunjukkan penyebaran individu tiap jenis tinggi dan tekanan ekologi tinggi.

Berdasarkan hasil perhitungan BCF(o-w) terhadap konsentrasi logam berat yang diserap oleh organisme dengan konsentrasi logam berat dalam air menunjukkan nilai BCF pada stasiun I sebesar 267.94 kali lebih besar

mengakumulasi logam Hg di air, Stasiun II 526.95 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air dan stasiun III 589.51 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air. Sedangkan hasil perhitungan (BCF p-l) yaitu perbandingan antara konsentrasi logam berat yang diserap oleh *Stigeoclonium* sp dengan konsentrasi logam berat dalam *Cymodocea rotundata*, didapatkan nilai BCF pada stasiun I *Stigeoclonium* sp yaitu 2.554 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di *Cymodocea rotundata*, stasiun II *Stigeoclonium* sp 4.394 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di *Cymodocea rotundata* dan Stasiun III *Stigeoclonium* sp 5.086 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di *Cymodocea rotundata*. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan kondisi lingkungan perairan estuari Talawaan Bajo tercemar logam berat Hg karena kandungan Hg yang terakumulasi pada lamun dan periphyton melebihi baku mutu untuk biota perairan. Periphyton *Stigeoclonium* sp merupakan bioindikator logam berat Hg di perairan estuari Talawaan Bajo, karena mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan perairan yang sudah terpapar logam berat Hg.



SUMMARY

Name of Student: Nova Laurin Isye Mourein Ogi, NIM : 117080100111010 Doctoral Program of Fisheries and Marine Sciences, Postgraduate Program Faculty of Fisheries and Marine Science University of Brawijaya Malang, Desember 2019, **“Periphyton Algae Epiphytes as Biomonitoring of Heavy Metal Hg in Seagrass Ecosystem in The Estuary of Talawaan Bajo, North Minahasa”**, Advisory Committee / Promoter : Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H, MS., Co-Promoter I : Prof. Ir. Yenny Risjani, DEA, Ph.D., Co-Promoter II : Dr. Muhammad Mahmudi, MS.

Periphyton, which lives attached to seagrass leaves, is generally an autochthonous energy source in waters and has a significant role in the food chain system that supports primary seagrass productivity. Therefore this plant can be an ecological indicator because it can respond (biomonitoring) the spread of heavy metals in the aquatic environment.

Several previous studies have found similar patterns of distribution of heavy metals such as Arsenic (As), Antimony (Sb), Mercury (Hg), and Manganese (Mn), where the highest concentrations of these hazardous metals found around the Newmont tailings disposal site. The activities mentioned above will put considerable pressure on an ecosystem, especially seagrass communities in coastal areas, including the periphyton that lives attached to seagrass leaves as a bioindicator of pollution in waters. Therefore this Dissertation is designed to examine the existence of “Periphyton Algae Epiphytes as Biomonitoring of Heavy Metal Hg in Seagrass Ecosystem in The Estuary of Talawaan Bajo, North Minahasa”. This study aimed to analyze species composition. After that, the density of periphyton epiphytic algae in seagrass. Then it analyzes the level of Talawaan Bajo estuarine waters based on bioaccumulation of mercury (Hg) content in periphyton. This study also analyzes periphyton as a bioindicator of Hg pollution levels in waters. This research was conducted in two stages. The first stage is to identify the types of seagrass and periphyton. Then It an analysis of composition and density carried out; index of diversity, uniformity, and dominance of periphyton. The second stage of this study was to observe the accumulation of heavy metal Hg at a laboratory scale and visualize periphyton cells using TEMcel.

The results showed that the composition of periphyton on the leaves of *Cymodocea rotundata* seagrass, consisting of 5 (five) families consisting of Bacillariophyceae (16 genera), Cyanophyceae (3 genera), Chlorophyceae (9 genera), Dinophyceae (1 genus), and Rhodophyceae (1 genus). The highest density at the station I was *Cocconeis* at 3,378,046 cells/cm², station II was *Navicula* at 1,525,828 cells/cm², while at station III was *Navicula* at 7,096,514 cells/cm². While the macroscopic periphyton type most commonly found is from the Chlorophyta class, namely *Stigeoclonium* of 59,996,686 cells/cm². The diversity index results for all stations obtained values ranging from 2,759 - 3,006. The species diversity index values at Station II, which is 2,759, showed a low classification that illustrates the distribution of individuals of each type is low and the ecological pressure is high, while at station III it showed a high classification of 3.006, this explained the distribution of individuals of each type is high and the ecological pressure is high.

Based on the BCF (o-w) calculation of the concentration of heavy metals absorbed by the organism, the concentration of heavy metals in water showed the

value of BCF at station I of 267.94 times as much as accumulating Hg metal in water, Station II 526.95 times as much as accumulating Hg metal in water and station III 589.51 times as large as accumulating Hg metal in water. While the calculation result (BCF p-l) was a ratio between the concentration of heavy metals absorbed by *Stigeoclonium* sp. and the concentration of heavy metals in *Cymodocea rotundata*. The results showed the value of BCF at Station I *Stigeoclonium* sp that is 2,554 times as much accumulating Hg metal in *Cymodocea rotundata*, Station II *Stigeoclonium* sp 4,394 times as much as accumulating Hg metal in *Cymodocea rotundata* and Station III *Stigeoclonium* sp 5,086 times as much as accumulating Hg metal in *Cymodocea rotundata*. Based on the results of the study showed that the environmental conditions of the Talawaan Bajo estuarine waters were contaminated with heavy metal Hg because the Hg content accumulated in seagrass and periphyton exceeded the quality standard for aquatic biota. Periphyton *Stigeoclonium* sp is a bio-indicator of heavy metal Hg in the Talawaan Bajo estuarine waters, being able to adapt to the environmental conditions of waters that have been exposed to heavy metal Hg.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas anugerah dan kasihNya sehingga disertasi dengan judul “Alga Periphyton Epifit sebagai Biomonitoring Logam Berat Hg pada Ekosistem Padang Lamun di Estuari Talawaan Bajo Minahasa Utara” pada Program Doktor Ilmu Perikanan dan Kelautan Program Pasca Sarjana Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya dapat diselesaikan.

Dengan selesainya disertasi ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga proposal ini dapat diselesaikan sesuai dengan waktu yang telah disediakan.

Semoga disertasi ini menjadi pedoman dan arahan yang bermanfaat bagi penulis untuk melakukan penelitian sehingga dapat mencapai tujuan dan harapan yang diinginkan.

Malang, Desember 2019

Nova Laurin Isye Mourein Ogi
NIM.117080100111010

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
IDENTITAS TIM PENGUJI UJIAN AKHIR DISERTASI.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN DISERTASI.....	iv
SERIFIKAT BEBAS PLAGIASI.....	v
RIWAYAT HIDUP.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
GLOSARIUM.....	x
RINGKASAN.....	xiii
SUMMARY.....	xv
KATA PENGANTAR.....	xvii
DAFTAR ISI.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Pencemaran Laut.....	8
2.1.1. Pengertian Logam Berat.....	9
2.1.2. Karakteristik Logam berat.....	10
2.1.3. Merkuri (Hg).....	11
2.1.4. Pencemaran Logam Berat Pada Wilayah Pesisir.....	17
2.2. Pengertian Bioakumulasi.....	22
2.2.1. Faktor Biokonsentrasi (BCF).....	28
2.2.2. Penyebab Bioakumulasi.....	29
2.2.3. Dampak Bioakumulasi.....	29
2.3. Bioindikator Pencemaran Logam Berat.....	30
2.4. Ekobiologi Periphyton.....	35
2.4.1. Terminologi Periphyton.....	35
2.4.2. Struktur Komunitas Periphyton.....	38
2.4.3. Periphyton sebagai Bioindikator Pencemaran Perairan.....	40
2.5. Morfologi dan Klasifikasi Lamun.....	43
2.6. Parameter Oseanografi yang Mempengaruhi Pertumbuhan Lamun.....	54
2.6.1. Salinitas.....	54
2.6.2. Suhu.....	55
2.6.3. Kekeruhan.....	56
2.6.4. Derajat Keasaman (pH).....	56

2.6.5.	Oksigen Terlarut (DO)	57
2.6.6.	Nitrat	58
2.6.7.	Fosfat	58
2.6.8.	Sedimen	60
BAB III KERANGKA PENELITIAN		62
3.1.	Kerangka Konsep Penelitian	62
3.2.	Kerangka Operasional Penelitian	64
BAB IV METODE PENELITIAN		68
4.1.	Lokasi Penelitian	68
4.2.	Kondisi Lingkungan Perairan	69
4.3.	Penelitian Tahap I	70
4.3.1.	Lamun	70
4.3.2.	Periphyton	74
4.3.3.	Pengumpulan Data	78
4.4.	Penelitian Tahap II. Pengamatan Akumulasi Logam Berat Hg dalam Skala Laboratorium	78
4.4.1.	Uji Logam Berat	78
4.4.2.	Uji Perlakuan Merkuri (Hg)	79
4.4.3.	Analisis Data	81
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		82
PENELITIAN TAHAP I		82
5.1	Kondisi Lingkungan Perairan	82
5.2	Struktur Komunitas Lamun	88
5.3.	Struktur Komunitas Perifiton pada <i>Cymodocea rotundata</i>	97
PENELITIAN TAHAP II		107
5.4.	Kandungan Hg (ppm) pada <i>Cymodocea rotundata</i> dan <i>Stigeoclonium</i> sp	107
5.5.	Akumulasi Kandungan Hg (ppm) pada <i>Stigeoclonium</i> sp	108
5.6.	Kemampuan Daya Serap Hg di Estuari Talawaan Bajo	111
5.7.	Visualisasi Logam Berat Hg Pada Struktur Sel Periphyton	113
5.8.	Nilai BCF	116
5.9.	Rekomendasi	122
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		120
6.1	Kesimpulan	120
6.2	Saran	120
DAFTAR PUSTAKA		121

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1	Kadar Normal dan Kadar Maksimum Logam Berat yang Masuk ke Lingkungan Laut 18
2.2	Ciri-ciri Bioindikator yang Baik..... 35
2.3	Kekayaan Jenis Sebaran Lamun di Indonesia..... 54
2.4	Penggolongan Kesuburan Perairan berdasarkan Kandungan Fosfatnya..... 60
3.1	Variabel Penelitian..... 65
4.1	Posisi Transek di Lokasi Penelitian..... 70
5.1	Parameter Lingkungan di Lokasi penelitian..... 83
5.2	Kandungan Merkuri Hg di Estuari Talawaan Bajo..... 87
5.3	Distribusi Lamun di Perairan Talawaan Bajo..... 88
5.4	Distribusi Periphyton pada Lamun <i>Cymodocea rotundata</i> 98
5.5	Nilai Indeks Kepadatan, Diversitas dan Keseragaman..... 100
5.6	Rata-rata Kadar Hg (ppm) pada <i>Cymodocea rotundata</i> di Estuari Talawaan Bajo..... 107
5.7	Rata-rata Kadar Hg (ppm) pada <i>Stigeoclonium</i> sp pada Daun Lamun <i>Cymodocea rotundata</i> 108
5.8	BCF (o-w) pada Perlakuan..... 110
5.9	Garis Besar Konsentrasi Hg di Estuari Talawaan Bajo..... 111
5.10	Rata-rata Konsentrasi Hg di Laboratorium..... 112
5.11	Nilai BCF Lamun <i>Cymodocea rotundata</i> 117
5.12	Nilai BCF <i>Stigeoclonium</i> sp 117

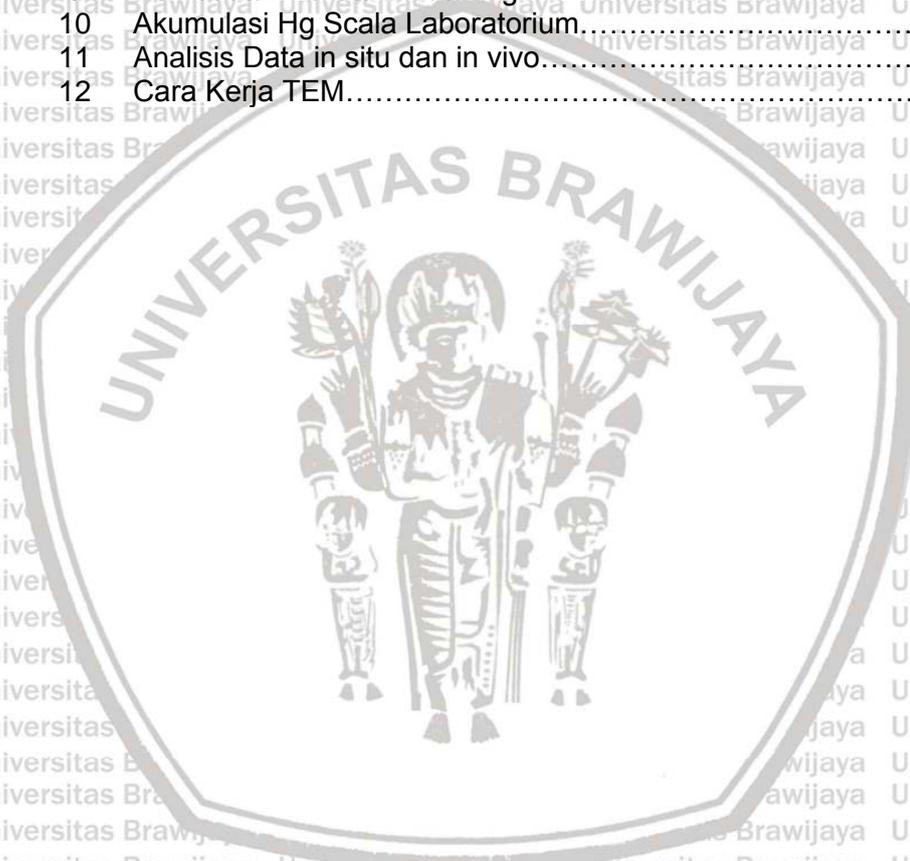
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Siklus Geokimia Merkuri.....	13
2.2. Distribusi Merkuri dan Siklus Metionin.....	14
2.3. Masuknya Polutan ke dalam Ekosistem Aquatik Dan Respon Yang Terjadi pada Tingkat Organisme Populasi Dan Komunitas.....	21
2.4. Materi Pembentukan Periphyton.....	37
2.5. Morfologi Lamun.....	44
3.1. Kerangka Konsep Penelitian.....	43
3.2. Kerangka Operasional Penelitian.....	62
4.1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel.....	69
4.2. Pemasangan Line Transek pada Tiga Stasiun.....	71
4.3. Kuadrat pengambilan Data.....	71
5.1. <i>Enhalus acoroides</i>	89
5.2. <i>Thalasia empirchii</i>	89
5.3. <i>Cymodocea rotundata</i>	90
5.4. <i>Cymodocea serrulata</i>	90
5.5. <i>Halodule uninervis</i>	91
5.6. <i>Halophila ovalis</i>	91
5.7. Jumlah Spesies Lamun di Pantai Talawaan Bajo.....	92
5.8. Jumlah Individu/M ² Lamun Total di Pantai Talawaan Bajo.....	92
5.9. Kerapatan Lamun Tiap Spesies.....	93
5.10. Frekuensi Kehadiran Relatif.....	95
5.11. Indeks Keanekaragaman Lamun.....	96
5.12. Indeks Kemerataan € dan Indeks Dominansi (D) Lamun.....	96
5.13. Kepadatan Periphyton pada Daun Lamun <i>Cymodocea rotundata</i>	100
5.14. Indeks Diversitas Periphyton pada Daun Lamun <i>Cymodocea rotundata</i>	102
5.15. Indeks Keseragaman Periphyton pada Daun Lamun <i>Cymodocea rotundata</i>	104
5.16. Indeks Dominansi Periphyton pada Daun Lamun <i>Cymodocea rotundata</i>	104
5.17. <i>Stigeoclonium</i> sp.....	106
5.18. Hg (ppm) dalam Perlakuan.....	109
5.19. Kadar Hg dalam Air, <i>Stigeoclonium</i> sp.....	112
5.20. Visualisasi TEMsel pada Konsentrasi 10 ppm dan 40ppm.....	115



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Halaman
1	Peta Lokasi Penelitian.....	138
2	Foto Penelitian.....	139
3	Indeks Ekologi Lamun.....	145
4	Indeks Ekologi Periphyton.....	150
5	Analisis Oneway ANOVA Kadar Hg Lamun <i>Cymodocea rotundata</i>	157
6	Analisis Oneway ANOVA Kadar Hg periphyton <i>Stigeoclonium</i> sp.....	161
7	Analisis Oneway ANOVA Kadar Hg pada perlakuan.....	165
8	Pembuatan Larutan Standar Hg.....	168
9	Pembuatan Larutan Induk Hg.....	169
10	Akumulasi Hg Scala Laboratorium.....	170
11	Analisis Data in situ dan in vivo.....	171
12	Cara Kerja TEM.....	173



BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Manusia menggunakan berbagai cara untuk memenuhi kebutuhannya dimana berkembangnya populasi manusia di bumi membutuhkan berbagai sarana penunjang seperti pemukiman dan energi. Peningkatan jumlah penduduk yang dibarengi dengan peningkatan pemanfaatan sumber daya disadari maupun tidak telah menimbulkan dampak negatif seperti terjadinya pencemaran pada lingkungan yang berakibat sangat buruk bagi kelangsungan hidup manusia.

Hasil industrialisasi dan pemusatan penduduk di kota besar mengakibatkan penimbunan limbah dalam jumlah yang besar (Ariens *et al.*, 1994). Limbah adalah sampah cair dari suatu lingkungan masyarakat dimana komponen utamanya adalah air dan kurang lebih 0,1 % berupa benda-benda padat yang terdiri dari zat organik dan anorganik (Mahida, 1992). Limbah berasal dari berbagai sumber antropogenik yang meliputi buangan-buangan industri, sampah, *run off* perkotaan, pabrik-pabrik pengolahan sampah, aktivitas perahu, aliran fungsida pertanian, tempat-tempat sampah rumah tangga dan kegiatan penambangan (Tamilselvan *et al.*, 2012).

Usaha pertambangan oleh sebagian masyarakat sering dianggap sebagai penyebab kerusakan dan pencemaran lingkungan. Sebagai contoh pada kegiatan usaha pertambangan emas skala kecil, pengolahan bijih emas dilakukan dengan proses amalgamasi dimana merkuri (Hg) digunakan sebagai media untuk mengikat emas tersebut. Akibat pengolahan bijih emas secara langsung yaitu proses pengecilan ukuran partikel batuan yang mengandung emas dan pengikatan emas pada partikel oleh merkuri yang dilakukan dalam satu tromol (mesin penggilingan) secara simultan, maka butir-butir merkuri yang rusak tidak efektif lagi mengikat emas sehingga untuk mencapai konversi reaksi amalgamasi sampai 100%

kemungkinan yang terjadi adalah kecil sekali karena kondisi proses yang terjadi tidak optimal sehingga akan selalu terjadi sisa Hg yang terdapat dalam limbah cair dalam bentuk butir-butir kecil molekul Hg yang rusak maupun dalam bentuk ion Hg^{2+} yang larut dalam air limbah maka limbah cair yang dibuang ke badan sungai akan selalu mengandung merkuri.

Seperti halnya yang terjadi di estuari Talawaan Bajo, khususnya kondisi perairan pada tiga lokasi penelitian (lokasi I aliran Sungai Talawaan, lokasi II estuari Talawaan Bajo dan lokasi III perairan laut di depan Desa Talawaan Bajo), secara keseluruhan masih cukup baik, kecuali untuk nilai pH pada lokasi I yang sedikit lebih rendah dari lokasi yang lain (Joseph, 2001). Sedangkan konsentrasi di perairan laut sekitar muara Sungai Talawaan sampai jarak 100 meter ke arah laut telah terkontaminasi logam merkuri yang terindikasi telah melewati batas baku mutu air. Hasil penelitian menyatakan bahwa keberadaan merkuri pada lamun berkisar 0,0034 – 0,0037 ppm. Keadaan ini disebabkan karena kegiatan penambangan emas rakyat Desa Tatelu yang sejak tahun 1950 sampai sekarang pengolahan emasnya menggunakan logam merkuri (Ngangi, 2000).

Wilayah tambang Tatelu merupakan wilayah pengelolaan sumber daya alam terutama emas yang dilakukan beberapa desa di sebagian wilayah Kecamatan Dimembe seperti Desa Talawaan, Tatelu, Warukapas, Tatelu Rondor dan Wasian. Kelima desa wilayah Tatelu tersebut masuk bagian Daerah Aliran Sungai (DAS) Talawaan. DAS Talawaan sendiri diperkirakan mempunyai luas 34.400 Ha dan secara geografis terletak pada 010 04'30" - 010 06' 55" LU dan 1240 08' 35" - 1250 0' 28". Secara administratif terletak di Kabupaten Minahasa Utara (Kecamatan Dimembe dan Kecamatan Wori) dan Kota Manado (Kecamatan Tuminting, Bunaken dan Mapanget). Desa yang termasuk dalam DAS Talawaan sebanyak 51 desa, terdiri dari 30 desa di Kabupaten Minahasa dan 21 kelurahan di

Kota Manado. Keadaan topografi wilayah DAS Talawaan pada umumnya merupakan daerah pegunungan dan berbukit-bukit yang tersebar pada wilayah sungainya. Sebagian besar areal berada pada daerah administratif Kabupaten Minahasa (80%) sedangkan 20% merupakan wilayah administratif Kota Manado. Tahun 1998 sampai Tahun 2010 luas area pertambangan sekitar 64 hektar, terdapat sekitar 150 lubang yang masih memproduksi dengan kedalaman lubang antara 30 meter sampai 150 meter. Pada area pengolahan terdapat 70 unit tromol dan 50 alat pemisah emas yang masih menggunakan logam berat merkuri. Data Tahun 2015, penambang emas berjumlah 3289 (Kosegeran dkk., 2015).

Usaha pertambangan yang menggunakan logam berat untuk memisahkan partikel-partikel emas dengan partikel yang lain oleh para penambang emas sangat berpotensi menghasilkan limbah logam berat. Logam berat bersifat tidak mudah terurai sehingga keberadaannya di alam cukup lama. Hal ini akan memberi peluang untuk terserap dan terakumulasi dalam tubuh organisme.

Contoh kasus di Teluk Buyat Kabupaten Minahasa Tenggara, Sulawesi Utara, adalah lokasi pembuangan limbah tailing milik PT. Newmont Minahasa Raya (NMR). Sejak tahun 1996, perusahaan asal Denver Amerika Serikat tersebut membuang sebanyak 2.000 ton limbah tailing ke dasar perairan Teluk Buyat setiap harinya. Sejumlah laporan penelitian telah dikeluarkan oleh berbagai pihak sejak 1999 hingga 2004. Penelitian-penelitian ini dilakukan sebagai respon atas pengaduan masyarakat nelayan setempat yang menyaksikan sejumlah ikan mati mendadak, menghilangnya beberapa jenis ikan, serta keluhan kesehatan pada masyarakat. Dari laporan-laporan penelitian tersebut, ditemukan kesamaan pola penyebaran logam-logam berat seperti Arsen (As), Antimon (Sb), dan Merkuri (Hg) dan Mangan (Mn), dimana konsentrasi tertinggi logam berbahaya tersebut ditemukan di sekitar lokasi pembuangan tailing Newmont.

Kegiatan-kegiatan tersebut di atas akan memberi tekanan yang cukup besar bagi suatu ekosistem di wilayah pesisir. Hal ini tentunya akan berpengaruh terhadap komunitas padang lamun yang ada di daerah pesisir, termasuk perifiton yang hidup menempel pada daun lamun. Keberadaan padang lamun dapat mempengaruhi struktur komunitas perifiton. Populasi serta kerapatan daun lamun mendukung sejumlah besar kehidupan organisme epifit atau periphyton dengan substrat yang cocok untuk penempelan (Zieman, 1975; Phillips dan Menez, 1988; Borowitzka dan Lethbridge, 1989; Sheppard *et al.*, 1992; Nienhuis, 1993; Azkab, 1994; Keough dan Jenkins, 1995; Tiquio dan Fortes, 1994; Tomascik *et al.*, 1997 *dalam* Zulkifli, 2000).

Perifiton yang hidup menempel pada daun lamun umumnya merupakan sumber energi *autochthonous* di perairan dan memiliki peran yang besar dalam mendukung produktivitas primer padang lamun selain komunitas lamunnya sendiri, sehingga secara total akan menambah produktivitas primer ekosistem padang lamun. Perifiton mempunyai peranan yang sangat penting dalam rantai makanan pada ekosistem padang lamun, dimana perifiton merupakan makanan alami bagi organisme lain pada tingkat trofik yang lebih tinggi. Selain berperan penting dalam produktivitas primer, perifiton juga berguna sebagai indikator ekologis (Chindah *et al.*, 2009) dan tingkat pencemaran perairan, serta dapat merespons perubahan kondisi lingkungan perairan (Economou-Amili, 1980; Boston *et al.*, 1991; Baffico dan Pedrozo, 1996; Borowitzka dan Lethbridge, 1989 *dalam* Zulkifli, 2000). Studi tentang lamun di Indonesia, khususnya di Bangka Belitung telah dilaporkan (Rosalina *et al.*, 2018a, b; 2019a,b).

Zhou *et al.*, (2008) menjelaskan bahwa biomonitoring meliputi analisis terhadap bioakumulasi, biotoksitas dan biomarker. Biomonitoring dapat dilakukan secara in-situ dengan memantau lingkungan yang dilakukan pada ekosistem alami

atau aslinya. Biomonitoring in-situ telah banyak digunakan sebagai indikator pencemaran di perairan dengan menganalisis konsentrasi logam berat pada berbagai jenis makroalga seperti *Gracilaria sp* (Komarawidjaja, 2005), bakteri *Escherichia coli*, *Vibrio cholera*, *Shigella* dan *salmonella spp* (Rodrigues *et al.*, 2010), makroinvertebrata (Pelletier *et al.*, 2010), tanaman *Eichhornia crassipes* (Purwaningsih, 2009), ikan Tinca (*Tinca L*), *Asteria rubens*, *Cyrinus carpio*, *Paracentrotus lividus* dan Bulu Babi (Shah, 2005; Temara *et al.*, 1998; Vinodhini & Narayanan, 2008; Soualili *et al.*, 2005 dalam Rumahlatu, 2011).

Kegiatan penambangan emas rakyat Tatelu dikhawatirkan akan berpengaruh pada ekosistem lamun di estuari Talawaan Bajo karena penggunaan logam berat Hg yang tidak terkontrol. Untuk itu perlu dilakukan kajian sejauh mana kadar Hg tersebut mempengaruhi ekosistem dengan melihat akumulasi Hg pada perifiton.

1.2. Perumusan Masalah

Salah satu kegiatan manusia yang memiliki dampak adalah aktivitas penambangan emas di desa Tatelu, Kecamatan Dimembe, Kabupaten Minahasa Utara. Dalam pengolahan bijih emas para penambang menggunakan logam berat merkuri dan secara sengaja atau tidak melepaskannya ke sungai yang bermuara ke estuari Talawaan Bajo. Daerah ini memiliki ekosistem padang lamun yang cukup luas, dimana lamun merupakan habitat penting bagi perifiton yang berperan sebagai sumber makanan organisme laut. Buangan logam berat yang memasuki wilayah ini tentu saja akan mempengaruhi kualitas sumber daya laut yang dikonsumsi organisme ini yang diduga telah mengakumulasi logam berat. Oleh karena itu penelitian ini ditekankan untuk memonitor tingkat akumulasi logam berat

Hg terhadap komunitas lamun dan komunitas perifiton. Berdasarkan hal-hal tersebut di atas maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut;

1. Bagaimana struktur komunitas lamun dan periphyton di perairan estuari Talawaan Bajo?
2. Bagaimana tingkat pencemaran perairan estuari Talawaan Bajo berdasarkan bioakumulasi kandungan merkuri (Hg) pada periphyton?
3. Bagaimana menentukan alga periphyton sebagai bioindikator tingkat pencemaran Hg di perairan?

1.3. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk menganalisis akumulasi kandungan logam berat Hg di perairan estuari Talawaan Bajo sebagai dasar pengelolaan pesisir lautan yang berkelanjutan. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka serangkaian penelitian dilakukan dengan tujuan khusus sebagai berikut;

1. Menganalisis struktur komunitas lamun dan periphyton di perairan estuari Talawaan Bajo.
2. Menganalisis tingkat pencemaran perairan estuari Talawaan Bajo berdasarkan bioakumulasi kandungan merkuri (Hg) pada periphyton.
3. Menentukan alga periphyton sebagai bioindikator tingkat pencemaran Hg di perairan.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu;

1. Memberikan kontribusi ilmu pengetahuan tentang sumber daya periphyton secara berkelanjutan.

2. Memberikan rekomendasi kepada pemerintah mengenai aturan penambangan rakyat untuk pengelolaan pesisir dan laut secara berkelanjutan.



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pencemaran Laut

Laut Indonesia memiliki luas lebih kurang 5,6 juta km² dengan garis pantai sepanjang 80.000 km dengan potensi sumber daya, terutama perikanan laut yang cukup besar baik dari segi kuantitas maupun diversitasnya. Di sisi lain perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi memacu terjadinya pencemaran lingkungan yaitu air, tanah dan udara. Pencemaran air yang diakibatkan oleh dampak perkembangan industri harus dapat dikendalikan karena bila tidak dilakukan sejak dini akan menimbulkan permasalahan yang serius bagi kelangsungan hidup manusia maupun alam sekitarnya.

Pencemaran logam berat merupakan permasalahan yang sangat serius untuk ditangani karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Sejak kasus merkuri di Minamata Jepang pada Tahun 1953, pencemaran logam berat semakin sering terjadi dan semakin banyak dilaporkan. Badan Lingkungan Amerika Serikat (EPA) melaporkan bahwa ada 13 elemen logam berat yang diketahui berbahaya bagi lingkungan, diantaranya arsenik (As), timbal (Pb), merkuri (Hg), dan kadmium (Cd). Logam merupakan unsur esensial yang sangat dibutuhkan setiap makhluk hidup, namun beberapa diantaranya (dalam kadar tertentu) bersifat racun. Logam berat yang masuk ke sistem perairan, baik di sungai maupun lautan akan dipindahkan dari badan airnya melalui tiga proses yaitu pengendapan, adsorpsi, dan absorpsi oleh organisme-organisme perairan (Bryan, 1976 dalam Purnomo, 2008). Pada saat buangan limbah industri masuk ke dalam suatu perairan akan terjadi proses pengendapan dalam sedimen. Hal ini menyebabkan konsentrasi bahan pencemar dalam sedimen meningkat. Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi,

kemudian diserap oleh organisme hidup. Pengendapan logam berat di suatu perairan terjadi karena adanya anion karbonat hidroksida. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibanding dalam air (Hutagalung, 1991).

Pencemaran di perairan diantaranya disebabkan oleh logam berat. Logam-logam tersebut dapat mempengaruhi dan menyebabkan penyakit pada manusia, karena di dalam tubuh unsur yang berlebihan akan mengalami detoksifikasi yang membahayakan. Logam berat umumnya bersifat racun terhadap makhluk hidup walaupun beberapa diantaranya diperlukan dalam jumlah kecil. Melalui berbagai media seperti udara, makanan, maupun air yang terkontaminasi oleh logam berat maka logam tersebut dapat terdistribusi ke bagian tubuh manusia dan sebagian akan terakumulasi yang dalam jangka waktu lama dapat mencapai jumlah yang membahayakan kesehatan manusia.

2.1.1. Pengertian Logam Berat

Logam merupakan bahan pertama yang dikenal oleh manusia dan digunakan sebagai alat-alat yang berperan penting dalam sejarah peradaban manusia (Darmono, 1995). Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam organisme hidup. Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup (Palar, 2008). Dapat dikatakan semua logam berat akan meracuni tubuh makhluk hidup. Sebagai contoh adalah logam merkuri (Hg), cadmium (Cd), timah hitam (Pb) dan khrom (Cr). Meskipun semua logam berat dapat mengakibatkan keracunan atas makhluk hidup, sebagian dari logam berat

tersebut tetap dibutuhkan oleh makhluk hidup. Sebagian besar logam diketahui bersifat toksik atau racun dan sebagian diantaranya dilepaskan ke lingkungan dalam jumlah yang dapat menimbulkan resiko pada kesehatan (El-said dan Garamon, 2010). Kebutuhan tersebut berada dalam jumlah yang sedikit, tetapi bila kebutuhan dalam jumlah yang sangat kecil itu tidak terpenuhi, maka dapat berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari setiap makhluk hidup. Karena dibutuhkan dalam tubuh maka disebut logam esensial, logam esensial ini adalah tembaga (Cu), seng (Zn) dan nikel (Ni) (Palar, 2008). Berdasarkan sifat kelarutannya, terdapat 17 jenis logam berat yang termasuk esensial yang dibutuhkan oleh organisme dan ekosistem (Schutzendubel dan Polle, 2002).

Sebagian logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) merupakan zat pencemar yang berbahaya. Afinitas yang tinggi terhadap unsur S menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tak aktif. Gugus karboksilat (-COOH) dan amina (-NH₂) juga bereaksi dengan logam berat.

Kadmium, timbal, dan tembaga terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transformasi melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya (Manahan, 1977 dalam Marganof 2003).

2.1.2. Karakteristik Logam berat

Berdasarkan daya hantar panas dan listriknya, semua unsur kimia yang terdapat dalam susunan berkala unsur-unsur dapat dibagi atas dua golongan yaitu logam dan non logam. Golongan logam mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi, sedangkan golongan non logam mempunyai daya hantar panas dan listrik yang rendah. Berdasarkan densitasnya, golongan logam di bagi atas dua

golongan, yaitu golongan logam ringan dan logam berat. Golongan logam ringan (light metals) mempunyai densitas <5 , sedangkan logam berat (heavy metal) mempunyai densitas >5 (Hutagalung, 2004). Menurut Palar (2008) karakteristik dari logam berat adalah sebagai berikut:

1. Memiliki spesifikasi gravitasi yang sangat besar (> 4).
2. Mempunyai nomor atom 22 - 34 dan 40 - 50 serta unsur lantanida dan aktinida.
3. Mempunyai respon biokimia (spesifik) pada organisme hidup.

Berbeda dengan logam biasa, maka logam berat biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat dapat menjadi racun bagi tubuh makhluk hidup. Salah satu polutan yang paling berbahaya bagi kesehatan manusia adalah logam berat. WHO (*World Health Organization*) atau Organisasi Kesehatan Dunia dan FAO (*Food-Agriculture Organization*) atau Organisasi Pangan Dunia merekomendasikan untuk tidak mengkonsumsi makanan laut (*seafood*) yang tercemar logam berat. Logam berat telah lama dikenal sebagai suatu elemen yang mempunyai daya racun yang sangat potensial memiliki kemampuan terakumulasi dalam organ tubuh manusia dan bahkan tidak sedikit yang menyebabkan kematian.

2.1.3. Merkuri (Hg)

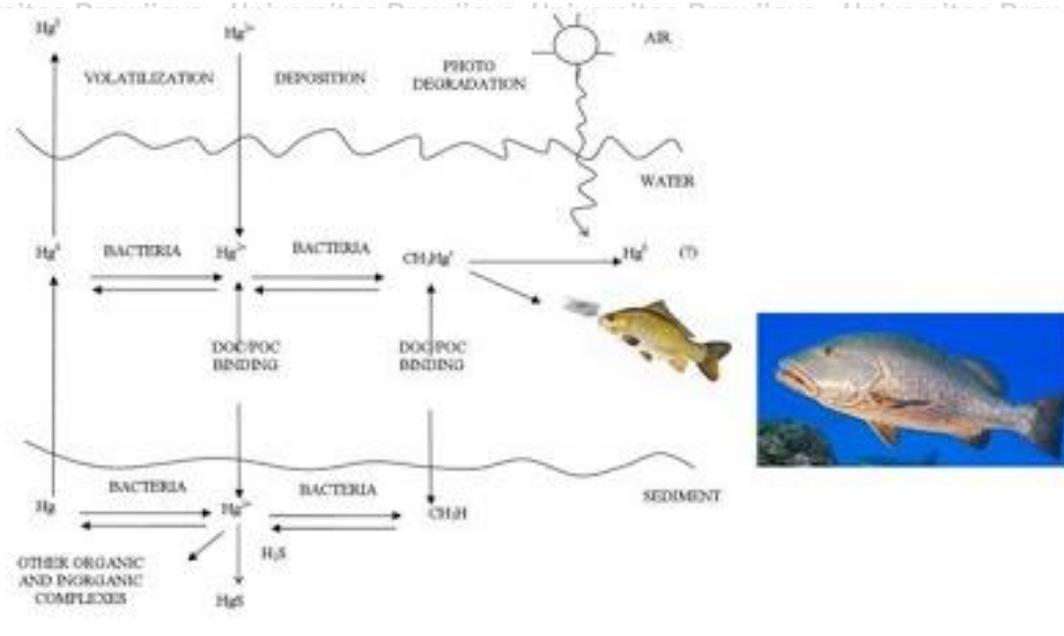
Sebagai unsur maka merkuri (Hg) berbentuk cair keperakan pada suhu kamar. Merkuri membentuk berbagai persenyawaan baik anorganik (seperti oksida, klorida, dan nitrat) maupun organik. Merkuri dapat menjadi senyawa anorganik melalui oksidasi dan kembali menjadi unsur merkuri (Hg) melalui reduksi. Merkuri anorganik menjadi merkuri organik melalui kerja bakteri anaerobik tertentu dan senyawa ini secara lambat berdegradasi menjadi merkuri anorganik. Merkuri mempunyai titik lebur $-38,87$ dan titik didih $35,0$ °C. Produksi merkuri diperoleh

terutama dari bijih sinabar (86,2% merkuri). Salah satu cara melalui pemanasan bijih dengan suhu 800 °C dengan menggunakan O₂ (udara).

Bijih merkuri juga ditemukan pada batu dan bercampur dengan Bijih lain seperti tembaga, emas, seng dan perak. Sedikitnya beberapa efek toksik dari merkuri telah diketahui sejak abad ke 18. Pada tahun 1889, kuliah klinis Charcot tentang penyakit-penyakit system saraf telah menerangkan mengenai tremor yang diakibatkan oleh paparan merkuri. Produksi merkuri diperoleh terutama dari bijih sinabar (86,2 % merkuri). Pada sulfur yang dikombinasi dengan gas O₂ melepaskan merkuri sebagai uap air yang mudah terkonsentrasi. Sinabar juga dapat dipanaskan dengan kapur dan belerang bercampur kalsium, dan akan melepaskan uap logam merkuri. Hal tersebut diatas merupakan cara lain, tetapi merkuri umumnya dimurnikan melalui proses destilasi. Bijih merkuri juga ditemukan pada batu dan bercampur dengan bijih lain seperti tembaga, emas, timah, seng dan perak (Ljubick Mlakar *et al.*, 2011).

Merkuri yang terdapat di lingkungan secara kimia terdiri tiga bentuk diantaranya adalah unsur merkuri (Hg⁰), merkuri anorganik (Hg⁺) dan garam merkuri (Hg²⁺) dan metalmerkuri organik (CH₃Hg) dan senyawa dimetilmerkuri (CH₃HgCH₃).

Pada gambar di bawah ini menjelaskan tentang reaksi uap Hg²⁺ menjadi CH₃Hg⁺ dan seterusnya CH₃Hg⁺ hasil dari fotodegradasi, walaupun tidak diketahui dari Hg⁰ (Richard *et al.*, 2008). Paling banyak pencemaran lingkungan diakibatkan oleh paparan senyawa merkuri organik. Merkuri anorganik dapat dikonversi menjadi merkuri organik melalui proses penguraian bakteri sulfat, kemudian menghasilkan metilmerkuri yang merupakan salah satu senyawa merkuri yang sangat beracun dan mudah diserap melalui membran.

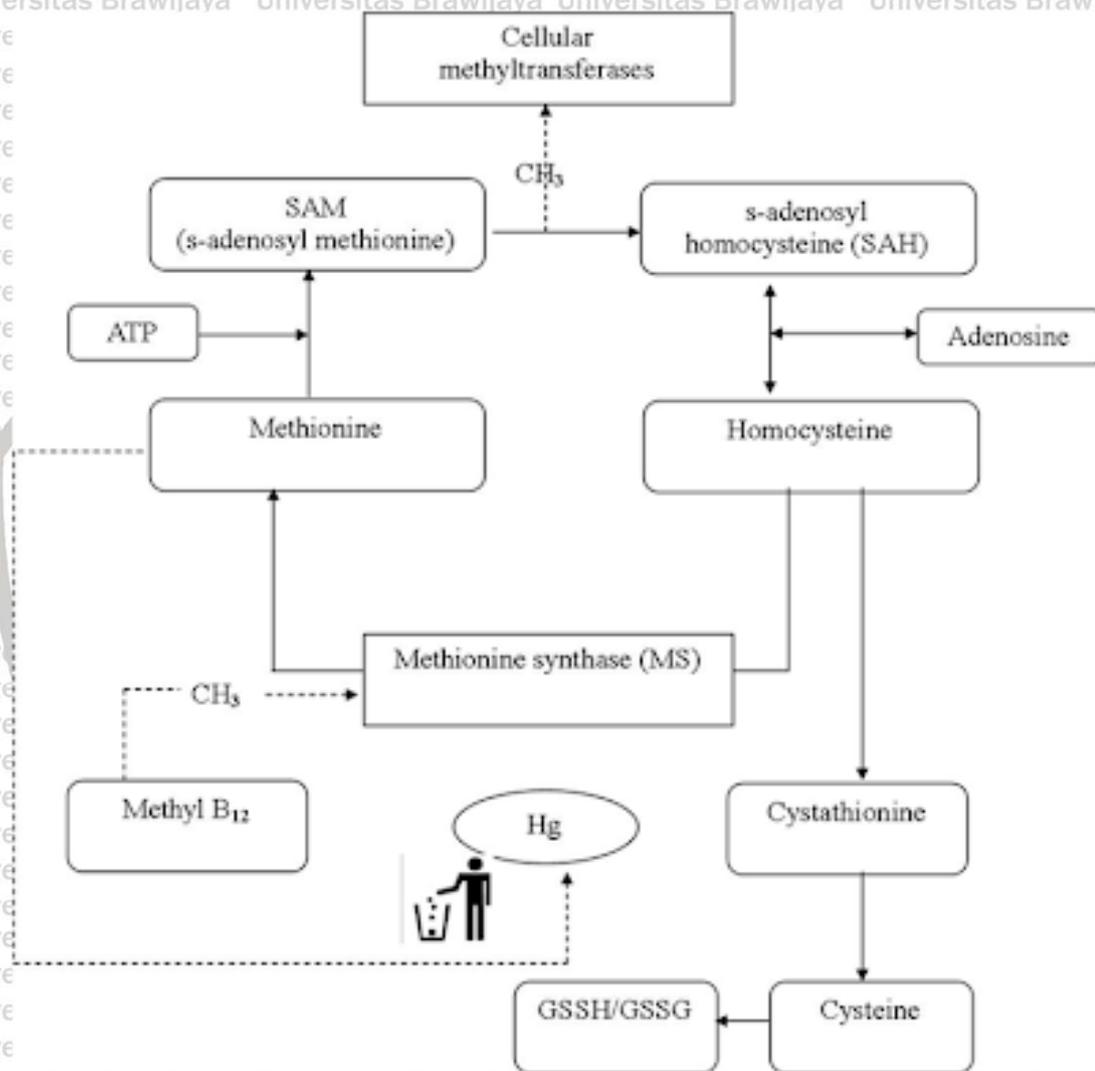


Gambar 2.1. Siklus Geokimia merkuri.
(Richard *et al.*, 2008)

Merkuri pada lingkungan berasal dari atmosfer, inhalasi uap merkuri, metil dan etil merkuri, untuk merkuri anorganik divalent mengalami biometilasi sehingga beracun terhadap organ dan jaringan manusia. Merkuri divalent mudah larut dan stabil dalam air dan berubah bentuk melalui proses biometilasi menjadi metilmerkuri yang ditemukan pada konsentrasi yang tinggi pada ikan dan mamalia laut.

Badan Perlindungan Lingkungan (EPA) menetapkan batas asupan harian 0,1 µg/kg/hari (sekitar 7 µg/hari/untuk 154 lb person). Diperkirakan satu amalgam dapat menyuplai uap merkuri sebesar 3-17 µgs/hari. Persentase kegiatan amalgam pada lingkungan berkisar 50% berasal dari merkuri, perak 25% dan 25% sisanya berasal dari timah, tembaga dan nikel. Ikan dan mamalia laut menyerap berkisar 2-3 µg/hari tergantung pada jenis dan jumlah yang dimakan. Ikan berumur pajang atau ikan-ikan predator seperti hiu dan ikan todak kandungan berkisar 1 µg metilmerkuri per gram. Sedangkan pada tuna, pike, bass dan trot mengandung 0.1-0.5 µg merkuri pergram.

