

repository.ub.ac

STUDI TENTANG LAJU PENYERAPAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)

OLEH RUMPUT LAUT *Gracilaria sp* DI KECAMATAN JABON

KOTA SIDOARJO

LAPORAN SKRIPSI

MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN

OLEH :

HARIS AFRI SURAHMAN  
0310810030



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS PERIKANAN

MALANG

2008

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

STUDI TENTANG LAJU PENYERAPAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)

OLEH RUMPUT LAUT *Gracilaria sp.* DI KECAMATAN JABON

KOTA SIDOARJO

OLEH :

**HARIS AFRI SURAHMAN**  
**0310810030**

DOSEN PENGUJI I

(DR. UUN YANUHAR, Spi MSi)  
NIP. 132 302 147

DOSEN PENGUJI II

(ASUS MAIZAR S.H., Spi, MP)  
NIP. 132 306 504

MENYETUJUI,  
DOSEN PEMBIMBING I

(DR. IR. DIANA ARFIATI, MS)  
NIP. 131 471 524

DOSEN PEMBIMBING II

(Ir. HERWATI UMI S, MS)  
NIP 130 819 400

MENGETAHUI  
KETUA JURUSAN

(Ir. MAHENO SRI WIDODO, MS)  
NIP. 131 471 522

## KATA PENGANTAR



Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan laporan skripsi ini dapat terselesaikan. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Perikanan pada Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya.

Atas terselesainya laporan skripsi ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

- Bapak, Ibu dan saudara-saudaraku tercinta yang selama ini telah memberikan segala yang terbaik, terutama doa dan kasih sayangnya.
- Ibu DR. Ir. Diana Arfiati. MS dan Ir. Herwati Umi. MS selaku Dosen Pembimbing atas segala petunjuk dan bimbingannya dari penyusunan proposal sampai dengan terselesainya laporan skripsi ini.
- Bapak Ir. Murachman. MS dan Ir. Wijarni. MS atas kesediaannya membantu sarana prasarana yang peneliti perlukan selama di Jabon.
- Shara Mahalia. SPi, terima kasih telah menemani penulis dari awal kuliah.
- Teman-teman Faperik Unibraw khususnya Program Studi MSP'03 yang telah bersedia berbagi suka dan duka dalam penyusunan laporan skripsi ini.
- Semua pihak yang telah memberikan dorongan dan bantuan sehingga dapat tersusunnya laporan skripsi ini.

Laporan ini tentunya masih banyak kekurangan maka kritik dan saran dari pembaca laporan ini besar artinya untuk kemajuan isi laporan. Akhirnya penyusun berharap semoga laporan skripsi ini bermanfaat dan dapat memberikan informasi bagi semua pihak yang berminat dan memerlukan. Amien.

Malang, Maret 2008

Penyusun

## RINGKASAN

**Haris Afri Surahman** Laporan Skripsi. Studi Tentang Laju Penyerapan Logam Berat Timbal (Pb) Oleh Rumput Laut *Gracillaria sp.* di Kecamatan Jabon Kota Sidoarjo Provinsi Jawa Timur. Dibawah bimbingan **DR. Ir.Diana Arfiati,Ms** dan **Ir Herwati Umi,Ms**

---

Logam berat banyak dimanfaatkan dalam sistem adsorpsi, dimana gugus fungsi yang terdapat dalam dinding sel (sitoplasma) alga mampu melakukan pengikatan dengan ion logam. Menurut Harris dan Ramelow (1990) dalam Putra (2006), kemampuan alga dalam menyerap ion-ion logam sangat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti ukuran alga yang sangat kecil dan berat jenis alga yang rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju penyerapan rumput laut terhadap logam berat Pb, kandungan logam berat Pb didalam rumput laut dan hubungan kadar logam berat dalam air dengan logam berat dalam rumput laut. Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2007 di kawasan tambak tradisional desa Jabon, kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur.

Jabon merupakan daerah pertambakan dengan sistem polikultur, komoditas yang ada antara lain rumput laut, udang dan ikan bandeng. Pengambilan sampel untuk perhitungan laju penyerapan logam berat Pb oleh rumput laut, dan kandungan logam berat yang terdapat pada air serta sedimen dilakukan sebanyak tiga kali dan diambil secara komposit yaitu sampel gabungan dari beberapa sampel sesaat (*grab sample*) yang diambil dari beberapa titik berbeda pada tempat yang sama. Sampel kemudian dibawa ke laboratorium kimia fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang untuk di analisa kadar logam beratnya. Sedangkan untuk pengamatan kualitas air dilakukan dengan mengambil sampel dari beberapa titik secara acak pada tempat yang sama.

Kandungan logam berat pada air tambak (pada penelitian ini) berkisar antara 0,21-0,24 ppm. Kandungan logam berat yang terkandung pada sedimen berkisar antara 4,27-8,15 mg/l. Logam berat yang terkandung pada rumput laut berkisar antara 0,5 – 1,2 ppm, sedangkan laju penyerapan rumput laut terhadap logam berat Pb didapatkan pada 7 hari pertama antara – 0,005 hingga 0,111 ppm/hari, dan pada 7 hari kedua antara 0,00714 – 0,02 ppm/hari. Penyerapan optimal terjadi pada 7 hari pertama, diduga rumput laut dapat menyerap secara optimal dibandingkan pada 7 hari kedua. Kualitas air pada tambak diperoleh nilai rata-rata suhu antara 30 – 33 °C ; salinitas 24 – 27 ‰ ; pH 7 – 8 ; Bahan organik tanah 1,32 % - 2,26 %.

Pertumbuhan dari rumput laut yang optimum (pada penelitian ini) terjadi pada 7 hari pertama, sel-sel yang terdapat di rumput laut pada 7 hari kedua di perkirakan telah banyak tergantikan dengan partikel-partikel unsur hara yang lainnya. Hal ini terlihat dari menurunnya kadar logam berat dalam rumput laut. Logam berat yang terkandung pada rumput laut berkisar antara 0,5 – 1,2 ppm. Hasil analisa regresi linier sederhana kandungan Pb pada rumput laut dengan kandungan Pb pada air serta sedimen disetiap tambak, diperoleh persamaan yang berbanding lurus. Kenaikkan Pb pada sedimen dan air akan diikuti dengan kenaikan kandungan Pb pada rumput laut.

Perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penyerapan yang lebih banyak dari rumput laut *gracillaria sp.* terhadap logam berat Pb. Dapat menjadikan rumput laut sebagai bioindikator suatu pencemaran lingkungan

## DAFTAR ISI

RINGKASAN .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
DAFTAR LAMPIRAN .....	vi
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Kegunaan Penelitian .....	6
1.5 Tempat dan Waktu .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tambak Polikultur .....	7
2.2 Karakteristik Logam Berat Timbal (Pb) .....	7
2.2.1 Toksisitas timbal (Pb) .....	10
2.2.2 Mekanisme masukan logam berat .....	13
2.3 Rumput Laut .....	15
2.3.1 Taksonomi rumput laut ( <i>Gracillaria sp.</i> ).....	15
2.3.2 Morfologi rumput laut .....	15
2.3.3 Ekologi dan penyebaran rumput laut .....	18
2.3.4 Kandungan dan manfaat rumput laut ( <i>Gracillaria sp.</i> ) .....	19
2.4 Bahan Organik Tanah .....	20
2.5 Kualitas Air .....	21
2.5.1 Salinitas .....	21
2.5.2 pH .....	22
2.5.3 Suhu .....	23
<b>III MATERI DAN METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Materi Penelitian .....	25
3.1.1 Bahan penelitian .....	25
3.1.2 Alat penelitian .....	25
3.2 Metode Penelitian .....	25
3.2.1 Teknik pengumpulan data .....	25
3.2.2 Penentuan stasiun pengamatan .....	26
3.2.3 Prosedur pengambilan sampel .....	27
3.2.3.1 Sampel Air .....	27
3.2.3.2 Sedimen .....	28

3.2.3.3 Rumput Laut .....	29
3.2.3.4 Analisa Logam Berat Pb pada Rumput Laut .....	29
3.2.3.5 Analisa Logam Berat Pb pada Air .....	30
3.2.3.6 Analisa Logam Berat Pb pada Tanah .....	30
3.2.4 Analisa data .....	30
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian .....	33
4.2 Keadaan Stasiun .....	34
4.3 Kondisi Kualitas Air Tambak .....	36
4.3.1 Suhu .....	36
4.3.2 Derajat keasaman (pH) .....	38
4.3.3 Salinitas .....	39
4.3.4 Kondisi bahan organik tanah .....	40
4.4 Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dalam Air .....	42
4.5 Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Sedimen .....	43
4.6 Kandungan Serta Laju Penyerapan Logam Berat Pb Pada Rumput Laut ...	44
4.7 Hubungan Antara Kandungan Pb Pada Rumput Laut Dengan Kandungan Pb Dalam Air Pada Setiap Tambak .....	46
4.8 Hubungan Antara Kandungan Pb Pada Rumput Laut Dengan Kandungan Pb Dalam Sedimen Pada Setiap Tambak .....	48
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	50
5.2 Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	52
<b>LAMPIRAN</b> .....	55

## 1.PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perikanan budidaya di Indonesia, sangat beragam macamnya. Menurut ekosistem yang digunakan, perikanan budidaya dapat dibagi atas perikanan budidaya air tawar, perikanan budidaya air payau dan perikanan budidaya air laut. Perbedaan antar ketiga ekosistem tersebut berdasarkan atas tingkat kadar garamnya. Suatu perairan dikatakan tawar, apabila kadar garamnya lebih rendah dari 5 ppt, payau antara 5-30 ppt dan laut 31-35 ppt (Cholik, *et.al*, 2005).