Enzim yang terlibat dilaporkan menggunakan S-adenosylmethionine atau vitamin B12 derivatif sebagai donor metil, dan selain merkuri, logam lain seperti timah, talium, dan metalloid, arsen, selenium, tellurium, dan metilasi sulfur. Bahkan logam yang reaktif, emas dan platinum dilaporkan sebagai substrat untuk fraksi ini. Hal ini dapat digambarkan secara skematik seperti berikut :



Gambar 2.2. Distribusi merkuri dan Siklus Metionin (Baker, 2007).

Pada gambar tersebut menggambarkan transfer metilmerkuri secara fisiologi yang sangat berbahaya. Konsentrasi merkuri yang rendah sekalipun

merupakan suatu potensi metionin dalam mensistesis GSH merupakan senyawa utama dari merkuri yang beracun, hal ini diakibatkan oleh methyltranfase seluler.

Proses Penyerapan Merkuri Pada Organisme

Menurut Spencer *et al*, (1990) bahwa organisme air dapat mengakumulasi merkuri melalui air, (pori air) dan sumber makanan (sedimen). Jumlah akumulasi merupakan fungsi dari jalur paparan dan faktor-faktor lingkungan seperti Suhu, pH, Salinitas, Total karbon organik, dan sulfide. Jika kondisi lingkungan yang dapat memungkinkan terjadi metilasi merkuri, maka organisme dapat menimbun konsentrasi merkuri yang tinggi, walaupun konsentrasi pada air dan sedimen sangat rendah.

Lebih lanjut Spencer *et al*, (1990) menjelaskan bahwa fitoplankton, alga dan mikroorganisme dapat menyerap merkuri merupakan suatu proses pasif yang terjadi melalui absorbs permukaan sel baik melalui interaksi dalam kelompok fungsional dalam dinding sel maupun dengan bantuan matriks ekstraseluler. Difungsi pasif larutan lipid (klorida bermuatan) dapat menyerap merkuri oleh diatom laut. Serapan merkuri oleh tumbuhan air dan fitoplankton dapat berkorelasi dengan konsentrasi dalam air. Air merupakan medium dalam eksposur penting dalam penyerapan merkuri oleh organisme yang lebih rendah melalui rantai makanan. Konsentrasi merkuri yang larut dalam air biasanya sangat rendah. Berbeda dengan tumbuhan air dan fitoplankton, proses penyerapan aktif oleh ikan dan vertebrata yang berkorelasi dengan laju metabolisme dan respirasi.

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, 1992). Kadar logam berat dalam air selalu berubah-ubah tergantung pada saat pembuangan limbah, tingkat kesempurnaan

pengelolaan limbah dan musim. Logam berat yang terikat dalam sedimen relatif sukar untuk lepas kembali melarut dalam air, sehingga semakin banyak jumlah sedimen maka semakin besar kandungan logam berat di dalamnya.

Menurut Berniyanti *dalam* Ulfin (2001), akumulasi logam berat sebagai logam beracun pada suatu perairan merupakan akibat dari muara aliran sungai yang mengandung limbah. Meskipun kadar logam dalam aliran sungai itu relatif kecil akan tetapi sangat mudah diserap dan terakumulasi secara biologis oleh tanaman atau hewan air dan akan terlibat dalam sistem jaring makanan. Hal tersebut menyebabkan terjadinya proses bioakumulasi, yaitu logam berat akan terkumpul dan meningkat kadarnya dalam tubuh organisme air yang hidup, termasuk ikan bandeng, kemudian melalui biotransformasi akan terjadi pemindahan dan peningkatan kadar logam berat tersebut secara tidak langsung melalui rantai makanan. Proses rantai makanan ini akan sampai pada jaringan tubuh manusia sebagai satu komponen dalam sistem rantai makanan.

Pengambilan dan retensi pencemar oleh makhluk hidup mengakibatkan peningkatan kepekatan yang dapat memiliki pengaruh yang merusak. Proses ini dapat terjadi oleh penyerapan langsung dari lingkungan atau melalui bahan makanan. Pencemar dalam makhluk hidup melalui bahan makanan dapat timbul dari sumber yang sama. Jadi dalam suatu rantai makanan alamiah, pencemaran dapat dipindahkan dari suatu tingkat trofik ke tingkat trofik lainnya (Cornell, 1995).

Retensi pencemar bergantung pada waktu paruh biologisnya. Jadi, suatu pencemar harus menunjukkan daya tahan yang relatif tinggi terhadap penghancuran atau pembuangan oleh makhluk hidup untuk memungkinkan waktu pengambilan yang cukup agar tercapai kepekatan yang tinggi.

Kandungan logam berat dalam biota air biasanya akan bertambah dari waktu ke waktu karena bersifat bioakumulatif, sehingga biota air dapat digunakan

sebagai indikator pencemaran logam dalam perairan (Darmono, 1995). Merkuri diabsorpsi ikan bandeng dari lingkungan air atau pakan yakni fitoplankton, zooplankton dan tumbuhan renik yang sudah terakumulasi merkuri dan akan terikat dengan protein (ligand binding) pada jaringan tubuhnya. Pengambilan awal merkuri oleh organisme air dapat melalui tiga proses utama yakni melalui alat pernafasan (insang), permukaan tubuh, dan dari makanan atau air melalui sistem pencernaan (Murtiani, 2003).

Jumlah absorpsi logam dan kandungan logam dalam air biasanya proporsional, yakni kenaikan kandungan logam dalam jaringan sesuai dengan kenaikan kandungannya dalam air. Pada logam-logam non esensial (termasuk merkuri), kandungan dalam jaringan naik terus sesuai dengan kenaikan konsentrasi logam dalam air lingkungannya (Darmono, 1995).

2.1.4. Pencemaran Logam Berat Pada Wilayah Pesisir

Wilayah pesisir daerah pertemuan antara darat dan laut, ke arah darat meliputi bagian daratan, air kering maupun terendam air yang masih dipengaruhi sifat-sifat laut seperti pasang surut dan pembebasan air asin sedangkan ke arah laut meliputi bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses-proses alami yang terjadi di darat seperti sedimentasi dan aliran air tawar maupun yang disebabkan oleh kegiatan manusia (Dahuri *et al.*, 1996).

Logam berat masuk ke dalam perairan melalui air hujan, aliran air permukaan, erosi korofikasi batuan mineral dan berbagai kegiatan manusia seperti aktivitas industri, pertambangan, pengolahan atau penggunaan logam dan bahan yang mengandung logam. Kelarutan logam berat dalam air bisa berubah menjadi lebih tinggi atau lebih rendah, tergantung kondisi lingkungan perairan. Pada perairan yang kekurangan oksigen akibat tingginya konsentrasi bahan organik,

kelarutan beberapa jenis logam, seperti Zn, Cd, Pb dan Hg, semakin rendah dan lebih mudah mengendap. Menurut Sharma dan Prasad (2010), menjelaskan bahwa sebagian besar logam berat yang memasuki lingkungan perairan akan terendap di dalam sedimen dan dapat berpindah ke matriks lingkungan lainnya.

Logam berat dalam perairan dapat ditemukan dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Logam berat terlarut adalah logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik, sedangkan logam berat yang tidak terlarut merupakan partikel-partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kelompok metal yang teradsorpsi pada partikel-partikel yang tersuspensi. Masuknya logam berat ke dalam tubuh organisme perairan dapat melalui rantai makanan dan difusi melalui kulit dan insang selanjutnya di dalam tubuh biota perairan akan terjadi bioakumulasi dan biomagnifikasi logam berat hal ini mengakibatkan *factor concentrate* (rasio konsentrasi logam berat dalam tubuh organisme dan konsentrasi dalam badan air semakin meningkat) (Zubayr, 2009).

Tabel 2.1. Kadar Normal dan Kadar Maksimum Logam Berat yang Masuk ke Lingkungan Laut

Unsur	Kadar (ppm)	
	Normal (A)	Maksimum (B)
Cadmium (Cd)	0.0003	0.05
Timah hitam (Pb)	0.00011	0.01
Tembaga (Cu)	0.002	0.05
Seng (Zn)	0.002	0.1
Merkuri (Hg)	0,1 ppb	1,2 ppb

(Hutagalung, 1991)

Secara alamiah logam berat terdapat di laut dengan kadar yang sangat rendah, yaitu berkisar 10,5 – 10,2 ppm. Pada kondisi alamiah ini logam berat dibutuhkan organisme hidup untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya (Philips, 1980), bahkan kadar logam berat yang rendah dalam suatu perairan dapat menyebabkan berbagai organisme yang hidup di dalamnya menderita defisiensi (Hutagalung, 1991).

Pencemaran logam berat terhadap alam lingkungan estuari merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia. Pada air laut di lautan lepas, kontaminasi logam berat biasanya terjadi secara langsung dari atmosfer atau karena tumpahan minyak dari kapal tanker yang melaluinya. Sedangkan di daerah sekitar pantai kontaminasi logam kebanyakan berasal dari mulut sungai yang terkontaminasi limbah buangan industri atau pertambangan (Afrizal, 2000).

Menurut Lhacher dan Goldstein 1996 *dalam* Bahri 2003, logam berat secara alami berasal dari proses geologi, pertambangan dan aktivitas industri. Selanjutnya Clark 1986 *dalam* Bahri 2003, membagi logam untuk kepentingan biologi dalam tiga kelompok yaitu :

1. Logam ringan (seperti natrium, kalium, kalsium dan sebagainya), biasanya diangkut sebagai kation aktif di dalam larutan encer.
2. Logam transisi (seperti besi, tembaga, kobal dan mangan), diperlukan dalam konsentrasi yang tinggi
3. Logam berat dan metalloid (raksa, timah hitam, selenium dan arsen) umumnya tidak diperlukan dalam kegiatan metabolisme dan dapat menjadi bahan yang beracun pada sel dan organisme tertentu walaupun pada konsentrasi rendah.

Logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas, lebih besar dari 5 gram/cm³, mempunyai nomor atom lebih besar dari 21 dan terdapat pada bagian tengah dari faktor unsur-unsur periodik (Bahri, 2003). Diketahui ada 18 logam berat sebagai bahan pencemar, tetapi ada beberapa yang bersifat esensial untuk kehidupan organisme, misalnya Cu dan Zn, tetapi dalam jumlah berlebih dapat bersifat racun bagi organisme (Bryan, 1976; Valke dan Walker, 1970 *dalam* Afrizal 2000), dalam kenyataannya, logam berat Cd dan Pb juga sangat berbahaya bagi kehidupan organisme walaupun dalam konsentrasi yang sangat rendah. Logam

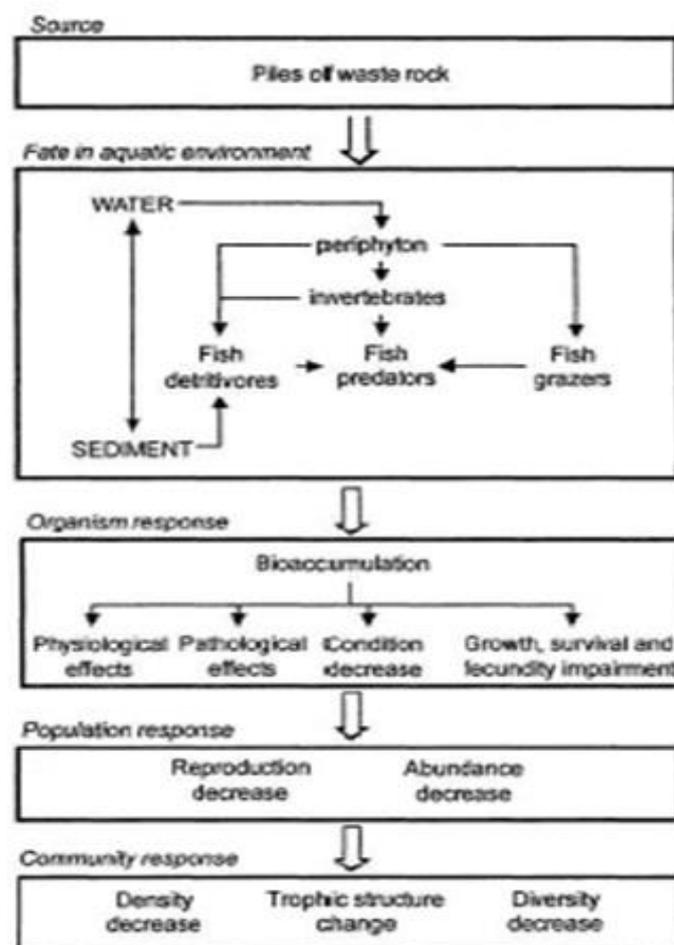
berat yang dapat menyebabkan toksin dan bersifat agak permanen dan mempunyai waktu paruh yang lama adalah Cadmium (Cd), Plumbum (Pb) dan Merkuri(Hg) (Palar, 2008).

Logam yang memasuki estuari dan perairan pantai dari aktivitas-aktivitas penambangan, industri, pertanian dan rumah tangga di daratan bisa dengan cepat terakumulasi yang menunjukkan gejala-gejala toksisitas di luar konsentrasi ambang tertentu. Jumlah konsentrasi logam dalam sedimen dan air memberikan informasi terbatas tentang bioavailabilitas. Oleh karena itu organisme dianalisis untuk mendapatkan jumlah dan ketersediaan logam di lingkungan (Saez *et al.*, 2012).

Gambar 2.3 memperlihatkan pengaruh masuknya suatu polutan ke dalam ekosistem 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 (Anonim, 1998). Jadi, masuknya suatu polutan akan membawa dampak yang luas mulai dari tingkat organisme sampai tingkat komunitas bahkan bisa meluas sampai ekosistem.

Secara umum tahap respon yang terjadi pada sistem akuatik meliputi tahap-tahap yaitu biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi. Penggunaan pestisida seperti DDT, endrin, dan dieldrin sangat berbahaya atau beracun, karena Pestisida mengandung berbagai senyawa kimia yang dapat mengganggu kestabilan komposisi kimia tanah. Pestisida yang banyak digunakan sekarang adalah dari golongan hidrokarbon berklor. Pestisida ini mempunyai efek menahun atau bioakumulatif dan sulit terurai.

Yang dimaksud bahan-bahan beracun disini adalah semua senyawa, unsur maupun ion-ion yang secara langsung dalam jumlah tertentu dapat berakibat mematikan bagi organisme hidup pada semua tingkatan tropik. Digolongkan dalam kelompok ini adalah pestisida dan limbah industri. Pestisida dan limbah industri yang masuk ke dalam ekosistem perairan akan mengalami biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi.



Gambar 2.3. Masuknya polutan kedalam ekosistem aquatik dan respon yang terjadi pada tingkat organisme populasi dan komunitas (Anonim, 1998)

Biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi 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

banyaknya bahan pencemar (misalnya: hidropobik, lipid, resistensi terhadap degradasi), faktor lingkungan (misalnya: salinitas, suhu, konsentrasi bahan organik), faktor biotik (misalnya: pakan, konsentrasi lipid, dan metabolisme), bioavailability (misalnya: masukan bahan kimia, proses mekanisme, tingkat kontaminasi) (Konasewich *et al.*, 1982, Malins *et al.*, 1982, Shin dan Lam 2001, Gobas *et al.*, 1999, Morrison *et al.*, 1996, dan Lee *et al.*, 2000).

2.2. Biokonsentrasi, Bioakumulasi dan Biomagnifikasi

Tingkat polutan untuk tersebar, atau menyimpan tergantung kondisi lingkungan. Keadaan tersebut sangat mempengaruhi kondisi ekologi. Istilah biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi sering digunakan dalam menggambarkan keadaan polutan di lingkungan.

Sangat penting untuk memahami mekanisme dari biokonsentrasi, bioakumulasi, biomagnifikasi sebagai proses bahan pencemar yang beracun. Bagaimanapun juga penjelasan dari mekanisme dari proses tersebut menjadi isu-isu perdebatan dan sampai sekarang ini belum terpecahkan. Biokonsentrasi adalah masuknya bahan pencemar melalui organisme melalui jaringan epithelial atau insang akibat dari peningkatan konsentrasi (Konasewich *et al.*, 1982 dan Gobas *et al.*, 1999), bioakumulasi adalah suatu proses dimana pencemaran yang masuk dalam organisme melalui tingkat rantai makanan dan biomagnifikasi adalah proses penyerapan bahan pencemaran akibat dari tingkat konsentrasi yang melebihi keseimbangan lingkungan (Gobas *et al.*, 1999).

Biokonsentrasi dan Bioakumulasi

Biokonsentrasi merupakan kondisi peningkatan konsentrasi polutan di lingkungan. Biasanya kadar polutan akan di atas kadar normal yang diperbolehkan.

Organisme yang mengalami paparan bahan toksik terus menerus akan mengalami bioakumulasi. Bioakumulasi merupakan suatu proses dimana substansi kimia mempengaruhi makhluk hidup dan ditandai dengan peningkatan konsentrasi bahan kimia di tubuh organisme dibandingkan dengan konsentrasi bahan kimia itu di lingkungan.

Karena penyerapan bahan kimia ini lebih cepat daripada proses metabolisme dan ekskresi tubuh organisme, maka bahan-bahan kimia ini akan terakumulasi di dalam tubuh (Anonim, 1993). Menurut Mader (1996), bioakumulasi merupakan peningkatan konsentrasi polutan yang diikuti perpindahan dari lingkungan ke organisme pertama pada rantai makanan. Anonim (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); 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. Pada sedimen sungai dan danau terdapat

bentuk asosiasi antara partikel organik-anorganik 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.

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.

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

3. Eliminasi, dapat berupa pemecahan bahan kimia menjadi senyawa yang lebih sederhana, dapat dilakukan dengan proses biologik disebut metabolisme .

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 (Anonim, 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 hidrofilik. Tetapi ada

beberapa perkecualian 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 hidrofilik 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.

Biomagnifikasi

Bioakumulasi mengacu pada bagaimana suatu polutan memasuki rantai

makanan sedangkan biomagnifikasi mengacu pada kecenderungan polutan untuk

terkonsentrasi dan berpindah dari satu tingkat trofik ke tingkat berikutnya. Senyawa

polutan penyebab biomagnifikasi umumnya bersifat *mobile* (mudah

berpindah), *long-lived* (berumur panjang), larut lemak dan bersifat aktif secara biologis (Mader, 1996). Jika polutan berumur pendek maka polutan akan dipecah sebelum menjadi berbahaya; jika polutan tidak *mobile*, maka polutan akan menetap di satu tempat dan organisme yang terpengaruh hanya dalam kisaran geografi sempit; jika polutan larut dalam air, maka polutan akan diekskresikan oleh organisme sedangkan polutan yang larut dalam lemak akan dapat bertahan di tempat-tempat penyimpanan lemak dalam waktu yang cukup lama (Mader, 1996). Keberadaan atau lama waktu suatu polutan dalam suatu rantai makanan juga sangat tergantung dari waktu paruh dan bio-availibilitas senyawa polutan tersebut dalam organisme. Polutan lipofilik, misalnya *PAHs*, tidak menunjukkan keberadaan dalam jangka waktu yang lama dan menyebabkan terjadinya biomagnifikasi, dalam suatu rantai makanan (Walker *et al.*, 1996). Hal ini disebabkan waktu paruh senyawa tersebut yang relatif singkat. Beberapa invertebrata pada tingkat trofik yang rendah (misal *Mytilus edulis*), mempunyai kemampuan yang rendah dalam melakukan metabolisme terhadap *PAHs*, sehingga *PAHs* terakumulasi dalam kadar yang rendah (Walker *et al.*, 1996).

Jika bioakumulasi ini terus berlanjut maka dapat terjadi biomagnifikasi. Biomagnifikasi melibatkan rantai makanan sebagai penghubungnya. Pada biomagnifikasi, terlihat adanya peningkatan konsentrasi bahan kimia pada tiap tingkatan trofik, jadi semakin tinggi tingkatan trofiknya akan diikuti peningkatan kadar bahan kimia tersebut. Biomagnifikasi adalah kecenderungan peningkatan kadar bahan kimia seiring peningkatan level trofik pada jaring atau rantai makanan. Proses ini dimulai ketika produsen mengambil nutrisi dari lingkungan sekitar untuk disintesis menjadi molekul kompleks yang berguna untuk proses biologis. Karena ketersediaan nutrisi terbatas di lingkungan, tanaman umumnya menggunakan energinya untuk memompa secara aktif nutrisi masuk ke dalam sel. Mereka

kadang mengambil lebih dari yang dibutuhkan dan menyimpannya dalam jaringan.

Akhirnya konsentrasi nutrien di dalam jaringan tanaman akan lebih tinggi daripada konsentrasi di lingkungan sekitar. Bahan-bahan kimia secara kimia bersifat sama dengan beberapa nutrien anorganik, mereka akan ikut diserap dan tersimpan di jaringan tubuh tanaman.

Langkah pertama dari proses biomagnifikasi adalah ketika konsentrasi kontaminan yang tersimpan pada tubuh tanaman (produsen) lebih tinggi daripada lingkungan sekitar. Tahap kedua terjadi ketika produsen dimakan oleh konsumen.

Artinya, konsumen di atasnya akan mengkonsumsi sejumlah biomassa dari tingkat trofik di bawahnya. Jika biomassa mengandung kontaminan maka kontaminan akan diambil oleh konsumen. Padahal kontaminan dapat masuk tidak hanya yang diperoleh dari produsen tetapi juga dapat berasal dari penyerapan oleh tubuh organisme itu sendiri (Anonim, 2003). Organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi, misalnya ikan, mempunyai kemampuan untuk mendetoksifikasi senyawa tersebut melalui mekanisme induksi enzim mono-oksigenase, sehingga kecenderungan terjadinya bio-magnifikasi pada tingkat trofik yang lebih tinggi, menjadi lebih kecil.

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.

2.2.1. Faktor Biokonsentrasi (BCF)

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).

Biokonsentrasi adalah bagian dari proses bioakumulasi. Kemampuan biota air untuk mengakumulasi logam berat dapat dilihat dari indeks faktor konsentrasi.

Polutan masuk ke dalam perairan, akan mengalami interaksi dengan sedimen dan partikel-partikel yang tersuspensi dalam air. Dalam keadaan terlarut, polutan dapat diambil dan diserap oleh organisme dan akan mengalami proses biokonsentrasi.

Faktor biokonsentrasi dipengaruhi oleh banyak hal, misalnya faktor konsentrasi logam berat dipengaruhi oleh jenis logam berat, jenis organisme, lama pemaparan, serta kondisi lingkungan perairan seperti pH, suhu, dan salinitas (Mukhtasor, 2007).

Faktor biokonsentrasi (BCF) merupakan faktor yang digunakan untuk mengetahui tingkat kemampuan organisme dalam mengakumulasi suatu unsur yang masuk kedalam tubuhnya dari kondisi lingkungan sekitar (Van Esch, 1977).

Nilai Biokonsentrasi Faktor (BCF) didapatkan dari hasil perbandingan antara konsentrasi pada organisme dengan air dan sedimen. Terdapat dua nilai BCF yaitu BCF (o-w) dan BCF (o-sed). BCF (o-w) merupakan perbandingan antara konsentrasi logam berat yang diserap oleh organisme (kerang) dengan konsentrasi logam berat dalam air. BCF (o-sed) merupakan perbandingan antara konsentrasi logam berat yang diserap oleh organisme (kerang) dengan konsentrasi logam di sedimen.

Janssen *et al.* (1997) menyatakan bahwa, apabila nilai $BCF > 1$ dari konsentrasi yang ada di kolom air berarti organisme tersebut memiliki kemampuan akumulasi logam dalam tubuh, sebaliknya $BCF \leq 1$ dari konsentrasi yang ada dalam

perairan berarti organisme tersebut kurang memiliki kemampuan mengakumulasi logam dalam tubuhnya.

Ghosh dan Singh (2005) menjelaskan ada tiga kategori nilai BCF sebagai berikut:

- 1) Nilai BCF lebih besar dari 1000 dikategorikan dalam sifat akumulatif tinggi.
- 2) Nilai BCF 100 s/d 1000 dikategorikan dalam sifat akumulatif sedang.
- 3) Nilai BCF kurang dari 100 dikategorikan dalam sifat akumulatif rendah.

2.2.2. 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.

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.

2.2.3. 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.

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.

2.3. Bioindikator Pencemaran Logam Berat

Dalam lingkungan perairan ada tiga media yang dapat dipakai sebagai indikator pencemaran logam berat yaitu air, sedimen dan organisme hidup.

Pemakaian organisme hidup sebagai indikator pencemaran inilah yang disebut bioindikator (Fitriati, 2004). Setiap lingkungan perairan alami dihuni oleh berbagai organisme hidup dan semua organisme hidup ini berada dalam suatu sistem trofik (*trophic level*). Masuknya bahan pencemar ke dalam perairan akan membunuh

organisme yang paling sensitif. Bila bahan pencemar terus bertambah, maka organisme yang paling sensitif akan terbunuh, dan penambahan bahan pencemar akhirnya akan membunuh moluska kelompok *filter feeder*.

Pemasukan bahan pencemar ke lingkungan perairan dapat juga mengganggu daur pakan (*food cycle*) (Fitriati, 2004). Untuk menunjang penelitian pencemaran perairan laut, maka semua organisme hidup yang ada dalam perairan tersebut harus dipilih jenis yang paling bisa menggambarkan kondisi lingkungan sebenarnya. Sebagai contoh, fitoplankton walaupun memiliki kemampuan yang besar untuk mengakumulasi logam berat, namun pemakaian fitoplankton sebagai bio-indikator kurang menggambarkan kondisi lingkungan yang sebenarnya. Hal ini disebabkan gerakan fitoplankton sangat dipengaruhi oleh arus dan gelombang laut.

Pemakaian jenis-jenis ikan juga kurang tepat karena gerakannya sangat luas. Kecuali kalau jenis ikan tergolong jenis ikan teritorial seperti ikan baji-baji, *Platycephalus bassensis*, atau *Platycephalus indicus* (Philips, 1980).

Dalam pemilihan organisme laut sebagai bioindikator pencemaran, Philips (1980) memberikan beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Harus dapat mengakumulasi bahan pencemar mengalami efek pencemaran.
2. Harus terdapat dalam jumlah yang banyak di seluruh daerah penelitian.
3. Terikat pada suatu tempat yang keras agar bisa mewakili daerah yang diteliti.
4. Hidup dalam waktu yang lama untuk memungkinkan sampling lebih dari satu tahun jika dibutuhkan.
5. Mudah diambil dan tidak mudah rusak.

Menurut Philips (1980), menambah pedoman tersebut sebagai berikut: mempunyai toleransi terhadap air payau untuk memungkinkan penelitian di daerah estuari. Harus ada korelasi antara kadar bahan cemar dalam air dan organisme.

Sebagai tambahan jenis kerang (moluska, bivalvia) dan makro-alga merupakan bioindikator yang paling tepat dan efisien.

Diatome dianggap sebagai partisipan pasif dalam transfer energi dalam jaringan makanan yang banyak dimakan predatornya. Banyak spesies diatom menghasilkan asam domoat yang bersifat neurotoksin kuat yang meliputi *Pseudonitzschia*, *Nitzschia*, dan *Amphora* (Levebvre dan Robertson, 2010). Namun demikian, kebanyakan Diatom diduga bermanfaat bagi pertumbuhan dan kelangsungan hidup organism laut dan air tawar, serta bagi transfer bahan organik melalui rantai makanan sampai konsumen akhir dan perikanan yang penting (Li *et al.*, 2011).

Zaez *et al.* (2012) menyatakan Kelp adalah anggota komunitas intertidal dan subtidal yang memiliki peranan vital sebagai produser primer dan *bioengineer* ekosistem. Konsentrasi logam bervariasi antara daun, stipe dan akar *L. trabeculata*. Konsentrasi logam yang berkaitan dengan daun *L. trabeculata* dapat berbeda antara daerah tercemar dan daerah-daerah bersih. Akumulasi logam dapat sangat berbeda pada bagian-bagian daun, dan perbedaan tersebut bisa bersifat spesifik logam. Bioakumulasi logam berat oleh alga pada kondisi alam yang mengalami stress berbeda telah dilaporkan oleh Vardanyan dan Ingole (2006). Makroalgae, *Laminaria hyperborean*, *Bifurcaria bifurcate*, *Sargassum muticum*, dan *Fucus spiralis* yang diambil dari pantai Portugis terbukti mampu mengakumulasi logam beracun Cd, Zn dan Pb dari larutan air (Freitas *et al.*, 2008).

Pemanfaatan sistem adsorpsi untuk pengambilan logam-logam berat dari perairan telah banyak dilakukan. Beberapa spesies alga telah ditemukan mempunyai kemampuan yang cukup tinggi untuk mengadsorpsi ion-ion logam, baik dalam keadaan hidup maupun dalam bentuk sel mati (biomassa). Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa gugus fungsi yang terdapat dalam alga

mampu melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama adalah gugus karboksil, hidroksil, sulfhidril, amino, imidazol, sulfat, dan sulfonat yang terdapat didalam dinding sel dalam sitoplasma. Alga menawarkan keuntungan untuk biosorpsi karena memiliki struktur yang makroskopis sehingga dapat digunakan sebagai biosorben. Dari berbagai penelitian di ketahui bahwa berbagai spesies alga terutama dari golongan alga hijau (*Chlorophyta*), alga coklat (*Phaeophyta*), dan alga merah (*Rhodophyta*) baik dalam keadaan hidup (sel hidup) maupun dalam bentuk sel mati (biomassa) dan biomassa terimmobilisasi telah mendapat perhatian untuk mengadsorpsi ion logam. Alga dalam keadaan hidup dimanfaatkan sebagai bioindikator tingkat pencemaran logam berat di lingkungan akuatik (perairan) sedangkan alga dalam bentuk biomassa dan biomassa terimmobilisasi dimanfaatkan sebagai bioabsorben (material biologi penyerap logam berat) dalam pengolahan air limbah. Makroalga merupakan indikator yang paling tepat dan efisien untuk pencemaran logam berat, karena mikroorganisme ini dapat mengakumulasi pencemar, terdapat dalam jumlah banyak dan korelasi antara kandungan bahan pencemar dalam air dan dalam tubuh organisme dapat ditunjukkan.

Pikey (2011) menyatakan keuntungan pemanfaatan alga sebagai bioindikator dan biosorben adalah:

1. Alga mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam mengadsorpsi logam berat karena di dalam alga terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam.
2. Bahan bakunya mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak
3. Biaya operasional yang rendah
4. Tidak perlu nutrisi tambahan

Alga dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator logam berat karena dalam proses pertumbuhannya, alga membutuhkan sebagian jenis logam sebagai nutrient alami, sedangkan ketersediaan logam di lingkungan sangat bervariasi.

Suatu lingkungan yang memiliki tingkat kandungan logam berat yang melebihi jumlah yang diperlukan, dapat mengakibatkan pertumbuhan alga terhambat, sehingga dalam keadaan ini eksistensi logam dalam lingkungan adalah polutan bagi alga. Syarat utama suatu alga sebagai bioindikator adalah harus memiliki daya tahan tinggi terhadap toksisitas akut maupun toksisitas kronis. Selain memiliki daya tahan yang tinggi terhadap toksisitas logam berat, persyaratan lain untuk pemanfaatan alga sebagai bioindikator adalah :

1. Alga yang dipilih mempunyai hubungan geografis dengan lokasi yaitu berasal dari lokasi setempat, hidup di lokasi tersebut, dan diketahui radius aktivitasnya.
2. Alga itu terdapat dimana-mana, supaya dapat dibandingkan terhadap alga yang berasal dari lokasi lain.
3. Komposisi makanannya diketahui.
4. Populasinya stabil.
5. Pengumpulan alga mudah dilakukan.
6. Relatif mudah dikenali di alam.
7. Masa hidupnya cukup lama

Kemampuan alga dalam menyerap ion-ion logam sangat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti ukurannya yang sangat kecil, berat jenisnya yang rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain. Untuk mengatasi kelemahan tersebut berbagai upaya dilakukan, diantaranya dengan mengimmobilisasi biomasnya. Immobilisasi biomassa dapat dilakukan dengan menggunakan (1) Matrik polimer seperti polietilena glikol, akrilat, (2) oksida (oxides) seperti alumina, silika, (3) campuran oksida (mixed oxides) seperti Kristal

alumina silikat, asam polihetero, dan (4) Karbon (Bahtiar, 2011). Sementara itu, Holt dan Miller (2010) telah menjelaskan ciri-ciri bioindikator yang baik, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Ciri-ciri bioindikator yang baik

No	Ciri-ciri	Keterangan
1	Kemampuan indikator yang bagus	<p>a) Berikan respon yang terukur (peka terhadap gangguan atau stres tetapi tidak mengalami mortalitas atau mengakumulasi polutan langsung dari lingkungan mereka)</p> <p>b) Tanggapan mencerminkan keseluruhan tanggapan populasi, komunitas, dan/atau ekosistem</p> <p>c) Tanggapan secara proporsional dengan tingkat kontaminasi atau degradasi</p>
2	Berlimpah dan umum	<p>a) Kepadatan penduduk lokal yang memadai (spesies langka tidak optimal)</p> <p>b) Umum, termasuk distribusi dalam area pertanyaan</p> <p>c) Relatif stabil meskipun variabilitas iklim dan lingkungan sedang</p>
3	Dipelajari dengan baik	<p>a) Ekologi dan sejarah kehidupan dipahami dengan baik</p> <p>b) Didokumentasikan secara taksonomi dan stabil</p> <p>c) Mudah dan murah untuk disurvei</p>
4	Secara ekonomi / komersial penting	<p>a) Spesies yang sudah dipanen untuk tujuan lain</p> <p>b) Kepentingan publik atau kesadaran akan spesifikasi</p>

(Sumber: Holt & Miller, 2010).

2.4. Ekobiologi Periphyton

2.4.1. Terminologi Periphyton

Istilah Periphyton meskipun digunakan secara bervariasi namun lebih ditujukan kepada flora yang tumbuh di atas substrat di perairan. Menurut Hill dan Webster (1982), periphyton adalah mikroalgae menempel yang umumnya merupakan sumber energi utama perairan, sangat melimpah dan memiliki peranan yang lebih besar dalam menentukan produktivitas primer dibandingkan dengan fitoplankton.

Periphyton merupakan gabungan beberapa ganggang, *cyanobacteria*, mikroba heterotrofik, dan detritus yang melekat pada permukaan batuan, kayu dan tanaman serta hewan air yang terendam pada ekosistem perairan (Odum 1971). Periphyton di perairan mengalir pada umumnya terdiri dari diatom (Bacillariophyceae), alga hijau berfilamen (Chlorophyceae), bakteri atau jamur berfilamen, protozoa, dan rotifera (tidak banyak pada perairan tidak tercemar), serta beberapa jenis benthos (Welch, 1952). Komunitas pembentukan Periphyton yang ada pada substrat dalam perairan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Periphyton meskipun tidak banyak digunakan, tetapi cocok untuk penilaian kualitas perairan sungai (Patrick 1973; Stevenson dan Lowe 1986; Rott 1991; Round 1991; Stevenson dan Pan 1999). Berdasarkan tipe substrat tempat menempelnya, Periphyton dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. *Epilithic*, Periphyton yang menempel pada batu.
- b. *Epidendritic*, Periphyton yang menempel pada kayu.
- c. *Epiphytic*, Periphyton yang menempel atau hidup pada permukaan daun maupun batang tumbuhan.
- d. *Epizoic*, Periphyton yang menempel pada permukaan tubuh hewan.
- e. *Epipellic*, Periphyton yang menempel pada permukaan sedimen.
- f. *Epipsamic*, Periphyton yang menempel pada permukaan pasir.

Periphyton dalam ekosistem perairan berfungsi sebagai sumber makanan penting bagi organisme dengan tingkat trofik yang lebih tinggi, seperti: avertebrata, larva, dan beberapa ikan. Periphyton juga dapat menyerap bahan pencemar yang ada di perairan, sehingga dapat membatasi penyebarannya di lingkungan khususnya perairan. Komunitas Periphyton biasa

digunakan dalam sistem produksi akuakultur yaitu sebagai sumber makanan bagi ikan.

Proses perkembangan Periphyton merupakan bentuk proses akumulasi yaitu terjadinya peningkatan biomassa seiring dengan bertambahnya waktu. Akumulasi tersebut merupakan hasil kolonisasi dan komposisinya, dimana keberadaannya sangat dipengaruhi oleh kemampuan Periphyton dan media penempelnya. Kemampuan Periphyton dalam menempel pada substratnya menentukan eksistensinya terhadap pencucian arus sehingga keberadaan komunitasnya tetap mantap. Periphyton yang menempel pada substrat mati seperti batuan keberadaannya akan lebih mantap, tidak mengalami perubahan, rusak maupun mati, meskipun terbentuknya komunitas berjalan lambat (Ruttner 1974).

Keterangan :

- a. Bakteri
- b. *Navicula menisculus* var. *upsaliensis* – prostrate, mucilage coat.
- c. *Gomphonema parvulum* – short stalks,
- d. *Gomphonema olivaceum* – long stalks,
- e. *Fragilaria vaucheriae* – rosette, mucilage pads,
- f. *Synedra acus* – large rosette, mucilage pads,
- g. *Nitzschia* sp. - rosette, mucilage pads,
- h. *Stigeocionium* sp. - upright filaments



Gambar 2.4. Materi pembentukan Periphyton (Anonim, 2009)

Komposisi alga yang biasa ditemukan pada perairan sungai dan menempel pada batuan (*Epilithic*) dan tanaman air (*Epiphytic*) dari hasil penelitian yang dilakukan Bishop (1973) terdiri atas Cyanophyta, Rhodophyta, Cryptophyta, Bacillariophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, dan Chlorophyta. Sedangkan menurut Hynes (1972) bentuk alga yang sering ditemukan pada perairan dalam jumlah besar antara lain: *Synedra*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Diatoma*, dan *Suriella*. Diatom dari kelompok pennales

merupakan alga bentik yang mendominasi pada perairan berarus kuat dan seiring dengan menurunnya arus, maka keanekaragaman alga dalam perairan akan meningkat selain diatom juga tumbuh alga bentik dari kelompok Chlorophyta dan Myxophyta (Whitton, 1975).

Kelompok diatom jenis pennales pada perairan berarus cenderung mendominasi karena berkaitan dengan bentuk sel (*frustul*) yang simetris bilateral dan sistem aliran air yang melewati sitoplasma sehingga mampu bergerak meluncur melawan arus. Selain itu, pada *frustule* yang berupa sobekan-sobekan sel (*raphe*), terdapat sitoplasma yang di dalamnya mengandung *mucopolysaccharides* yang mampu mengeluarkan helaihan cairan perekat sehingga mampu menempel di substrat dan memungkinkan untuk membantu bergerak (Sze, 1993; Basmi, 1999). Perkembangan Periphyton di perairan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan antara lain kecerahan, kekeruhan, tipe substrat, kedalaman, pergerakan air, arus, pH, alkalinitas, kesadahan, dan nutrisi. Populasi periphyton akan menurun pada perairan yang kurang mendapatkan cahaya cukup. Faktor kekeruhan pada perairan baik yang diakibatkan oleh lumpur maupun plankton juga mengakibatkan penurunan populasi periphyton khususnya yang hidup di dasar dan tergantung pada cahaya yang masuk ke perairan untuk perkembangannya (Wetzel, 1979).

2.4.2. Struktur Komunitas Periphyton

Perkembangan periphyton dapat dipandang sebagai proses akumulasi yaitu proses peningkatan biomassa dengan bertambahnya waktu. Akumulasi merupakan hasil kolonisasi dengan proses biologi yang menyertainya dan berinteraksi dengan faktor fisika-kimia perairan (Borowitzka *et al.*, 1989; Phillips dan McRoy, 1990).

Proses kolonisasi merupakan pembentukan koloni periphyton pada substrat yang berlangsung segera ketika pengkoloni menempel pada substrat (Osborn, 1983).

Tipe substrat sangat menentukan proses kolonisasi dan komposisi periphyton. Hal ini berkaitan erat dengan kemampuan dan alat penempelannya. Kemampuan periphyton menempel pada substrat menentukan eksistensinya terhadap pencucian oleh arus atau gelombang yang dapat memusnahkannya.

Untuk menempel pada substrat, periphyton mempunyai berbagai alat penempelan, yaitu: (1) rhizoid, seperti *Oedodonium* dan *Ulothrix*, (2) tangkai bergelatin berbentuk setengah bulatan (sphaerical) yang diperkuat dengan kapur atau tidak, seperti *rivularia*, *haetophora* dan *ophrydium* (Osborn, 1983).

Perkembangan periphyton menuju kemantapan komunitasnya sangat ditentukan oleh kemantapan keberadaan substrat. Substrat hidup sering bersifat sementara, karena adanya proses pertumbuhan dan kematian. Setiap saat substrat hidup akan terjadi perubahan lingkungan sebagai akibat dari respirasi dan asimilasi, sehingga mempengaruhi komunitas periphyton. Biomassa periphyton yang terbentuk merupakan sumber makanan alami biota air yang lebih tinggi yaitu zooplankton, *juvenile* udang, moluska dan ikan (Klumpp *et al.*, 1992).

Keberadaan dan kepadatan periphyton sangat dipengaruhi oleh kerapatan dan penutupan lamun, karena hubungannya erat dengan kestabilan substrat (daun lamun) oleh pengaruh pencucian dan sirkulasi air serta kebebasan periphyton dalam memperoleh cahaya matahari untuk kebutuhan fotosintesis. West (1990) dalam Kiswara dan Winardi (1994) melaporkan bahwa panjang daun dan kerapatan lamun dapat mempengaruhi sebaran dan kelimpahan biota yang berasosiasi dengan lamun sehingga faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan padang lamun sangat menentukan distribusi dan kelimpahan biotanya.

Komposisi periphyton pada lamun sangat dipengaruhi oleh morfologi, umur dan letak atau tempat hidup lamunnya. Lamun dengan tipe daun besar akan lebih disukai daripada lamun yang mempunyai daun lebih kecil, dan oleh karena lamun dengan morfologi yang lebih besar (kuat) akan mempunyai kondisi substrat yang lebih stabil. Juga dengan umur lamun, pada lamun yang lebih tua komposisi dan kepadatan periphyton akan berbeda dengan lamun yang lebih muda karena proses penempelan dan pembentukan koloni periphyton memerlukan waktu yang cukup lama (Borowitzka dan Lethbridge, 1989; Russel, 1990).

Selanjutnya, Linkeus (1963) dalam Harlin (1980), Borowitzka dan Lethbridge (1989) dan Russel (1990), menyatakan adanya hubungan antara penyebaran algae epifit dengan tegakan permukaan lamun. Koloni algae epifit yang lebih besar terdapat pada lamun yang dapat berasosiasi dengan cahaya, sedangkan adanya perbedaan koloni pada sisi daun dan lamina mungkin dapat dihubungkan dengan pergerakan air di sekitar lamun tersebut.

2.4.3. Periphyton sebagai Bioindikator Pencemaran Perairan

Komunitas periphyton memiliki peran dalam ekosistem air tawar dan merupakan reaktor biogeokimia bertenaga surya, habitat biogenik, gambaran elemen hidrolis, maupun sistem peringatan dini untuk perubahan lingkungan, serta keberadaan keanekaragaman hayati (Stevenson 1996; Wehr dan Sheath 2003; Azim *et al.*, 2005).

Kondisi lingkungan dengan habitat yang stabil sangat mendukung tercapainya suatu komunitas organisme baik flora maupun fauna dalam suatu ekosistem, sehingga dapat tetap eksis dan berkembang dengan baik.

Perubahan yang terjadi pada variabel lingkungan dapat mempengaruhi komunitas organisme secara menyeluruh mulai pada komposisi jenis,

spesies, bentuk morfologi individu, anatomis, fisiologis, dan jumlah individu.

Organisme yang mampu maupun yang tidak mampu bertahan hidup pada kondisi lingkungan yang mengalami perubahan biasanya dapat dijadikan sebagai biota indikator dari lingkungan yang bersangkutan. Perubahan yang mendasar pada struktur komunitas akibat adanya perubahan lingkungan adalah terjadinya perubahan keanekaragaman jenis dari komunitas yang bersangkutan (Basmi, 1999).

Salah satu manfaat penggunaan Periphyton sebagai bioindikator adalah karena secara umum spesies Periphyton bersifat menetap dalam waktu yang lama dan mampu merespon bahan polutan yang terlarut dalam perairan, sehingga mampu memberikan informasi tentang kondisi kualitas suatu perairan sesuai dengan yang sebenarnya (Crossey dan La Point 1988; Stewart dan Davies 1990). Masuknya beban polutan ke dalam ekosistem perairan akan mempengaruhi komponen biota akuatik terutama pada struktur dan fungsinya dalam rantai makanan yang dapat diketahui dengan adanya perubahan komposisi, jumlah, dan kelimpahan taksanya.