Polikultur sebagai salah satu teknik budidaya yang dikembangkan saat ini, merupakan metode budidaya untuk memelihara beberapa organisme dalam satu lahan. Dengan sistem ini akan diperoleh manfaat, yaitu tingkat produktifitas lahan yang tinggi. Simbiosis mutualisme atau hubungan yang saling menguntungkan antara organisme yang dipelihara dalam polikultur dapat dimaksimalkan, sehingga tidak dibutuhkan faktor dari luar seperti pemberian pakan buatan. Salah satu sistem budidaya polikultur adalah rumput laut dari jenis *Gracillaria sp* yang dipelihara bersama dengan bandeng dan udang windu sehingga unsur hara yang ada di dalam perairan dapat dimanfaatkan (Syahid, *et.al*, 2006). Rumput laut akan memanfaatkan zat hara yang telah tersedia didasar tambak, termasuk jika zat hara tersebut mengandung logam berat.

Rumput laut banyak dijumpai di Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo dengan media tambak dalam sistem polikultur. Rumput laut dari daerah tersebut merupakan salah satu bahan agar/karagenan yang dikirim ke pabrik-pabrik yang ada didaerah Gempol.

Rumput laut pada daerah pertambakan memiliki fungsi ganda yaitu sebagai penghasil oksigen dan tempat berlindung bagi ikan- ikan kecil dari predator. Rumput laut juga mampu menyerap racun-racun yang terbawa masuk kedalam perairan tambak. Selain itu rumput laut juga merupakan penyedia makanan berupa plankton dan jasad renik yang menempel yang biasanya menjadi makanan ikan bandeng dan udang (Wawa, 2006).

Palar (2004) menjelaskan, sifat logam berat Pb mempunyai sifat-sifat yang khusus antara lain merupakan logam yang tahan terhadap peristiwa korosi, merupakan penghantar listrik yang tidak baik, sulit terdegradasi, bersifat racun, Pb banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena mempunyai titik cair rendah sehingga jika digunakan dalam bentuk cair dibutuhkan teknik yang cukup sederhana dan tidak mahal. Pb merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah menjadi berbagai bentuk. Sifat kimia Pb menyebabkan logam ini berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab. Densitas Pb lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya kecuali emas dan merkuri (Fardiaz, 1992). Sifat-sifat Pb antara lain tahan terhadap peristiwa korosi atau karat dan merupakan penghantar listrik yang tidak baik (Palar, 2004). dan cenderung terakumulasi dalam tubuh organisme. Logam berat umumnya bersifat toksik (racun) dan kebanyakan di air dalam bentuk ion. Peningkatan kadar logam berat dalam air laut yang terus berlangsung akan diikuti oleh peningkatan kadar logam berat dalam tubuh biota di wilayah tersebut.

Timbal (Pb) adalah salah satu jenis logam berat yang mempunyai daya racun tinggi dan sering mencemari lingkungan perairan. Pb yang masuk ke dalam badan perairan sebagai dampak dari aktivitas kehidupan manusia dalam bermacam bentuk.