Penilaian kualitas lingkungan yang dewasa ini banyak dilakukan untuk melengkapi hasil pendugaan parameter fisika dan kimia adalah dengan memasukkan parameter biologi. Menurut Soewignyo *et al.*, (1986), penentuan kualitas perairan secara biologi dapat dianalisis secara kuantitatif yaitu dengan melihat jumlah kelimpahan jenis organisme yang hidup di lingkungan perairan tersebut dan dihubungkan dengan keanekaragaman tiap jenisnya dan cara penentuan yang lain adalah dengan analisis secara kualitatif dengan melihat jenis-jenis organisme yang mampu beradaptasi pada kondisi lingkungan tertentu.

Penggunaan periphyton sebagai indikator penilaian kualitas perairan telah banyak dilakukan penelitian oleh banyak peneliti maupun ahli.

Hasil penelusuran dari beberapa literatur, abstrak, dan web ilmu pengetahuan yang dilakukan oleh Scott (2010) dengan fokus utama berkaitan dengan ekologi Periphyton ditemukan kurang lebih 150 paper yang terbagi menjadi 7 topik bahasan utama yaitu: 1) Pengaruh perubahan fisik, 2) Pengaruhnya terhadap pemaparan dan respon, 3) Faktor lingkungan yang membatasi, 4) Hubungan persaingan, 5) Pengaruh akibat pemangsa, 6) Periphyton sebagai indikator lingkungan, 7) Kedudukan Periphyton dalam siklus rantai makanan pada lingkungan kolam.

Penggunaan Periphyton untuk menilai kualitas air sungai didasarkan pada 3 pendekatan yaitu :

1. Pendekatan yang paling lama (tua) yaitu berdasarkan konsep indikator spesies, seperti pemakaian jenis alga untuk menilai kualitas air. Pendekatan yang paling lama digunakan adalah sistem saprobik (Hill *et al.*, 2000), sistem ini masih digunakan secara luas untuk monitoring penilaian kualitas air dan air buangan meskipun hingga saat ini banyak mengalami perbaikan (Lange-Bartelot 1979; Frederich *et al.*, 1992). Sistem saprobik terbukti memiliki kelemahan dalam pemantauan kerusakan ekosistem sungai, karena tidak memberikan informasi keterkaitannya antara keberadaan beban unsur hara dengan rendahnya keragaman hayati yang terbentuk (Patrick 1973; Guzkowska dan Gasse 1990).
2. Pendekatan yang didasarkan pada struktur komunitas dimana anggapan bahwa lingkungan yang masih alami (*pristine*) akan mendukung tingginya keanekaragaman hayati dibandingkan dengan

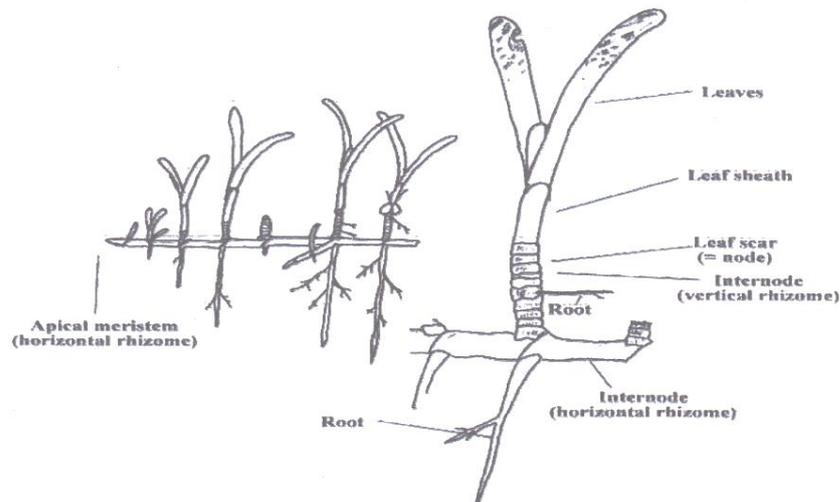
lingkungan yang telah mengalami gangguan, jadi keberadaan struktur komunitas mencerminkan kesehatan dari suatu ekosistem. Indeks struktur komunitas (keragaman, kelimpahan, kekayaan taksa dan keseragaman) biasa digunakan dalam pemantauan pencemaran sungai dari *point source* (Freidrich *et al.*, 1992).

3. Pendekatan indeks biotik yang digunakan untuk menilai kualitas air dan ekosistem sungai secara terintegrasi (Fausch *et al.*, 1984; Karr *et al.*, 1986; Kerans dan Karr 1994). Indeks biotik dikembangkan dengan memadukan dua konsep pendekatan antara indikator spesies dan struktur komunitas dalam penilaian kualitas air berdasarkan hubungan parameter fisika kimia kondisi saat ini dan yang sebelumnya. Dalam pendekatan ini memanfaatkan analisis multivariat untuk mengetahui hubungan antara data kondisi lingkungan dengan keberadaan organisme dikaitkan dengan pendekatan kondisi karakteristik ekologi danau maupun sungai (Frits *et al.*, 1993; Dixit dan Smol 1994; Pan *et al.*, 1996, Reynoldson *et al.*, 1997).

2.5. Morfologi dan Klasifikasi Lamun

Lamun (*seagrass*) merupakan satu-satunya tumbuhan berbunga (*Angiospermae*) yang memiliki rhizoma, daun dan akar sejati yang hidup terendam di dalam laut. Lamun umumnya membentuk padang lamun yang luas di dasar laut yang masih dapat dijangkau oleh cahaya matahari yang memadai bagi pertumbuhannya. Air yang bersirkulasi diperlukan untuk menghantarkan zat-zat hara dan oksigen, serta mengangkut hasil metabolisme lamun ke luar padang lamun (Bengen, 2002).

Lamun mempunyai rhizoma (tangkai horizontal) yang berkembang dengan baik, dan biasanya tumbuh di bawah permukaan substrat dan memiliki asosiasi antara satu dengan yang lainnya. Akar-akarnya tumbuh dengan baik dari rhizoma pada bagian bawah (Gambar 2.6).



Gambar 2.5 Morfologi Lamun (Hemminga dan Duarte, 2000)

Lamun dapat ditemukan di seluruh dunia kecuali di daerah kutub, lebih dari 52 spesies lamun yang telah ditemukan. Di Indonesia hanya terdapat tujuh marga dan sekitar 15 spesies, yang termasuk ke dalam dua suku yaitu: Hydrocharitaceae (9 marga, 35 jenis) dan Potamogetonaceae (3 marga, 15 jenis).

Secara lengkap klasifikasi beberapa jenis lamun yang terdapat di perairan pantai Indonesia (Phillips dan Menez, 1988) adalah sebagai berikut :

Divisi : Anthophyta
 Kelas : Angiospermae
 Subkelas: Monocotyledonae
 Ordo : Helobiae
 Famili : Hydrocharitaceae
 Genus : *Enhalus*
 Species : *Enhalus acoroides*
 Genus : *Halophila*
 Species : *Halophila decipiens*
 Halophila ovalis
 Hophila minor
 Halophila spinulosa
 Genus : *Thalassia*
 Species : *Thalassia hemprichii*
 Famili : Potamogetonaceae
 Genus : *Cymodocea*

Species : *Cymodocea rotundata*
Cymodocea serrulata

Genus : *Halodule*

Species : *Halodule pinifolia*
Halodule uninervis

Genus : *Syringodium*

Species : *Syringodium isoetifolium*

Tumbuhan lamun terdiri dari akar, rhizoma dan daun. Rhizoma merupakan batang yang terpendam dan merayap secara mendatar dan berbuku-buku. Pada buku-buku tersebut tumbuh batang pendek yang tegak ke atas, berdaun dan berbunga. Pada buku tumbuh pula akar. Lamun memiliki daun-daun tipis yang memanjang seperti pita yang mempunyai saluran-saluran air (Semesi *et al.*, 2009).

Bentuk daun seperti ini dapat memaksimalkan difusi gas dan nutrisi antara daun dan air, juga memaksimalkan proses fotosintesis di permukaan daun (Philips dan Menez, 1988).

Deskripsi bagian – bagian tubuh lamun sebagai berikut:

1) Akar

Terdapat perbedaan morfologi dan anatomi akar yang jelas antara jenis lamun yang dapat digunakan untuk taksonomi. Akar pada beberapa spesies seperti *Halophila* dan *Halodule* memiliki karakteristik tipis (*fragile*), seperti rambut, diameter kecil, sedangkan spesies *Thalassodendron* memiliki akar yang kuat dan berkayu dengan sel epidermal. Jika 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 akar tumbuhan darat (Philips dan Menez, 1988).

Akar-akar halus yang tumbuh di bawah permukaan rhizoma, memiliki adaptasi khusus (contoh: aerenchyma, sel epidermal) terhadap lingkungan perairan. Semua akar memiliki pusat stele yang dikelilingi oleh endodermis. Stele mengandung floem (jaringan transpor nutrisi) dan xilem (jaringan yang

menyalurkan air) yang sangat tipis. Karena akar lamun tidak berkembang baik untuk menyalurkan air maka dapat dikatakan bahwa akar lamun tidak berperan penting dalam penyaluran air (Philips dan Menez, 1988).

Rasheed (2004) menjelaskan bahwa lamun mampu untuk menyerap nutrisi dari dalam substrat (interstitial) melalui sistem akar-rhizoma. Selanjutnya, fiksasi nitrogen yang dilakukan oleh bakteri heterotropik di dalam rhizosfer *Halophila ovalis*, *Enhalus acoroides*, *Syringodium isoetifolium* dan *Thalassia hemprichii* cukup tinggi lebih dari 40 mg N.m⁻².hari⁻¹. Koloni bakteri yang ditemukan di lamun memiliki peran yang penting dalam penyerapan nitrogen dan penyaluran nutrisi oleh akar. Fiksasi nitrogen merupakan proses yang penting karena nitrogen merupakan unsur dasar yang penting dalam metabolisme untuk menyusun struktur komponen sel.

Lamun sering ditemukan di perairan dangkal daerah pasang surut yang memiliki substrat lumpur berpasir dan kaya akan bahan organik. Pada daerah yang terlindung dengan sirkulasi air rendah (arus dan gelombang) dan merupakan kondisi yang kurang menguntungkan (temperatur tinggi, anoxia, terbuka terhadap udara) seringkali mendukung perkembangan lamun. Kondisi anoxia di sedimen merupakan hal yang menyebabkan penumpukan fosfor yang siap untuk diserap oleh akar lamun dan selanjutnya disalurkan ke bagian tumbuhan yang membutuhkan untuk pertumbuhan.

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 berkeluk-luk. Sebagian besar oksigen yang disimpan di akar dan rhizoma digunakan untuk metabolisme dasar sel kortikal dan epidermis seperti yang dilakukan oleh mikroflora di rhizosfer. Beberapa lamun diketahui mengeluarkan oksigen melalui akarnya (*Halophila ovalis*) sedangkan

spesies lain (*Thalassia testudinum*) terlihat menjadi lebih baik pada kondisi anoksik. Campbell *et al.*, (2006) 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

Lamun umumnya memiliki rhizoma herbaceous kecuali pada *Thalassodendron ciliatum* (percabangan simpodial) yang memiliki rhizoma berkayu yang memungkinkan spesies ini hidup pada habitat karang yang bervariasi di mana spesies lain tidak bisa hidup. Kemampuannya untuk tumbuh pada substrat yang keras menjadikan *T. ciliatum* memiliki energi yang kuat dan dapat hidup berkoloni pada hamparan terumbu karang di pantai selatan Bali, yang merupakan perairan yang terbuka terhadap laut Hindia yang memiliki gelombang yang kuat (Campbell *et al.*, 2006).

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 seringkali terbenam di dalam substrat yang dapat meluas secara ekstensif dan memiliki peran yang utama pada reproduksi secara vegetatif dan reproduksi yang dilakukan secara vegetatif

merupakan hal yang lebih penting daripada reproduksi dengan pembibitan karena lebih menguntungkan untuk penyebaran lamun. Rhizoma merupakan 60 - 80 % biomassa lamun (Campbell *et al.*, 2006).

3) Daun

Seperti semua tumbuhan monokotil, daun lamun diproduksi dari meristem basal yang terletak pada potongan rhizoma dan percabangannya. Meskipun memiliki bentuk umum yang hampir sama, 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. Contohnya adalah 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.

Anatomi yang khas dari daun lamun adalah ketiadaan stomata dan keberadaan kutikula yang tipis. Kutikula daun yang tipis tidak dapat menahan pergerakan ion dan difusi karbon sehingga daun dapat menyerap nutrisi langsung dari air laut. Air laut merupakan sumber bikarbonat bagi tumbuh-tumbuhan untuk penggunaan karbon inorganik dalam proses fotosintesis.

Daun menyerap hara langsung dari perairan sekitarnya, mempunyai rongga untuk mengapung agar dapat berdiri tegak di air, tapi tidak banyak mengandung serat seperti tumbuhan rumput di darat (Lee *et al.*, 2007)). Sebagian besar lamun berumah dua, artinya dalam satu tumbuhan hanya ada jantan saja atau betina saja.

Sistem pembiakannya bersifat khas karena melalui penyerbukan dalam air (Nontji, 1993).

Pada umumnya lamun memiliki pola hidup yang melimpah seperti hamparan, oleh karena itu sering disebut sebagai padang lamun. Padang lamun merupakan hamparan vegetasi lamun yang menutupi suatu area pesisir atau laut dangkal, terbentuk dari satu jenis atau lebih dengan kerapatan padat atau jarang (Kawaroe, 2009). Ekosistem lamun merupakan salah satu ekosistem laut dangkal yang paling produktif. Di samping itu ekosistem lamun mempunyai peranan penting dalam menunjang kehidupan dan perkembangan jasad hidup di laut dangkal, yaitu sebagai produsen primer, habitat biota, penjebak sedimen dan penjebak zat hara (Romimohtarto dan Juwana, 2001). Laju produksi ekosistem padang lamun diartikan sebagai pertambahan biomassa lamun dalam selang waktu tertentu dengan laju produksi (produktivitas) yang sering dinyatakan dengan satuan berat kering per m² perhari (gbk/m²/hari). Bila dikonversi ke produksi karbon maka produksi biomassa lamun berkisar antara 500 - 1000 gC/m²/tahun bahkan dapat lebih dua kali lipat (Azkab, 2000).

Lamun pada umumnya dapat tumbuh pada semua tipe dasar laut, namun padang lamun yang luas hanya dapat dijumpai pada tipe dasar laut yang berlumpur pasir dan tebal (Nontji, 2005). Phillips dan Menez (1988) menjelaskan bahwa lamun hidup dan berkembang dengan baik di perairan pantai atau goba dengan dasar pasir, lumpur, kerikil, atau pecahan karang mati (koral), pada perairan dangkal hingga kedalaman empat meter. Tumbuhan lamun ada yang membentuk komunitas padang lamun tunggal (*Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides*, *Halophila ovalis*, *Cymodocea rotundata*, dan *Thalassodendron ciliatum*); ada juga yang membentuk vegetasi campuran seperti : *Enhalus acoroides* - *Thalassia hemprichii*, *Cymodocea rotundata* - *Halophila ovalis*, *Halophila ovalis* - *Halodule uninervis*, *Thalassia hemprichii* - *Cymodocea rotundata* (Nienhuis et al., 1991).

Lamun tumbuh pada empat tipe habitat, yaitu: (a) rata-rata terumbu dengan kedalaman sekitar 2 meter, (b) paparan terumbu dengan kedalaman didominasi oleh sedimen karbonat (dari pecahan karang sampai pasir koral halus) (c) teluk dangkal yang didominasi oleh pasir hitam terigenous, dan (d) pantai intertidal yang datar dan didominasi oleh lumpur halus terigenous (Azkab, 2000).

Jenis-jenis lamun dapat berkembang baik di perairan laut dangkal karena mempunyai beberapa sifat yang memungkinkan lamun untuk hidup, yaitu:

- (a) Mampu tumbuh dan berkembang pada lingkungan air asin
- (b) Mampu berfungsi normal dalam keadaan terbenam
- (c) Mempunyai sistem perakaran jangkar yang berkembang baik
- (d) Mampu melaksanakan penyerbukan bunga dalam keadaan terbenam air, dan
- (e) Mampu beradaptasi di lingkungan laut (Dahuri, 2000).

Beberapa deskripsi umum dari spesies lamun yang ditemukan di Asia Pasifik:

1. *Enhalus acoroides* adalah lamun laut yang paling khusus dan mudah dibedakan dengan spesies lain. Mempunyai daun yang panjang seperti pita (30 – 150 cm dengan lebar 1,25 – 1,75 cm), umumnya berwarna hijau, gelap dan tebal (susah dirobek), memiliki rhizoma yang tebal sekitar 1 cm dan bulu yang panjang, memiliki akar yang banyak dan tebalnya berkisar antara 3 – 5 mm. Ujung daun sering rusak oleh herbivora yang memakannya atau pengaruh cuaca yang buruk. *Enhalus acoroides* hampir ditemukan di semua lokasi penelitian disebabkan karena spesies ini mempunyai daya tahan hidup yang paling kuat terhadap faktor-faktor fisik (Susetiono, 2004). *Enhalus acoroides* memiliki akar-akar yang kuat dan kokoh sehingga menembus ke dalam sedimen sehingga dapat bertahan hidup walaupun dipengaruhi oleh faktor fisik seperti arus dan pasang surut yang kuat (Mvungi, 2011).

2. *Thalassia hemprichii* mempunyai rhizoma yang tebal (sampai 50 mm) batas

bagian daun adalah 3 – 7 cm dengan perkembangan yang baik, panjang daun pada umumnya 10 – 14 cm berbentuk seperti pita dan seringkali membengkok secara lateral sedangkan lebar daun umumnya berkisar 0,4 – 1,0 cm. Terdapat kurang lebih 10 – 17 urat daun dengan ujung daun bulat (Azkab, 2000., Kiswara, 1992).

3. *Halophila ovalis* dapat digambarkan sebagai lamun laut yang mirip dengan tembakau. Mempunyai helai daun oval sampai elips dengan panjang berkisar 1 – 4 cm sedangkan lebar helaian daun adalah 0,5 – 2,0 cm. Daun mempunyai 10 – 25 pasang urat yang bersilang pada sudut 40 – 60 derajat dengan urat yang tengah. Mempunyai rhizoma yang tipis, pucat dan lembut serta mempunyai akar yang halus (Azkab, 2000., Kiswara, 1992).
4. *Cymodocea rotundata* mempunyai rhizoma yang halus dengan tunas yang pendek pada setiap ruas dan terdapat 2 – 7 daun. Pelepah daun berkembang dengan baik dan memiliki panjang 1,5 – 5,5 cm. Daun lurus sampai membengkok, pipih dengan panjang 7 – 15 cm dan lebar 2 – 4 mm. Terdapat 7 – 15 urat daun (Azkab, 2000., Kiswara, 1992).
5. *Cymodocea serrulata* memiliki tunas yang terdapat 2 – 5 daun. Daun lurus sampai melengkung dengan panjang 6 – 15 cm dan lebar 4 – 9 mm serta memiliki 13 – 17 urat daun (Azkab, 2000., Kiswara, 1992).
6. *Syringodium isoetifolium* merupakan satu – satunya lamun laut yang mempunyai daun bulat mudah dikenali. Daun cukup tipis dengan diameter 1 – 2 mm dan ujung daun berbentuk runcing serta memiliki panjang berkisar dari 7 – 30 cm. Rhizomanya tipis dan pada tiap ruas terdapat tunas pendek dengan 2 – 3 daun (Azkab, 2000., Kiswara, 1992).
7. *Halodule pinifolia* memiliki daun yang lebar berkisar antara 0,6 – 1,2 mm dengan panjang helai daun 5 – 20 cm memiliki rhizoma yang jarak antara tunas

adalah 1 – 3 cm, setiap pertunasan terdapat 2 – 3 akar yang tipis dan halus (Philips dan Menez, 1988).

8. *Thalassodendron ciliatum* memiliki jarak antara setiap tunas pada rhizoma 1,5 – 3 cm dengan panjang batang 1 – 2 cm atau 10 – 65 cm jumlah akar 1 – 5, memiliki percabangan kecil dan padat. Panjang batang daun 15 – 30 mm dan lebar daun 2– 8 mm, sedangkan panjang helai daun 6 – 13 mm memiliki urat daun 17– 27 buah. Bunga jantan memiliki panjang 4 mm sedangkan panjang buah 3,5 – 5 cm (Philips dan Menez, 1988).

9. *Halophila minor* memiliki rhizoma yang halus, panjang helai daun 0,7 – 1,4 cm dan lebar daun 3 – 5 mm sedangkan urat pada helai daun berjumlah 3 – 8 buah (Philips dan Menez, 1988).

10. *Halodule uninervis* dianggap sebagai spesies pionir, mengindikasikan substrat dasar yang tidak stabil sering ditemukan di daerah dengan substrat berupa puing karang berbatu (Brouns dan Heijs, 1991 dalam Tomascik *et al.*, 1997). Memiliki morfologi daun tipis dengan ketebalan kurang lebih 2-3 mm, tinggi lamun tidak lebih dari 12 cm. Spesies *Halodule uninervis* memiliki rhizoma dengan akar yang panjang sehingga kuat dalam substrat (Azkab, 2000 dan Kiswara, 1992).

Menurut Den Hartog (1967) dalam Azkab (2000), karakteristik pertumbuhan lamun dapat dibagi enam kategori yaitu;

1. Parvozosterids, dengan daun memanjang dan sempit: *Halodule*, *Zostera* sub-marga *Zosterella*.
2. Magnozosterids, dengan daun memanjang dan agak lebar: *Zostera* sub-marga *Zostera*, *Cymodocea* dan *Thalassia*.
3. Syringodiids, dengan daun bulat seperti lidi dengan ujung runcing: *Syringodium*

4. Enhalids, dengan daun panjang dan kaku seperti kulit atau berbentuk ikat pinggang yang kasar; *Enhalus*, *Posidonia*, *Phyllospadix*.

5. Halophilids; dengan daun bulat telur, elips, berbentuk tombak atau panjang, rapuh dan tanpa saluran udara: *Halophila*

6. Amphibolids, daun tumbuh teratur pada kiri dan kanan: *Amphibolis*, *Thalassodendron*, dan *Heterozostera*.

Ekosistem lamun merupakan salah satu ekosistem pantai yang produktif.

Menurut Thayer (1975) dalam Kiswara (1992), ekosistem lamun di perairan laut dangkal mempunyai fungsi:

a. Memfiksasi karbon organik yang sebagian besar masuk ke sistem daur rantai makanan baik melalui pemangsa langsung oleh hewan herbivora maupun melalui proses dekomposisi sebagai serasah. Sebagai produsen primer lamun mempunyai tingkat produktivitas primer yang tinggi;

b. Memberi perlindungan dan tempat penempelan bagi berbagai jenis hewan. Selain itu padang lamun dapat dijadikan daerah asuhan dan tempat mencari makan.

c. Menangkap sedimen dan menjadi stabilisator dasar perairan serta melindungi pantai dari erosi. Daun lamun yang lebat dapat memperlambat laju masukan air yang disebabkan oleh arus dan ombak, sehingga perairan di sekitarnya menjadi tenang, dan akhirnya dapat menahan dan mengikat sedimen;

d. Berperan penting pada berbagai daur zat hara.

Lamun memiliki peranan yang sangat penting bagi ekosistem dan lingkungan yang ada di sekitarnya. Lamun merupakan salah satu komunitas yang memiliki produksi cukup besar, bahkan melebihi komunitas padang rumput, makroalga, dan terumbu karang. Penilaian terhadap biomassa dan produktivitas

dari populasi lamun tersebut membuktikan pandangan, bahwa lamun merupakan ekosistem yang cukup produktif dan subur.

Tabel 2.3. Kekayaan jenis dan sebaran lamun di Indonesia

Jenis	Sebaran				
	1	2	3	4	5
Potamogetonaceae					
• <i>Halodule uninervis</i>	+	+	+	+	+
• <i>Halodule pinifolia</i>	+	+	+	+	+
• <i>Cymodocea rotundata</i>	+	+	+	+	+
• <i>Cymodocea serrulata</i>	+	+	+	+	+
• <i>Syringodium isoetifolium</i>	+	+	+	+	+
• <i>Thalassodendron ciliatum</i>	+	+	+	+	+
Hydrocharitaceae					
• <i>Enhalus acoroides</i>	+	+	+	+	+
• <i>Halophila decipiens</i>	+	+	+	+	+
• <i>Halophila minor</i>	+	+	+	+	+
• <i>Halophila ovalis</i>	+	+	+	+	+
• <i>Halophila spinulosa</i>	+	+	+	+	+
• <i>Thalassia hemprichii</i>	+	+	+	+	+

(Azkab, 2009)

Keterangan: + = ada - = tidak ada

Daerah penyebaran : 1 = Sumatera; 2 = Jawa, Bali, Kalimantan; 3 = Sulawesi;

4 = Maluku dan Nusa Tenggara; 5 = Irian Jaya

Lamun adalah tumbuhan berbijih tunggal (monokotil) dari kelas Angiospermae. Terdapat 4 Famili lamun yang diketahui diseluruh perairan di dunia, 2 diantaranya terdapat di perairan Indonesia. yaitu Hydrocharitaceae dan Potamogetonaceae., di Indonesia tercatat ada 12 jenis lamun, 6 jenis dari Suku Hydrocharitaceae, dan 6 jenis dari Suku Potamogetonaceae (Tabel. 2.2). Studi tentang lamun di Indonesia, khususnya di Bangka belitung telah dilaporkan (Rosalina *et al.*, 2018a,b; 2019a,b).

2.6. Parameter Oseanografi yang Mempengaruhi Pertumbuhan Lamun

2.6.1. Salinitas

Salinitas adalah total konsentrasi ion-ion terlarut yang terdapat di perairan.

Salinitas dinyatakan dalam satuan promil (‰). Nilai salinitas perairan tawar biasanya kurang dari 0,5‰, perairan payau antara 0,5 ‰ – 30 ‰, dan perairan laut

30 ‰ – 40 ‰. Pada perairan pesisir, nilai salinitas sangat dipengaruhi oleh masukan air tawar dari sungai (Effendi, 2003).

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, sebagian besar memiliki kisaran yang besar terhadap salinitas yaitu antara 10 - 30 ‰.

Penurunan salinitas akan menurunkan kemampuan fotosintesis. (Dahuri, 2001).

2.6.2. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme. Perubahan suhu dapat mempengaruhi metabolisme, penyerapan unsur hara dan kelangsungan hidup lamun. Pada kisaran suhu 25 – 30 °C, fotosintesis bersih akan meningkat dengan meningkatnya suhu. Demikian juga, respirasi lamun meningkat dengan meningkatnya suhu, namun dengan kisaran yang lebih luas yaitu 5 – 35 °C (Hutomo, 1999).

Menurut Nontji (1993), pengaruh suhu terhadap sifat fisiologi organisme perairan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi fotosintesis. Suhu rata-rata untuk pertumbuhan lamun berkiasar antara 24 – 27 °C. Suhu air dibagian pantai biasanya sedikit lebih tinggi daripada di lepas pantai. Suhu air permukaan di perairan nusantara umumnya berada dalam kisaran 28 - 30 °C sedangkan pada lokasi yang sering mengalami *upwelling*, seperti Laut Banda, suhu permukaan bisa menurun sekitar 25 °C.

2.6.3. Kekeruhan

Kekeruhan adalah suatu ukuran biasan cahaya di dalam air yang disebabkan oleh adanya partikel koloid dan suspensi dari suatu polutan yang terkandung dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya partikel-partikel kecil dan koloid berukuran $10 \mu\text{m}$ sampai 10μ seperti kwarts, tanah liat, sisa tanaman dan sebagainya. Kekeruhan air juga disebabkan oleh adanya padatan tersuspensi seperti lumpur, zat organik, plankton dan organisme kecil lainnya (Effendi, 2003).

Menurut Boyd (1985) dalam Effendi (2003), peningkatan nilai turbiditas pada perairan dangkal dan jernih sebesar 25 NTU dapat mengurangi 13 % - 50 % produksi primer. Padatan tersuspensi berkorelasi positif dengan kekeruhan.

Semakin tingginya padatan terlarut tidak selalu diikuti dengan tingginya kekeruhan, misalnya air laut memiliki nilai padatan terlarut tinggi, tetapi tidak berarti memiliki kekeruhan yang tinggi. Kekeruhan yang tinggi dapat mengakibatkan terganggunya sistem osmoregulasi.

Kebutuhan padang lamun akan intensitas cahaya yang tinggi untuk membantu proses fotosintesis diperlihatkan dengan observasi dimana distribusinya terbatas pada perairan dengan kedalaman tidak lebih dari 10 meter. Beberapa aktivitas yang meningkatkan muatan sedimentasi pada badan air akan berakibat pada tingginya turbiditas residu sehingga berpotensi untuk mengurangi penetrasi cahaya. Hal ini dapat mengganggu produksi primer dari ekosistem padang lamun (Dahuri, 2001).

2.6.4. 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 masih tergantung pada faktor-faktor lain.

Nybakken (1992) menyatakan bahwa jumlah ion hidrogen dalam suatu larutan merupakan tolak ukur keasaman. Nilai pH merupakan hasil pengukuran konsentrasi ion hidrogen dalam larutan dan menunjukkan keseimbangan antara asam dan basa air.

pH air merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi produktivitas perairan. Suatu perairan dengan pH 5,5 - 6,5 termasuk perairan yang tidak produktif, perairan dengan pH 6,5 - 7,5 termasuk perairan yang produktif, perairan dengan pH 7,5 - 8,5 adalah perairan yang memiliki produktivitas yang sangat tinggi, dan perairan dengan pH yang lebih besar dari 8,5 dikategorikan sebagai perairan yang tidak produktif lagi (Mubarak, 1981).

2.6.5. Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen terlarut adalah kandungan oksigen yang terlarut dalam perairan yang merupakan suatu komponen utama bagi metabolisme organisme perairan yang digunakan untuk pertumbuhan, reproduksi dan kesuburan lamun (Odum, 1971).

Kandungan oksigen terlarut di perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: (1) interaksi antara permukaan air dan atmosfer, (2) kegiatan biologis seperti fotosintesis, respirasi dan dekomposisi bahan organik, (3) arus dan proses pencampuran massa air, (4) fluktuasi suhu, (5) salinitas perairan, dan (6) masuknya limbah organik yang mudah terurai. Keseimbangan struktur senyawa bahan anorganik dipengaruhi oleh kandungan oksigen perairan. Keseimbangan nitrogen misalnya ditentukan oleh besar kecilnya oksigen yang ada di perairan di mana ketika oksigen tinggi akan bergerak kesetimbangan fosfat. Hal ini disebabkan oleh

senyawa anorganik seperti nitrogen dan fosfat umumnya berada dalam bentuk ikatan dengan unsur oksigen (Hutagalung dan Rozak, 1997).

2.6.6. Nitrat

Nitrat (NO_3) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi bagi pertumbuhan lamun. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrat dapat digunakan untuk mengelompokkan tingkat kesuburan perairan. Perairan oligotrofik memiliki kadar nitrat antara 0 – 5 mg/L, perairan mesotrofik memiliki kadar nitrat antara 1 – 5 mg/L, dan perairan eutrofik memiliki kadar nitrat yang berkisar antara 5 – 50 mg/L (Effendi, 2003).

2.6.7. Fosfat

Fosfat merupakan salah satu unsur esensial bagi metabolisme dan pembentukan protein. Fosfat yang diserap oleh jasad hidup nabati perairan (makro maupun makrofita) adalah fosfat dalam bentuk orto-fosfat yang larut dalam air. Orto-fosfat dalam jumlah yang kecil, merupakan faktor pembatas bagi produktivitas perairan (Hatchinsons, 1967).

Menurut Hutagalung dan Rozak (1997), fosfat yang terkandung dalam air laut berada dalam bentuk terlarut maupun tersuspensi yang keduanya berada dalam bentuk anorganik dan organik. Bentuk senyawa anorganik terutama terdiri atas gula fosfat dan hasilnya-hasil oksidasi, nucleoprotein dan fosforprotein.

Senyawa fosfat organik yang terkandung dalam air laut umumnya berbentuk ion (orto) asam fosfat, H_3PO_4 . Kira-kira 10 % dari fosfat anorganik terdapat sebagian ion PO_4^{3-} dan sebagai besar kira-kira 90 % dalam bentuk HPO_4^{2-} .

Menurut Chaniago (1994), sumber utama fosfat terlarut dalam perairan adalah hasil pelapukan, mineral yang mengandung fosfor serta bahan organik seperti hancuran tumbuh-tumbuhan. Fosfat yang terdapat dalam air laut berasal dari hasil dekomposisi organisme, *run-off* dari daratan (erosi tanah), hancuran dari bahan-bahan organik dan mineral fosfat serta masukan limbah domestik yang mengandung fosfat. Kematian biota, lamun dan mikroorganisme lainnya memberikan masukan kuantitas nutrient dimana fosfor organik dalam jaringannya secara cepat berubah menjadi fosfat melalui enzim fosfatase.

Salah satu unsur penting sebagai makro nutrient adalah fosfor. Studi transformasi, pertukaran dan dinamika dari unsur fosfor diketahui sangat penting dalam membicarakan persediaan untuk keperluan organisme yang hidup di laut. Sumber utama unsur fosfor di laut berasal dari endapan terestrial yang mengalami erosi dan pupuk pertanian yang dibawah oleh aliran sungai. Disamping hal tersebut fosfor dalam lingkungan laut juga mengalami siklus yang meliputi interaksi antara suatu organisme dengan organisme yang lain dan antara organisme dengan lingkungannya. Siklus fosfor mempertahankan fosfor bagi organisme. Hal ini penting pada lingkungan laut yang jauh dari daerah pantai, karena tidak adanya sumber utama fosfor yang di bawa oleh aliran sungai (Horax, 1998).

Siklus fosfor juga dapat terjadi dalam sedimen laut. Hal ini menyebabkan banyak mikro organisme dapat hidup dalam sedimen, seperti mikrobentos (bakteri dan fungi, protozoa flagellate, amoeba, Alga flamentous), meiobentos (foraminifera, jenis-jenis crustaceae dan organisme-organisme kecil lainnya), dan makrobentos (binatang dengan ukuran lebih besar dari 500 mikron). Siklus ini menjadi lebih penting terutama pada lapisan sedimen yang jauh dari permukaan laut karena lapisan sedimen tersebut tidak mendapat masukan unsur fosfor dari fosfor partikulat yang terdapat dalam kolom air. Dengan adanya siklus fosfor, maka

keberadaan unsur fosfor dapat dipertahankan sehingga dapat diambil oleh mikroorganisme sebagai mikronutrien untuk kelangsungan hidupnya. Fosfat dengan mudah dihidrolisis dari senyawa organik yaitu pada pH alkalis dari air laut atau oleh enzim fosfalase yang merupakan enzim hidrolitik yang terdapat pada bakteri dan pada permukaan beberapa jenis fitoplankton terutama pada lingkungan yang rendah fosfat anorganiknya. Fraksi lain dari fosfat terlarut yang sebagian berbentuk koloid terdiri dari ester fosfat organik yang berasal dari organisme hidup. Fraksi ini disamping merupakan hasil ekskresi organisme, juga terbentuk dari hasil autolisis organisme yang mati (Horax, 1998).

Sulaeman (2005) mengemukakan pembagian tipe perairan berdasarkan kandungan fosfat di perairan sebagai berikut :

Tabel 2.4. Penggolongan kesuburan perairan berdasarkan kandungan fosfatnya

No	Kandungan Fosfat	Tingkat Kesuburan
1	<5 ppm	Kesuburan sangat rendah
2	5 – 10 ppm	Kesuburan rendah
3	11 – 15 ppm	Kesuburan sedang
4	16 – 20 ppm	Kesuburan baik sekali
5	>21 ppm	Kesuburan sangat baik

2.6.8. Sedimen

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 meneralisasi yang terjadi di dalam substrat (Kiswara, 1992).

Hutabarat dan Evans (1985) menyatakan bahwa partikel batuan-batuan diangkut dari daratan ke laut oleh-sungai-sungai. Begitu sedimen mencapai lautan, penyebaran kemudian ditentukan oleh sifat-sifat fisik dari partikel itu sendiri

khususnya oleh lamanya tinggal melayang-layang di lapisan (kolom) air. Partikel-partikel yang berukuran besar cenderung untuk lebih cepat tenggelam dan menetap daripada yang berukuran kecil. Sedimen terdiri dari bahan organik dan bahan anorganik. Bahan organik berasal dari hewan dan tumbuh-tumbuhan yang membusuk lalu tenggelam ke dasar dan bercampur dengan lumpur. Bahan anorganik umumnya berasal dari hasil pelapukan batuan. Sedimen hasil pelapukan batuan terbagi atas, kerikil, pasir, lumpur dan liat. Butiran kasar banyak dijumpai dekat pantai, sedangkan butiran sedimen halus banyak ditemui di perairan dalam atau perairan tenang.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

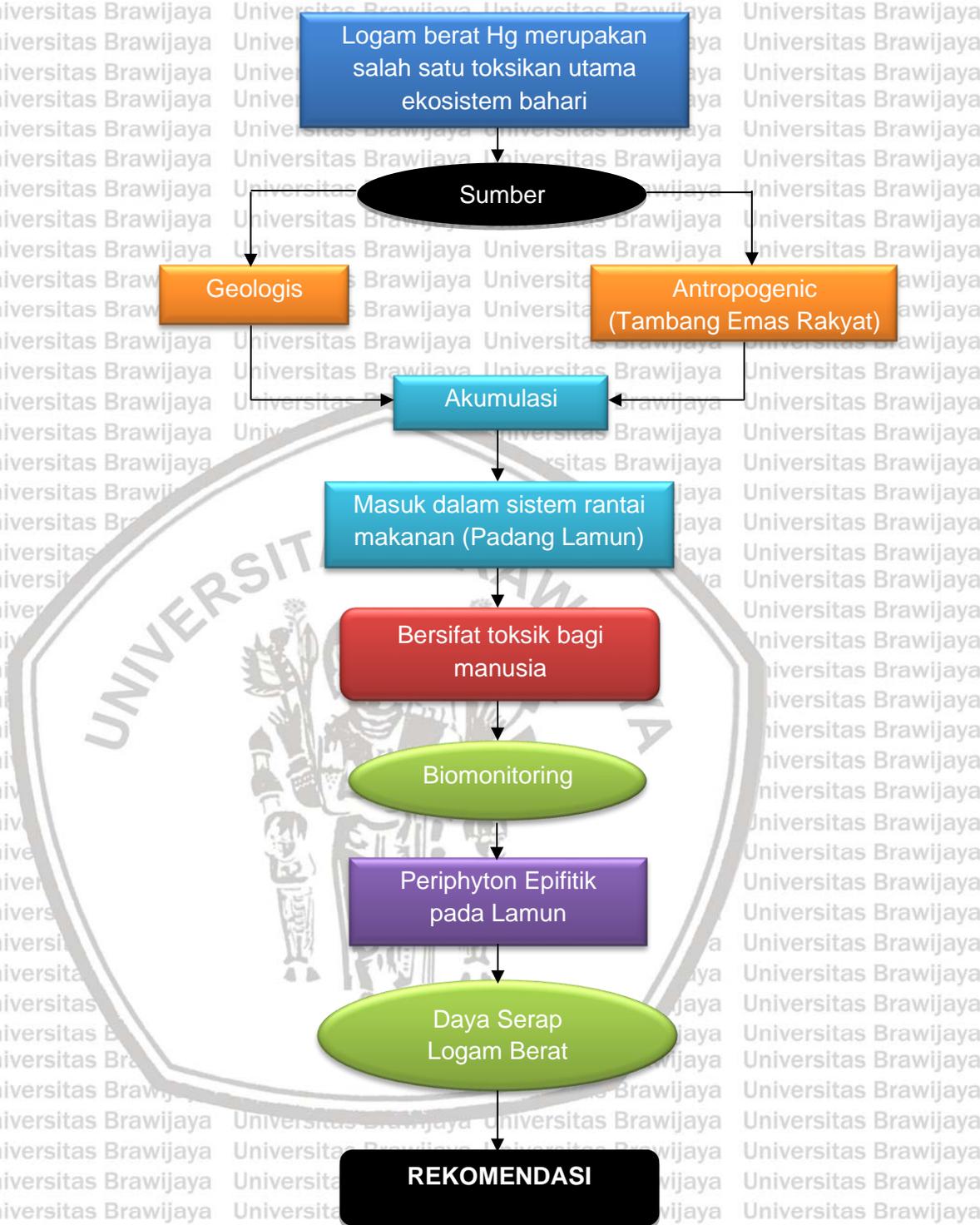


BAB III. KERANGKA PENELITIAN

3.1. Kerangka Konsep Penelitian

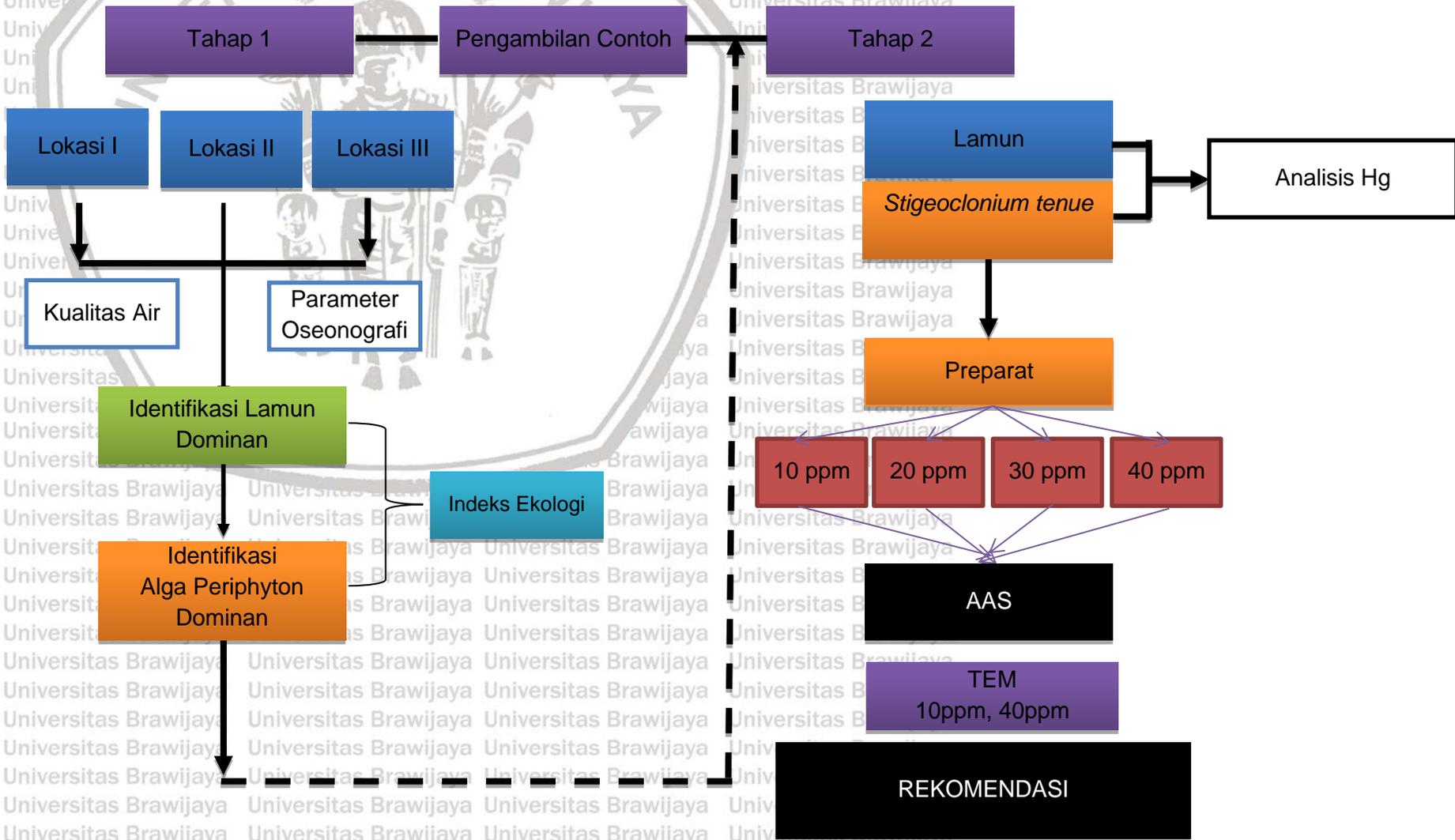
Logam berat merupakan salah satu sumber kerusakan lingkungan pada ekosistem bahari. Secara alami, logam berat dapat memasuki ekosistem bahari melalui aktivitas geologis. Selain itu pula, aktivitas manusia (*antropogenik*) seperti industri, pertanian perhubungan dan pertambangan merupakan sumber utama kontaminasi logam berat pada ekosistem bahari. Kontaminasi logam berat di perairan sebagian besar mengendap pada sedimen sedangkan hanya sebagian kecil yang diabsorpsi oleh plankton. Salah satu jenis logam berat yang diketahui menjadi penyebab utama kerusakan ekosistem perairan adalah merkuri (Hg). Logam berat tersebut dapat diabsorpsi oleh organisme perairan dan masuk dalam system rantai makanan yang pada akhir akan menyebabkan toksisitas pada manusia jika berada di atas ambang batas toleransi.

Sebagai upaya mencegah resiko toksisitas logam berat pada manusia, maka perlu dilakukan upaya pengendalian dengan memonitoring keberadaan logam berat pada lingkungan perairan. Upaya memonitoring logam berat dapat dilakukan dengan menggunakan organisme-organisme laut yang memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap keberadaan logam berat. Selain memiliki sensitivitas yang tinggi, kriteria utama suatu organisme dapat digunakan sebagai alat biomonitoring, adalah organisme tersebut memiliki kelimpahan yang tinggi, memiliki peran yang signifikan pada komunitas dan rantai makanan serta berada pada wilayah tercemar secara permanen. Salah satu organisme laut yang memiliki kepadatan yang tinggi dan dapat digunakan sebagai spesies biomonitoring laut adalah periphyton.



Gambar 3.1. Kerangka Konsep Penelitian

3.2. Kerangka Operasional Penelitian



Tabel 3.1. Variabel Penelitian

No	Tujuan	Variabel	Deskripsi Variabel	Metode	Satuan	Acuan
			1. Kepadatan Suatu komunitas yang menggambarkan tingkat keanekaragaman jenis organisme yang terdapat dalam komunitas tersebut. Kepadatan jenis tergantung dari pemerataan individu dalam tiap jenisnya.	<i>Luckey Drop Microtransecting Methods</i>	sel/cm ²	APHA, 1989
1	Menganalisis Struktur Komunitas Lamun dan Struktur Komunitas Periphyton.	Lamun & Perifiton: 1. Kepadatan 2. Indeks Diversitas 3. Indeks Dominasi 4. Indeks Keseragaman	2. Indeks Diversitas Menggambarkan secara sistematis yang melukiskan struktur komunitas dan dapat memudahkan proses analisa informasi mengenai macam dan jumlah organisme. Semakin banyak jenis yang ditemukan maka keanekaragaman akan semakin besar, meskipun nilai ini sangat tergantung dari jumlah individu masing-masing jenis	Shannon-Wiener $H' = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$ $P_i = \frac{n_i}{N}$	-	Legendre, 1983
			3. Indeks Dominasi Untuk mengetahui sejauh mana suatu kelompok biota mendominasi kelompok lain. Dominansi yang cukup besar akan mengarah pada komunitas yang labil maupun tertekan.	Indeks dominasi Simpson $D = \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$	-	Bengen, 1998

4. Indeks Keseragaman

Ukuran kesamaan jumlah individu antar spesies dalam suatu komunitas. Semakin mirip jumlah individu antar spesies (semakin merata penyebarannya) maka semakin besar derajat keseimbangan.

$$E = \frac{H'}{H_{maks}}$$

Ludwig dan Reynolds, 1988

2 Menentukan tingkat pencemaran perairan estuaria Talawan Bajo berdasarkan bioakumulasi kandungan merkuri (Hg) pada periphyton

Bioakumulasi adalah penumpukkan dari zat-zat kimia seperti pestisida, metilmerkuri, dan kimia organik lainnya di dalam atau sebagian tubuh organisme. 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.

AAS (*Atomic Adsorption Spectrophometer*) digunakan untuk menganalisis konsentrasi analit dalam sampel. Secara umum, setiap panjang gelombang akan bereaksi pada satu jenis elemen sehingga inilah yang menjadi kelemahan penggunaan alat ini

ppm

3 Menentukan periphyton sebagai bioindikator pencemaran perairan. Visualisasi Sel periphyton tingkat Hg di

Sampel periphyton dilihat perubahan selnya pada kondisi terpapar Hg pada perlakuan 5ppm dan 20ppm melalui TEM

TEM (*Transmission Electron Microscopy*)

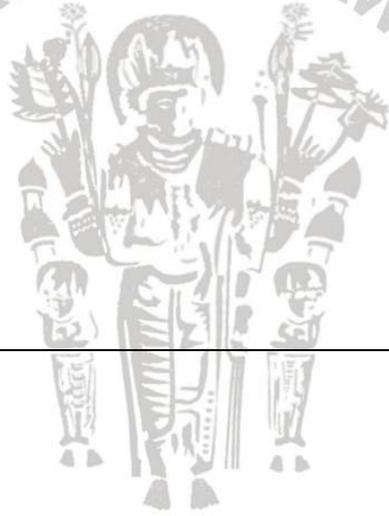
Slide foto

Manual of TEM eijkment

Teknik mikroskop di mana seberkas elektron ditransmisikan melalui spesimen untuk membentuk gambar. Spesimen ini paling sering merupakan bagian ultrathin dengan ketebalan kurang dari 100 nm atau



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



suspensi pada kisi. Gambar terbentuk dari interaksi elektron dengan sampel ketika berkas ditransmisikan melalui spesimen. Gambar kemudian diperbesar dan difokuskan ke perangkat pencitraan, seperti layar fluorescent, lapisan film fotografi, atau sensor seperti sintilator yang terpasang pada perangkat

BAB IV. METODE PENELITIAN

Berdasarkan tujuan yang ingin dicapai, maka penelitian ini dilaksanakan dalam 2 tahap, yaitu pengamatan langsung di lapangan (tahap 1) dan pengamatan dalam skala laboratorium (tahap 2). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2015 – Desember 2016.

4.1 Lokasi Penelitian

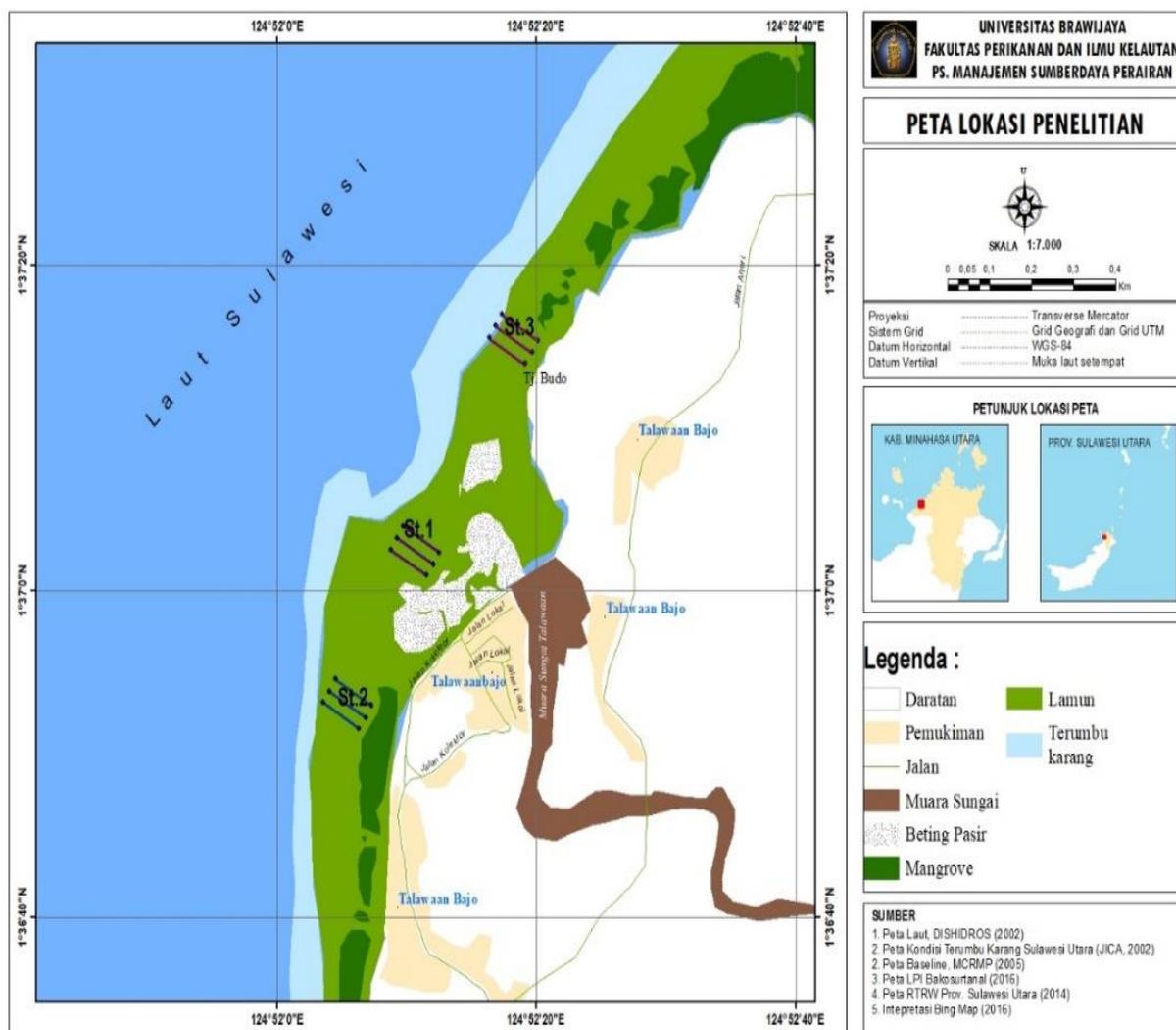
Lokasi penelitian pada tahap ini dilaksanakan di Estuari Talawaan Bajo Kabupaten Minahasa Utara Provinsi Sulawesi Utara. Profil perairan estuari Talawaan Bajo mulai dari garis pantai berupa mangrove, dan di berbagai kawasan ditumbuhi lamun dan terdapat hamparan terumbu karang sampai pada kedalaman sekitar 5 – 10 m saat air pasang dengan profil dasar yang agak landai. Daerah ini terletak berhadapan langsung dengan laut Sulawesi dan terdapat pulau yang ada di depan yaitu Siladen, Bunaken, Nain dan berada di sebelah utara Kota Manado.

Penentuan lokasi pengambilan contoh lamun dipilih berdasarkan tata guna lahan dan untuk mempelajari kemungkinan perbedaan produktivitas serta faktor-faktor lain yang mempengaruhinya yang diupayakan dapat mewakili seluruh kondisi hamparan tumbuhan lamun.

Terdapat tiga stasiun penelitian yaitu:

- I. Lokasi yang dekat dengan wilayah pemukiman dan wilayah tempat bersandar kapal nelayan.
- II. Wilayah depan mangrove.
- III. Wilayah Tanjung Budo

Penentuan lokasi ini dilakukan untuk mempelajari kemungkinan perbedaan produktivitas padang lamun dan faktor-faktor lain yang mempengaruhinya. Setiap lokasi pengamatan terdiri dari tiga sublokasi pengamatan.



Gambar 4.1. Peta lokasi pengambilan sampel

4.2. Kondisi Lingkungan Perairan

Parameter fisika kimia air yang diukur meliputi suhu, salinitas, kecepatan arus, oksigen terlarut, nitrat dan fosfat. Pengukuran beberapa parameter dilakukan secara *in situ*. Parameter yang tidak dapat diukur secara *in situ* dianalisis di Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri Manado. Pengukuran kualitas

perairan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap ekosistem lamun. Pengukuran kualitas perairan seperti: Suhu, oksigen terlarut dan derajat keasaman (pH) pengukuran dilakukan pada waktu pagi, siang dan sore hari.

Untuk pengukuran kecepatan arus dan salinitas pengukuran dilakukan pada waktu pasang dan surut dengan pengulangan sampling sebanyak 3 kali pengulangan pada titik yang sama.

4.3. Penelitian Tahap I :

4.3.1. Lamun

4.3.1.1 Metode pengambilan sampel dan penanganan sampel lamun

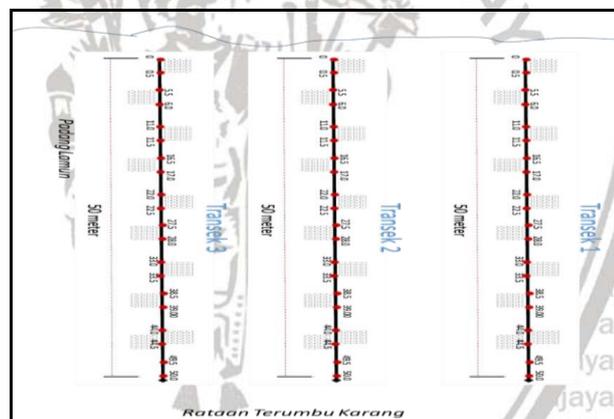
Tabel 4.1. Posisi Transek di lokasi penelitian

Stasiun	Transek	Posisi	LU	BT
1	1.1	0 Meter	1°37'14"	124°52'19"
		50 Meter	1°37'16"	124°52'16"
	1.2	0 Meter	1°37'15"	124°52'20"
		50 Meter	1°37'16"	124°52'17"
	1.3	0 Meter	1°37'15"	124°52'20"
		50 Meter	1°37'17"	124°52'17"
2	2.1	0 Meter	1°37'1"	124°52'19"
		50 Meter	1°37'3"	124°52'16"
	2.2	0 Meter	1°37'2"	124°52'20"
		50 Meter	1°37'3"	124°52'17"
	2.3	0 Meter	1°37'2"	124°52'20"
		50 Meter	1°37'4"	124°52'17"
3	3.1	0 Meter	1°36'52"	124°52'19"
		50 Meter	1°36'53"	124°52'16"
	3.2	0 Meter	1°36'52"	124°52'20"
		50 Meter	1°36'54"	124°52'17"
	3.3	0 Meter	1°36'53"	124°52'20"
		50 Meter	1°36'55"	124°52'17"

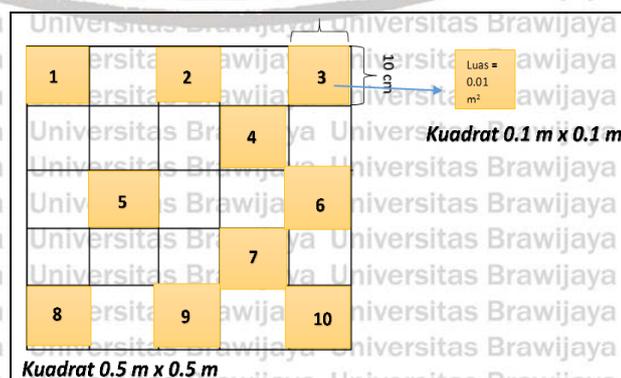
Pengambilan sampel dilaksanakan pada saat surut terendah pada fase bulan mati atau purnama. Metode yang digunakan untuk pengambilan sampel adalah metode acak, baik untuk garis transek maupun kuadrat. Transek diacak

sebanyak tiga transek berdasarkan luasan daerah hamparan lamun yang ada di lokasi penelitian, dan diletakkan tegak lurus garis pantai dengan ukuran masing-masing sepanjang 50 m (Gambar 4.2).

Jumlah kuadrat yang digunakan sebanyak 30, masing-masing 10 kuadrat untuk setiap transek, dimana ukuran kuadrat 50 x 50 cm, dan peletakan kuadrat dilakukan dengan mengacak 10 kuadrat pada line transek (Gambar 4.3). Sampel lamun yang diambil dalam setiap kuadrat dihitung jumlah jenis dan jumlah individu setiap jenis. Adapun jenis-jenis lamun yang belum teridentifikasi, dimasukkan ke dalam kantong plastik, kemudian dibawa ke Laboratorium FPIK. Selanjutnya dilakukan identifikasi dengan menggunakan buku identifikasi : Lanyon (1985): *Guide to the Identification of Seagrasses in the Great Barrier Reef Region*; Larkum *et al.*, (2007) : *Seagrass Biology, Ecology an Conservation*.



Gambar 4.2. Pemasangan line transek pada tiga stasiun



Gambar 4.3. Kuadrat pengambilan data (50 cm x 50 cm)

4.3.1.2. Analisis Data

Kerapatan jenis (D_i)

Kerapatan jenis (D_i) adalah jumlah individu (tegakan) persatuan luas.

Kerapatan masing-masing jenis pada setiap stasiun dihitung dengan menggunakan rumus (Brower *et. al.*, 1990)

$$D_i = \frac{N_i}{A}$$

Keterangan : D_i = Jumlah individu (tegakan) ke-i per satuan luas

N_i = Jumlah individu (tegakan) ke-j dalam transek kuadrat

A = Luas transek kuadrat

Frekuensi jenis (F_i)

Frekuensi jenis (F_i) adalah peluang ditemukan suatu jenis dalam titik contoh yang diamati. Frekuensi jenis dihitung dengan rumus:

$$F_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^p P_i}$$

Keterangan : F_i = Frekuensi jenis Ke-i

P_i = Jumlah petak contoh dimana ditemukan jenis i

$\sum_{i=1}^p P_i$ = Jumlah total petak contoh yang diamati

Frekuensi relatif (RF_i)

Frekuensi relatif (RF_i) adalah perbandingan antara frekuensi spesies-i (F_i) dan jumlah frekuensi seluruh spesies :

$$RF_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^F F_i} \times 100$$

Keterangan : RF_i = Frekuensi relatif

F_i = Frekuensi jenis ke-i

$\sum_{i=1}^F F_i$ = Jumlah frekuensi seluruh spesies

Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H')

Indeks keanekaragaman digunakan untuk mengukur kelimpahan komunitas berdasarkan jumlah jenis spesies dan jumlah individu dari setiap spesies pada

suatu lokasi. Semakin banyak jumlah spesies, maka semakin beragam komunitasnya. Rumus Indeks keanekaragaman Shannon sebagai berikut

Shannon-Wiener, yaitu :

$$H' = - \sum_{i=1}^s \frac{p_i}{N} \times \log_2 \frac{p_i}{N}$$

Keterangan : H' = Indeks keanekaragaman

P_i = Proporsi jumlah individu spesies ke- i terhadap jumlah individu total (n_i/N)

N = Jumlah total individu semua spesies

S = Jumlah taksa spesies

Indeks Keseragaman (E)

Untuk mengetahui seberapa besar kesamaan penyebaran jumlah individu setiap jenis digunakan indeks pemerataan, yaitu dengan cara membandingkan indeks keanekaragaman dengan nilai maksimumnya. Semakin seragam penyebaran individu antara spesies maka keseimbangan ekosistem akan semakin meningkat. Indeks pemerataan ditentukan berdasarkan rumus berikut (Brower *et al.*, 1990).

$$E = \frac{H'}{H_{max}}$$

$$H_{max} = \ln(S)$$

Keterangan : E = Indeks keseragaman Shannon

H' = Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

H_{max} = Indeks keanekaragaman maksimum

S = Jumlah jenis

Indeks Dominan Simpson (D)

Indeks Dominan Simpson untuk menggambarkan jenis yang paling banyak ditentukan dapat diketahui dengan menghitung nilai dominasinya. Dominansi dinyatakan dalam indeks dominansi Simpson (Brower *et al.*, 1990)

$$D = \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Keterangan : D = Indeks dominasi Simpson
 n_i = Jumlah individu jenis ke- i
 N = Jumlah total individu seluruh jenis

4.3.1.3 Biomassa untuk analisis kandungan Merkuri (Hg)

Pengambilan sampel lamun untuk perhitungan biomassa dilakukan pada petak yang telah ditentukan berdasarkan cara yang dipaparkan dalam English *et al.*, (1994). Cara ini dipilih karena dapat meminimalisir kerusakan lamun akibat pencabutan tanaman. Sampel lamun yang telah didapatkan dicuci agar bersih dari kotoran air laut dan epibiota dan dimasukkan dalam kantong plastik dan dimasukkan ke dalam *cool box* yang sudah diberi es batu dan sampel dibawa ke laboratorium untuk dianalisis (Hutagalung, 1997 dalam Herawati, 2008).

4.3.1.4 Pengambilan contoh sedimen analisis kandungan Merkuri (Hg)

Pengambilan sampel sedimen dilakukan di lokasi tempat pengambilan sampel penelitian tumbuhan lamun. Sampel sedimen diambil dengan menggunakan *flexi glass* berdiameter 5,08 cm dengan tinggi 35,2 cm. Setiap stasiun pengambilan sampel, sedimen diambil satu kali pada kedalaman ± 10 cm.

Sampel sedimen selanjutnya dimasukkan ke dalam kantong plastik yang telah dibersihkan dan dimasukkan ke dalam *box* dengan kondisi dingin selama transportasi sampai pada tahap analisis. Analisis sedimen meliputi jenis substrat dan kandungan total karbonnya (Kiswara, 2010).

4.3.2. Periphyton

4.3.2.1 Metode Pengambilan Sampel Priphyton pada Lamun

Contoh perifiton diambil pada masing-masing garis transek untuk semua titik. Pada masing-masing titik yang terpilih, contoh perifiton diambil pada lamun yang ada ketika air surut siang hari. Daun lamun yang terpilih adalah daun lamun

yang tidak rusak, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik yang telah diberi label dan bahan pengawet.

Di Laboratorium, contoh perifiton diambil pada berbagai daun lamun dengan cara mengerik permukaan daun lamun, kemudian diguyur dengan aquades untuk memastikan perifiton tidak ada yang tertinggal. Contoh perifiton yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel yang telah diberi label dan diencerkan dengan aquades sampai volume 100 ml, kemudian diberi bahan pengawet formalin 4 %.

Pengamatan perifiton dilakukan di bawah mikroskop binokuler dengan perbesaran 400 kali dengan menggunakan metode *Luckey Drop* dan identifikasinya didasarkan pada Biggs dan Kilroy (2000) dan buku identifikasi Davis (1955), Presscot (1959), dan Yamaji (1979).

4.3.2.2 Analisa Data periphyton

Identifikasi perifiton dilakukan di laboratorium Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang. Cara perhitungan dan identifikasi perifiton dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Mengambil air sampel perifiton yang sudah diawetkan dengan menggunakan pipet tetes dan meneteskannya pada objek glass.
2. Tutup objek glass dengan cover glass, sehingga sampel perifiton akan menutupi keseluruhan permukaan amatan.
3. Pengamatan dan perhitungan perifiton dilakukan dengan menggunakan mikroskop binokuler dengan 400x perbesaran pada lensa okuler.

Kelimpahan periphyton

Kelimpahan periphyton epifit dihitung menggunakan rumus modifikasi *Luckey Drop Microtransecting Methods* (APHA, 1989):

$$N = \frac{30i}{Op} \times \frac{Vr}{3Vo} \times \frac{1}{A} \times \frac{n}{3p}$$

dimana:

N : Jumlah diatom epifit per satuan luas (ind/cm²)

O_i : luas gelas penutup (484 mm²)

O_p : luas satuan pandang mikroskop Olympus CX 21 perbesaran 400x (1,306 mm²)

V_r : volume larutan dalam botol sampel (30 ml)

V_o : volume 1 tetes sampel (0,06 ml)

A : luas bidang kerikan (50 cm²)

n : jumlah diatom epifit yang tercacah (ind)

p : jumlah lapang pandang (12 strip)

Indeks Keanekaragaman (H')

Menghitung keanekaragaman jenis periphyton digunakan rumus

Shannon-Winner dalam Odum, 1998) sebagai berikut:

Perhitungan indeks keragaman digunakan untuk menganalisa populasi dan komunitas periphyton berdasarkan indeks Shannon-Wiener (Legendre dan Legendre, 1983). Rumus sebagai berikut:

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$$

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Dimana:

H' = Indeks Keanekaragaman Shannon

N = Total Individu seluruh genera

N_i = jumlah total individu genera ke-1

Nilai indeks keragaman Shannon dikategorikan atas nilai-nilai sebagai berikut (Brower *et al.*, 1990) yaitu apabila nilai $H' \leq 1$, maka tingkat keanekaragaman

rendah, tekanan ekologi tinggi, apabila nilai $1 < H' \leq 3$, maka tingkat keanekaragaman tinggi, tekanan ekologi rendah.

Indeks Keseragaman (E)

Untuk melihat seberapa besar nilai keseragaman penyebaran genera dalam komunitas periphyton, digunakan indeks keseragaman, yaitu rasio keanekaragaman dan nilai maksimumnya (Ludwig dan Reynolds, 1988).

$$E = \frac{H'}{H_{maks}}$$

Dimana:

E = Indeks keseragaman Evanness dengan kisaran 0-1

H' = Indeks keanekaragaman Shannon

H_{maks} = Indeks keanekaragaman maksimum = $\log S$, dimana S adalah jumlah genera

Jika nilai E mendekati 1, maka sebaran individu antar generative relative sama.

Sebaliknya jika nilai E mendekati 0, terdapat kelompok genera yang jumlahnya lebih dari genera lainnya.

Indeks Dominansi (D)

Indeks dominansi digunakan untuk menggambarkan sejauh mana suatu genera mendominasi populasi tersebut. Genera yang paling dominan ini dapat menentukan atau mengendalikan kehadiran jenis lain.

Dengan memakai indeks dominansi Simpson (Bengen, 1998).

$$D = \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Dimana:

D = Indeks Dominansi Simpson

n_i = jumlah individu genera ke-1

N = Total individu seluruh genera

Nilai indeks dominansi berkisar antara 0 - 1. Semakin besar nilai indeks semakin besar adanya kecenderungan salah satu spesies yang mendominasi populasi.

Menurut Odum (1998), nilai indeks dominansi mendekati 0, maka dapat dipastikan bahwa tidak ada spesies yang mendominasi (struktur komunitas dalam keadaan stabil) dan diikuti dengan indeks keragaman yang besar, sebaliknya

apabila indeks dominansi mendekati 1, berarti ada salah satu spesies yang mendominasi populasi tersebut (struktur komunitas labil, karena terjadi tekanan ekologis/stress). Data yang diperoleh dari pengambilan sampel disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk dibahas secara deskriptif dengan merujuk kepada literatur yang berkaitan pada penelitian dan dihubungkan dengan kondisi perairan yang ada. Untuk kelimpahan diatom epifit, indeks keseragaman, indeks dominansi dan indeks keseragaman jenis dihitung dengan menggunakan *software Microsoft Excell 2010*.

4.3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini berupa data fisika-kimia air, fisika-kimia sedimen dan data biologi dilakukan pada masing-masing stasiun penelitian. Pengukuran parameter fisika-kimia air meliputi suhu, salinitas, pH, dan arus dilakukan secara langsung di lapangan/insitu, sedangkan analisa logam berat Hg dilakukan di Laboratorium Lingkungan, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, UB. Pengukuran Perlakuan akumulasi kandungan logam berat pada periphyton dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Padjajaran Bandung. Visualisasi Perubahan struktur sel menggunakan TEM dilaksanakan di Laboratorium Eijkment Jakarta.

4.4. Penelitian Tahap II. Pengamatan Akumulasi Logam Berat Hg Dalam Skala Laboratorium

4.4.1. Uji Logam Berat

Analisis Kandungan Logam Berat Hg pada Sampel Lamun

Pengambilan sampel lamun untuk perhitungan biomassa dilakukan pada petak yang telah ditentukan berdasarkan cara yang dipaparkan dalam English *et al*,

(1994). Cara ini dipilih karena dapat meminimalisir kerusakan lamun akibat pencabutan tanaman. Sampel lamun yang telah didapatkan dicuci agar bersih dari kotoran air laut dan epibiotik dan dimasukkan dalam kantong plastik dan dimasukkan ke dalam *cool box* yang sudah diberi es batu dan sampel dibawa ke laboratorium untuk dianalisis, Herawati (2008). Selanjutnya dianalisis menggunakan *Atomic Adsorption Spectrophotometer* (AAS) dengan panjang gelombang 283,3 nm.

Analisis Kandungan Logam Berat Hg pada Alga periphyton *Stigeoclonium* sp

Sampel periphyton diambil dari tumbuhan lamun kemudian didinginkan di dalam kotak pendingin sebelum dibekukan di dalam lemari pendingin sampai dianalisis kandungan merkurnya dengan menggunakan *Atomic Adsorption Spectrophotometer* (AAS) dengan panjang gelombang 283,3 nm.

4.4.2. Uji Perlakuan Merkuri (Hg)

Metode Perlakuan Hg pada Alga periphyton *Stigeoclonium* sp

Alga periphyton *Stigeoclonium* sp diambil pada masing-masing garis transek untuk semua titik. Pada masing-masing titik yang terpilih, contoh alga periphyton diambil pada daun lamun ketika air surut siang hari. Kemudian sampel alga periphyton *Stigeoclonium* sp didinginkan di dalam kotak pendingin sampai dianalisis di laboratorium.

Adapun prosedur kerja yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

a. Pembuatan Larutan Induk Merkuri (Hg) 1000 ppm

Merkuri nitrat $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ditimbang sebanyak 0,0162 gram. Kemudian dilarutkan dengan aquabides (H_2O) sebanyak 100 mL dalam gelas kimia. Selanjutnya

dimasukkan kedalam labu ukur 1000 mL. Kemudian diencerkan dengan aquabides sampai tanda batas lalu di homogenkan.

b. Pembuatan Larutan Deret Standar Hg

Mempipet larutan baku Hg 100 ppm sebanyak 5 mL, 10 mL, 15 mL, dan 20 ml untuk masing-masing konsentrasi 10 ppm; 20 ppm; 30 ppm dan 40 ppm.

Selanjutnya dimasukkan masing-masing kedalam labu ukur 50 mL. Kemudian diencerkan dengan aquabides sampai tanda batas lalu dihomogenkan.

c. Preparasi sampel *Stigeoclonium* sp

Sampel *Stigeoclonium* sp yang telah dibersihkan, ditimbang sebanyak 10 gr dimasukkan ke dalam labu perlakuan (10 ppm; 20 ppm; 30 ppm dan 40 ppm) dengan 4 kali ulangan, dan dalam 4 jam perendaman.

d. Preparasi sampel contoh untuk di AAS

Selanjutnya diuji dengan AAS untuk mengetahui kadar Hg dalam alga. Proses ini menggunakan panduan SNI Cara Uji Kimia-Bagian 6:Penentuan kadar logam berat merkuri (Hg) pada produk perikanan (SNI 2354,6:2016 BSN).

Perhitungan Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Tingkat Bioakumulasi dihitung untuk mengetahui kemampuan periphyton dalam mengakumulasi logam Hg pada air laut dan sedimen melalui perhitungan

Biokonsentrasi faktor (BCF) dengan rumus : (Vassiliki dan Konstantina, 1984):

$$BCF (O-W) = C_{org} / C_{Water}$$

$$BCF (O-S) = C_{org} / C_{Sed}$$

Keterangan :

BCF (O-W) = Faktor biokonsentrasi (organisme dengan air)

BCF (O-S) = Faktor biokonsentrasi (organisme dengan sedimen)

C org = Konsentrasi logam berat dalam organisme

C Water = Konsentrasi logam berat dalam Air.

C Sed = Konsentrasi logam berat dalam sedimen.

TEM (*Transmission electron microscopy*)

Untuk memastikan perubahan struktur selnya diambil 2 sampel mewakili hasil kandungan Hg terendah dan Hg tinggi, kemudian melalui proses preparasi TEM kita bisa amati perubahan struktur selnya lewat tayangan visual.

4.4.3. Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan analisis laboratorium, selanjutnya menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap dengan uji lanjut

Duncan, analisis statistik menggunakan *one way* ANOVA dengan program SPSS

23. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji akumulasi logam berat Hg pada periphyton, selanjutnya dilakukan pengamatan histologi melalui visual TEM.



BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

PENELITIAN TAHAP I

5.1 Kondisi Lingkungan Perairan

Kondisi lingkungan perairan mempengaruhi segala bentuk kehidupan yang ada di perairan baik secara langsung maupun tidak langsung. Karakteristik fisika kimia perairan juga akan mempengaruhi struktur komunitas biota yang hidup di dalamnya yaitu komunitas padang lamun. Secara umum kondisi lingkungan perairan di estuari Talawaan Bajo masih dalam keadaan yang sangat baik bagi kehidupan sumber daya lamun.

Pengamatan berdasarkan tata guna lahan di setiap lokasi menggambarkan kondisi lingkungan perairan secara keseluruhan di estuari Talawaan Bajo Sulawesi Utara. Pada stasiun I merupakan daerah yang dekat dengan pemukiman penduduk lokal dan merupakan tempat yang digunakan untuk berlabuhnya kapal-kapal nelayan. Kondisi lingkungan stasiun II terdapat mangrove yang merupakan daerah jebakan unsur hara. Pada stasiun III adalah lokasi yang paling dekat dengan muara sungai.

Pengamatan kondisi lingkungan perairan yang telah dilakukan menggambarkan hubungan antara karakteristik lamun dan aktivitas masyarakat pada daerah estuari Talawaan Bajo Sulawesi Utara. Nilai-nilai ini dapat mencerminkan kualitas perairan yang dapat mendukung keberadaan lamun.

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan terhadap parameter lingkungan yang meliputi suhu, salinitas, kecepatan arus, oksigen terlarut, nitrat, fosfat pada ketiga lokasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Parameter lingkungan di lokasi penelitian

Stasiun	Transek	Suhu (°C)	Salinitas (‰)	Kecepatan Arus (m/s)	Oksigen Terlarut (ppm)	Nitrat (mg/L)	Fosfat (mg/l)	pH
I	I	32.01	31.25	0.02	4.85	1.8584	0.0000	7.56
	II	31.86	32.4	0.02	4.86	1.8526	0.0031	7.26
	III	31.98	32.25	0.02	4.86	2.0670	0.0000	6.25
Rata-rata		31.95	31.97	0.02	4.86	1.9260	0.0010	7.02
II	I	31.86	32.85	0.02	3.55	2.1029	0.0062	6.13
	II	30.03	31.82	0.02	4.85	2.1565	0.0060	6.39
	III	29.92	32.74	0.02	4.85	2.3909	0.0061	6.45
Rata-rata		30.60	32.47	0.02	4.42	2.2168	0.0061	6.32
III	I	30.01	30.75	0.03	5.44	2.0010	0.0000	6.33
	II	30.00	31.82	0.03	5.43	2.1512	0.0000	6.01
	III	30.06	32.74	0.03	5.44	2.2035	0.0016	6.76
Rata-rata		30.02	31.77	0.03	5.44	2.1186	0.0005	6.37

Kecerahan perairan yang teramati pada perairan estuari Talawaan Bajo adalah 100 % yang berarti bahwa pada lokasi pengamatan penyinaran masih terjadi sampai kedalaman tertentu. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa perairan estuari Talawaan Bajo termasuk perairan dangkal dan jernih karena sampai kedalaman tertentu cahaya dapat masuk. Kondisi perairan yang dangkal mempengaruhi kehidupan lamun, karena perubahan kedalaman air dapat mempengaruhi beberapa faktor lingkungan perairan yang lain, yaitu suhu, intensitas cahaya dan hidrodinamika air. Intensitas cahaya matahari yang sampai kedalaman tertentu di perairan merupakan faktor pembatas pertumbuhan dan produksi lamun. Kecerahan perairan sangat penting bagi lamun karena erat kaitannya dengan proses fotosintesis. Penyinaran yang baik akan mempengaruhi kehidupan lamun karena proses fotosintesis akan berjalan dengan baik. Selain itu nilai kecerahan yang tinggi ini juga didukung oleh kecepatan arus yang relatif tenang pada perairan tersebut.

Suhu air pada semua lokasi memiliki nilai rata-rata kisaran 29.92 – 32.00°C. Kisaran suhu tidak berbeda jauh disebabkan karena suhu antar lokasi cenderung homogen. Menurut Dahuri (2003), kisaran temperatur optimal bagi spesies lamun adalah 28-30°C. Kemampuan proses fotosintesis akan menurun dengan tajam

apabila temperatur perairan berada di luar kisaran optimal tersebut. Sesuai dari hasil data yang diperoleh, menunjukkan bahwa suhu perairan di stasiun 1 tidak berada pada kisaran yang optimum bagi lamun untuk tumbuh tetapi masih ada lamun yang dapat tumbuh dominan dan berkembang pada kisaran suhu tersebut yakni *Halodule uninervis*.

Nilai salinitas perairan di semua lokasi berkisaran antara 30.75 – 32.85‰.

Nilai ini termasuk kisaran yang cocok untuk kehidupan lamun. Kisaran toleransi lamun terhadap salinitas yaitu 10 - 40 ‰ (Dahuri *et al.*, 1996). Pertumbuhan lamun membutuhkan salinitas optimum berkisar 25 - 35 ‰ (Supriharyono, 2007). Pada umumnya salinitas di perairan selalu mengalami perubahan karena dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain: pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan dan suplai air sungai (Nybakken, 1992). Lamun memiliki kisaran toleransi yang cukup besar terhadap salinitas (Hemminga dan Duarte 2000; Waycott *et al.*, 2004). Namun, salinitas yang rendah atau tinggi secara negatif mempengaruhi kinerja fotosintesis lamun fase dewasa (Kahn dan Durako, 2006). Pada salinitas 40 – 45 ‰, lamun tropis akan mengalami gangguan mekanisme fotosintesis (Campbell *et al.*, 2005), bahkan pada kondisi hiposalin <10 atau hipersalin (>45 ‰) lamun terserang stres yang pada akhirnya menyebabkan nekrotik dan mati (Hemminga dan Duarte, 2000; Hogarth, 2007).

Spesies lamun tropis dapat mentolerir salinitas tinggi. Namun, salinitas yang sangat tinggi dapat memodifikasi keseimbangan karbon dan O₂ pada lamun, yang potensial mempengaruhi kesehatan komunitas lamun dalam jangka panjang (Koch *et al.*, 2007). Menurut Gilanders (2006) dan Herkul dan Kotta (2009), bahwa salinitas juga berpengaruh terhadap biomassa, produktivitas primer, kerapatan, lebar daun dan kecepatan pulih. Kondisi salinitas pada kisaran optimum kerapatan lamun semakin meningkat dengan meningkatnya salinitas.

Kecepatan arus perairan di stasiun I rata-rata 0,02 m/s dan nilai kecepatan arus pada stasiun II rata-rata 0,02 m/s nilai yang tidak berbeda jauh, hal ini terjadi karena jarak antar kedua lokasi ini berdekatan, berbeda dengan stasiun III dengan nilai kecepatan arus 0,03 m/s. Kecepatan arus tersebut masih dalam kisaran yang baik untuk pertumbuhan lamun. Dahuri (2001) menjelaskan bahwa kecepatan arus perairan berpengaruh terhadap produktivitas padang lamun. Arus dengan kecepatan 0,5 m/s masih termasuk kondisi yang baik untuk pertumbuhan lamun.

Terdapat kecenderungan bahwa arus semakin kuat dengan semakin jauhnya posisi stasiun dari garis pantai. Arus yang datang dari arah luar pulau akan tertahan oleh lembaran daun lamun sehingga kecepatannya semakin berkurang di bagian dalam. Hal ini memperkuat peranan padang lamun sebagai peredam faktor hidrodinamika (Hemminga dan Duarte, 2000).

Arus membuat kolom air tercampur dengan baik, mempengaruhi sebaran suhu dan salinitas, membawa ke permukaan nutrien yang berguna untuk pertumbuhan tanaman air dan membawa pasokan oksigen ke perairan yang lebih dalam (Tait dan Dipper, 1998). Peralta *et al*, (2006) mendapatkan bahwa arus secara langsung berpengaruh terhadap pertumbuhan, rekrutmen, morfometri daun, rhizoma dan akar serta arsitektur *Zostera noltii*. Namun sebaliknya, arus yang berkurang kecepatannya dapat meningkatkan konsentrasi fitotoksin dalam sedimen dan peningkatan ketebalan lapisan batas difusi yang dapat membatasi fotosintesis (Koch, 2001; Brown, 2009). Selain dipengaruhi oleh arus utama, arus yang ada di sekitar pulau kecil juga dipengaruhi oleh siklus pasang surut. Kecepatan arus yang didapatkan selama penelitian termasuk lemah karena pengukuran dilakukan pada periode Mei - September (musim kemarau). Arus yang kuat biasanya terjadi pada musim barat (November - Januari).

Kandungan oksigen terlarut di lokasi penelitian masih dalam kisaran normal dan mendukung pertumbuhan lamun dimana pada stasiun I nilainya rata-rata 4,86 ppm, stasiun II rata-rata 4,42 ppm dan stasiun III rata-rata 5,44 ppm. Kandungan oksigen terlarut (DO) minimum adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun (*toksik*). Kandungan oksigen terlarut minimum ini sudah cukup mendukung kehidupan organisme. Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan ketiga lokasi berada dalam keadaan yang tidak normal dan tercemar senyawa beracun. Salah satu faktor yang sangat berpengaruh dalam perubahan kandungan oksigen terlarut adalah kenaikan suhu perairan, kenaikan pernafasan mikrobial serta penguraian bahan organik dan lain sebagainya.

Nitrat merupakan bentuk utama dari nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan lamun. Nilai nitrat di stasiun I yaitu rata-rata 1,9260 mg/L, stasiun II rata-rata 2,2168 mg/L dan stasiun III rata-rata 2,1186 mg/L, sedangkan untuk kadar fosfat (PO_4) stasiun rata-rata 0,00103 mg/L, stasiun II rata-rata 0,00610 mg/L dan stasiun III rata-rata 0,0053 mg/L. Fosfat dalam bentuk ortofosfat merupakan salah satu senyawa anorganik terlarut dari unsur hara P yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan hidup organisme. Unsur P akan diubah oleh fragmen daun dan dilepas ke kolom air dan air antara sedimen (*porewater*) sebagai nutrisi pertumbuhan lamun. Terlihat bahwa lokasi penelitian termasuk dalam perairan mesotropik. Wetsel (1989) dalam Irwanto (2010) mengemukakan bahwa nitrat dapat digunakan untuk mengelompokkan tingkat kesuburan perairan. Perairan oligotropik memiliki kadar nitrat antara 0 – 1 ppm, perairan mesotropik memiliki kadar nitrat berkisar 1 – 5 ppm dan perairan eutropik memiliki kadar nitrat 5 – 50 ppm. Boyd (1979) dalam Irwanto (2010) menyatakan batas toleransi nitrat lamun terendah adalah 0,10 mg/L dan tertinggi 3,0 mg/L.

Sumber utama masuknya logam merkuri di perairan Estuari Talawaan Bajo adalah aktivitas pertambangan biji emas yang dilakukan oleh masyarakat sekitar, selain itu pembuangan limbah merkuri secara langsung ke badan air sangat mempengaruhi kondisi kualitas air, terutama pada air dan sedimen. Data kandungan merkuri (Hg) di estuari Talawaan Bajo disajikan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Kandungan Merkuri (Hg) di Estuari Talawaan Bajo

	Stasiun I			Stasiun II			Stasiun III		
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
Air	0,025	0,027	0,037	0,043	0,036	0,035	0,045	0,038	0,040
Sedimen	1,248	1,376	1,576	2,746	2,875	2,785	2,975	2,763	2,775

Berdasarkan data tabel di atas, kandungan merkuri pada air berkisar antara 0,025 – 0,045 mg/L. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) nomor 82 tahun 2001, konsentrasi merkuri dalam air adalah < 0,0001 ppm. Hal tersebut didukung juga dengan keputusan Menkes RI no 907/menkes/sk/vii/2002 yang mensyaratkan bahwa kandungan merkuri yang diperbolehkan adalah 0.0001 mg/L. Dengan mengacu pada baku mutu tersebut, dapat disimpulkan bahwa perairan estuari Talawaan Bajo sudah tercemar. Hal ini dikarenakan kandungan merkuri (Hg) dalam air dan sedimen telah melebihi standar baku yang ditentukan.

Berdasarkan data tabel di atas, hasil kandungan merkuri (Hg) dalam sedimen didapat nilai berkisar antara 1,248 – 2,975 mg/L. Logam berat merkuri mudah larut dan mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan partikel pada perairan, kemudian mengendap membentuk lumpur. Penyebab logam berat merkuri tidak terdeteksi di permukaan perairan karena merkuri memiliki sifat yang kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu (Rachmawatie *et al.*, 2009 dalam Yusuf *et al.*, 2013).

5.2 Struktur Komunitas Lamun

Distribusi

Ditemukan 6 spesies lamun (*seagrass*) dari 2 Famili yang tersebar di tiga stasiun yang berbeda yaitu di estuari Talawaan Bajo (Tabel 5.3). Jumlah spesies terbanyak ditemukan di stasiun 2.2 dan 2.3 yaitu dengan 6 spesies.

Tabel 5.3. Distribusi Lamun di estuari Talawaan Bajo

Jenis	Kode	Stasiun 1			Stasiun 2			Stasiun 3		
		1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
<i>Enhallus acaroides</i>	Ea	-	-	-	+	+	+	-	+	+
<i>Thalassia hemprichii</i>	Th	-	-	-	-	+	+	+	+	+
<i>Cymodocea rotundata</i>	Cr	-	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cymodocea serrulata</i>	Cs	-	-	-	+	+	+	+	+	+
<i>Halodule uninervis</i>	Hu	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Halophyla ovalis</i>	Ho	-	-	-	+	+	+	-	-	-
Jumlah Spesies		1	1	2	5	6	6	4	5	5

Keterangan : (+) ditemukan ; (-) tidak ditemukan

Hasil pengamatan yang dilakukan pada tiga stasiun menunjukkan perbedaan komposisi jenis pada setiap lokasi. Keberadaan enam jenis lamun tersebut tidak merata dan tidak semuanya terdapat pada setiap stasiun. Adanya perbedaan komposisi ini, disebabkan oleh jenis lamun yang terdapat di lokasi penelitian tumbuh dalam kelompok yang terpisah-pisah dengan batas yang tidak jelas dan jumlah tertentu serta penyebaran yang tidak merata. Intensitas perendaman lamun, kondisi substrat, kejernihan perairan juga sangat berperan dalam penentuan komposisi jenis.

Lamun yang ditemukan di estuari Talawaan Bajo berjumlah 6 spesies dan ditemukan di pantai yang dangkal atau di daerah laguna antara terumbu karang dan pantai. Spesies lamun dan jumlah individu pada lokasi penelitian dapat dilihat pada

Tabel 5.3.

Deskripsi dari beberapa spesies Lamun yang ada di estuari Talawaan Bajo adalah sebagai berikut :

1. *Enhalus acoroides*

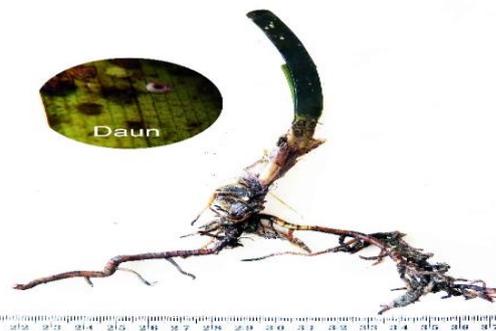
Enhalus acoroides merupakan lamun yang paling mudah untuk dibedakan dengan spesies lain. *E. Acoroides* memiliki 2 – 4 helai daun yang lurus dan panjang seperti pita (24 – 45 cm) dengan lebar daun 1 cm, pinggiran daun licin dan tebal, dan berbentuk bulat di bagian apeks. Diameter rhizoma 1 cm dan dikelilingi serabut-serabut hitam tebal. Batang tebal dan tegak (Gambar 5.1).



Gambar 5.1. *Enhalus acoroides*

2. *Thalassia hemprichii*

Tumbuhan ini memiliki rhizoma yang halus dengan tunas yang pendek pada setiap ruas, dimana terdapat 2 – 7 helai daun, dengan apeks bulat dan licin berserat 9 – 16 urat. Daun berbentuk lurus hingga bengkok dengan panjang helai daun 5 – 10 cm dan lebar 0,2 - 0,9 cm (Gambar 5.2).



Gambar 5.2. *Thalassia hemprichii*

3. *Cymodocea rotundata*

Tumbuhan ini memiliki panjang helai daun 10 – 20 cm dan lebar daun mencapai 0,5 cm, dengan jumlah helai daun 2 – 3 helai. Rhizoma berdiameter 0,1 cm dan panjang ruas-ruas 2,8 cm. tumbuhan ini dapat dilihat pada (Gambar 5.3).



Gambar 5.3. *Cymodocea rotundata*

4. *Cymodocea serrulata*

Tumbuhan ini memiliki panjang helai daun 10 – 20 cm dan lebar daun mencapai 0,5 cm, dengan jumlah helai daun 2 – 3 helai. Rhizoma berdiameter 0,1 cm dan panjang ruas-ruas 2,8 cm (Gambar 5.4).



Gambar 5.4. *Cymodocea serrulata*

5. *Halodule uninervis*

Jenis ini lebih besar dari *H. pinifolia* tumbuh pada daerah di bawah intertidal ke subtidal. Memiliki daun yang lebih (mencapai 0,4 cm) dengan 3 urat daun yang membentuk gigi pada ujung daun. Satu urat daun bagian tengah sangat beda dimana berakhir dengan bentuk gigi yang sedikit dibulatkan (Gambar 5.5).



Gambar 5.5. *Halodule uninervis*

6. *Halophila ovalis*

Tumbuhan ini hampir sama dengan *Halophila minor* tetapi yang membedakan antara keduanya yaitu *Halophila ovalis* memiliki panjang daun 2,5 cm, lebar daun 0,8 cm, urat tengah daun 10 – 20 pasang urat melintang, panjang tulang daun 3,5 cm, panjang jarak antara ruas-ruas 2,8 cm dengan diameter rizhoma 0,01 - 0,1 cm.

Spesies ini dapat dilihat pada (Gambar 5.6).



Gambar 5.6. *Halophila ovalis*

Jumlah Spesies dan Jumlah Individu Total

Jumlah spesies di setiap stasiun pengamatan adalah yang paling sedikit ditemukan 2 spesies pada stasiun I yaitu *Cymodocea rotundata* dan *Halodule uninervis*; paling banyak 6 spesies pada stasiun II yaitu 6 spesies *Enhallus acaroides*, *Thalassia hemprichii*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Halodule uninervis*, dan *Halophila ovalis*, dan ditemukan 5 spesies yaitu *Enhallus*

acaroides, *Thalassia hemprichii*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, dan *Halodule uninervis*.



Gambar 5.7. Jumlah spesies lamun di estuari Talawaan Bajo.



Gambar 5.8. Jumlah individu/m² lamun total di estuari Talawaan Bajo.

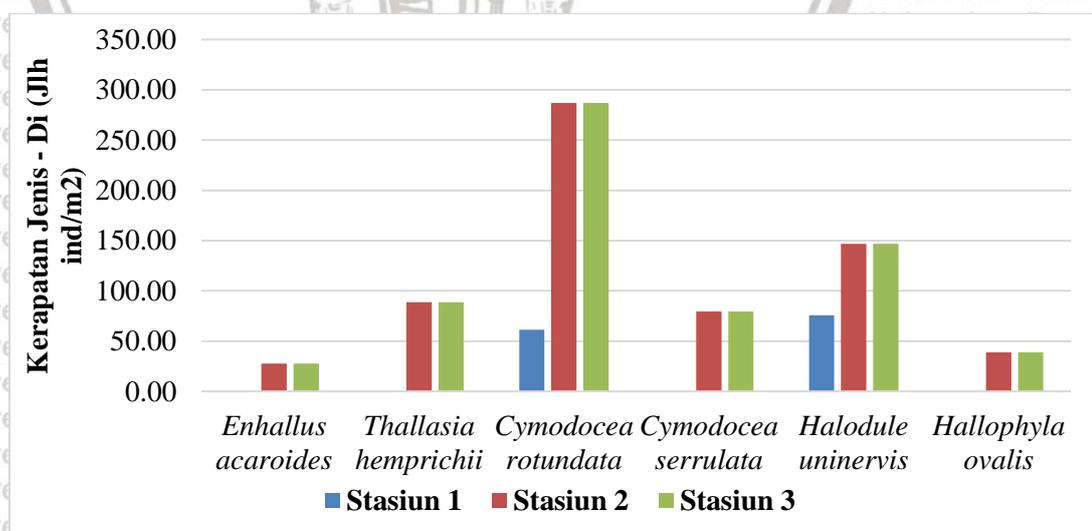
Kerapatan dan Kerapatan Relatif Lamun

Kehadiran lamun di suatu lokasi sangat berkaitan dengan ruang dan tipe substrat dasar (Hemminga dan Duarte, 2000). Jika tipe substrat cocok untuk pertumbuhan lamun, maka populasi lamun dapat berkembang dengan baik.

Kebanyakan spesies lamun sangat cocok dengan tipe substrat berpasir sampai

berlumpur, namun ada beberapa spesies yang mampu tumbuh di atas karang seperti *Phyllospadix spp*, *Thalassodendron spp* dan *Posidonia aceanica* (Den Hartog 1970 dalam Hemminga dan Duarte, 2000).

Kerapatan spesies lamun yang ada di setiap stasiun penelitian memiliki kisaran nilai yang bervariasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.9. Kerapatan lamun yang terkecil terdapat pada stasiun I, yang merupakan padang lamun dengan vegetasi yang heterogen, terdiri dari dua jenis lamun, yaitu *Cymodocea rotundata* dan *Halodule uninervis*, sedangkan kerapatan tertinggi pada stasiun II, dimana lamun di stasiun ini merupakan padang lamun dengan vegetasi campuran (mixing seagrass beds), yang terdiri atar spesies lamun seperti *Enhallus acaroides*, *Thalassia hemprichii*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Halodule uninervis*, *Hallophyla ovalis*. Dimana kerapatan jenis tertinggi di seluruh stasiun pengamatan adalah jenis lamun *Cymodocea rotundata* ($287,00 \pm 27,67$ dan KR 35 %). Hal ini diduga terkait dengan jenis substratnya (Kiswara, 1992) *Cymodocea rotundata* tumbuh baik di perairan dengan dasar pasir atau puing karang mati dan dapat juga tumbuh pada dasar lumpur padat, berpasir atau lumpur lembek.



Gambar 5.9. Kerapatan lamun tiap spesies (individu/m²) di estuari Talawaan Bajo.

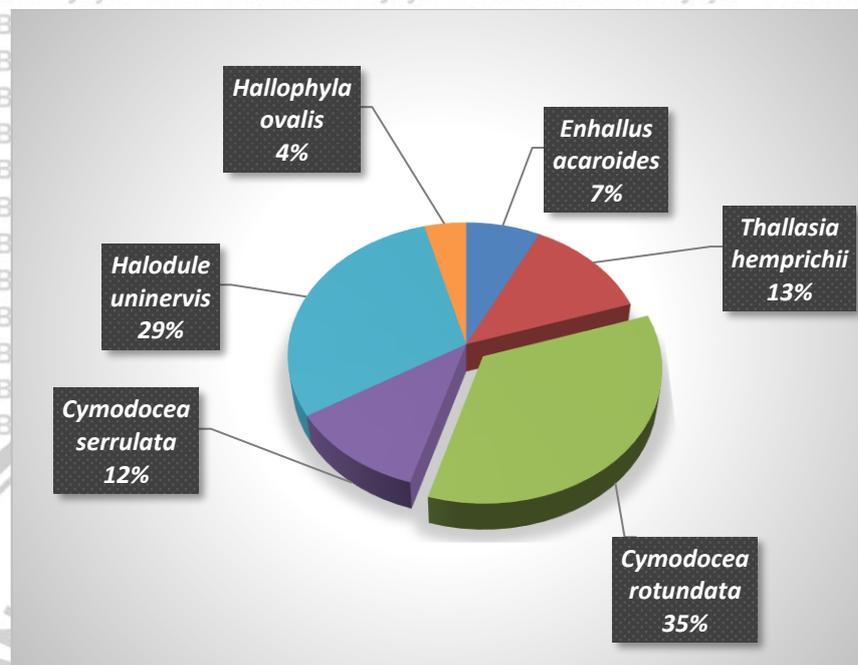
Kerapatan lamun berbeda pada setiap stasiun. Kerapatan lamun ditentukan oleh perbedaan jenis setiap lamun, perbedaan morfologi dan struktur komunitasnya serta faktor-faktor lingkungan tempat tumbuhnya (kedalaman, kecerahan, dan tipe substrat) (Kiswara, 1997).

Frekuensi Kehadiran Spesies

Frekuensi spesies adalah peluang suatu spesies ditemukan dalam titik contoh yang diamati, bertujuan untuk mengetahui penyebaran jenis lamun tersebut dalam komunitas. Spesies yang mempunyai frekuensi besar, umumnya memiliki daya adaptasi yang lebih besar terhadap faktor lingkungan yang berbeda. Suatu jenis lamun yang memiliki nilai kerapatan tinggi belum dapat dipastikan akan memiliki nilai frekuensi yang tinggi pula. Hasil analisis frekuensi kehadiran spesies (F_i) maupun frekuensi kehadiran relatif (RF_i) disajikan dalam gambar 5.10, dimana lamun *Enhallus acaroides* memiliki frekuensi kehadiran relaying (RF_i) 7 %, *Thalassia hemprichii* memiliki frekuensi kehadiran relaying (RF_i) 13 %, *Cymodocea rotundata* memiliki frekuensi kehadiran relaying (RF_i) 35 %, *Cymodocea serrulata* memiliki frekuensi kehadiran relaying (RF_i) 12 %, *Halodule uninervis* memiliki frekuensi kehadiran relaying (RF_i) 29 %, dan *Halophylla ovalis* memiliki frekuensi kehadiran relaying (RF_i) 4 %. Lamun yang memiliki frekuensi kehadiran relaying (RF_i) yang paling tinggi adalah *Cymodocea rotundata* yang memiliki frekuensi kehadiran relaying (RF_i) 35 %, itu artinya lamun jenis ini tumbuh merata disemua stasiun pengamatan.

Tingginya nilai frekuensi dari jenis lamun *Cymodocea rotundata*, menunjukkan ketersebaran jenis ini di semua stasiun pengamatan. Walaupun tidak diukur, tetapi pengamatan visual memperlihatkan bahwa sebagian besar substrat pada kedua lokasi umumnya berlumpur, dan memungkinkan banyak mengandung

bahan organik, sehingga merupakan media yang baik untuk perkembangan jenis lamun *Cymodocea rotundata*.



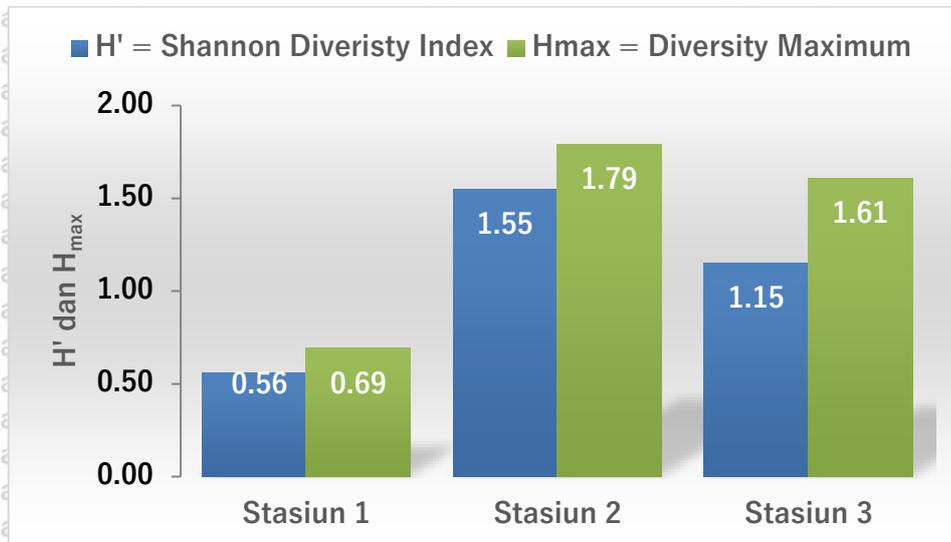
Gambar 5.10. Frekuensi kehadiran relatif (RFi) lamun di estuari Talawaan Bajo .

Jenis *Halophyla ovalis* merupakan salah jenis lamun yang memiliki frekuensi terendah. Kondisi ini menunjukkan derajat penyebaran jenis lamun ini lebih sempit dibandingkan jenis lamun lainnya. Lamun jenis ini merupakan spesies lamun yang bersifat pionir yang tumbuh di perairan yang sangat dangkal dengan substrat berpasir lebih halus. Oleh karena itu, rendahnya frekuensi kehadiran jenis lamun ini disebabkan dalam proses perkembangan dapat tersaingi oleh jenis lainnya.

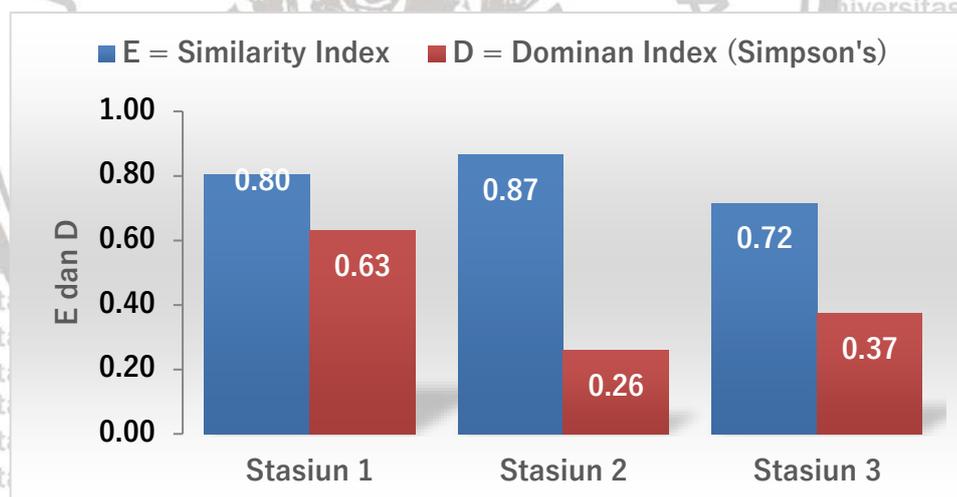
Indeks Keanekaragaman (H'), Indeks Kemerataan (E), dan Indeks Dominansi (D) Lamun

Indeks keanekaragaman (H') digunakan untuk mengetahui keanekaragaman hayati biota yang diteliti. Pada prinsipnya, nilai indeks makin tinggi berarti komunitas diperairan itu makin beragam dan tidak didominasi oleh satu atau lebih dari jenis

yang ada. Hasil analisis indeks keanekaragaman di estuari Talawaan Bajo disajikan Gambar 5.11.



Gambar 5.11. Indeks keanekaragaman Shannon Wiener H' dan H_{max} di estuari Talawaan Bajo .



Gambar 5.12. Indeks Kemerataan (E) dan Indeks Dominansi Simpson's (D) di estuari Talawaan Bajo .

Indeks kemerataan berkisar antara 0 sampai 1, bila indeks kemerataan kurang dari 0,4 maka ekosistem tersebut berada dalam kondisi tertekan dan mempunyai kemerataan rendah, Jika indeks kemerataan antara 0,4 sampai 0,6 maka ekosistem tersebut dalam kondisi kurang stabil dan mempunyai kemerataan

sedang, dan indeks pemerataan lebih dari 0,6 maka ekosistem tersebut dalam keadaan stabil dan mempunyai pemerataan tinggi (Argadi, 2003).

Hasil ini menunjukkan bahwa dominansi spesies lebih rendah pada stasiun 2 dan stasiun 3. Hasil ini berbanding terbalik dengan nilai indeks keanekaragaman (H') maupun indeks pemerataan (E). Artinya kestabilan lingkungan di estuari Talawaan Bajo relatif lebih mendukung bagi biota lamun untuk berkembang dengan baik. Nilai indeks dominansi mendekati satu (1) apabila komunitas didominasi oleh jenis atau spesies tertentu dan jika indeks dominansi mendekati nol (0) maka tidak ada jenis atau spesies yang mendominasi (Odum, 1998). Banyak sedikitnya spesies yang terdapat dalam suatu contoh air akan mempengaruhi indeks dominansi, meskipun nilai ini sangat tergantung dari jumlah individu masing-masing spesies.

5.3. Struktur komunitas perifiton pada *Cymodocea rotundata*

Komposisi perifiton

Komunitas perifiton sangat ditentukan oleh faktor intensitas cahaya matahari, suhu, arus, tipe substrat dan ketersediaan unsur hara. Suhu air cukup merata di seluruh kolom air dan dari faktor intensitas cahaya matahari masih efektif untuk proses fotosintesis, hal ini ditandai dengan intensitas cahaya yang masuk sampai ke dasar perairan.

Setelah dilakukan pengamatan terhadap lamun *Cymodocea rotundata*, ternyata perifiton ditemukan di semua permukaan daun lamun dengan kepadatan yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil pengamatan di laboratorium, komposisi jenis perifiton pada lamun *Cymodocea rotundata* di masing-masing stasiun berbeda-beda. Diperoleh 5 (lima) famili yang terdiri dari famili Bacillariophyceae (16

genus), Cyanophyceae (3 genus), Chlorophyceae (9 genus), Dinophyceae (1 genus), dan Rhodophyceae (1 genus),

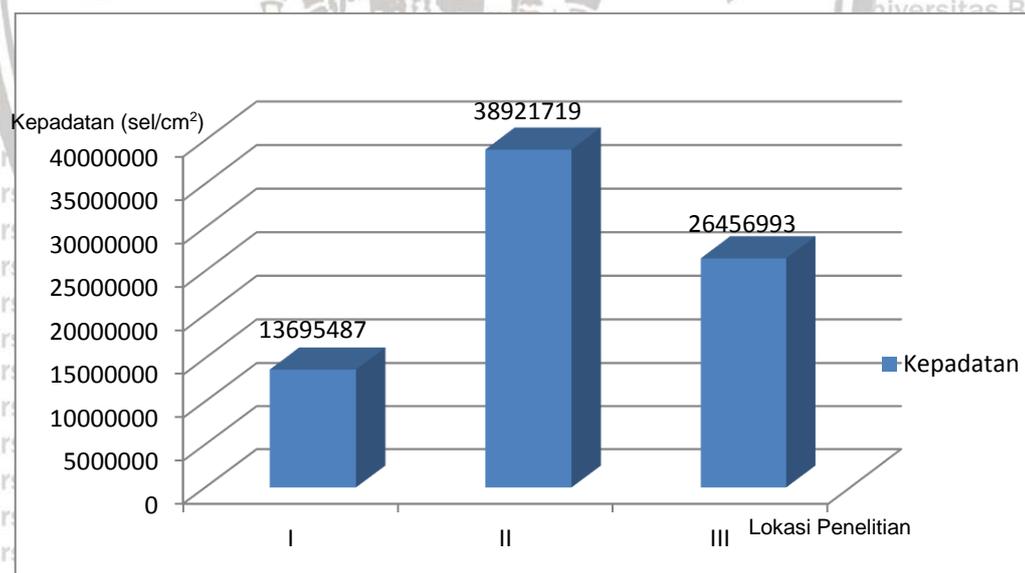
Tabel 5.4. Distribusi Periphyton pada daun lamun *C. rotundata*

Perifiton	Stasiun		
	I	II	III
Chlorophyta			
<i>Chlorella</i>	+	+	-
<i>Cylindrocapsa</i>	+	+	+
<i>Echinospaerella</i>	+	-	-
<i>Gongrosira</i>	-	+	-
<i>Mougeotia</i>	-	+	-
<i>Prasinocladus</i>	+	-	-
<i>Scenedesmus</i>	+	+	+
<i>Ulva flexuosa</i>	+	-	+
<i>Stigeoclonium</i>	+	+	+
Bacillariophyta			
<i>Achnanthes</i>	-	+	-
<i>Cocconeis</i>	+	+	+
<i>Coscinodiscus</i>	+	-	-
<i>Cyclotella</i>	+	+	+
<i>Cymatopleura</i>	+	+	+
<i>Cymbella</i>	+	+	+
<i>Diatoma</i>	+	+	+
<i>Fragilaria</i>	-	+	+
<i>Gyrosigma</i>	-	+	-
<i>Melosira</i>	+	+	+
<i>Navicula</i>	+	+	+
<i>Nitzschia</i>	+	+	+
<i>Pinnularia</i>	+	+	+
<i>Surirella</i>	+	+	+
<i>Synedra</i>	-	+	+
<i>Tabellaria</i>	+	+	+

Tabel 5.5. Nilai Indeks Kepadatan (N), Diversitas (H'), Dominasi (D), dan Keseragaman (E)

Indeks	Stasiun		
	I	II	III
Kepadatan (N)	13,695.487	38,921.719	26,456.993
Indeks Diversitas (H')	2,864	2,759	3,006
Indeks Dominasi (D)	0,137	0,191	0,151
Indeks Keseragaman (E)	0,647	0,497	0,576

Komposisi perifiton pada daun lamun sangat dipengaruhi oleh morfologi, umur dan letak atau tempat hidup lamunnya. Lamun dengan tipe daun yang besar seperti *E. acoroides* akan lebih disukai daripada lamun yang mempunyai daun lebih kecil, karena lamun yang dengan morfologi daun yang lebih besar (kuat) akan mempunyai kondisi substrat yang lebih stabil. Demikian juga dengan umur lamun, pada lamun yang lebih tua komposisi dan kepadatan perifiton akan berbeda dengan pada lamun yang lebih muda karena proses penempelan dan pembentukan koloni perifiton memerlukan waktu yang lama.



Gambar 5.13. Kepadatan periphyton pada daun lamun *Cymodocea rotundata*

Kepadatan tertinggi pada stasiun I yaitu *Cocconeis* sebesar 3,378,046 sel/cm², pada stasiun II yaitu *Navicula* sebesar 1,525,828 sel/cm², sedangkan pada stasiun III adalah *Navicula* sebesar 7,096,514 sel/cm². Jenis perifiton yang paling

banyak ditemukan adalah dari kelas Bacillariophyceae yang merupakan perifiton mikroskopis yang paling banyak ditemukan pada lamun, dan jenis perifiton makroskopis yang paling banyak ditemukan adalah dari kelas Chlorophyta yaitu *Stigeoclonium* sp sebesar 59,996,686 sel/cm². Tingginya perifiton dari kelas Bacillariophyceae dikarenakan Bacillariophyceae mempunyai kemampuan lebih untuk beradaptasi dengan lingkungan hidupnya dan memegang peranan penting dalam suatu perairan sehingga mendominasi, baik dalam jumlah maupun jenisnya (Suwartimah *et al.*, 2011 dalam Pratiwi *et al.*, 2017).

Tingginya kepadatan periphyton di stasiun 2, disebabkan tingginya unsur hara di stasiun ini karena sumber nitrat dan fosfat yang masuk ke sungai berasal dari limbah tambang emas, limbah domestik, serasah yang masuk ke badan sungai dan erosi yang disebabkan oleh hujan. Hal ini sesuai dengan pendapat Barus *et al.*, (2013) yang menyatakan bahwa nitrat dan fosfat merupakan unsur penting bagi kehidupan perifiton maupun plankton di perairan. Effendi (2003) juga menyatakan bahwa nitrat dan fosfat adalah nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga, sehingga unsur ini menjadi faktor pembatas bagi tumbuhan dan alga akuatik.

Menurut Goldman dalam Sugiatno (1995) kriteria perairan menurut kandungan nitrat : oligotrofik : 0-1 mg/L, perairan mesotrofik : 1-5 mg/L dan eutrofik : 5-50 mg/L.

Berdasarkan hasil penelitian konsentrasi nitrat pada stasiun 2 yaitu rata-rata 2.2168 mg/L, dengan demikian perairan ini termasuk perairan mesotrofik. Sedangkan kriteria fosfat menurut Wetzel dalam Hidayat (2001), perairan oligotrofik : 0,03- 0,1 mg/L, perairan mesotrofik : 0,11- 0,3 mg/L dan perairan eutrofik : 0,31-1,0 mg/L.

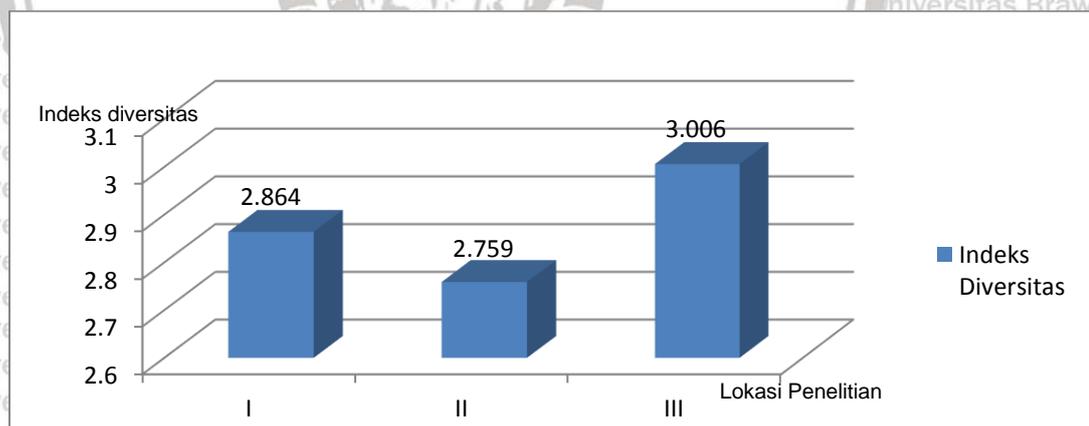
Berdasarkan hasil penelitian ini, konsentrasi fosfat di stasiun 2 yaitu 0.0061 mg/L.

Kadar fosfat di perairan laut yang normal berkisar antara 0,01-4 µg.at/l atau setara dengan 0,00031-0,124 mg/l (Brotowidjoyo dalam Edward dan Tarigan, 2003).

Kadar fosfat di perairan ini masih berada di batasan konsentrasi yang

dipersyaratkan. Disebutkan bahwa baku mutu konsentrasi fosfat yang layak untuk kehidupan biota laut dalam keputusan Menteri Lingkungan Hidup, KLH (2004) adalah 0,015 mg/l. Ketchum (1969) menetapkan suatu nilai fosfat sebesar 2,8 $\mu\text{g.at/l}$ atau setara dengan 0,087 mg/l sebagai batas atas pada air yang tidak tercemar.

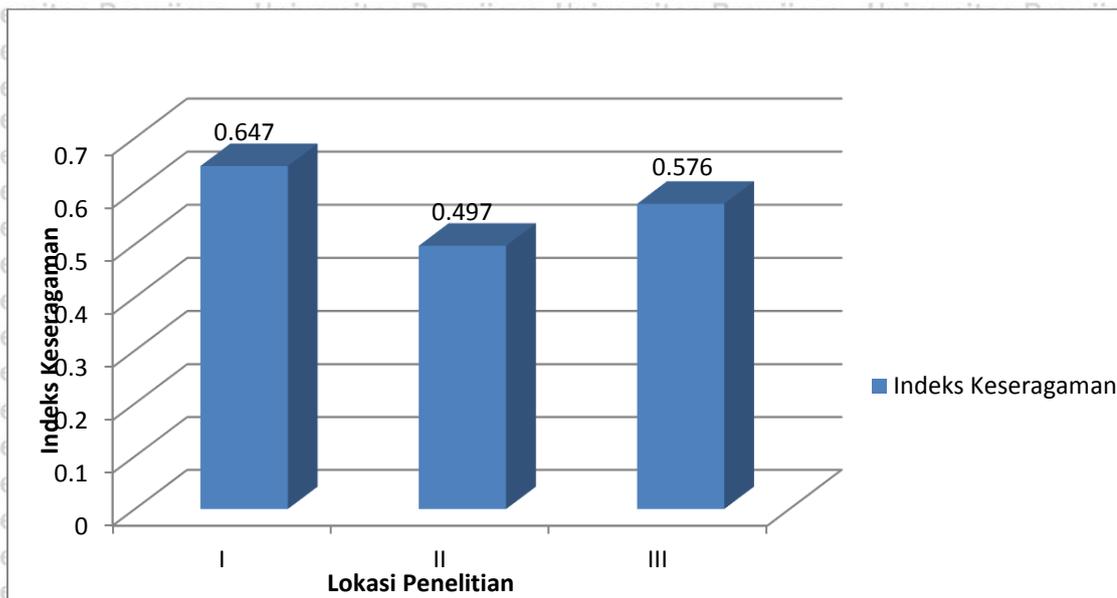
Kerapatan dan penutupan lamun secara langsung ataupun tidak langsung mempengaruhi terhadap keberadaan dan kepadatan perifitonnya, karena berhubungan erat dengan kestabilan substrat (daun lamun) dari pengaruh pencucian dan sirkulasi air serta kebebasan perifiton dalam memperoleh cahaya matahari untuk melakukan fotosintesis. Bell dan Westoby dalam West (1990), menyatakan bahwa panjang daun dan kerapatan lamun dapat mempengaruhi sebaran dan kelimpahan biota yang berasosiasi dengan lamun, sehingga faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan padang lamun sangat menentukan terhadap distribusi dan kelimpahan biotanya.



Gambar 5.14. Indeks diversitas periphyton pada daun lamun *Cymodocea rotundata*

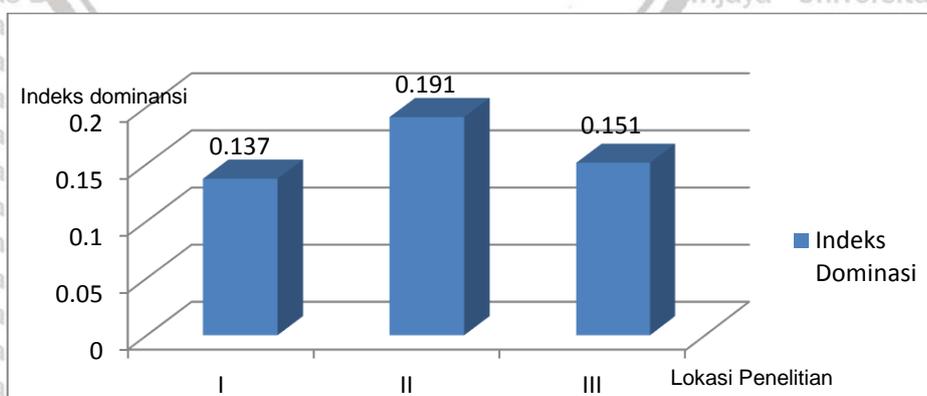
Hasil perhitungan indeks diversitas seluruh stasiun didapat nilai berkisar antara 2.759 – 3.006. Nilai-nilai indeks diversitas (keanekaragaman) jenis di stasiun II yaitu 2.759 menunjukkan klasifikasi rendah yang menggambarkan penyebaran individu tiap jenisnya rendah dan tekanan ekologinya tinggi sedangkan pada

stasiun 3 menunjukkan klasifikasi tinggi yaitu 3.006, hal ini menunjukkan penyebaran individu tiap jenis tinggi dan tekanan ekologi tinggi. Menurut Odum (1993) dalam Herlina *et al.*, (2018), suatu perairan memiliki tingkat keanekaragaman rendah apabila $H' < 1$, keanekaragaman sedang apabila $1 < H' < 3$, dan keanekaragaman tinggi apabila $H' > 3$. Berdasarkan kriteria tersebut, perairan Estuari Talawaan Bajo memiliki tingkat keanekaragaman kategori tinggi. Menurut Soegianto (2004) dalam Masitho (2012), suatu komunitas dikatakan mempunyai keanekaragaman jenis yang tinggi, jika komunitas tersebut disusun oleh banyak jenis yang mempunyai kelimpahan besar dan sama atau hampir sama. Sebaliknya, jika suatu komunitas disusun hanya beberapa jenis saja yang melimpah, maka keanekaragaman jenisnya rendah. Hal ini diperkuat dengan ditemukannya jenis perifiton yang banyak, meliputi Bacillariophyta (16 genus), Cyanophyta (3 genus), Chlorophyta (9 genus), Dinophyta (1 genus), dan Rhodophyta (1 genus). Faktor fisika seperti arus sangat mempengaruhi penempelan perifiton. Arus pada stasiun ini memiliki kecepatan yang paling kecil, sehingga perifiton dapat menempel dengan kuat yang dapat berkembang dengan baik. Indeks diversitas (keanekaragaman) menggambarkan kekayaan/jumlah jenis perifiton yang ada, semakin tinggi nilai indeks keanekaragaman menunjukkan semakin beragamnya jenis perifiton yang ada.



Gambar 5.15. Indeks keseragaman periphyton pada daun lamun *Cymodocea rotundata*

Indeks keseragaman pada stasiun 1 sebesar 0,647, stasiun 2 sebesar 0,497 dan stasiun 3 sebesar 0,576. Tingginya nilai indeks keseragaman berarti penyebaran jumlah individu setiap jenis dalam komunitas cukup merata, hal tersebut juga terlihat dari kecilnya nilai indeks dominansi yang berkisar antara 0,137 - 0,191. Nilai indeks keseragaman ini berdasarkan kategori Odum (1971) termasuk tinggi (nilai indeks mendekati 1), menunjukkan perifiton yang ditemukan pada setiap lokasi sampling relatif mirip, sehingga dapat diartikan kondisi lingkungan perairan Estuari Talawaan Bajo cenderung stabil.



Gambar 5.16. Indeks dominansi periphyton pada daun lamun *Cymodocea rotundata*

Nilai indeks dominansi pada tiap stasiun menunjukkan kondisi lingkungan yang rendah, bahwa tidak ada spesies yang secara ekstrim mendominasi spesies lainnya, kondisi ini disertai sebaran individu antara genera relatif sama. Sementara berdasarkan perhitungan indeks penyebaran perfiton menunjukkan nilai yang kurang dari 1. Ini menunjukkan bahwa pola penyebarannya merata/seragam. Seragam disini dapat diartikan sebagai seragam dengan pola sebaran acak, yakni didalam sebaran jenis yang acak terdapat jenis-jenis yang seragam sebarannya. Menurut Odum (1971) nilai indeks dominansi yang cenderung kecil menunjukkan tidak ada jenis perfiton dominan yang ditemukan di estuari Talawaan Bajo, dan kondisi struktur komunitas yang ditemukan cenderung stabil.

Tinjauan Umum Tentang *Stigeoclonium* sp

Alga periphyton *Stigeoclonium* sp, merupakan alga periphyton yang ditemukan paling banyak dari kelas *Chlorophyceae* di estuari Talawaan Bajo (Lampiran 4.). Penetapan pemilihan alga periphyton *Stigeoclonium* sp untuk dimonitoring, karena alga *Stigeoclonium* sp memiliki beberapa kriteria sebagai bioindikator yakni selain berlimpah keberadaannya di lokasi penelitian, alga ini juga mudah diambil dan tidak mudah rusak.

Kützing, F.T. (1843), menyatakan klasifikasi *Stigeoclonium* sp sebagai berikut;

Devisi : *Chlorophyta*

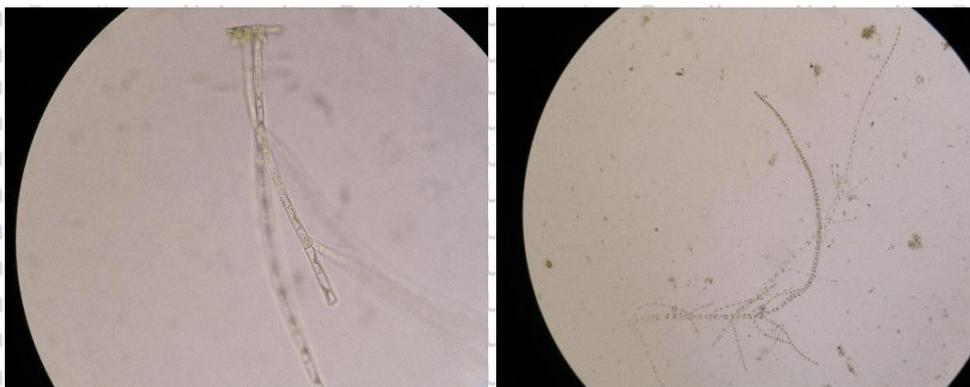
Kelas : *Chlorophyceae*

Ordo : *Chaetophorales*

Famili : *Chaetophoraceae*

Genus : *Stigeoclonium*

Spesies : *Stigeoclonium* sp



**Gambar 5.17. *Stigeoclonium* sp menggunakan Mikroskop Binocular
Pembesaran 400 kali**

Stigeoclonium sp adalah bersifat epifit atau epilitik, tertutup lendir, berumbai berserabut, ganggang hijau terang (Skinner dan Entwisle, 2004) *Stigeoclonium* sp adalah alga air tawar yang biasanya tumbuh di air yang mengalir lambat atau stagnan (Fritsch, 1948). Attrill (1998) menyatakan *Stigeoclonium* sp ditemukan di perairan estuari. Alga ini tumbuh menempel pada pekerjaan kayu, batu dan umumnya membentuk tikar berbulu hijau.

Ukuran tubuh tanaman *Stigeoclonium* sp adalah makroskopis yang heterotrichous dan thallus berfilamen dibedakan menjadi bagian yang sujud dan bagian yang tegak. Semakin berkembang sistem sujud, semakin kurang berkembang adalah sistem proyeksi dan sebaliknya. Sel-sel tidak berinti dan masing-masing dengan kloroplas tunggal. Sel-sel terminal yang memanjang menipis ke rambut dan biasanya tanpa kloroplas. (Sharma , 2011).

Spesies Ini biasanya ditemukan dalam air yang mengalir lambat yang memiliki pH 6,14 (sedikit asam) (Simons and Van , 1987). *Stigeoclonium* sp dikenal bereproduksi dengan metode vegetatif, aseksual dan seksual. Namun, cara reproduksi yang paling disukai adalah reproduksi aseksual. Filamen *Stigeoclonium* sp biasanya dilekatkan dengan cara sel basal ke berbagai permukaan seperti batu atau batu tetapi dapat lepas dan ditemukan mengambang bebas (Sharma , 2011).

PENELITIAN TAHAP II

Penelitian tahap dua ini merupakan kelanjutan dari penelitian tahap I, dilaksanakan untuk mengetahui kadar logam berat Hg pada sampel lamun dan periphyton, dan untuk mengetahui sejauhmana logam berat itu terakumulasi pada sampel periphyton. *Stigeoclonium* sp, dilakukan perlakuan konsentrasi Hg pada periphyton yang kemudian di visualisasi selnya dengan menggunakan TEM.

5.4. Kandungan Hg (ppm) pada *Cymodocea rotundata* dan *Stigeoclonium* sp

Kadar Hg (ppm) pada *Cymodocea rotundata* di tiga stasiun pengamatan tidak berbeda nyata, dan berdasarkan hasil uji lanjut Duncan, terlihat bahwa kadar Hg terendah di Stasiun 1 dengan rata-rata 3.11ppm dan yang tertinggi di Stasiun III, dengan rata-rata 4.75ppm.

Tabel 5.6. Rata-rata Kadar Hg (ppm) pada *Cymodocea rotundata* di Estuari Talawaan Bajo

Ulangan	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III
1	1.77	4.16	8.39
2	3.83	3.51	4.64
3	3.02	4.23	3.33
4	3.14	4.21	4.64
5	3.88	6.45	3.14
6	3.03	4.77	4.37
Rata-rata	3.11^a	4.56^a	4.75^a

Keterangan; Superskrip yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($P < 0.05$)

Kadar Hg (ppm) pada *Stigeoclonium* sp di tiga stasiun pengamatan berbeda nyata, dan berdasarkan hasil uji lanjut Duncan, terlihat bahwa kadar Hg terendah di Stasiun 1 dengan rata-rata 7.95ppm dan yang tertinggi di Stasiun III, dengan rata-rata 24.17ppm. Dari analisa tersebut disebutkan bahwa perbedaan stasiun pengamatan (Stasiun I, II dan III) berbeda nyata, artinya perbedaan kadar Hg pada *Stigeoclonium* sp yang ada pada ketiga stasiun pengamatan tersebut adalah berbeda.

Tabel 5.7 Kadar Hg (ppm) pada *Stigeoclonium* sp pada daun lamun *Cymodocea rotundata*

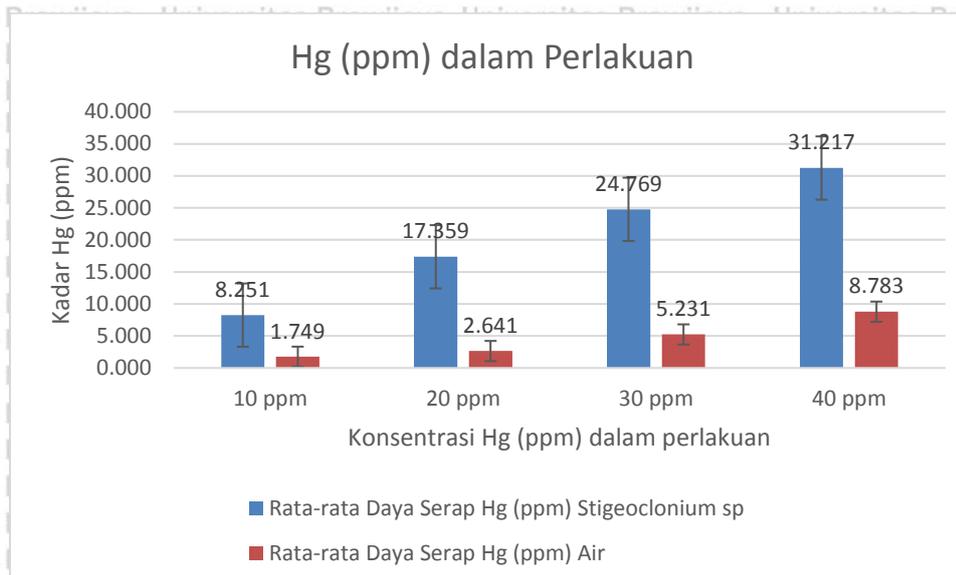
Ulangan	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III
1	5.94	28.99	39.55
2	5.56	23.05	38.60
3	7.04	15.90	17.96
4	5.54	15.05	20.22
5	12.61	19.81	19.43
6	11.02	17.35	9.26
Rata-rata	7.95^a	20.02^b	24.17^b

Keterangan; Superskrip yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan berbeda nyata ($P < 0.05$)

5.5. Akumulasi Kandungan Hg (ppm) pada *Stigeoclonium* sp

Pengujian kadar logam Hg pada *Stigeoclonium* sp yaitu dengan dilakukan 4 perlakuan yang berbeda dengan menggunakan konsentrasi kadar Hg 10ppm, 20ppm, 30ppm dan 40ppm untuk mengetahui seberapa besar penyerapan logam merkuri oleh *Stigeoclonium* sp. Kadar Hg (ppm) *Stigeoclonium* sp dan Air, terlihat bahwa kadar Hg *Stigeoclonium* sp terendah pada konsentrasi 10ppm yaitu 8,251 ppm dan yang tertinggi pada konsentrasi 40ppm yaitu 31,217 ppm, dan untuk kadar Hg air terendah juga pada konsentrasi 10ppm yaitu 1,749 ppm dan tertinggi pada konsentrasi 40ppm yaitu 8,783 ppm. Berdasarkan hasil uji oneway ANOVA menunjukkan bahwa ada perbedaan nyata dari pemberian konsentrasi Hg pada *Stigeoclonium* sp dan media airnya (Gambar 5.18).

Pada perlakuan menunjukkan semakin besar kadar Hg yang diberikan semakin tinggi pula nilai hasil pengukuran kadar Hg di dalam *Stigeoclonium* sp. Menurut (Asih, 2012). Berdasarkan hal tersebut maka dapat dinyatakan bahwa terjadi biokonsentrasi, yaitu peningkatan konsentrasi ion logam Hg dalam *Stigeoclonium* sp yang nilainya lebih tinggi dibandingkan konsentrasi ion logam Hg dalam medium perlakuan air.



Gambar 5.18. Kadar Hg (ppm) dalam Perlakuan

Beberapa senyawa organik dalam tubuh alga, termasuk klorofil, mampu mengikat logam berat membentuk senyawa kompleks melalui gugus-gugus yang reaktif terhadap logam berat seperti sulfidril dan amina. Ikatan kompleks tersebut menyebabkan logam berat menjadi lebih stabil dan terakumulasi dalam sel alga.

Menurut (Yulianto, 2006) kandungan logam Hg yang terdapat pada tumbuhan alga sangat tergantung pada kemampuan tumbuhan untuk mengakumulasi limbah yang terdapat dalam perairan estuari Talawaan bajo.

Kondisi morfologi dan fisiologi dari tumbuhan ini menjadi faktor yang dapat mempengaruhi penyerapan logam. Tingginya konsentrasi logam yang diserap oleh tumbuhan diperairan laut biasanya akan berkurang kembali konsentrasinya dikarenakan tumbuhan akan mengekresi kembali melalui proses filterisasi yang dibawa oleh arus ombak sehingga dapat mengurangi kadar logam yang terkandung pada alga tersebut.

Salt (2000) menyatakan respon fisiologis yang terjadi bila tanaman mengalami stres logam adalah terjadinya pembentukan protein stress (phytochelatins) karena adanya ion-ion logam yang memicu terjadinya reaksi ini

Respons lain adalah adanya perubahan aktivitas enzimatis. Enzim yang terlibat dilaporkan menggunakan S-adenosylmethionine atau vitamin B12 derivatif sebagai donor metal, dan selain merkuri, logam lain seperti timah, talium, dan metalloid, arsen, selenium, tellurium, dan metilasi sulfur. Bahkan logam yang reaktif, emas dan platinum dilaporkan sebagai substrat untuk fraksi ini.

Stigeoclonium sp dapat mengabsorpsi logam berat yang bersumber dari buangan limbah yang berada di lingkungan perairan. Absorpsi ion-ion logam berat yang terdapat pada air kebanyakan berbentuk ion. Logam berat tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada biota laut bila secara terus menerus biota laut ini mengakumulasi logam berat tersebut, apabila kadar logam merkuri (Hg) melewati ambang batas maka akan menghambat pertumbuhan alga.

Logam Hg merupakan logam non esensial yang keberadaannya dalam tubuh makhluk hidup dapat dikatakan tidak diharapkan, keberadaan logam Hg dalam tubuh seringkali menggantikan logam esensial dalam aktivitas kerja enzim dan bersifat menghambat kerja enzim (Palar, 2004).

Nilai BCF (Bioconcentration Factor) BCF merupakan koefisien untuk mengelompokkan efisiensi akumulasi elemen toksik dalam biota dan mediumnya.

Nilai BCF (o – w) pada perlakuan menunjukkan bahwa *stigeoclonium* pada konsentrasi 10 ppm yaitu 4.718 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air, konsentrasi 20 ppm yaitu 6.573 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air, konsentrasi 30 ppm yaitu 4.735 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air dan konsentrasi 40 ppm yaitu 3.554 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air.

Tabel. 5.8. BCF (o-w) pada perlakuan

Konsentrasi Hg	(o – w)
10	4.718
20	6.573
30	4.735
40	3.554

Stigeoclonium sp merupakan akumulator logam Hg karena nilai BCF > 1 (Janssen, 1997). Dengan demikian *Stigeoclonium* sp layak digunakan sebagai agen biomonitoring logam Hg perairan estuari.

5.6. Kemampuan Daya Serap Hg oleh *Stigeoclonium* sp secara in situ maupun in vivo

Secara in situ, konsentrasi Hg di lokasi penelitian dengan garis besar rata-rata sebagai berikut;

Tabel. 5.9. Garis Besar Konsentrasi Hg di Estuari Talawaan Bajo

Rata-rata Konsentrasi Hg dalam	Konsentrasi Hg (ppm)	Rasio terhadap Hg dalam Air	Rasio thdp Hg dalam Sedimen	Rasio thdp Hg dalam <i>Cymodocea rotundata</i>
Air	0,036	-	-	-
Sedimen	2,37	63 kali	-	-
<i>Cymodocea rotundata</i>	4,14	113 kali	1,84 kali	-
<i>Stigeoclonium</i> sp	17,38	461 kali	7,11 kali	4,12 kali

Berdasarkan tabel di atas kemampuan daya serap Hg oleh *Stigeoclonium* sp 4,12 kali lebih banyak dibandingkan dengan *Cymodocea rotundata*. Setelah dilakukan Uji Kruskal-Wallis/ANOVA Welch terhadap daya serap Hg oleh *Cymodocea rotundata* dan *Stigeoclonium* sp, dan diperoleh hasil yang signifikan baik secara keseluruhan maupun menurut stasiun. Dengan demikian, bisa disimpulkan bahwa perbedaan daya serap Hg oleh *Cymodocea rotundata* **berbeda nyata** dengan daya serap Hg oleh *Stigeoclonium* sp, baik secara keseluruhan maupun pada setiap stasiun.

Secara in vivo, konsentrasi Hg di laboratorium dengan garis besar rata-rata sebagai berikut;

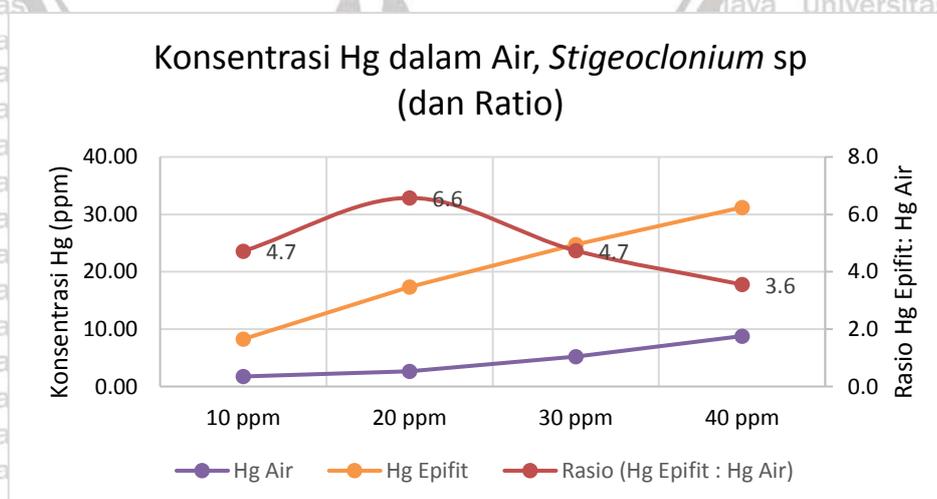
Tabel. 5.10. Rata-rata Konsentrasi Hg di Laboratorium (durasi paparan 4 jam)

Rata-rata Konsentrasi Hg dalam (ppm)	Hg 10 ppm	Hg 20 ppm	Hg 30 ppm	Hg 40 ppm	Catatan
Air	1.75	2.64	5.23	8.78	In situ 0,025-0,045
<i>Stigeoclonium</i> sp	8.25	17.36	24.77	31.22	
Rasio Hg <i>Stigeoclonium</i> sp : Hg Air	4.7	6.6	4.7	3.6	

Setelah dilakukan uji lanjut, daya serap Hg oleh *Stigeoclonium* sp untuk setiap perlakuan dan diperoleh hasil sangat signifikan untuk setiap perlakuan.

Dengan demikian, bisa disimpulkan bahwa batas kemampuan *Stigeoclonium* sp dalam menyerap Hg belum tercapai dalam batas perlakuan yang dicobakan.

Sekalipun pendekatan secara statistik menunjukkan peningkatan kemampuan daya serap Hg oleh *Stigeoclonium* sp yang stabil (tetap sangat signifikan) begitu pula konsentrasi Hg dalam air, akan tetapi dengan pendekatan grafis terhadap rasio kadar Hg dalam *Stigeoclonium* sp terhadap kadar Hg dalam air, menunjukkan penurunan rasio setelah perlakuan 20 ppm (atau konsentrasi Hg dalam air 2,64 ppm). Dengan demikian, terjadi penurunan laju penyerapan Hg oleh *Stigeoclonium* sp (Gambar.19)



Gambar 5.19. Kadar Hg dalam Air, *Stigeoclonium* sp (dan ratio)

Dengan melihat grafik di atas, batas kemampuan daya serap Hg oleh *Stigeoclonium* sp belum tercapai dalam batas perlakuan 40 ppm. Akan tetapi karena ada penurunan ratio laju penyerapan Hg oleh *Stigeoclonium* sp, terlihat jelas bahwa pada konsentrasi 20ppm merupakan batas maksimal kemampuan penyerapan Hg oleh *Stigeoclonium* sp.

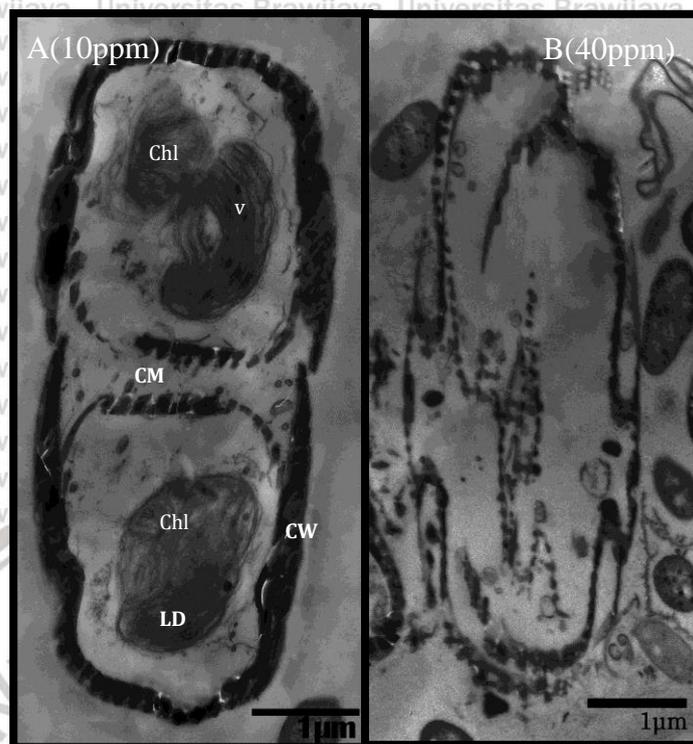
5.7. Visualisasi Logam Berat Hg pada struktur sel alga periphyton *Stigeoclonium* sp

Hasil analisis histologi *Stigeoclonium* sp dapat dilihat pada visualisasi struktur sel dengan menggunakan TEM terlihat pada kondisi konsentrasi Hg 10ppm, struktur sel sudah sedikit rusak, kloroplas masih baik, dinding sel maupun membran sel sudah terjadi kerusakan. Struktur sel sudah rusak pada konsentrasi Hg 40ppm, kloroplas dan organel sel yang lain sudah lisis dan tertinggal membran sel yang sudah tidak beraturan (Gambar 5.20).

Menurut Ochiai (1987) bahwa ion-ion logam Hg, Pb dan Sn dapat larut dalam lemak mampu melakukan penetrasi pada dinding membran sel, sehingga akhirnya ion-ion logam tersebut akan terakumulasi di dalam sel dan organ lain. Terakumulasinya ion-ion logam tersebut akan menyebabkan terganggunya aktifitas enzim dan metabolisme dalam sel, sehingga perkembangan sel terhambat, sel-sel menjadi lisis dan mati. Hasil penelitian Gosling (1992) menyatakan bahwa bioakumulasi logam berat dapat terjadi pada sistem vacuola dari organel lisosom tempat logam ditangkap oleh granula-granula sehingga logam terakumulasi dan organel ini akan menyebabkan degenerasi.

Menurut Viarengo (1989) bahwa pencemaran logam berat dapat menyebabkan tidak stabilnya membran organel lisosomal dalam sel. Selain itu juga mempengaruhi proses oksidasi, kerja enzim dan keseimbangan ion Ca dalam sel-sel. Sebagai tindak lanjut proses bioakumulasi logam berat yang toksik akan

mengalami biotransformasi dalam sel-sel, sehingga menyebabkan terjadinya mutasi gen-gen. Perubahan sensitif terjadi pada saat pembelahan sel-sel pada stadium metaphase dimana akan terjadi perubahan susunan kromosom akibat perubahan suhu dan kimia lingkungan. Menurut Dixon (1982) lebih lanjut dijelaskan akibat pencemaran logam yang berkepanjangan dapat menyebabkan perubahan susunan gen-gen pada kromosom dan bahkan akan menyebabkan abrasi kromosom, keadaan ini telah dibuktikan pada kerang biru (*M. edulis*). Menurut Darmono (2001) menyatakan bahwa baik logam berat Hg termasuk logam-logam yang reaktif terhadap sel. Apabila sel mengikat logam yang salah (nonessential) maka akan menyebabkan disfungsi katalisator dari sel itu sendiri. Perubahan yang terjadi pada membran sel mencerminkan gangguan pengaturan ion dan volume yang disebabkan oleh kehilangan ATP (Robbins dan Kumar, 1995). Pecahnya membran sel menyebabkan kalsium yang masuk ke dalam sel berlebih dan diikuti oleh pembengkakan mitokondria karena pergeseran ion yang terjadi pada bagian dalam sel. Disusul dengan pelebaran. Retikulum Endoplasma (RE) yang diikuti oleh pelepasan ribosom dan pecahnya polisom disertai pengurangan sintesis protein yang berlanjut menjadi fragmentasi progresif RE dan pembentukan gambaran myelin.



Ket. CW = cell wall; CM = Cell Membrane; Chl = Chloroplast;
LD = Lipid droplet; V = Vacuola

Gambar 5.20. Visualisasi sel *Stigeoclonium* sp pada konsentrasi 10 ppm (Gambar A), dan 40ppm (Gambar B) menggunakan Type : TEM JEOL 1010, 80.0KV Magnification 8000x TEM and Histology Laboratory Eijkman Institute

Perubahan pada lisosom terjadi paling akhir, lisosom yang robek dan menghilang merupakan struktur yang ditemukan sebagai bentuk sel mati. Inti sel yang mati biasanya menyusut, batasnya tidak teratur dan berwarna gelap.

Prosesnya dinamakan piknosis dan intinya disebut piknotik. Selanjutnya inti dapat hancur sambil meninggalkan pecahan-pecahan zat kromatin yang tersebar di dalam sel, prosesnya disebut karyoreksis. Akhirnya pada beberapa keadaan inti sel yang mati kehilangan kemampuan mereka untuk diwarnai dan menghilang, prosesnya disebut karyolisis (Price dan Wilson, 1995).

Pemasokan energi yang diperlukan untuk memelihara fungsi dan struktur RE berkurang dan sintesis protein juga berkurang. Kegagalan dalam pengikatan

energi akibat terganggunya mitokondria akan menyebabkan sel kehilangan daya untuk mengeluarkan trigliserida akibatnya terjadi akumulasi lemak yang dikenal sebagai degenerasi lemak. Perubahan-perubahan dalam sel akibat pemasukan zat toksik dapat terjadi dengan cepat dan *reversible*, tetapi bila keadaan terus berlanjut akan menjadi *irreversible* sehingga akan tampak robekan pada membran sel dan membran organel mengakibatkan sitolisis (Oktavianti, 2004). Hasil penelitian dari Bell A dan Scudder (2005), menyatakan akumulasi logam berat Hg menyebabkan terjadinya pembelahan sel alga periphyton.

Sebagai salah satu kelompok polutan, secara umum dampak negatif Hg^{2+} dalam proses metabolisme adalah menstimulasi proses peroksidasi lemak melalui oksidasi asam lemak rantai panjang tak jenuh (Geret *et al.*, 2002). Peroksidasi lemak dan kerusakan yang dihasilkan dimodulasi oleh sistem antioksidan (superoksida dismutase, katalase, glutathion peroksidase, glutathion) dan metalotionein (MT). Metalotionin memainkan peranan penting pada metabolisme logam melalui mekanisme detoksifikasi. Fungsi metalotionin lainnya adalah memproteksi sel tidak hanya sebagai antiradikal tetapi berperilaku terhadap pengikatan dan pelepasan logam. Merkuri menghambat aktivitas enzim dan menyebabkan sel mengalami kerusakan (Blackmore *et al.*, 2004). Merkuri organik mempunyai aktivitas yang tinggi terhadap lipida yang menyebabkan polutan ini dapat bergerak sepanjang membran sel dan terlibat dalam metabolisme sel. Metil merkuri mempengaruhi proses pembelahan sel dan menyebabkan hasil belahan sel menerima sejumlah kromosom yang tidak sama.

5.8. Nilai BCF

Hasil perhitungan nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF o-w) dan Faktor Biokonsentrasi (BCF o-s) pada setiap stasiun ditunjukkan pada Tabel:

Tabel 5.11. Nilai BCF Lamun *Cymodocea rotundata*

Stasiun	Nilai BCF (O – W)	Nilai BCF (O – S)
I	104.90	2.223
II	119.92	1.626
III	115.90	1.675

Berdasarkan hasil perhitungan BCF(o-w) Lamun *Cymodocea rotundata* yaitu perbandingan antara konsentrasi logam berat yang diserap oleh organisme dengan konsentrasi logam berat dalam air maka didapatkan nilai BCF pada stasiun I yaitu 104.90 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air, Stasiun II 119.92 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air dan stasiun III 115.90 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air. Sedangkan hasil perhitungan (BCF o-s) Lamun *Cymodocea rotundata* yaitu perbandingan antara konsentrasi logam berat yang diserap oleh organisme dengan konsentrasi logam berat dalam sedimen, didapatkan nilai BCF pada stasiun I yaitu 2.223 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di sedimen, stasiun II 1.626 kali lebih besar mengakumulasi logam Pb, Hg di sedimen dan Stasiun III 1.675 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di sedimen.

Nilai BCF(o-w) yang didapatkan pada masing-masing stasiun menunjukkan bahwa lamun *Cymodocea rotundata* memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam Hg dalam air namun masih berada pada sifat akumulatif sedang, sedangkan nilai (BCF o-s) yang didapatkan pada masing-masing stasiun menunjukkan bahwa *Cymodocea rotundata* kurang memiliki kemampuan atau memiliki sifat akumulatif rendah dalam mengakumulasi logam di sedimen.

Tabel 5.12. Nilai BCF *Stigeoclonium* sp

Stasiun	Nilai BCF (O – W)	Nilai BCF (P – L)
I	267.94	2.554
II	526.95	4.394
III	589.51	5.086

Berdasarkan hasil perhitungan BCF(o-w) *Stigeoclonium* sp yaitu perbandingan antara konsentrasi logam berat yang diserap oleh organisme dengan konsentrasi logam berat dalam air maka didapatkan nilai BCF pada stasiun I yaitu 267.94 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air, Stasiun II 526.95 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air dan stasiun III 589.51 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di air. Sedangkan hasil perhitungan (BCF p-l) yaitu perbandingan antara konsentrasi logam berat yang diserap oleh *Stigeoclonium* sp dengan konsentrasi logam berat dalam *Cymodocea rotundata*, didapatkan nilai BCF pada stasiun I *Stigeoclonium* sp yaitu 2.554 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di *Cymodocea rotundata*, stasiun II *Stigeoclonium* sp 4.394 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di *Cymodocea rotundata* dan Stasiun III *Stigeoclonium* sp 5.086 kali lebih besar mengakumulasi logam Hg di *Cymodocea rotundata*.

Nilai BCF(o-w) yang didapatkan pada masing-masing stasiun menunjukkan bahwa *Stigeoclonium* sp memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam Hg dalam air namun masih berada pada sifat akumulatif sedang, sedangkan nilai (BCF p - l) yang didapatkan pada masing-masing stasiun menunjukkan bahwa *Stigeoclonium* sp memiliki kemampuan atau memiliki sifat akumulatif tinggi dalam mengakumulasi logam di *Cymodocea rotundata*, hal ini terjadi karena *Stigeoclonium* sp merupakan organisme (*planktonik*) yang memperoleh makanannya di kolom perairan maka tidak banyak logam berat dalam sedimen yang terakumulasi dalam tubuh periphyton.

Janssen *et al.*, (1997) menyatakan bahwa, apabila nilai BCF > 1 dari konsentrasi yang ada di kolom air berarti organisme tersebut memiliki kemampuan akumulasi logam dalam tubuh, sebaliknya BCF ≤ 1 dari konsentrasi yang ada dalam

perairan berarti organisme tersebut kurang memiliki kemampuan mengakumulasi logam dalam tubuhnya.

Ghosh dan Singh (2005) menjelaskan ada tiga kategori nilai BCF sebagai berikut:

- 1) Nilai BCF lebih besar dari 1000 dikategorikan dalam sifat akumulatif tinggi.
- 2) Nilai BCF 100 s/d 1000 dikategorikan dalam sifat akumulatif sedang.
- 3) Nilai BCF kurang dari 100 dikategorikan dalam sifat akumulatif rendah.

Berdasarkan kategori BCF, Lamun *Cymodocea rotundata* dan Alga Periphyton *Stigeoclonium* sp memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam berat Hg dengan sifat akumulasi sedang. Itu artinya organisme ini merupakan bioindikator logam berat Hg di perairan. *Stigeoclonium* sp sering digunakan sebagai indikator lingkungan perairan yang diperkaya atau tercemar oleh senyawa organik dan juga dilaporkan toleran terhadap polusi logam berat (Bellinger, 2015). Dalam penelitiannya Fukuyo (2000) menyatakan *Stigeoclonium* sp termasuk ke dalam indikator pencemaran berat.

5.9. Rekomendasi

Perlu perhatian khusus oleh Pemerintah Kabupaten Minahasa Utara tentang pemanfaatan sumberdaya alam di sekitar DAS Talawaan Bajo dengan memperhatikan AMDAL

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Komposisi lamun di estuari Talawaan Bajo, ditemukan 6 spesies yaitu *Enhallus acaroides*, *Thalassia hemprichii*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Halodule uninervis*, dan *Halophylla ovalis*. *Cymodocea rotundata* merupakan lamun yang paling dominan.

Komposisi periphyton pada lamun *Cymodocea rotundata*, terdiri dari 5 famili yang terdiri dari Bacillariophyceae (16 genus), Cyanophyceae (3 genus), Chlorophyceae (9 genus), Dinophyceae (1 genus), dan Rhodophyceae (1 genus), dimana terdapat alga periphyton *Stigeoclonium* sp yang dominan dari famili Chlorophyceae.

2. Kondisi lingkungan perairan estuari Talawaan Bajo, tercemar logam berat Hg, berdasarkan kandungan Hg yang terakumulasi pada lamun dan alga periphyton menunjukkan sudah melebihi baku mutu <0,0001ppm untuk perairan.

3. Alga Periphyton *Stigeoclonium* sp merupakan bioindikator logam berat Hg di estuari Talawaan Bajo, karena memiliki kemampuan mengakumulasi tingkat sedang logam berat Hg di perairan.

6.2 Saran

Perlu perhatian khusus dari masyarakat setempat dalam hal ini masyarakat Desa Talawaan Bajo untuk menunjang pengembangan dan pengelolaan serta upaya pelestarian sumberdaya pesisir khususnya di estuari Talawaan Bajo.

DAFTAR PUSTAKA

Afrizal, I., 2000. **Kandungan Logam Berat Cd, Pb, Cu, dan Zn dalam Air, sedimen dan beberapa Organisme Benthos di Muara Sungai Asahan, Sumatera Utara**. TESIS. Universitas Padjajaran. Bandung.

Anonim., 1993. **Bioaccumulation** [online]. <http://extoxnet.orst.edu/tibs/bioaccum.htm>. 4th August 2018.

Universitas., 1998. **How does the aquatic ecosystem react on pollutants? Toxicity of aquatic life**. <http://www.lenntech.com/aquatic/toxicity-response.htm>. 23th August 2018.

Universitas., 2003. **Bioconcentration, Bioaccumulation and biomagnification** [online], <http://web.ead.anl.gov/ecorisk/fundamentals/html/th2/2.2.htm>. 5th August 2018.

APHA., 1989. **Standard Methods for the Eamination of Water and Watewater**. American Public Health Asociation. American Water Work Association. Water Pollution Control federation. Port city Press. Baltimore. Maryland. 3464p.

Argadi, G., 2003. **Struktur Komunitas Lamun Di Perairan Pagerungan, Jawa Timur**. Fakultas Ilmu Perikanan Dan Kelautan IPB. Bogor.

Ariens EJ, Mutschler E, Simonis AM. 1994. **Toksikologi Umum**. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Arifin, Z., 2002. **Ekosistem Pantai, Keranjang Polutan**. Puslitbang Oseanologi-LIPI. <http://www.kompas.com/kcm/produk.htm>. 7 Juli 2006.

Attrill Martin J (Ed)., 1998. **A Rehabilitated Estuarine Ecosystem. The environment and ecology of the Thames Estuary**. Springer Science+Business Media. ISBN. 978-1-4419-8708-2 (eBook). New York.

Azim, M. E., Verdegem, M. C., van Dam, A. A., & Beveridge, M. C. (Eds.)., 2005. **Periphyton: ecology, exploitation and management**. CABI.

Azkab, M. H., & Kiwara, W., 1994. **Pertumbuhan dan produksi lamun di Teluk Kuta, Lombok Selatan. Dalam Struktur Komunitas Biologi Padang Lamun di Pantai Selatan Lombok dan Kondisi Lingkungannya** (Kiswara, W., Moosa, MK & Hutomo, M, Eds). Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi. LIPI. Jakarta, 34-41.

Azkab, M. H., 1999. **Pedoman Inventarisasi Lamun**. Oseana 24 (1): 1-16.

Universitas., 2000. **Struktur dan Fungsi pada Komunitas Lamun**. Oseana, 25(3), 9-17.

- _____. 2009. **Lamun (seagrass): Pedoman inventarisasi lamun**. Pusat Penelitian Oseanografi, Jakarta.
- Bachtiar Eri., 2011. "**Penelusuran Sumber Daya Hayati Laut (Alga) Sebagai Biotarget Industri**", <http://persijap.fileave.com/maskur/alga-laut-sebagai-biotarget-industri.pdf>, (17-01-2011).
- Baffico, G. D., & Pedrozo, F. L., 1996. **Growth factors controlling periphyton production in a temperate reservoir in Patagonia used for fish farming**. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 2(3-4), 243-249.
- Bahri, S., 2002. **Tingkat kontaminasi logam berat Hg dan Pb di perairan Muara Cunda Lhokseumawe Aceh Utara** (Doctoral dissertation, Tesis Pada Program Pasca Sarjana Ilmu Perairan Institut Pertanian Bogor. 96 hal (Tidak Diterbitkan)).
- Baker, S. M., 2007. **Who ignores individuality fails the patient**. In *The Proceedings From the 13th International Symposium of The Institute for Functional Medicine* (p. 88).
- Barus. S. L, Yunasfi, A. Suryan., 2013. **Keanekaragaman dan Kelimpahan Perifiton di Perairan Sungai Deli Sumatera Utara**. Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. 10 hal. (Tidak diterbitkan)
- Basmi, J., 2000. **Planktonology: Plankton as Bio-indicator of Water Quality**. Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Bogor Agricultural University, Bogor.[Indonesian].
- Bell, A. H., & Scudder, B. C., 2005. **Bioaccumulation of mercury in riverine periphyton** (No. OPEN-FILE-2004-1446). GEOLOGICAL SURVEY WASHINGTON DC.
- Bellinger, E. G., & Sigeo, D. C., 2015. **Freshwater algae: identification, enumeration and use as bioindicators**. John Wiley & Sons.
- Bengen, D. G., 1998. **Sinopsis analisis statistik multivariabel/multidimensi**. Program Pascasarjana. IPB. Bogor.
- _____. 2002. **Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut serta Prinsip Pengelolannya**. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan IPB: Bogor, 63.
- Biggs, B. J., & Kilroy, C., 2000. **Stream periphyton monitoring manual**. Niwa.
- Bishop, J. E., 1973. **Limnology of small Malaysian river-Sungai Gombak**. W. Junk. The Hague, 485.

Blackmore, G., & Wang, W. X., 2004. **The transfer of cadmium, mercury, methylmercury, and zinc in an intertidal rocky shore food chain.** *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 307(1), 91-110.

Blackmore, G., Wang, W-X., 2004. **The transfer of cadmium, mercury, methylmercury, and zinc in an intertidal rocky shore food chain.** *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 307, 91– 110

Borowitzka M.A and R. C. Lethbridge., 1989. **Seagrass Epiphytes.** Pp. 458-499. In: A. W. D. Larkum. A. J. McComb and S. A. Shepherd (Eds). *Biology of Seagrasses: a Treatise on the Bioly of Seagrasses with Special reference to the Australian Region.* Aquatic Plant Studies 2. Elsevier Science publisher B. V. Amsterdam.

Boston, H. L., W, R. Hill and A. J. Steward., 1991. **Evaluating Direct Toxicity and Food-Chain Effects in Aquatic System Using Natural Periphyton Communities.** Second Symposium on the Use of Plants for Toxicity Assesment. ASTM STP 1115, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. 318p.

Brouns, J. J. W., 1985. **A Comparison of the Annual Production and Biomass in three monospecific Stands of the Seagrass *Thalassia hemprichii* (Enherb) Aschers.** *Aquatic Botany*. 23:149-175.

Brower, J. E., J. H. Zar and C. Von Ende., 1990. **General Ecology.** Field and Laboratory Methods. Wm. C. Brown Company Publisher. Dubuque. Iowa.

Brown, C. A., 2009. **Seagrasses and protective criteria: a review and assessment of research status.** W. G. Nelson (Ed.). Newport, OR: Western Ecology Division, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, US Environmental Protection Agency.

Budiono, A., 2002. **Pengaruh pencemar Merkuri terhadap Biota Air.** <http://rudycr.tripod.coam/> sb Sem1 Juli 2006.

Campbell N.A. Mitchell LG, Reece JB, Taylor MR, Simon EJ., 2006. **Biology, 5th ed.** Benjamin Cummings Publishing Company, Inc., Redword City, England

Chaniago, W., 1994. **Studi Kualitas Fisika Kimia air di Daerah Estuaria Sungai Teko yang Mendapt Limbah Pabrik Gula Arasoe Bone untuk Pembangunan Budidaya Pantai.** Skripsi Fakultas Peternakan> Universitas Hasanuddin. Makassar.

Chindah, A. C., Braide, S. A., Amakiri, J., & Chikwendu, S. O. N., 2009. **Heavy metal concentrations in sediment and periwinkle–*Tympanotonus fuscatus* in the different ecological zones of Bonny River system, Niger Delta, Nigeria.** *The Open Environmental Pollution and Toxicology Journal*, 2(1), 14.

Coleman, V. L., and J. M. Burkholder., 1995. **Response of Microalga Epiphyte communities to Nitrate Enrichment in an Eelgrass (*Zostera marina*) Meadow**, J. Phtcol., 31:36-43.

Connell, D. W., & Miller, G. J., 1995. **Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran**. Jakarta.

Crossey, M. J., & La Point, T. W., 1988. **A comparison of periphyton community structural and functional responses to heavy metals**. Hydrobiologia, 162(2), 109-121.

Dahuri, R., 2000. **Pendayagunaan Sumberdaya Kelautan untuk Kesejahteraan Rakyat**. LISPI dan DKP. Jakarta, 145.

_____. 2001. **Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan secara Terpadu**. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.

_____. 2003. **Keanekaragaman hayati laut: aset pembangunan berkelanjutan Indonesia**. Gramedia Pustaka Utama.

Dahuri, R., J. Rais., S.P. Ginting dan M. J. Sitepu., 1996. **Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan secara Terpadu**. Paradnya Paramita. Jakarta.

Darmono., 1995. **Logam dalam Sistem biologi Makhluk Hidup**. Jakarta. Universitas Indonesia. Hal 1 – 45.

_____. 2001. **Lingkungan Hidup dan Pencemaran**. Universitas Indonesia, Jakarta

DAVIS, Charles C. **The marine and fresh-water plankton**. Michigan Michigan: Michigan State University Press, 1955.

Den Hertog, C., 1970. **The Seagrass of The World**. In Azkab, M. H. 1999. Pedoman Inventarisasi Lamun. Oseana 1:1-16.

Dieken, M. B. V., 2001. **Telaah Kandungan Merkuri dalam Air dan Sedimen di Sekitar Muara Sungai Laine Kecamatan Manganitu Selatan Kabupaten Sangihe-Talaud**. Skripsi FPIK UNSRAT Manado.

Dixit, S. S., Smol, J. P., Kingston, J. C., & Charles, D. F., 1992. **Diatoms: powerful indicators of environmental change**. Environmental science & technology, 26(1), 22-33.

Dixon, D. R., 1982. **Aneuploidy in mussel embryos (*Mytilus edulis* L.) originating from a polluted dock**. Marine Biology Letters, (3).

Duran, M. A., Spencer, D., Weise, M., Kronfol, N. O., Spencer, R. F., & Oken, D. E., 1990. **Renal epithelial amino acid concentrations in mercury-induced and postischemic acute renal failure**. Toxicology and applied pharmacology, 105(2), 183-194.

Universitas Brawijaya
 Ebbs.S.D., Lasat M.M., Brady J., Cornish J., Gordon R., Kochian L.V. 1997. **Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil**, Journal Environ. Qual, 26 (5).

Universitas Brawijaya
 Economou-Amili, A., 1980. **Periphyton Analysis for the Evaluation of Water Quality in Running Waters of Greece**. Hydrobiologia, 74:39-48.

Universitas Brawijaya
 Edward, Tarigan, M.S., 2003, **Pengaruh Musim Terhadap Fluktuasi Kandungan Fosfat dan Nitrat di Laut Banda**. Makara Sains, Vol. 7(2): 82- 89.

Universitas Brawijaya
 Effendi, H., 2003. **Telaah Kualitas Air bagi Pengolahan Sumberdaya Hayati Lingkungan Perairan**. Kanysius. Yogyakarta.

Universitas Brawijaya
 El-Moselhy, K. M., and Gabal, M.N., 2004. **Trace metals in water, sediments and marine organisms from the northern part of the Gulf of Suez, Red Sea**. Journal of Marine System, 46: 39-46.

Universitas Brawijaya
 El-Said, A. G., Badawy, N. A., & Garamon, S. E., 2010. **Adsorption of cadmium (II) and mercury (II) onto natural adsorbent rice husk ash**. Environ. Pollut, 50, 139-161.

Universitas Brawijaya
 English, S. S., Wilkinson, C. C., & Baker, V. V., 1997. **Survey manual for tropical marine resources**. Australian Institute of Marine Science.

Universitas Brawijaya
 Fardiaz, S., 1992. **Polusi air dan udara**. Kanisius. Jakarta.

Universitas Brawijaya
 Fausch, K. D., Karr, J. R., & Yant, P. R., 1984. **Regional application of an index of biotic integrity based on stream fish communities**. Transactions of the American Fisheries Society, 113(1), 39-55.

Universitas Brawijaya
 Fitriati, M., 2004. **Bioakumulasi Logam Raksa (Hg), Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Pada Kerang Hijau (Perna viridis) Yang Dibudidayakan di Perairan Pesisir Amal dan Cilincing Jakarta** (Doctoral dissertation, Tesis. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor).

Universitas Brawijaya
 Fortes, M. D., & Tiquio, J. P., 1994. **Distribution patterns of seaweeds in the Philippines**. UP [University of the Philippines] Research Digest (Philippines).

Universitas Brawijaya
 Freitas, O. M., Martins, R. J., Delerue-Matos, M., and Boaventura, R. A., 2008. **Removal of Cd (II), Zn (II), and Pb(II) from aqueous solutions by brown marine macro algae: kinetic modeling**. Journal of Hazardous materials, 152: 407-414.

Universitas Brawijaya
 Friedlova, M., 2010. **The Influence of Heavy metal on Soil Biological and Chemical Properties**. Soil & Water, Vol 5 (1): 21-27, 2005.

Universitas Brawijaya
 Friedrich G, Chapman D, Beim A., 1992. **The use of biological materials**. Pages 171-238 in D. Chapman (editor). Water quality assessments. Chapman and Hall, London, UK.

Fritsch, F. E., 1948. **Contributions to our knowledge of British algae.** Hydrobiologia, 1(1), 115-125.

Fritz, S. C., Kingston, J. C., & Engstrom, D. R., 1993. **Quantitative trophic reconstruction from sedimentary diatom assemblages: a cautionary tale.** Freshwater biology, 30(1), 1-23.

Fukuyo, Y. 2000. **Red Tide Microalga.** (Online) fukuyo@mail.ecc.utokyo.ac.jp. Diakses tanggal 9 November 2019.

Geret, F. et al., 2002. **Influence of metal exposure on metallothionein synthesis and lipid peroxidation in two bivalve mollusks: the oyster (*Crassostrea gigas*) and the mussel (*Mytilus edulis*)** Aquat. Living Resour.15: 61-66

Géret, F., Jouan, A., Turpin, V., Bebianno, M. J., & Cosson, R. P., 2002. **Influence of metal exposure on metallothionein synthesis and lipid peroxidation in two bivalve mollusks: the oyster (*Crassostrea gigas*) and the mussel (*Mytilus edulis*).** Aquatic Living Resources, 15(1), 61-66.

Ghosh, M., & Singh, S. P., 2005. **A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species.** Environmental Pollution, 133(2), 365-371.

Ghosh, M., & Singh, S. P., 2005. **A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products.** Asian J Energy Environ, 6(4), 18.

Gilanders, B.M. 2006. **Seagrasses, Fish, and Fisheries.** In: Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. (Eds.), Seagrasses: Biology, Ecology, and Conservation. Springer, The Netherland, 503-536pp.

Gobas, F. A., Wilcockson, J. B., Russell, R. W., & Haffner, G. D., 1999. **Mechanism of biomagnification in fish under laboratory and field conditions.** Environmental science & technology, 33(1), 133-141.

Gosh M. and Singh S.P. 2005. **Comparative uptake and phytoextraction study of soil induced chromium by accumulator and high biomass weed spesies.** Journal Applied Ecologist and Environmental Research, Volume 3. No.2,page 67-79.

Guzkowska, M. A. J., & Gasse, F., 1990. **Diatoms as indicators of water quality in some English urban lakes.** Freshwater Biology, 23(2), 233-250.

Harlin, M. M., 1980. **Seagrass epiphytes.** Handbook of seagrass biology, 117-131.

Hatchinson, G. E., 1967. **Trealise on Limnology.** Vol. 2. Jhon Walley and Sons. Inc. New York.

Hemminga, M. A., & Duarte, C. M., 2000. **Seagrass ecology.** Cambridge University Press.

Herawati, V. E., 2008. **Analisis Kesesuaian Perairan Segara Anakan Kabupaten Cilacap Sebagai Lahan Budidaya Kerang Totok (Polymesoda Erosa) Ditinjau Dari Aspek Produktifitas Primer Menggunakan Penginderaan Jauh** (Doctoral dissertation, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro).

Herkül, K., & Kotta, J., 2009. **Effects of eelgrass (*Zostera marina*) canopy removal and sediment addition on sediment characteristics and benthic communities in the Northern Baltic Sea**. *Marine Ecology*, 30, 74-82.

Herman, D.Z., 2006. **Tinjauan terhadap Tailing mengandung unsur Pencemar As, Hg, Pb dan Cd**. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol 1. No 1 maret 2006: 31-36.

Hill, B. H., & Webster, J. R., 1982. **Periphyton production in an Appalachian river**. *Hydrobiologia*, 97(3), 275-280.

Hill, B. H., Herlihy, A. T., Kaufmann, P. R., Stevenson, R. J., McCormick, F. H., & Johnson, C. B., 2000. **Use of periphyton assemblage data as an index of biotic integrity**. *Journal of the North American Benthological Society*, 19(1), 50-67.

Hogarth, P. J., 2015. **The biology of mangroves and seagrasses**. Oxford University Press.

Holt, E. A. & Miller, S. W., 2010. **Bioindicators: Using organisms to measure environmental impacts**. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 8.

Horax, R., 1998. **Penarikan Ion Ortofosfat oleh Sedimen CaCO_3 dan Penentuan Kadar Fosfor di Perairan Ujung Pandang dengan Metode Kalori Metri Reduksi Amino**. Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam. Universitas Hasanudin. Makasar.

Hutabarat dan Evans., 1985. **Pengantar Oseonografi**. Penerbit Universitas Indonesia. UI-Press.

Hutagalung, H. P dan Rozak, A., 1997. **Penentuan Kadar Nitrat, Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota Laut**. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Hutagalung, H. P., 1984. **Logam berat dalam lingkungan laut**. *Pewarta Oceana* IX, 1, 45-59.

_____, 1991. **Pencemaran laut oleh logam berat dalam status pencemaran laut di Indonesia dan teknik pemantauannya**. P3O LIPI. Jakarta.

Hutomo, M., 1999. **Proses Peningkatan Nutrient Mempengaruhi Kelangsungan Hidup Lamun**. <http://www.coremap.or.id/berita/article.php?id=160>.

Hynes, S. L., 1972. **Edwardian Occasions: Essays on English Writing in the Early Twentieth Century**. Taylor & Francis.

Irwanto, N., 2010. **Laju Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup *Enhalus acoroides* yang Ditransplantasi dengan Metode Plug Di Pulau Barrang Lompo** (Skripsi). Jurusan Ilmu Kelautan. FIKP. Universitas Hasanuddin. Makassar.

Janssen, P.H., Schuhmann, A., Moerschel, E., and Rainey, F.A., 1997. **Novel anaerobic ultramicrobacteria belonging to the verrucomicrobiales lineage of bacterial descent isolated by dilution culture from anoxic rice paddy soil**. Applied and Environmental Microbiology 63, 1382-1388.

Joseph, I.F., 2001. **Telaah Fisiko-Kimia Estuari di perairan Talawaan Bajo**. SKRIPSI FPIK. UNSRAT. Manado.

Karr, J. R., 1986. **Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale**. Special publication/Illinois Natural History Survey (USA).

Kawaroe, M., 2009. **Perspektif lamun sebagai blue carbon sink di laut**. Lokakarya Nasional I Pengelolaan Ekosistem Lamun, 18.

Keough, M. J., and g. P. Jenkins., 1995. **Seagrass Meadows and Their Inhabitants**, pp 221-239. In: A. J. Underwood and M. G. Chapman (Eds.), Coastal marine Ecology. UNSW Press.

Kerans, B. L., & Karr, J. R., 1994. **A benthic index of biotic integrity (B-IBI) for rivers of the Tennessee Valley**. Ecological applications, 4(4), 768-785.

Ketchum, D.H., 1969. **Eutrophication of estuaries**. In: Eutrophication Causes, Consequences, Corrective National Academy of Sciences, Washington, D.C. 197-209 pp.

Kiswara, W., 1992. **Vegetasi Lamun (Seagrass) di Rataan Terumbu Pulau Pari, Pulau-pulau Seribu**. Jakarta. Oseanologi di Indonesia. No. 25: 31-49.

_____, 1997. **Struktur komunitas padang lamun perairan Indonesia**. Inventarisasi dan Evaluasi Potensi Laut-Pesisir II, Jakarta (ID): P3O LIPI, 54, 61.

_____, 2010. **Studi pendahuluan: Potensi padang lamun sebagai karbon rosot dan penyerap karbon di Pulau Pari, Teluk Jakarta**. LIPI, 36(3), 361-376.

Kiswara, W., & Winardi, L., 1994. **Keanekaragaman dan sebaran lamun di Teluk Kuta dan Teluk Gerupuk, Lombok Selatan**. J. Teknologi Kelautan Nasional, 3(1), 23-36.

Klump, D. W., Salita-Espinosa, J. S., & Fortes, M. D., 1992. **The role of epiphytic periphyton and macroinvertebrate grazers in the trophic flux of a tropical seagrass community**. Aquatic Botany, 43(4), 327-349.

Koch, E. W., 2001. ***Beyond light: physical, geological, and geochemical parameters as possible submersed aquatic vegetation habitat requirements.*** Estuaries, 24(1), 1-17.

Koch, M. S., Schopmeyer, S. A., Kyhn-Hansen, C., Madden, C. J., & Peters, J. S., 2007. ***Tropical seagrass species tolerance to hypersalinity stress.*** Aquatic Botany, 86(1), 14-24.

Kolck, Maurits Van., Hijbregts, MarkA.J., Veltman, Karin., Hendriks, A Jan., 2008. ***Estimating Bioconcentration Factors, Lethal Concentration and Critical Body Residues of Metals in The Mollusks Perna Viridis and Mytilus Edulis Using Ion Characteristics.*** Environmental Toxicology and Chemistry. Vol. 27 No 2 :272-276. Khasanah, N. E. (2009). ***Adsorpsi logam berat.*** Jurnal Oseana, 34(4), 1-7.

Komarawidjaja W, Garno YS, Tjitrokusumo S, SukiminS, ArmanE., 2005. ***Kajian lapang adaptasi kijing Taiwan (Anodonta woodiana Lea) dalam rangka aplikasi kijing sebagai biofilter bahan organik perairan waduk.*** Jurnal Alami (Air, Lahan, Lingkungan dan Mitigasi Bencana). Vol. 10; No. 1.

Konasewich, D. E., 1982. ***Effects, pathways, processes, and transformation of Puget Sound contaminants of concern*** (Vol. 20). National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Marine Pollution Assessment.

Kosegeran, A. O., Rondonuwu, S., Simbala, H., Rumondor, M., 2015. ***Kandungan Merkuri pada Tumbuhan Paku (Diplazium accedens Blume) di Daerah Tambang Emas Tatelu-Talawaan, Kabupaten Minahasa Utara.*** Jurnal Sains Vol. 15 No. 1, April 2015.

Kützing, F. T., 1843., ***Phycologia generalis: oder Anatomie, Physiologie und Systemkunde der Tange.*** Brockhaus.

Lange-Bertalot, H., 1979. ***Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation.*** Nova Hedwigia, Beih., 64, 285-304.

Lanyon, J., 1986. ***Guide to the Identification of Seagrass in The Great Barrier reef region.*** Great Barrier Reef Marine park authority special publications Series (3). Townsville, Queensland. 54 hal.

Lee, B. G., Griscom, S. B., Lee, J. S., Choi, H. J., Koh, C. H., Luoma, S. N., & Fisher, N. S., 2000. ***Influences of dietary uptake and reactive sulfides on metal bioavailability from aquatic sediments.*** Science, 287(5451), 282-284.

Lee, K. S., Park, S. R., & Kim, Y. K., 2007. ***Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: a review.*** Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 350(1-2), 144-175.

Lefebvre, K. A., & Robertson, A., 2010. ***Domoic acid and human exposure risks: a review.*** Toxicon, 56(2), 218-230.

Legendre, P., 1983. **Numerical ecology: developments and recent trends. In Numerical taxonomy** (pp. 505-523). Springer, Berlin, Heidelberg.

Li Jie., Peng F., Ding D., Zhang S., Li D., Zhang T., 2011. **Characteristics of the phytoplankton community and bioaccumulation of heavy metals during algal blooms in Xiangjiang River (Hunan, China)**. Science CHINA life Science. Volume 54. No. 10:931-938. Doi: 10.1007/s11427-011-4222-6. Oktober 2011.

Lina, Herlina, Nora Idiawati, and Ikha Safitri., 2018. **Diversitas Mikroalga Epifit Berasosiasi pada Daun Lamun Thalassia hemprichii di Pulau Lemukutan Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat**. Laut Katulistiwa 1.2: 1-8.

Ludwig, J. A. dan James, A. R. 1988. **Statistical Ecology a Primer on Methods and Computing**. A wiley Intersence Publication, Canada,

Ludwig, J. A., QUARTET, L., Reynolds, J. F., & Reynolds, J. F., 1988. **Statistical ecology: a primer in methods and computing** (Vol. 1). John Wiley & Sons.

Mader, S.S., 1996. **Biology**. 5th Edition, WCB Publications.

Mahida, U.N., 1984, **Pencemaran air dan Pemanfaatan Limbah Industri**, Kata Pengantar Otto Soemarwoto, Penerbit CV. Radjawali, Jakarta.

Malins, D. C., McCain, B. B., Brown, D. W., Sparks, A. K., Hodgins, H. O., & Chan, S. L., 1982. **Chemical Contaminants and Abnormalities in Fish and Invertebrates from Puget Sound. National Oceanic and Atmospheric Administration**. In publication No. PB83-115188. NTIS Springfield, VA.

Marganof., 2003. **Potensi Limbah Udang sebagai penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium dan Tembaga) di Perairan**. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.

Masitho, I. 2012. **Produktivitas Primer dan Struktur Komunitas Perifiton pada Berbagai Substrat Buatan di Sungai Kromong Pacet Mojokerto**. UNAIR.

McKenzie L, J and Yoshida R, L., 2009. **Seagrass-Watch: Proceeding of Workshop for Monitoring Seagrass Habitats in Indonesia**. The Nature Conservancy, Coral Triangel Center, Sanur Bali. 9th May 2009. Seagrass-Watch HQ, Cairns. 56pp.

Mehta, S.K., Gaur, J.P., 2005. **Use of Algae Removing Heavy Metal Irons From Waste Water: Progress and Prospects**. Critical Reviews in Biothechnology. Taylor & Francis Inc. ISS: 0738-8551 print/1549-7801. DOI: 10.1080/0738850500248571.

Menteri Negara KLH. 2004. **Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut**. Jakarta.

Mlakar Lpublic T, horvat N, Kotnik J, Jeran Z, Vuk T, Mrak T, Fajon V.,2011. **Biomonitoring with epiphytic lichens as a complementary method for the study of mercury contamination near a cement plant.** Environ Monit Assess. 181:225-241. DOI 10.1007/s10661-010-1826-5.

Mlakar, T. L., Horvat, M., Kotnik, J., Jeran, Z., Vuk, T., Mrak, T., & Fajon, V., 2011. **Biomonitoring with epiphytic lichens as a complementary method for the study of mercury contamination near a cement plant.** Environmental monitoring and assessment, 181(1-4), 225-241.

Morrison, H. A., Gobas, F. A., Lazar, R., & Haffner, G. D., 1996. **Development and verification of a bioaccumulation model for organic contaminants in benthic invertebrates.** Environmental science & technology, 30(11), 3377-3384.

Mukhtasor., 2007. **Pencemaran pesisir dan laut.** PT Pradnya Paramita. Jakarta.

Murtiani, L., 2003. **Analisis Kadar Timbal (Pb) pada Ekstrak Kerang Darah (Anadara granosa L) di Muara Sungai Tambak Oso Sedati-Sidoarjo.** Skripsi Tidak Dipublikasikan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

Murugan K., Harish, S. R., 2007. **Antioxidant modulation in response to heavy metal induced oxidative stress in Cladophora glomerata.** Indian Journal of Experimental Biology, 45: 980-983.

Mvungi, N. H., 2011. **Set-Top-Box for Terrestrial Digital Broadcasting: Compatibility Issues.** In ICCSIT 2011.

Ngangi, T.M., 2000. **Analisis kandungan Merkuri di Teluk Wori.** SKRIPSI. FPIK UNSRAT. Manado.

Nienhuis, P., 1993. **Structure and Functioning of Indonesian Seagrass Ecosystem,** pp 82-86. In: M.K. moosa, H. H. De Longh, H. J. A. Blauum and M. K. J. Morimarna (Eds), Proceeding International Seminar on Coastal Zone Management of Small Island Ecosystem. Ambon 7 – 10 April 1993. University of Pattimura and Foundation of AID. Enviroment. Ambon. Indonesia.

Nontji, A., 2005. **Laut Nusantara** (edisi revisi). Djambatan Jakarta.

Nybakken, J. W., 1992. **Biologi Laut.** Suatu Pendekatan Ekologis. PT. Gramedia. Jakarta.

Ochiai El., 1987. **General Principles of Biochemistry of Elements.** New York. Plenum Press

Odum, E. P., 1971. **Fundamental of Ekology.** W. E. Saunders, Philidelphia. 574p.

_____,1993. **Dasar-dasar ekologi** edisi ketiga. *Gadah Mada Univesity Press,* Yogyakarta.

Oktavianti, R. 2004. **Struktur Histologis Hepar Mencit (*Mus musculus L.*) Setelah Pemberian Aspartam Secara Oral.** [Skripsi]. Surakarta:

Opeolu 8.O., Bamgbose O., Arowolo T.A" and Kadiri S.J., 2005. **Phytoremediation of lead-contaminated soil using *Amaranthus cruentus***, Paper Prepared for Presentation at The Farm Management Assosiation of Nigria Conference, Asaba, Nigeria October 18-20, 2005.

Osborne, L. L., 1983. **Colonization and recovery of lotic epilithic communities: a metabolic approach.** *Hydrobiologia*, 99(1), 29-36.

Palar, H. 2004. **Pencemaran dan Toksikologi Pencemaran Logam Berat.** Rineka Cipta. Jakarta.

_____. 2008. **Heavy metal pollution and toxicology.** Rineka Cipta. Bandung (in Indonesian).

Pan, Y., Stevenson, R. J., Hill, B. H., Herlihy, A. T., & Collins, G. B., 1996. **Using diatoms as indicators of ecological conditions in lotic systems: a regional assessment.** *Journal of the North American Benthological Society*, 15(4), 481-495.

Patrick, R., 1973. **Use of algae, especially diatoms, in the assessment of water quality.** In *Biological methods for the assessment of water quality.* ASTM International.

Pekei, Yusuf., 2011. **Pemanfaatan Alga Merah (*Euchema cottonii*) Sebagai Adsorben Ion Timba (II) Dalam Perairan.** <http://httpwwwgodamagaputra.blogspot.com/2010/04/pemanfaatan-rumput-laut-euchema.html>. (12-03-2011).

Pelletier, M. C., Gold, A. J., Heltshe, J. F., & Buffum, H. W., 2010. **A method to identify estuarine macroinvertebrate pollution indicator species in the Virginian Biogeographic Province.** *Ecological Indicators*, 10(5), 1037-1048.

Peralta, G., Brun, F. G., Pérez-Lloréns, J. L., & Bouma, T. J., 2006. **Direct effects of current velocity on the growth, morphometry and architecture of seagrasses: a case study on *Zostera noltii*.** *Marine Ecology Progress Series*, 327, 135-142.

Phillips, R. C., 1990. **Respons to Environmental Conditions**, pp 43-46. In: R. C. Phillips and c. P. McRoy (Eds) *Seagrass Research Methods.* UNESCO, Paris, France.

Phillips, R. C., and E. G. Menez., 1988. **Seagrasses. Smithsonian Contribution to the Marine Science.** No. 34. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C. 104p.

- Pratiwi, N. T.M.; Sigid, H.; dan Kiswari, D. I. 2017. **Struktur Komunitas Perifiton di Bagian Hulu Sungai Cisadane, Kawasan Taman Nasional Gunung Halimun Salak, Jawa Barat**. Jurnal Biologi Indonesia 13(2): 289 – 296.
- Prescott, D. M., 1959. **Variations in the individual generation times of *Tetrahymena geleii* HS**. Experimental cell research, 16(2), 279-284.
- Price, S. A., & Wilson, L. M., 1995. **Patofisiologi: Konsep Klinik Proses Penyakit** (diterjemahkan oleh Adji Dharmas). EGC. Jakarta.
- Purnomo, T., & Muchyiddin, M., 2007. **Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik**. Neptunus, 14(1).
- Purwaningsih, I. S., 2009. **Pengaruh Penambahan Nutrisi Terhadap Efektifitas Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Terhadap Limbah Orto-Klorofenol**. Jurnal Rekayasa Proses, 3(1), 5-9.
- Rasheed, M. A., Thomas, R., & McKenna, S. A., 2004. **Port of Hay Point seagrass, algae and benthic macro-invertebrate community survey**. July 2004.
- Reynoldson, T. B., Norris, R. H., Resh, V. H., Day, K. E., & Rosenberg, D. M., 1997. **The reference condition: a comparison of multimetric and multivariate approaches to assess water-quality impairment using benthic macroinvertebrates**. Journal of the North American Benthological Society, 16(4), 833-852.
- Robbins, S.L dan V. Kumar., 1995. **Patologi I**. Jakarta: EGC.
- Rodrigues, A. E., 2010. **Vanilin Production from Lignin Oxidation in Batch Reactor**. Chemical engineering research and design, Vol. 88. 1024-1032.
- Romimohtarto, K dan S. Juwana., 2001. **Biologi Laut**. Ilmu Pengetahuan Tentang Biota Laut. Penerbit Djambatan. Jakarta.
- Rosalina, D., Herawati, E., Musa, M. and Risjani, Y., 2018a. **Lead (Pb) adsorption in roots, rhizomes, and leaves of seagrass *Cymodocea serrulata***. FRESenius ENVIRONMENTAL BULLETIN, 27(12 A), pp.9156-9166.
- Rosalina, D., Herawati, E.Y., Risjani, Y. and Musa, M., 2018b. **Keanekaragaman spesies lamun di Kabupaten Bangka Selatan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung**. EnviroScienteeae, 14(1), pp.21-28.
- Rosalina, D., Herawati, E.Y., Musa, M., Sofarini, D. and Risjani, Y., 2019a. **Anatomical changes in the roots, rhizomes and leaves of seagrass (*Cymodocea serrulata*) in response to lead**. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 20(9).

Rosalina, D., Herawati, E.Y., Musa, M., Sofarini, D., Amin, M. and Risjani, Y., 2019b. **Lead Accumulation and Its Histological Impact on *Cymodocea serrulata* Seagrass in the Laboratory.** *Sains Malaysiana*, 48(4), pp.813-822.

Rott, E., 1991. **Methodological aspects and perspectives in the use of periphyton for monitoring and protecting rivers.** Use of algae for monitoring rivers, 9-16.

Round, F. E., 1991. **Diatoms in river water-monitoring studies.** *Journal of Applied Phycology*, 3(2), 129-145.

Rumahlatu D., 2012. **Biomonitoring: Sebagai Alat Asesmen Kualitas perairan Akibat Logam Berat Kadmium pada Invertebrata Perairan.** *Saintis* Volume 1 No. 1 April-September 2012. ISSN: 2089-0699.

Russell, D. J., 1990. **Epiphytes: Biomass and Abundance**; pp.113-114, *In*: R. C. Phillips and C.P. McRoy (Eds), *Seagrass Research Methods*. UNESCO, Paris, France.

Ruttner-Kolisko, A., 1974. **Plankton rotifers biology and taxonomy.** *Die Binnengewasser*, 26(1), 146.

Salt DE., 2000. **Phytoextraction: Present applications and future promise.** Di dalam: Wise DL, Trantolo DJ, Cichon EJ., Inyang HI, dan Stottmeister U (Ed). *Bioremediation of Contaminated Soils* Marcel Dekker Inc. New York; Basel. hlm 729-743

Sari, L.I., 2003. **Pengaruh grazing terhadap kelimpahan perifiton pada daun lamun *Enhalus acoroides* (Linn.F) Royle di perairan pesisir Bontang Kuala Kota Bontang Kalimantan Timur.** [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana.

Schutzendubel, A., and Polle, A., 2002. **Plant Responses to Abiotic Stresses: Heavy Metal-Induced Oxidative Stress and protection by Mycorrhization.** *Journal of Experimental Botany*. Vol. 53, no. 372.

Schutzendubel, A., Schwanz, P., Teichmann, T., Gross, K., Langenfeld-Heyser, R., Godbold, D.L., and Polle, A., 2001. **Cadmium-Induced Changes in Antioxidative System, Hydrogen Peroxide Content, and Differentiation in Scots Pine Roots¹.** *Plant Physiology*, Vol 127: 887-898, November 2001. www.plantphysiol.org.

Scott, J. C., 2010. **The art of not being governed: An anarchist history of upland Southeast Asia.** Nus Press.

Semesi, I. S., Beer, S., & Björk, M., 2009. **Seagrass photosynthesis controls rates of calcification and photosynthesis of calcareous macroalgae in a tropical seagrass meadow.** *Marine Ecology Progress Series*, 382, 41-47.

Shah, S. L., & Altindag, A., 2005. **Effects of Heavy Metal Accumulation on the 96-h LC₅₀ Values in Tench *Tinca tinca* L.**, 1758. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 29(1), 139-144.

Sharma S., Sharma P. and Mehrotra., 2010. **Bioaccumulation of heavy metals in *Pisum sativum* L. growing in fly ash amended soil.** Journal of American Science, Vol 6 (6), Page 43-50.

Sharma, S and Prasad, F. M., 2010. **Accumulation of Lead and Cadmium in Soil and Vegetable Crops Along major Highways in Agra (India).** E-Journal of Chemistry, Vol 7(4): 1174-1183, 2010.

Shin, P. K. S., & Lam, W. K. C. (2001). **Development of a marine sediment pollution index.** Environmental pollution, 113(3), 281-291.

Simons, J., & Van Beem, A. P., 1987. **Observations on asexual and sexual reproduction in *Stigeoclonium helveticum* Vischer (Chlorophyta) with implications for the life history.** Phycologia, 26(3), 356-362.

Soegianto, A., 2004. **Metode pendugaan pencemaran perairan dengan indikator biologis.** Cetkan I. Surabaya: Air Langga Press. Hal, 1.

Soewignyo, P., Siregar, H., Suwandi, E., & Sumarsini, W., 1986. **Indeks Mutu Lingkungan Perairan Ditinjau dari Segi Biologis.** Asisten I Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Jakarta.

Soualili, D., Dubois, P., Gosselin, P., Pernet, P., & Guillou, M., 2008. **Assessment of seawater pollution by heavy metals in the neighbourhood of Algiers: use of the sea urchin, *Paracentrotus lividus*, as a bioindicator.** ICES Journal of Marine Science, 65(2), 132-139.

Spencer, P. S., Allen, R. G., Kisby, G. E., & Ludolph, A. C., 1990. **Excitotoxic disorders.** Science, 248(4952), 144-144.

Standar Nasional Indonesia (01-2896-1998)., 2009. **Cara Uji Camaran Logam dalam Pangan.** Badan Standardisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia (06-2462-1991)., 1994. **Metode Pengujian Kadar Merkuri dalam Air dengan Alat Spektrofotometer Serapan Atom Secara Atomisasi Dingin.** Badan Pengendalian Dampak lingkungan.

Stevenson, R. J., Bothwell, M. L., Lowe, R. L., & Thorp, J. H., 1996. **Algal ecology.** Freshwater benthic ecosystem. Academic press.

Stewart, B. A., & Davies, B. R., 1989. **The influence of different litter bag designs on the breakdown of leaf material in a small mountain stream.** Hydrobiologia, 183(2), 173-177.

Supriharyono., 2007. **Konservasi ekosistem sumberdaya hayati di wilayah pesisir dan laut tropis.** Pustaka Pelajar. Jakarta.

Susetiono., 2004. **Fauna padang lamun Tanjung Merah Selat Lembeh-Sulawesi Utara**. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jakarta

Sze, P., 1993. **A Biology of the Algae**. Editor: Kevin Kane. Wm. C. Brown Communication. Inc. Georgetown University. United States of America.

Tamilselvan N, Saurav K, Kannabiran K., 2012. **Biosorption of Cr (VI), Cr (III), Pb (II), and Cd (II) from Aqueous Solution by Sargassum wightii and Caulerpa racemosa Algal Biomass**. J. Ocean Univ. China (Oceanic and Coastal Sea Research). ISSN 1672-5182, (1): 52-58.

Temara, A., Skei, J. M., Gillan, D., Warnau, M., Jangoux, M., & Dubois, P., 1998. **Validation of the asteroid Asterias rubens (Echinodermata) as a bioindicator of spatial and temporal trends of Pb, Cd, and Zn contamination in the field**. Marine environmental research, 45(4-5), 341-356.

Tomascik, T., A. J. Mah, A. Nontji and M. K. Moosa., 1997. **The Ecology of the Indonesian Seas**. The Ecology of Indonesia series. Vol VIII Periplus edition (Hk) Ltd., Singapore. 1388p.

Ulfin, I., 2001. **Penyerapan logam berat timbal dan cadmium dalam larutan oleh kayu apu (Pistia stratiotes L)**. Majalah Kappa, 2(1).

Van Esch, G.J., 1977. Aquatic Pollutant and Their Potential Ecological Effects in Hutzigen, O., Van Lelyuccid, I.H. and Zoetemen, B.C.J. ed. Aquatic Pollution : **Transformation and biological effects, procceding of the 2nd int. symp. on aquatic pollutants**. Amsterdam. Pergamon Press, New York. 1-12.

Vardanyan, L.G., and Ingole, B. S., 2006. **Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Ar-menia) and Carambolim (India) lake systems**. Enviroment International, 32:208-218.

Vassiliki, K., & Konstantina, A. D., 1984. **Transfer factors of heavy metals in aquatic organisms of different trophic levels**. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 1, 768-778.

Viarengo, A., 1989. **Heavy metals in marine invertebrates: mechanisms of regulation and toxicity at the cellular level**. Rev. Aquat. Sci, 1(2), 295-317.

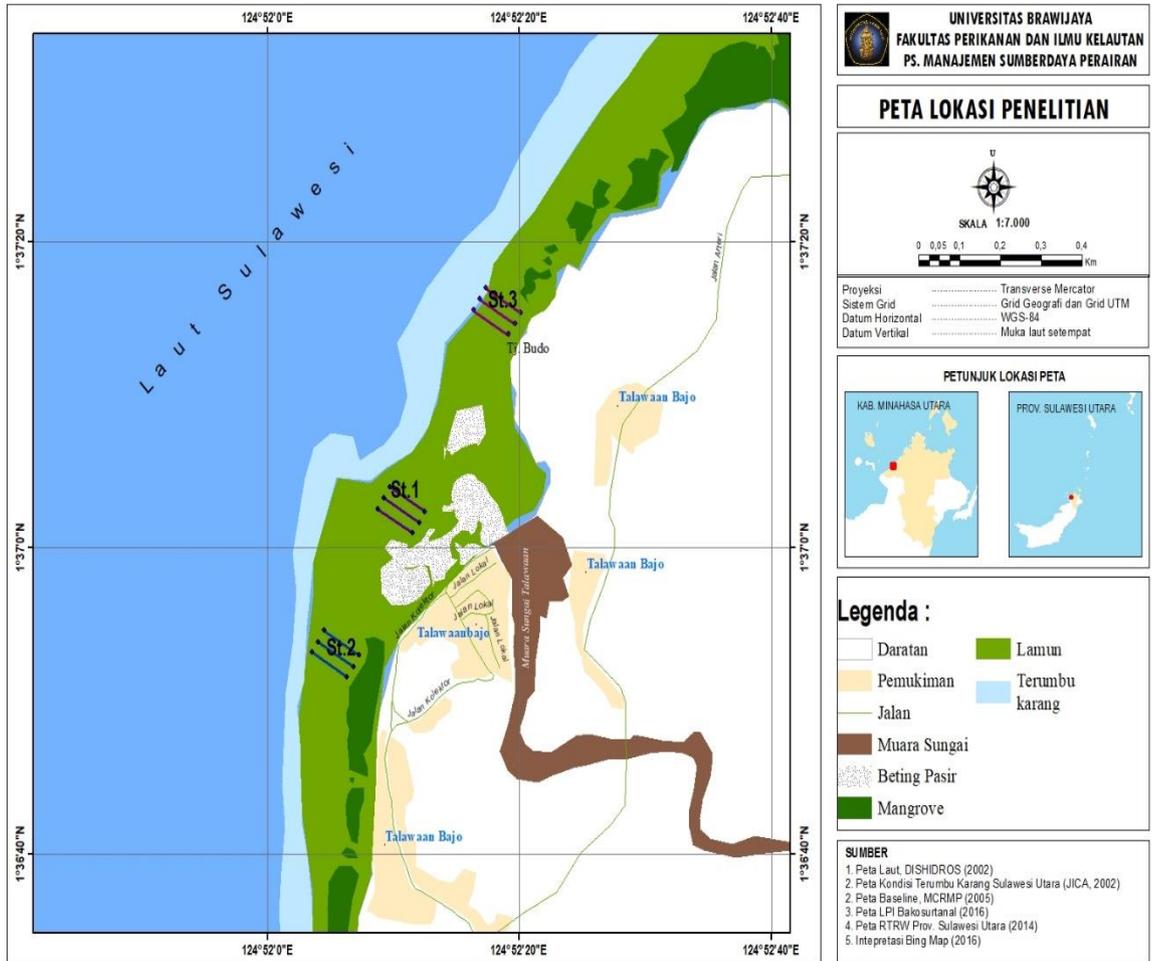
Vinodhini, R., & Narayanan, M., 2008. **Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish Cyprinus carpio (Common carp)**. International Journal of Environmental Science & Technology, 5(2), 179-182.

Walker, C. H., Sibly, R. M., & Peakall, D. B., 2016. **Principles of ecotoxicology**. CRC press.

- Wardoyo, S. T., 1975. **Pengelolaan kualitas air**. Proyek Penmgkatan Mutu Perguruan Tinggi. IPB: Bogor.
- Warlina, L., 2004. **Pencemaran Air: Sumber, Dampak dan penanggulangannya. Makalah Pengantar ke Falsafah Sains**. Bogor. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Wehr, J. D. & R. G. Sheath., 2003. **Freshwater Algae of North America, Ecology and Classification**. Academic Press, San Diego, CA, USA: 918 pp
- West, R. J., 1990. **Depth-related structural and morphological variations in an Australian Posidonia seagrass bed**. Aquatic Botany, 36(2), 153-166.
- Wetzel, R. G., 1979. **The role of the littoral zone and detritus in lake metabolism**. Archiv fur Hydrobiologie, Ergebnisse der Limnologie, 13, 145-161.
- Whitton, B. A. (Ed.), 1975. **River ecology** (Vol. 2). Univ of California Press.
- Widowati W, Sastiono A, Jusuf R., 2008. **Efek Toksik Logam. Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran**. Penerbit ANDI Yogyakarta.
- Yamaji, E. E., 1966. **The Illustration of Marine Plankton of Japan Hoikusha**. Osaka, Japan, 536.
- Yulianto, B., Ario, R., & Agung, T., 2006. **Daya Serap Rumput Laut (*Gracilaria sp*) Terhadap Logam Berat Tembaga (Cu) Sebagai Biofilter**. ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences, 11(2), 72-78.
- Yusuf, M.; Hamzah, B.; dan Rahman, N., 2013. **Kandungan Merkuri (Hg) dalam Air Laut, Sedimen, dan Jaringan Ikan Belanak (*Liza melinoptera*) di Perairan Teluk Palu**. J. Akd.Kim. 2(3): 140 145, Agustus 2013.
- Zaez, C. A., Lobos G, Macaya E. C., Olivia D., Quiroz Waldo., 2012. **Variation in Patterns of Metal Accumulation in *Thalassia* Parts of *Lessonia trabeculata* (Laminariales; Phaeophyceae): Implications of Biomonitoring**. PLOS ONE. Volume 7. Issue 11. e50170. November 2012.
- Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J., & Jiang, G., 2008. **Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem**. Analytica chimica acta, 606(2), 135-150.
- Zieman, J. C., 1975. **Tropical Sea Grass Ecosystems and Pollution**. In Elsevier Oceanography Series (Vol. 12, pp. 63-74).
- Zulkifli., 2000. **Sebaran Spasial Komunitas Perifiton dan Asosiasinya dengan Lamun di Perairan Teluk Pandan Lampung Selatan**. Thesis. Program Pascasarjana. IPB.

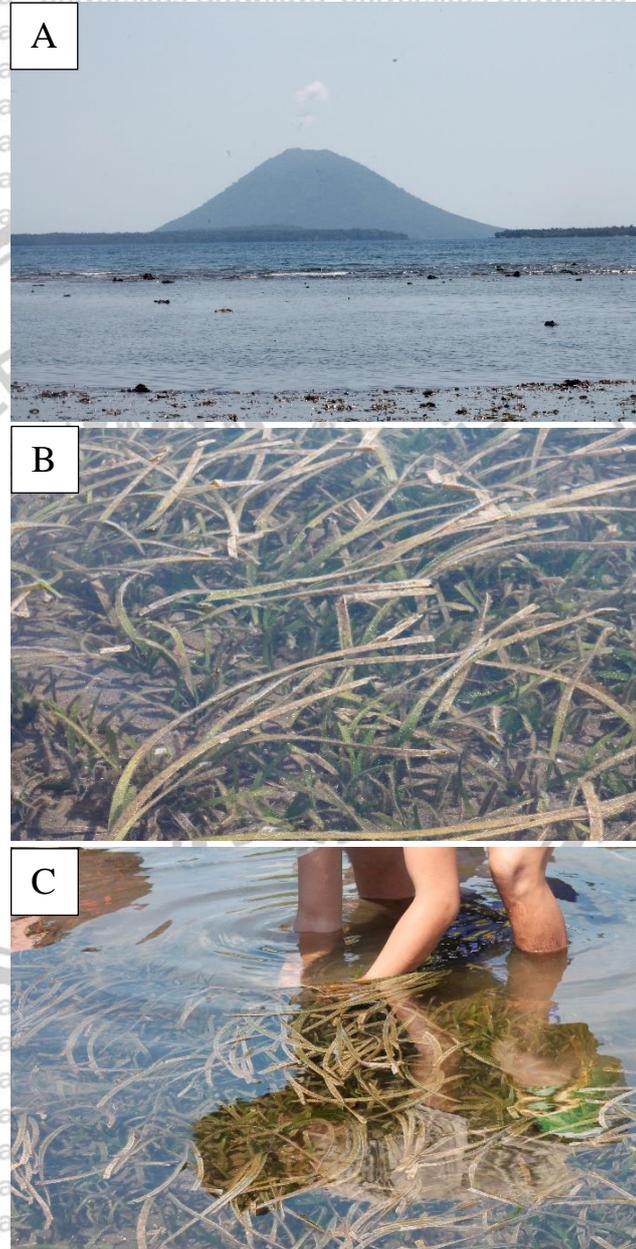
LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran 1.
Peta Lokasi Penelitian



Lampiran 2.
Foto Penelitian

Survey awal lokasi penelitian



Gambar A, B, C. Hamparan padang lamun di Estuari Talawaan Bajo

Survey lanjutan lokasi penelitian



Gambar Stasiun I (depan pemukiman)

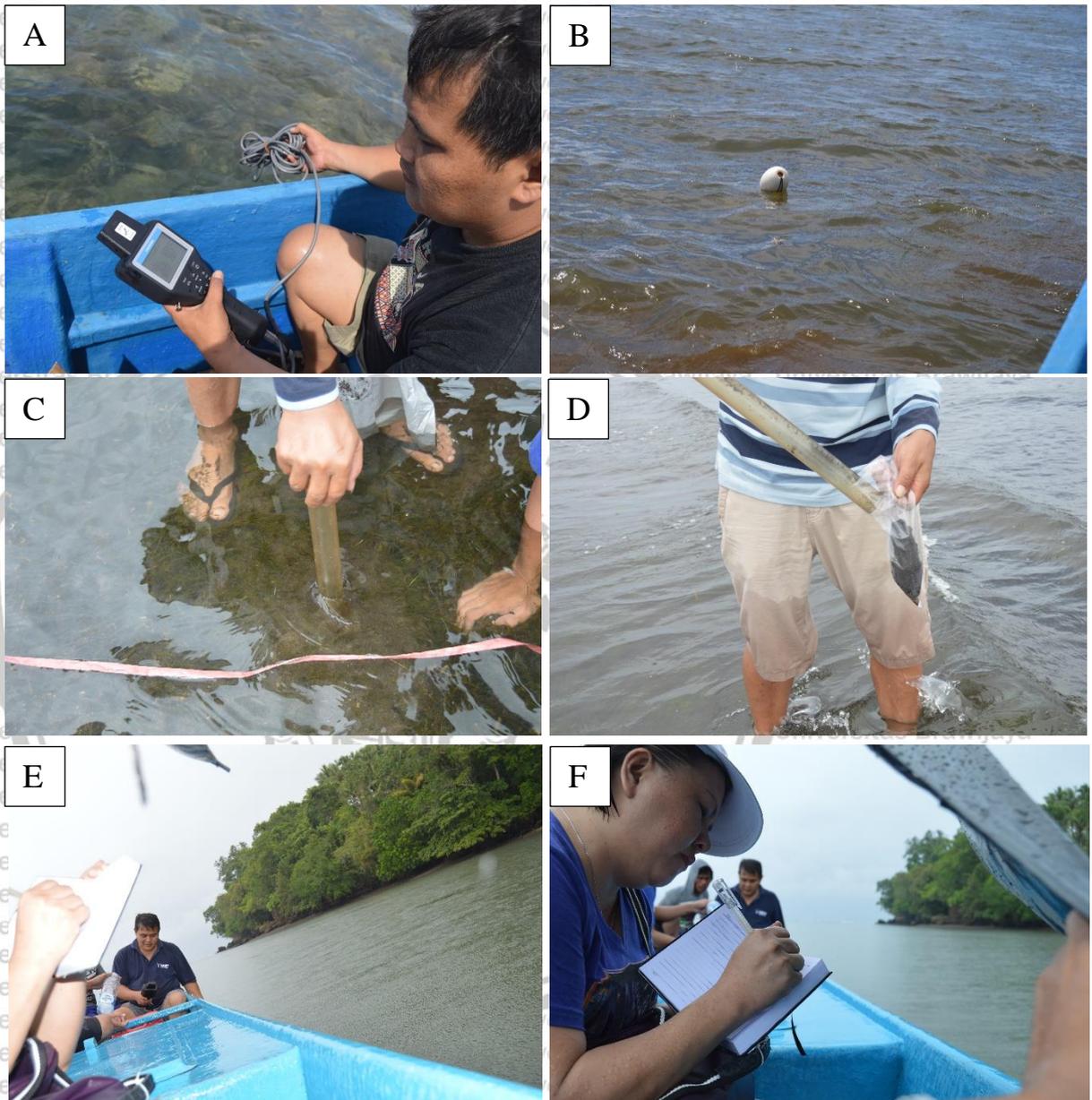


Gambar Stasiun II (depan mangrove)

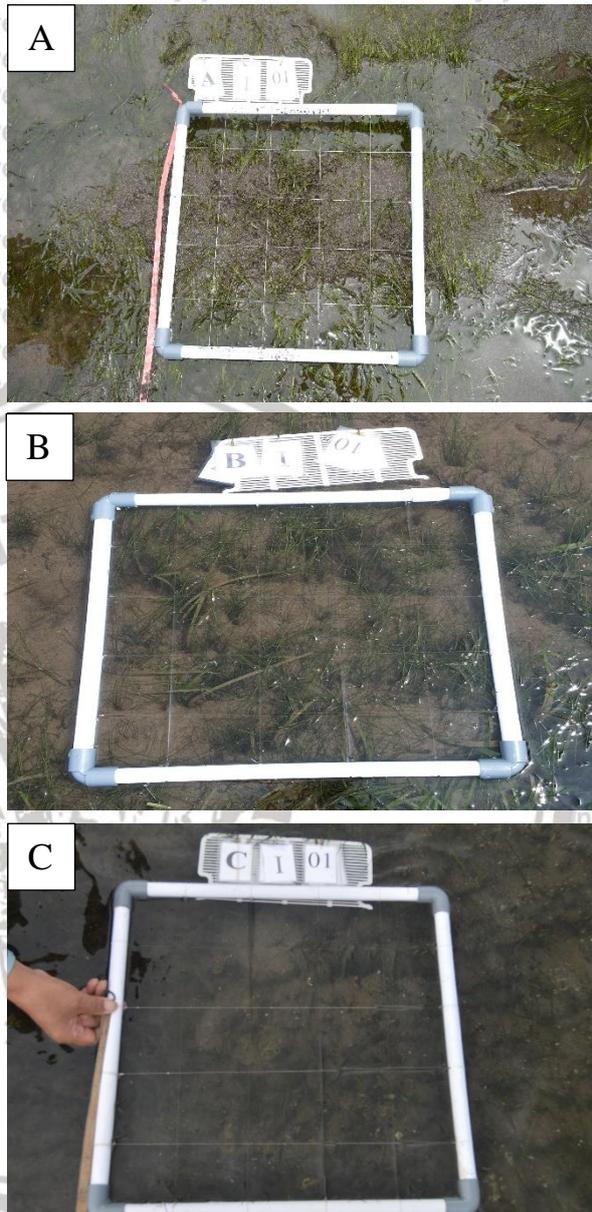


Gambar Stasiun III (sekitar Tanjung Budo)

**Pelaksanaan Kegiatan Pengambilan Sampel untuk Pengukuran Fisik-kimia
Air dan Sedimen**

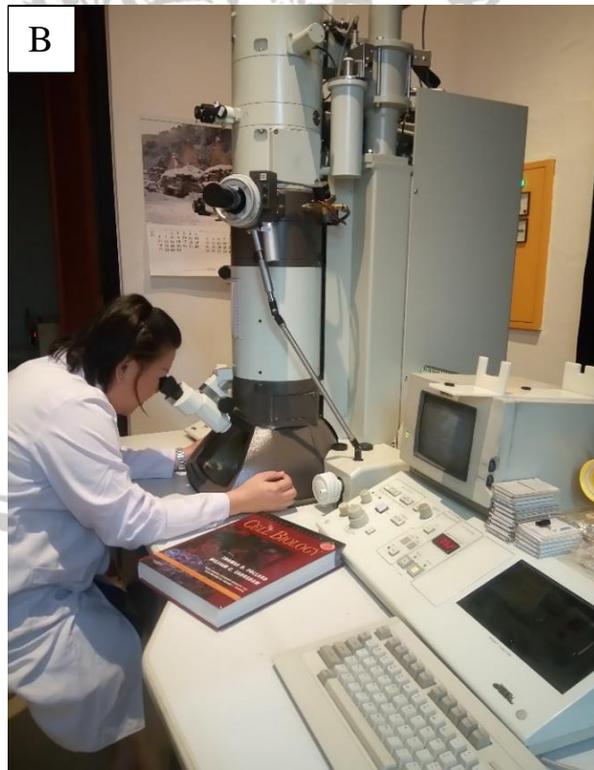


**Gambar. A,B,C,E,E,F. Serangkaian pengukuran parameter fisika-kimia-
oseonegrafi di stasiun pengamatan**

Pelaksanaan Penelitian Metode Transek Kuadrat**Gambar A, B, C Pelaksanaan Penelitian, Metode Transek Kuadrat**

Analisis Hg dengan AAS

Gambar A, B. Pengukuran Kadar Hg dengan menggunakan AAS di Laboratorium



Gambar A, B. Visualisasi Sampel dengan TEM cell

Lampiran 3.
Struktur Komunitas Lamun

KEPADATAN LAMUN DI ESTUARI TALAWAAN BAJO

Jenis	Kode	Stasiun 1				Stasiun 2				Stasiun 3			
		St 1.1	St 1.2	St 1.3	Rataan	St 2.1	St 2.2	St 2.3	Rataan	St 3.1	St 3.2	St 3.3	Rataan
<i>Enhallus acaroides</i>	<i>Ea</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	32.00	28.00	23.00	27.67	0.00	16.00	39.00	18.33
<i>Thalassia hemprichii</i>	<i>Th</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	133.00	133.00	88.67	110.00	128.00	103.00	113.67
<i>Cymodocea rotundata</i>	<i>Cr</i>	65.00	16.00	103.00	61.33	328.00	248.00	285.00	287.00	532.00	373.00	480.00	461.67
<i>Cymodocea serrulata</i>	<i>Cs</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	71.00	111.00	56.00	79.33	43.00	86.00	59.00	62.67
<i>Halodule uninervis</i>	<i>Hu</i>	115.00	52.00	59.60	75.53	200.00	36.00	204.00	146.67	849.00	460.00	472.00	593.67
<i>Halophylla ovalis</i>	<i>Ho</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	45.00	50.00	21.00	38.67	0.00	0.00	0.00	0.00

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Stasiun I					
Jenis	Kode	Stasiun 1.1	Stasiun 1.2	Stasiun 1.3	
Cymodocea rotundata	Cr	65.00	16.00	103.00	
Halodule uninervis	Hu	115.00	52.00	59.60	
		180.00	68.00	162.60	
Stasiun II					
Jenis	Kode	Stasiun 2.1	Stasiun 2.2	Stasiun 2.3	
Enhallus acaroides	Ea	32.00	28.00	23.00	
Thalassia hemprichii	Th	0.00	133.00	133.00	
Cymodocea rotundata	Cr	328.00	248.00	285.00	
Cymodocea serrulata	Cs	71.00	111.00	56.00	
Halodule uninervis	Hu	200.00	36.00	204.00	
Halophylla ovalis	Ho	45.00	50.00	21.00	
		676.00	606.00	722.00	
Stasiun III					
Jenis	Kode	Stasiun 3.1	Stasiun 3.2	Stasiun 3.3	
Enhallus acaroides	Ea	0.00	16.00	39.00	
Thalassia hemprichii	Th	110.00	128.00	103.00	
Cymodocea rotundata	Cr	532.00	373.00	480.00	
Cymodocea serrulata	Cs	43.00	86.00	59.00	
Halodule uninervis	Hu	849.00	460.00	472.00	
		1534.00	1063.00	1153.00	

KERAPATAN JENIS

Jenis	Kode	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
Enhallus acaroides	Ea	0.00	27.67	27.67
Thalassia hemprichii	Th	0.00	88.67	88.67
Cymodocea rotundata	Cr	61.33	287.00	287.00
Cymodocea serrulata	Cs	0.00	79.33	79.33
Halodule uninervis	Hu	75.53	146.67	146.67
Halophylla ovalis	Ho	0.00	38.67	38.67

Stasiun 1Kepadatan individu/m²

Jenis	Kode	Stasiun 1.1	Stasiun 1.2	Stasiun 1.3
Cymodocea rotundata	Cr	65	16	103
Halodule uninervis	Hu	115	52	59.6
		180	68	162.6

Stasiun 2Rata-rata Jumlah Individu/0,1m²

Jenis	Kode	Stasiun 2.1	Stasiun 2.2	Stasiun 2.3
Enhallus acaroides	Ea	32	28	23
Thalassia hemprichii	Th	0	133	133
Cymodocea rotundata	Cr	328	248	285
Cymodocea serrulata	Cs	71	111	56
Halodule uninervis	Hu	200	36	204
Halophylla ovalis	Ho	45	50	21
		676	606	722

Stasiun 3Rata-rata Jumlah Individu/0,1m²

Jenis	Kode	Stasiun 2.1	Stasiun 2.2	Stasiun 2.3
Enhallus acaroides	Ea	32	28	23
Thalassia hemprichii	Th	0	133	133
Cymodocea rotundata	Cr	328	248	285
Cymodocea serrulata	Cs	71	111	56
Halodule uninervis	Hu	200	36	204
Halophylla ovalis	Ho	45	50	21
		676	606	722

FREKUENSI KEHADIRAN

Stasiun 1

Jenis	Kode	Fi				Rfi			
		St1.1	St1.2	St1.3	Rataan	St1.1	St1.2	St1.3	Rataan
Enhallus acaroides	Ea	0	0	0	0	0	0	0	0
Thalassia hemprichii	Th	0	0	0	0	0	0	0	0
Cymodocea rotundata	Cr	0.80	0.20	0.80	0.6	61.54	50.00	50.00	53.84615
Cymodocea serrulata	Cs	0	0	0	0	0	0	0	0
Halodule uninervis	Hu	0.50	0.20	0.80	0.5	38.46	50.00	50.00	46.15385
Halophylla ovalis	Ho	0	0	0	0	0	0	0	0
		13.00	4.00	16.00	11.00	100	100	100	100

Stasiun 2

Jenis	Kode	Fi				Rfi			
		St2.1	St2.2	St2.3	Rataan	St2.1	St2.2	St2.3	Rataan
Enhallus acaroides	Ea	0.60	0.50	0.30	0.467	17.14	12.82	7.32	12.43
Thalassia hemprichii	Th	0.00	0.90	0.90	0.6	0.00	23.08	21.95	15.01
Cymodocea rotundata	Cr	1.00	0.80	1.00	0.933	28.57	20.51	24.39	24.49
Cymodocea serrulata	Cs	0.60	0.80	0.70	0.7	17.14	20.51	17.07	18.24
Halodule uninervis	Hu	0.80	0.30	0.90	0.667	22.86	7.69	21.95	17.50
Halophylla ovalis	Ho	0.50	0.60	0.30	0.467	14.29	15.38	7.32	12.33
		29.00	34.00	38.00	38.33	100.00	100.00	100.00	100.00

Stasiun 3

Jenis	Kode	Fi				Rfi			
		St1.1	St1.2	St1.3	Rataan	St1.1	St1.2	St1.3	Rataan
Enhallus acaroides	Ea	0.00	0.40	0.80	0.40	0.00	9.30	19.05	9.449982
Thalassia hemprichii	Th	0.80	0.90	1.00	0.9	24.24	20.93	23.81	22.99406
Cymodocea rotundata	Cr	1.00	1.00	1.00	1	30.30	23.26	23.81	25.78946
Cymodocea serrulata	Cs	0.50	1.00	0.50	0.667	15.15	23.26	11.90	16.7707
Halodule uninervis	Hu	1.00	1.00	0.90	0.967	30.30	23.26	21.43	24.99581
Halophylla ovalis	Ho	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
		33.00	43.00	42.00	39.33	100	100	100	100

Gabungan

Jenis	Kode	Stasiun 1		Stasiun 2		Stasiun 3		Rata-rata	
		Fi	Rfi	Fi	Rfi	Fi	Rfi	Fi	Rfi
<i>Enhallus acaroides</i>	<i>Ea</i>	0.00	0.00	0.47	12.43	0.40	9.45	0.29	7.29
<i>Thalassia hemprichii</i>	<i>Th</i>	0.00	0.00	0.60	15.01	0.90	22.99	0.50	12.67
<i>Cymodocea rotundata</i>	<i>Cr</i>	0.60	53.85	0.93	24.49	1.00	25.79	0.84	34.71
<i>Cymodocea serrulata</i>	<i>Cs</i>	0.00	0.00	0.70	18.24	0.67	16.77	0.46	11.67
<i>Halodule uninervis</i>	<i>Hu</i>	0.50	46.15	0.67	17.50	0.97	25.00	0.71	29.55
<i>Halophyla ovalis</i>	<i>Ho</i>	0.00	0.00	0.47	12.33	0.00	0.00	0.16	4.11
		1.10	100.00	3.83	100.00	3.93	100.00		100.00

INDEKS KOMUNITAS

Jenis	Rataan Jumlah Individu		
	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
<i>Enhallus acaroides</i>	0.00	44.67	18.33
<i>Thalassia hemprichii</i>	0.00	88.67	113.67
<i>Cymodocea rotundata</i>	33.86	291.33	461.67
<i>Cymodocea serrulata</i>	0.00	87.33	62.67
<i>Halodule uninervis</i>	103.93	146.67	593.67
<i>Halophyla ovalis</i>	0.00	38.67	0.00
Total Jumlah Spesies	2.00	6.00	5.00
Total Jumlah Individu	137.78	697.33	1250.00
H' = Shannon Diveristy Index	0.56	1.55	1.15
E = Similarity Index	0.80	0.87	0.72
D = Dominan Index (Simpson's)	0.63	0.26	0.37
Hmax = Diversity Maximum	0.69	1.79	1.61
D' = Simpson Diversity Index	0.37	0.74	0.63

Lampiran 4.
Struktur Komunitas Periphyton

KEPADATAN (N) PERIPHYTON

Divisi	Genus	I	II	III
Chlorophyta	Chlorella	5	2	
	Cylindrocapsa	3	26	27
	Echinospaerella	1		
	Gongrosira		6	
	Mougeotia		8	
	Prasinocladus	1		
	Scenedesmus	1	2	2
	Ulva flexuosa	13		3
	Stigeoclonium	221	687	350
Bacillariophyta	Achnanthes		50	
	Cocconeis	387	207	523
	Coscinodiscus	1		
	Cyclotella	13	10	17
	Cymatopleura	14	5	4
	Cymbella	54	33	39
	Diatoma	131	72	166
	Fragilaria		2	6
	Gyrosigma		4	
	Melosira	56	32	18
	Navicula	292	1435	813
	Nitzschia	115	861	309
	Pinnularia	86	288	298
	Surirella	5	18	22
	Synedra		3	16
Tabellaria	63	57	61	
Cyanophyta	Agmenelum		1	
	Oscillatoria	77	28	9
	Plectonema	28		6
Dinophyta	Gymnodinium	2		1
Rhodophyta	Sirodotia		622	341
TOTAL		1569	4459	3031

INDEKS DIVERSITAS

I	Genus	ni	Pi	H'	II	Genus	ni	Pi	H'	III	Genus	ni	Pi	H'
	Chlorella	5	0.00318674	0.01793		Chlorella	2	0.00044853	0		Cylindrocapsa	27	0.00890795	0.05572
	Cylindrocapsa	3	0.00191205	0.00996		Cylindrocapsa	26	0.0058309	0.03821		Scenedesmus	2	0.00065985	0
	Echinosphaerella	1	0.00063735	0		Gongrosira	6	0.00134559	0.00996		Ulva	3	0.00098977	0
	Prasinocladus	1	0.00063735	0		Mougeotia	8	0.00179412	0.00996		Cocconeis	523	0.17255031	0.43679
	Stigeoclonium	221	0.14085405	0.35883		Stigeoclonium	687	0.15407042	0.41564		Stigeoclonium	350	0.11547344	0.35883
	Scenedesmus	1	0.00063735	0		Scenedesmus	2	0.00044853	0		Cyclotella	17	0.00560871	0.03821
	Ulva	13	0.00828553	0.04428		Achnanthes	50	0.01121328	0.07156		Cymatopleura	4	0.0013197	0.00996
	Cocconeis	387	0.24665392	0.46612		Cocconeis	207	0.04642296	0.20434		Cymbella	39	0.01286704	0.07656
	Coscinodiscus	1	0.00063735	0		Cyclotella	10	0.00224266	0.01793		Diatoma	166	0.0547674	0.22738
	Cyclotella	13	0.00828553	0.04428		Cymatopleura	5	0.00112133	0.00996		Fragilaria	6	0.00197954	0.00996
	Cymatopleura	14	0.00892288	0.0501		Cymbella	33	0.00740076	0.0501		Melosira	18	0.00593863	0.03821
	Cymbella	54	0.03441683	0.14443		Diatoma	72	0.01614712	0.09545		Navicula	813	0.26822831	0.50911
	Diatoma	131	0.08349267	0.26372		Fragilaria	2	0.00044853	0		Nitzschia	309	0.10194655	0.33406
	Melosira	56	0.03569152	0.14812		Gyrosigma	4	0.00089706	0		Pinnularia	298	0.09831739	0.3284
	Navicula	292	0.1861058	0.41311		Melosira	32	0.0071765	0.0501		Suriella	22	0.00725833	0.0501
	Nitzschia	115	0.07329509	0.24353		Navicula	1435	0.32182104	0.52623		Synedra	16	0.00527879	0.03821
	Pinnularia	86	0.05481198	0.20132		Nitzschia	861	0.19309262	0.45805		Tabellaria	61	0.02012537	0.11287
	Suriella	5	0.00318674	0.01793		Pinnularia	288	0.06458847	0.25381		Oscillatoria	9	0.00296932	0.01793
	Tabellaria	63	0.04015296	0.1589		Suriella	18	0.00403678	0.03186		Sirodotia	341	0.11250412	0.35374
	Oscillatoria	77	0.04907584	0.18575		Synedra	3	0.0006728	0		Plectonema	6	0.00197954	0.00996
	Plectonema	28	0.01784576	0.08621		Tabellaria	57	0.01278314	0.07656		Gymnodinium	1	0.00032992	0
	Gymnodinium	2	0.0012747	0.00996		Agmenelum	1	0.00022427	0			3031		3.006
		1569		2.86448		Oscillatoria	28	0.00627943	0.04428					
						Sirodotia	622	0.13949316	0.39571					
							4459		2.75971					

INDEKS DOMINASI

I	Genus	ni	Pi	D	II	Genus	ni	Pi	D	III	Genus	ni	Pi	D
	Chlorella	5	0.00318674	0.0000102		Chlorella	2	0.00044853	0.0000002		Cylindrocapsa	27	0.00890795	0.0000794
	Cylindrocapsa	3	0.00191205	0.0000037		Cylindrocapsa	26	0.0058309	0.0000340		Scenedesmus	2	0.00065985	0.0000004
	Echinospaerella	1	0.00063735	0.0000004		Gongrosira	6	0.00134559	0.0000018		Ulva	3	0.00098977	0.0000010
	Prasinocladus	1	0.00063735	0.0000004		Mougeotia	8	0.00179412	0.0000032		Cocconeis	523	0.17255031	0.02977361
	Stigeoclonium	221	0.14085405	0.0198399		Scenedesmus	2	0.00044853	0.0000002		Stigeoclonium	17	0.00560871	0.0000315
	Scenedesmus	1	0.00063735	0.0000004		Stigeoclonium	687	0.15407042	0.0237377		Cyclotella	350	0.11547344	0.01333412
	Ulva	13	0.00828553	0.0000687		Achnanthes	50	0.01121328	0.0001257		Cymatopleura	4	0.0013197	0.0000017
	Cocconeis	387	0.24665392	0.0608382		Cocconeis	207	0.04642296	0.0021551		Cymbella	39	0.01286704	0.00016556
	Coscinodiscus	1	0.00063735	0.0000004		Cyclotella	10	0.00224266	0.0000050		Diatoma	166	0.0547674	0.00299947
	Cyclotella	13	0.00828553	0.0000687		Cymatopleura	5	0.00112133	0.0000013		Fragilaria	6	0.00197954	0.0000039
	Cymatopleura	14	0.00892288	0.0000796		Cymbella	33	0.00740076	0.0000548		Melosira	18	0.00593863	0.0000353
	Cymbella	54	0.03441683	0.0011845		Diatoma	72	0.01614712	0.0002607		Navicula	813	0.26822831	0.07194642
	Diatoma	131	0.08349267	0.0069710		Fragilaria	2	0.00044853	0.0000002		Nitzschia	309	0.10194655	0.0103931
	Melosira	56	0.03569152	0.0012739		Gyrosigma	4	0.00089706	0.0000008		Pinnularia	298	0.09831739	0.00966631
	Navicula	292	0.1861058	0.0346354		Melosira	32	0.0071765	0.0000515		Surirella	22	0.00725833	0.0000527
	Nitzschia	115	0.07329509	0.0053722		Navicula	1435	0.32182104	0.1035688		Synedra	16	0.00527879	0.0000279
	Pinnularia	86	0.05481198	0.0030044		Nitzschia	861	0.19309262	0.0372848		Tabellaria	61	0.02012537	0.00040503
	Surirella	5	0.00318674	0.0000102		Pinnularia	288	0.06458847	0.0041717		Oscillatoria	9	0.00296932	0.0000088
	Tabellaria	63	0.04015296	0.0016123		Surirella	18	0.00403678	0.0000163		Sirodotia	341	0.11250412	0.01265718
	Oscillatoria	77	0.04907584	0.0024084		Synedra	3	0.0006728	0.0000005		Plectonema	6	0.00197954	0.0000039
	Plectonema	28	0.01784576	0.0003185		Tabellaria	57	0.01278314	0.0001634		Gymnodinium	1	0.00032992	0.0000001
	Gymnodinium	2	0.0012747	0.0000016		Agmenelum	1	0.00022427	0.0000001					
		1569		0.1377026		Oscillatoria	28	0.00627943	0.0000394			3031		0.15158734
						Sirodotia	622	0.13949316	0.0194583					
							4459		0.1911354					

INDEKS KERAGAMAN (E)

I	Genus	ni	Hmax	H'	E	II	Genus	ni	Hmax	H'	E	III	Genus	ni	Hmax	H'	E	
	Chlorella	5	1.60943791	0.01793	0.01114054		Chlorella	2	0.69314718	0	0		Cylindrocapsa	27	3.29583687	0.05572	0.01690618	
	Cylindrocapsa	3	1.09861229	0.00996	0.00906598		Cylindrocapsa	26	3.25809654	0.03821	0.01172771		Scenedesmus	2	0.69314718	0	0	
	Echinosphaerella	1	0	0	0		Gongrosira	6	1.79175947	0.00996	0.00555878		Ulva	3	1.09861229	0	0	
	Prasinocladus	1	0	0	0		Mougeotia	8	2.07944154	0.00996	0.00478975		Cocconeis	523	6.25958146	0.43679	0.06977943	
	Stigeoclonium	221	5.3981627	0.35883	0.06647262		Scenedesmus	687	6.53233429	0.41564	0.0636281		Stigeoclonium	350	5.85793315	0.35883	0.06125539	
	Scenedesmus	1	0	0	0		Stigeoclonium	2	0.69314718	0	0		Cyclotella	17	2.83321334	0.03821	0.01348645	
	Ulva	13	2.56494936	0.04428	0.0172635		Achnanthes	50	3.91202301	0.07156	0.01829233		Cymatopleura	4	1.38629436	0.00996	0.00718462	
	Cocconeis	387	5.95842469	0.46612	0.07822873		Cocconeis	207	5.33271879	0.20434	0.03831817		Cymbella	39	3.66356165	0.07656	0.0208977	
	Coscinodiscus	1	0	0	0		Cyclotella	10	2.30258509	0.01793	0.0077869		Diatoma	166	5.11198779	0.22738	0.04447976	
	Cyclotella	13	2.56494936	0.04428	0.0172635		Cymatopleura	5	1.60943791	0.00996	0.0061885		Fragilaria	6	1.79175947	0.00996	0.00555878	
	Cymatopleura	14	2.63905733	0.0501	0.01898405		Cymbella	33	3.49650756	0.0501	0.01432858		Melosira	18	2.89037176	0.03821	0.01321975	
	Cymbella	54	3.98898405	0.14443	0.03620721		Diatoma	72	4.27666612	0.09545	0.02231879		Navicula	813	6.70073111	0.50911	0.07597828	
	Diatoma	131	4.87519732	0.26372	0.05409422		Fragilaria	2	0.69314718	0	0		Nitzschia	309	5.73334128	0.33406	0.0582662	
	Melosira	56	4.02535169	0.14812	0.03679678		Gyrosigma	4	1.38629436	0	0		Pinnularia	298	5.69709349	0.3284	0.05764343	
	Navicula	292	5.6767538	0.41311	0.07277222		Melosira	32	3.4657359	0.0501	0.0144558		Surirella	22	3.09104245	0.0501	0.01620812	
	Nitzschia	115	4.74493213	0.24353	0.05132423		Navicula	1435	7.26892013	0.52623	0.07239452		Synedra	16	2.77258872	0.03821	0.01378134	
	Pinnularia	86	4.4543473	0.20132	0.0451963		Nitzschia	861	6.7580945	0.45805	0.06777798		Tabellaria	61	4.11087386	0.11287	0.02745645	
	Surirella	5	1.60943791	0.01793	0.01114054		Pinnularia	288	5.66296048	0.25381	0.04481931		Oscillatoria	9	2.19722458	0.01793	0.00816029	
	Tabellaria	63	4.14313473	0.1589	0.0383526		Surirella	18	2.89037176	0.03186	0.0110228		Sirodotia	341	5.83188248	0.35374	0.06065623	
	Oscillatoria	77	4.34380542	0.18575	0.04276204		Synedra	3	1.09861229	0	0		Plectonema	6	1.79175947	0.00996	0.00555878	
	Plectonema	28	3.33220451	0.08621	0.02587176		Tabellaria	57	4.04305127	0.07656	0.01893619		Gymnodinium	1	0	0	0	
	Gymnodinium	2	0.69314718	0.00996	0.01436924		Agmenelum	1	0	0	0							
		1569			0.64730607		Oscillatoria	28	3.33220451	0.04428	0.0132885							0.57647719
							Sirodotia	622	6.43294009	0.39571	0.06151309							
								4459			0.49714579							

Lampiran 5.
**Analisis Oneway ANOVA Kadar Hg Lamun (*Cymodocea rotundata*)
 di Stasiun Pengamatan**

```
GET
FILE='D:\NOVA LIM\Data Tahap 1 Lamun.sav'.
DATASET NAME DataSet1 WINDOW=FRONT.
ONEWAY Kadar_Hg BY Stasiun
/STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY
/PLOT MEANS
/MISSING ANALYSIS
/POSTHOC= TUKEY DUNCAN LSD ALPHA(0.05).
```

Oneway

Notes

Output Created		20-SEP-2019 01:00:20
Comments		
Input	Data	D:\NOVA LIM\Data Tahap 1 Lamun.sav
	Active Dataset	DataSet1
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	18
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each analysis are based on cases with no missing data for any variable in the analysis.
Syntax		ONEWAY Kadar_Hg BY Stasiun /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY /PLOT MEANS /MISSING ANALYSIS /POSTHOC= TUKEY DUNCAN LSD ALPHA(0.05).
Resources	Processor Time	00:00:03.90
	Elapsed Time	00:00:01.94

[DataSet1] D:\NOVA LIM\Data Tahap 1 Lamun.sav

Descriptives

Kadar Hg

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Stasiun 1	6	3.11217	.765075	.312341	2.30927	3.91506
Stasiun 2	6	4.55650	1.011011	.412743	3.49551	5.61749
Stasiun 3	6	4.75150	1.897579	.774684	2.76011	6.74289
Total	18	4.14006	1.448417	.341395	3.41977	4.86034

Descriptives

Kadar Hg

	Minimum	Maximum
Stasiun 1	1.769	3.879
Stasiun 2	3.513	6.452
Stasiun 3	3.139	8.388
Total	1.769	8.388

Test of Homogeneity of Variances

Kadar Hg

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.939	2	15	.413

ANOVA

Kadar Hg

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.623	2	4.812	2.771	.095
Within Groups	26.041	15	1.736		
Total	35.665	17			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar Hg

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Stasiun 1	Stasiun 2	-1.444333	.760723	.173	-3.42029	.53162
		Stasiun 3	-1.639333	.760723	.112	-3.61529	.33662
	Stasiun 2	Stasiun 1	1.444333	.760723	.173	-.53162	3.42029
		Stasiun 3	-.195000	.760723	.965	-2.17095	1.78095
	Stasiun 3	Stasiun 1	1.639333	.760723	.112	-.33662	3.61529
		Stasiun 2	.195000	.760723	.965	-1.78095	1.42644
LSD	Stasiun 1	Stasiun 2	-1.444333	.760723	.077	-3.06578	.17711
		Stasiun 3	-1.639333*	.760723	.048	-3.26078	.142644
	Stasiun 2	Stasiun 1	1.444333	.760723	.077	-.17711	3.06578
		Stasiun 3	-.195000	.760723	.801	-1.81644	1.42644
	Stasiun 3	Stasiun 1	1.639333*	.760723	.048	.01789	3.26078
		Stasiun 2	.195000	.760723	.801	-1.42644	1.81644

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar Hg

	(I) Stasiun	(J) Stasiun	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Stasiun 1	Stasiun 2		.53162
		Stasiun 3		.33662
	Stasiun 2	Stasiun 1	-3.42029	
		Stasiun 3	-1.78095	
	Stasiun 3	Stasiun 1	-3.61529	
		Stasiun 2	-2.17095	
LSD	Stasiun 1	Stasiun 2		.17711
		Stasiun 3		-.01789
	Stasiun 2	Stasiun 1	3.06578	
		Stasiun 3	1.42644	
	Stasiun 3	Stasiun 1	3.26078	
		Stasiun 2	1.81644	

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

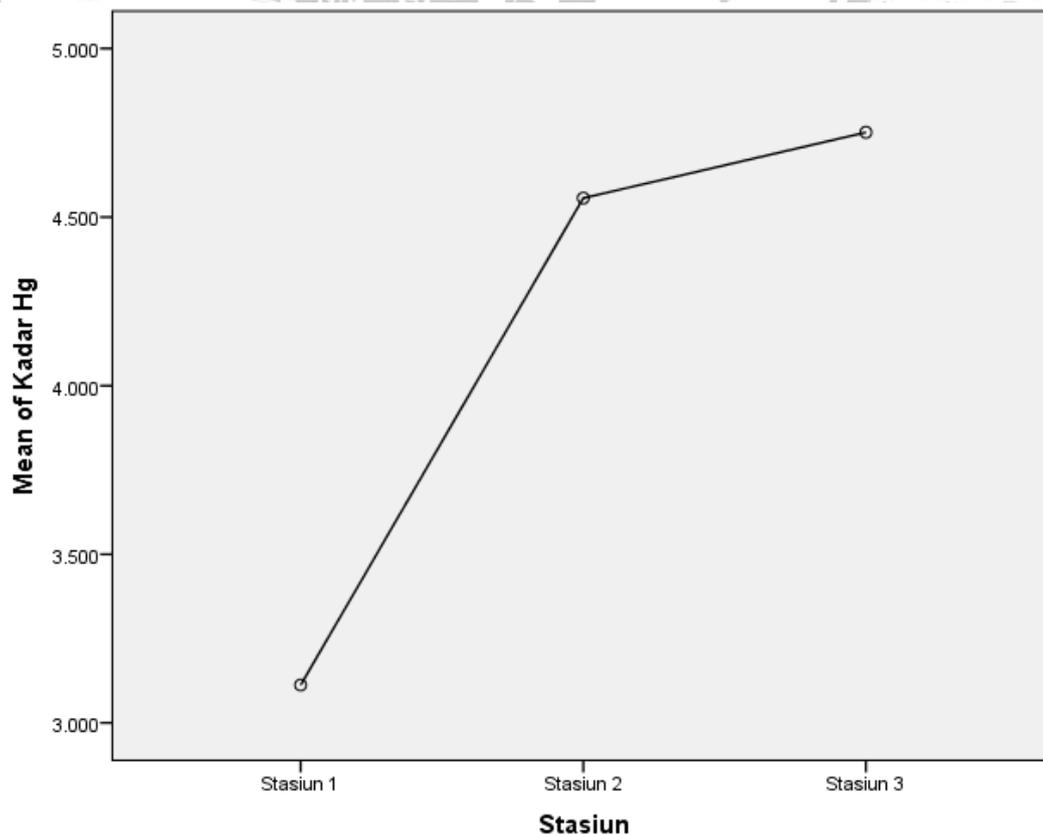
Kadar Hg

		N	Subset for alpha = 0.05	
Stasiun			1	
Tukey HSD ^a	Stasiun 1	6	3.11217	
	Stasiun 2	6	4.55650	
	Stasiun 3	6	4.75150	
	Sig.		.112	
Duncan ^a	Stasiun 1	6	3.11217	
	Stasiun 2	6	4.55650	
	Stasiun 3	6	4.75150	
	Sig.		.058	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

Means Plots



Lampiran 6.
Analisis Oneway ANOVA Kadar Hg Periphyton *Stigeoclonium*
di Stasiun Pengamatan

```
GET
FILE='D:\NOVA LIM\Data Tahap 1 Perifiton.sav'.
DATASET NAME DataSet1 WINDOW=FRONT.
DATASET ACTIVATE DataSet1.
SAVE OUTFILE='D:\NOVA LIM\Data Tahap 1 Perifiton.sav'
/COMPRESSED.
ONEWAY Kadar_Hg BY Stasiun
/STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY
/PLOT MEANS
/MISSING ANALYSIS
/POSTHOC=TUKEY DUNCAN LSD ALPHA(0.05).
```

Oneway

Notes

Output Created		20-SEP-2019 00:55:18
Comments		
Input	Data	D:\NOVA LIM\Data Tahap 1 Perifiton.sav
	Active Dataset	DataSet1
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data	18
	File	
Missing Value	Definition of Missing	User-defined missing values are treated
Handling		as missing.
	Cases Used	Statistics for each analysis are based
		on cases with no missing data for any
		variable in the analysis.
Syntax		ONEWAY Kadar_Hg BY Stasiun /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY /PLOT MEANS /MISSING ANALYSIS /POSTHOC=TUKEY DUNCAN LSD ALPHA(0.05).
Resources	Processor Time	00:00:03.46
	Elapsed Time	00:00:01.93

[DataSet1] D:\NOVA LIM\Data Tahap 1 Perifiton.sav

Descriptives

Kadar Hg

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Stasiun 1	6	7.94917	3.083494	1.258831	4.71324	11.18509
Stasiun 2	6	20.02417	5.264751	2.149325	14.49915	25.54918
Stasiun 3	6	24.17017	12.194684	4.978459	11.37263	36.96770
Total	18	17.38117	10.238080	2.413139	12.28989	22.47244

Descriptives

Kadar Hg

	Minimum	Maximum
Stasiun 1	5.540	12.609
Stasiun 2	15.047	28.995
Stasiun 3	9.264	39.550
Total	5.540	39.550

Test of Homogeneity of Variances

Kadar Hg

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
6.803	2	15	.008

ANOVA

Kadar Hg

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	852.232	2	426.116	6.875	.008
Within Groups	929.679	15	61.979		
Total	1781.911	17			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar Hg

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
						Lower Bound
Tukey HSD	Stasiun 1	Stasiun 2	-12.075000*	4.545276	.045	-23.88122
		Stasiun 3	-16.221000*	4.545276	.007	-28.02722
	Stasiun 2	Stasiun 1	12.075000*	4.545276	.045	.26878
		Stasiun 3	-4.146000	4.545276	.641	-15.95222
	Stasiun 3	Stasiun 1	16.221000*	4.545276	.007	4.41478
		Stasiun 2	4.146000	4.545276	.641	-7.66022
LSD	Stasiun 1	Stasiun 2	-12.075000*	4.545276	.018	-21.76303
		Stasiun 3	-16.221000*	4.545276	.003	-25.90903
	Stasiun 2	Stasiun 1	12.075000*	4.545276	.018	2.38697
		Stasiun 3	-4.146000	4.545276	.376	-13.83403
	Stasiun 3	Stasiun 1	16.221000*	4.545276	.003	6.53297
		Stasiun 2	4.146000	4.545276	.376	-5.54203

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kadar Hg

	(I) Stasiun	(J) Stasiun	95% Confidence Interval
			Upper Bound
Tukey HSD	Stasiun 1	Stasiun 2	-.26878
		Stasiun 3	-4.41478
	Stasiun 2	Stasiun 1	23.88122
		Stasiun 3	7.66022
	Stasiun 3	Stasiun 1	28.02722
		Stasiun 2	15.95222
LSD	Stasiun 1	Stasiun 2	-2.38697
		Stasiun 3	-6.53297
	Stasiun 2	Stasiun 1	21.76303
		Stasiun 3	5.54203
	Stasiun 3	Stasiun 1	25.90903
		Stasiun 2	13.83403

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

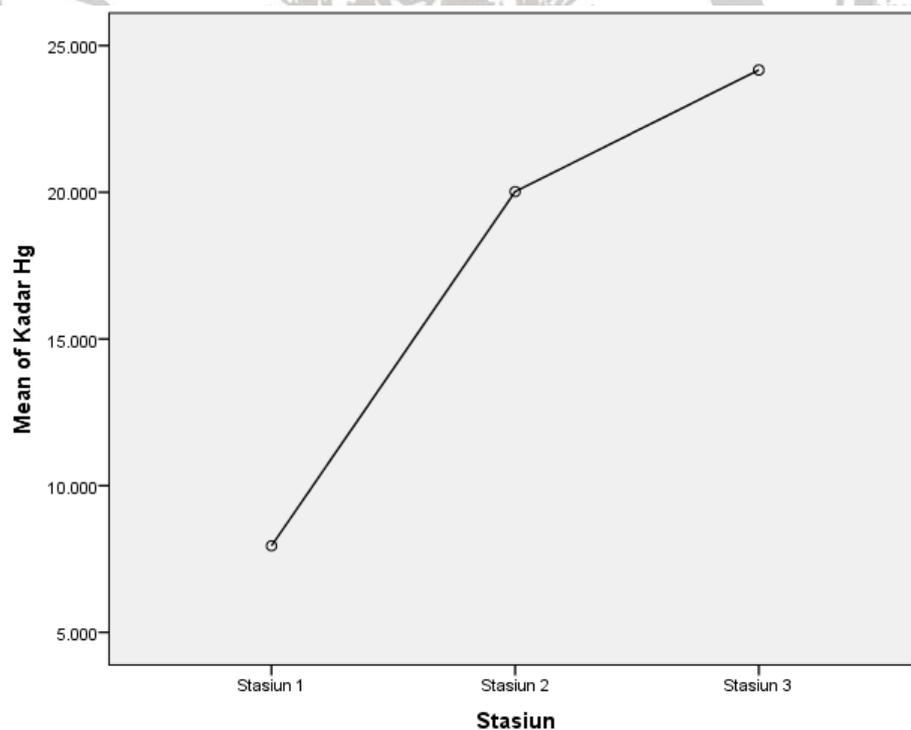
Homogeneous Subsets

		Kadar Hg		
		N	Subset for alpha = 0.05	
	Stasiun		1	2
Tukey HSD ^a	Stasiun 1	6	7.94917	
	Stasiun 2	6		20.02417
	Stasiun 3	6		24.17017
	Sig.		1.000	.641
Duncan ^a	Stasiun 1	6	7.94917	
	Stasiun 2	6		20.02417
	Stasiun 3	6		24.17017
	Sig.		1.000	.376

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

Means Plots



Lampiran 7.
**Analisis Oneway ANOVA Kadar Hg pada perlakuan
 Kadar Hg pd Air**

Descriptives

Hg	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					10 ppm	4		
20 ppm	4	2.6410	.24517	.12259	2.2509	3.0311	2.34	2.87
30 ppm	4	5.2310	.09206	.04603	5.0845	5.3775	5.15	5.33
40 ppm	4	8.7833	.29888	.14944	8.3077	9.2588	8.47	9.17
Total	16	4.6011	2.82790	.70697	3.0942	6.1079	1.67	9.17

Test of Homogeneity of Variances

Hg	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	3.243	3	12	.060

ANOVA

Hg	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	119.454	3	39.818	954.748	.000
Within Groups	.500	12	.042		
Total	119.955	15			

Hg

Tukey HSD^a

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
10 ppm	4	1.7490			
20 ppm	4		2.6410		
30 ppm	4			5.2310	
40 ppm	4				8.7833
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

Rata-rata Kadar Hg pada air dalam perlakuan

Sampel	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm
1	1.672	2.807	5.332	8.644
2	1.755	2.872	5.286	9.167
3	1.689	2.341	5.149	8.850
4	1.880	2.544	5.157	8.472
Rata-rata	1.749^a	2.641^b	5.231^c	8.783^d

Kadar Hg pada Stigeclonium

Descriptives

Hg	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					10 ppm	4		
20 ppm	4	17.3590	.24517	.12259	16.9689	17.7491	17.13	17.66
30 ppm	4	24.7690	.09206	.04603	24.6225	24.9155	24.67	24.85
40 ppm	4	31.2173	.29838	.14919	30.7425	31.6920	30.83	31.53
Total	16	20.3991	8.84039	2.21010	15.6884	25.1098	8.12	31.53

Test of Homogeneity of Variances

Hg	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	3.229	3	12	.061

ANOVA

Hg	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1171.788	3	390.596	9382.469	.000
Within Groups	.500	12	.042		
Total	1172.287	15			

Hg

Tukey HSD^a

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
10 ppm	4	8.2510			
20 ppm	4		17.3590		
30 ppm	4			24.7690	
40 ppm	4				31.2173
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

Rata-rata Kadar Hg pada *Stigeoclonium* dalam perlakuan

Sampel	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm
1	8.328	17.193	24.668	31.356
2	8.245	17.128	24.714	30.834
3	8.311	17.659	24.851	31.151
4	8.120	17.456	24.843	31.528
Rata-rata	8.251^a	17.359^b	24.769^c	31.217^d

Lampiran 8.
PEMBUATAN LARUTAN STANDAR Hg

Larutan Induk Hg(NO₃)₂ 1000 ppm

- Dipipet sebanyak 10 ml larutan induk Merkuri (Hg) 1000 ppm ke dalam labu ukur 100 ml
- Diimpitkan dengan aquabides sampai tanda

Larutan Baku 100 ppm

- Dipipet berturut-turut sebanyak 5 ml, 10 ml, 15 ml dan 20 ml dari larutan baku 100 ppm ke dalam labu ukur 50 ml

Perlakuan Hg
(10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm)

Lampiran 9. PEMBUATAN LARUTAN INDUK Hg

$$\begin{aligned} \text{Mr Hg (NO}_3)_2 &= [(1 \times \text{Ar Hg}) + (2 \times \text{Ar N}) + (6 \times \text{Ar O})] \text{ g/mol} \\ &= [(1 \times 200) + (2 \times 14) + (6 \times 16)] \text{ g/mol} \\ &= (200 + 28 + 96) \text{ g/mol} \\ &= 324 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

$$\text{ppm} = \frac{\text{Ar Hg}}{\text{Mr Hg (NO}_3)_2} \times \frac{\text{Berat Hg}}{\text{Volume Hg}}$$

$$1000 \text{ mg/L} = \frac{200 \text{ g/mol}}{324 \text{ g/mol}} \times \frac{\text{Berat Hg}}{0,1 \text{ L}}$$

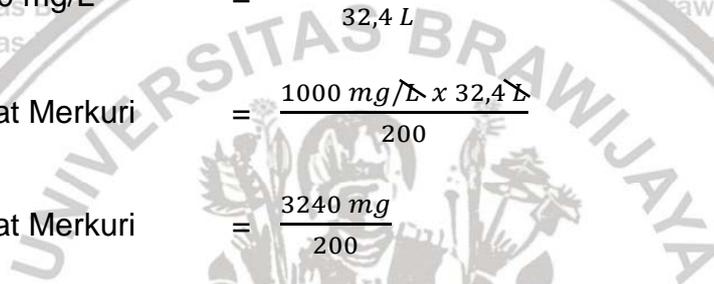
$$1000 \text{ mg/L} = \frac{200 \times \text{Berat Hg}}{32,4 \text{ L}}$$

$$\text{Berat Merkuri} = \frac{1000 \text{ mg/L} \times 32,4 \text{ L}}{200}$$

$$\text{Berat Merkuri} = \frac{3240 \text{ mg}}{200}$$

$$\text{Berat Merkuri} = 16,2 \text{ mg}$$

$$\text{Berat Merkuri} = 0,0162 \text{ g}$$



Lampiran 10. Akumulasi Hg Scala Laboratorium

Hg *Stigeoclonium* sp dalam perlakuan

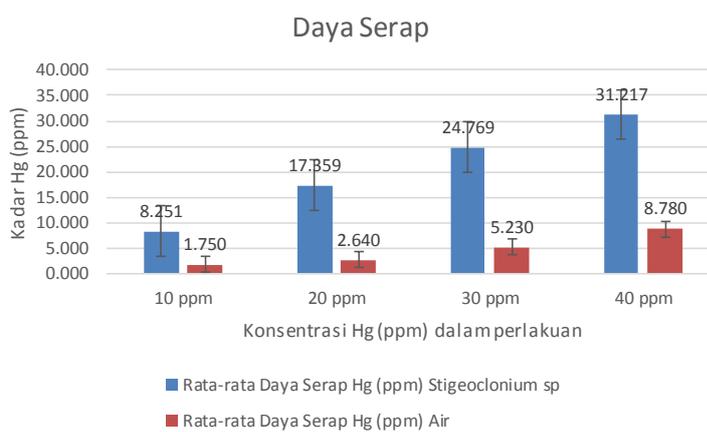
Sampel	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm
1	8.328	17.193	24.668	31.356
2	8.245	17.128	24.714	30.834
3	8.311	17.659	24.851	31.151
4	8.12	17.456	24.843	31.528
Rata-rata	8.251	17.359	24.769	31.217

Rata-rata Daya Serap Hg (ppm)

Konsentrasi Hg	<i>Stigeoclonium</i> sp	Air
10 ppm	8.251	1.750
20 ppm	17.359	2.640
30 ppm	24.769	5.230
40 ppm	31.217	8.780

Hg Air dalam perlakuan

Sampel	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm
1	1.672	2.807	5.332	8.644
2	1.755	2.872	5.286	9.167
3	1.689	2.341	5.149	8.85
4	1.88	2.544	5.157	8.472
Rata-rata	1.749	2.641	5.231	8.783



Lampiran 11.
Analisis Data *in situ* dan *in vivo*

ALAM (*in situ*)
Konsentrasi Hg di alam

Rata-rata Konsentrasi Hg dalam	Konsentrasi Hg (ppm)	Rasio terhadap Hg dalam Air	Rasio thdp Hg dalam Sedimen	Rasio thdp Hg dalam <i>Cymodocea rotundata</i> (Cr)
Air	0,036	-	-	-
Sedimen	2,37	63 kali	-	-
<i>Cymodocea rotundata</i>	4,14	113 kali	1,84 kali	-
<i>Stigeoclonium sp</i>	17,38	461 kali	7,11 kali	4,12 kali

Daya serap Hg (*Stigeoclonium sp* vs. *Cymodocea rotundata*)

Konsentrasi Hg	<i>Cymodocea rotundata</i>	<i>Stigeoclonium sp</i>
Dalam organisma	4,14 ppm	17,38 ppm
Rasio terhadap rata-rata Hg dalam sedimen	1,84 kali	7,11 kali
Rasio terhadap rata-rata Hg dalam air	113 kali	461 kali

Uji	Signifikan	nilai p
Kruskal-Wallis	YES	0.00000094
Welch ANOVA	YES	0.00003899

Sta	Group1	Group2	Nemenyi	Steel
All	<i>Cymodocea rotundata</i>	<i>Stigeoclonium sp</i>	YES	YES
Sta 1	<i>Cymodocea rotundata</i>	<i>Stigeoclonium sp</i>	YES	YES
Sta 2	<i>Cymodocea rotundata</i>	<i>Stigeoclonium sp</i>	YES	YES
Sta 3	<i>Cymodocea rotundata</i>	<i>Stigeoclonium sp</i>	YES	YES

Daya serap Hg menurut stasiun

***Cymodocea rotundata*:**

Uji	Signifikan	nilai p
Kruskal-Wallis	yes	0.021624322
Welch ANOVA	yes	0.043348088

Group1	Group2	Nemenyi	Steel
Stasiun 1	Stasiun 2	yes	yes
Stasiun 1	Stasiun 3	no	yes
Stasiun 2	Stasiun 3	no	

Stigeoclonium sp:

Uji	Signifikan	nilai p
ANOVA	YES	0.007610852

Group1	Group2	Tukey HSD	Dunnet	REGWQ
Stasiun 1	Stasiun 2	yes	yes	yes
Stasiun 1	Stasiun 3	YES	YES	YES
Stasiun 2	Stasiun 3	no		no

HASIL LAB (in vivo)**Rata-rata Konsentrasi Hg di Laboratorium (durasi paparan 4 jam)**

Rata-rata Konsentrasi dalam	Konsentrasi Hg	Konsentrasi Hg	Konsentrasi Hg	Konsentrasi Hg	Catatan
Air (ppm)	1.75	2.64	5.23	8.78	di alam 0,025-0,045
Stigeoclonium sp (ppm)	8.25	17.36	24.77	31.22	
Rasio Stigeoclonium sp : Hg Air	4.7	6.6	4.7	3.6	

Hg dalam air

Uji	Signifikan	nilai p
Anova	YES	1.54387E-14

Group1	Group2	Tukey HSD	Dunnet	REGWQ
10 ppm	20 ppm	YES	YES	YES
20 ppm	30 ppm	YES	YES	YES
30 ppm	40 ppm	YES	YES	YES

Hg dalam Stigeoclonium sp

Uji	Signifikan	nilai p
Anova	YES	1.75599E-20

Group1	Group2	Tukey HSD	Dunnet	REGWQ
10 ppm	20 ppm	YES	YES	YES
20 ppm	30 ppm	YES	YES	YES
30 ppm	40 ppm	YES	YES	YES

Lampiran 12. Cara Kerja TEM

PROCESSING SAMPLE BLOCK

Aim: Making sample block using Spurr's resin for Transmission Electron Microscope

Materials:

- **Buffer:** 0,1 M sodium cacodylate buffer pH 7,4 + 3% sucrose
- 2,5% $K_3Fe(CN)_6$ inbuffer
- **Fixative 1:** 2,5% Glutaraldehyde inbuffer
- **Fixative 2:** 2% Osmium tetroxyde and 2,5% $K_3Fe(CN)_6$ inbuffer
- Ethanol 30%, 50%, 70%, 95%, and absolute
- Propylene Oxide
- Spurr's resin mixture (hard mixture)

Methods:

a. PreFixation

- Put $\pm 100 \mu l$ sample / $1 \times 1 \times 1$ mm tissue samples into eppendorf tube containing 0,1M sodium cacodylate buffer. Rinse several times (depend on the tissue hardness, usually $3 \times 15'$)
- Immerse the samples in 2,5% Glutaraldehyde inbuffer at least 24 hours in $4^\circ C$ (the samples can be kept until several months)

b. Fixation

- Immerse the samples in NEW freshly made 2,5% Glutaraldehyde in buffer for 3 hours by shaking in $4^\circ C$
- Rinse the samples using buffer three times for each 15' by shaking in $4^\circ C$
- Fix the samples in 2% osmium tetroxide and 2,5% $K_3Fe(CN)_6$ in buffer for 2 hours by shaking in $4^\circ C$
- Rinse the samples using buffer three times for each 15' by shaking in $4^\circ C$

c. Dehydration

- Dehydrate the samples in ascending series of ethanol by shaking in $4^\circ C$: 30%, 50%, 70%, and 95% each of that for 15'
- Ethanol absolute for 15' twice

d. Infiltration & Embedding

- Immerse the samples in ethanol absolute and propylene oxide in comparison 1:1 by shaking at room temp. for 20 minutes
- Immerse the samples in pure propylene oxide by shaking in room temp. for 20' twice
- Immerse the samples in propylene oxide and Spurr's mixture in comparison 1:1 by shaking at room temp. for 30'
- Pour off half of this mixture and add an equal amount of pure Spurr's mixture by shaking at room temp. for 30'
- Pour off and replace mixture with pure Spurr's mixture under vacuum at room temp. for overnight
- Wipe off the mixture
- Replace samples into block tube
- Immerse again the samples with pure Spurr's mixture under vacuum at room temp. for at least 2 hours
- Transfer block tube into $60^\circ C$ oven for 48 hours



SECTIONING PROCESS (CUTTING)

Aim: To produce the silver sections

Materials:

1. Specimen block
2. Microscope slides
3. ddH₂O
4. Staining solutions
5. Glass knives
6. Grids

Methods:

1. Rough trimming by hand

- Clamp the specimen block into an appropriate holder and place it into a stable holder under a dissecting or stereomicroscope
- Cut into the specimen by making a series of slices with a razor blade. The slice should be made parallel to the table top and should stop just before the desired area in the specimen is reached
- Begin making a series of very thin razor cuts a depth of 1 mm and at a 60-degree angle relative to the desk top along one side of the block
- Rotate the specimen block and make a fair series of slice cuts at a 60-degree angle to generate a trapezoidal pyramid top

2. Fast staining (using Toluidine Blue 0,1%)

- Cut the block with glass knives in a thick section (0,35 μm)
- Pick one of the thick sections and use an eyelash probe to transfer it to a tiny droplet of ddH₂O on a clean microscope slide by inverting the transfer device so that the section side contacts the water droplet, which draws the section into the slide
- The slide is transferred to a hot plate (70-90° C) until the droplet evaporates
- After the slide has cooled, a drop of staining solution (toluidine blue) is placed over the dried section and reheated on the hot plate until the edge of the steam begins to rise
- The slide is gently rinsed in water running and dried
- Mount under a glass cover slip and analyze under a light microscope



3. Ultracutting

- Cut the block with glass knives in thick section 0,35 μm . If block was cut by glass knives for one or two pieces, remove to ultra cutting (70nm)*
- Submerge the grid and manoeuvres it directly under the section to be collected. Slowly lift up the grid parallels to the water surface to the

collect the section. The sections will float on the small droplet of water on the grid. Dry the grid in dust-free environment

- Grid is ready for staining

* notes: The thickness of the sections can be known from the colour of the sections in the water.

Blue	: >200 nm
Purple	: 100-190nm
Gold	: 70-100nm
Silver-gray to silver	: 50-70nm
Colour lesstogray	: 30-60nm





STAINING WITH URANYL SALT

Aim: Staining sample for TEM

Materials:

1. Grids
2. 2% uranyl acetate in 50% ethanol
3. Triple lead
4. 0,01 N NaOH
5. 1N NaOH
6. NaOH crystals
7. ddH₂O

Methods:

1. Place wet filter paper in the bottom of Petri dish, then place parafilm over the filter paper
2. place a drop of 2% uranyl acetate in 50% ethanol
3. insert the grids into uranyl acetate and keep it for 60 minutes at room temperature and dark conditions
4. Take off the grids, rinse quickly in several changes of ddH₂O
5. Wet filter paper with 1N NaOH and place in bottom of Petri dish. Place parafilm over the filter paper. Place NaOH crystals around filter paper
6. Drop triple lead on wax surface and insert the grids into for 15 minutes at room temp.
7. Take off the grids and wash with 0,01N NaOH and then the last wash with ddH₂O
8. Dry the grids in the dust-free environment