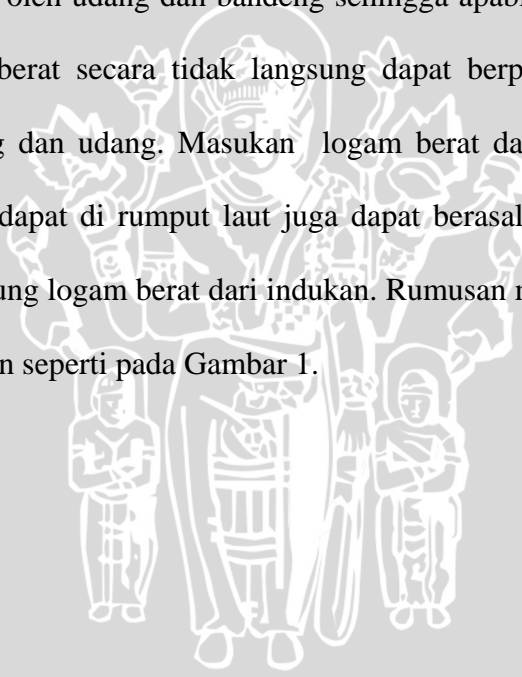


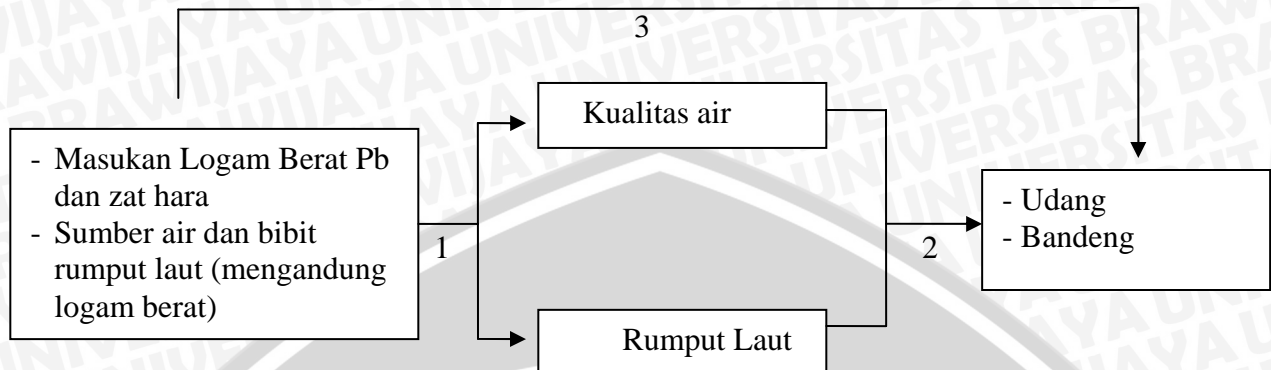
Diantaranya adalah air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan Pb, air buangan limbah rumah tangga. Buangan-buangan tersebut akan jatuh pada anak-anak sungai untuk kemudian dibawa terus menuju lautan. Umumnya jalur buangan dari bahan sisa perindustrian yang menggunakan Pb akan merusak tata lingkungan perairan yang dimasukinya (Palar, 2004). Pb ditemukan dalam bentuk senyawa anorganik dan organik. Semua bentuk Pb berpengaruh sama yaitu memiliki toksisitas pada manusia, walaupun pengaruh toksisitas akut agak jarang dijumpai tetapi pengaruh toksisitas kronis sering ditemukan (Darmono, 1995)

Sumber air untuk tambak-tambak di Jabon berasal dari selat Madura melalui sungai kecil yang mengalir kedalamnya. Sartika (2002) menjelaskan, selat Madura merupakan muara dari beberapa sungai, tidak menutup kemungkinan terkontaminasi logam berat yang terbawa oleh arus sungai. Selain itu selat Madura merupakan daerah yang padat dengan pelayaran kapal-kapal, dimana Valenta, *et.al* (1986) dalam Kiswara (1994) menyatakan bahwa arus pelayaran merupakan salah satu sumber pencemaran logam Pb yang dapat berasal dari tumpahan-tumpahan bahan bakar kapal-kapal perikanan baik berupa bensin maupun pewarnaan cat pada kapal-kapal perikanan. Rumput laut menyerap nutrient yang ada ditambak termasuk logam berat Pb. Nutrient tersebut dimanfaatkan oleh rumput laut untuk pertumbuhan, namun sebagian merupakan toksik didalam jaringan rumput laut yang dapat merusak jaringan yang ada. Daya serap rumput laut terhadap logam berat akan mempengaruhi banyaknya logam berat yang terakumulasi dalam jaringan tanaman tersebut.

## 1.2 Perumusan Masalah

Masukan logam berat ke dalam perairan tambak bersama zat hara yang lain akan diserap oleh rumput laut sebagai sumber nutrisi, sehingga akan mempengaruhi kualitas rumput laut tersebut. Tidak semua logam berat dapat dimanfaatkan oleh rumput laut, ada sebagian logam berat yang mengendap dalam jaringan rumput laut tersebut. Banyaknya zat hara yang dapat diserap oleh rumput laut secara langsung akan memperbaiki kondisi perairan tambak tersebut, karena rumput laut dapat berfungsi sebagai biofilter didalam tambak. Rumput laut pada tambak polikultur banyak dimanfaatkan oleh udang dan bandeng sehingga apabila rumput laut tersebut mengandung logam berat secara tidak langsung dapat berpengaruh juga terhadap kualitas dari bandeng dan udang. Masukan logam berat dari perairan, kandungan logam berat yang terdapat di rumput laut juga dapat berasal dari bibit rumput laut yang sudah mengandung logam berat dari indukan. Rumusan masalah pada penelitian ini dapat di gambarkan seperti pada Gambar 1.





Gambar 1. Bagan Alir Perumusan Masalah

Keterangan :

1. Masukan logam berat dan zat hara berasal dari sumber air dan bibit rumput laut yang sudah mengandung logam berat. Masukan tersebut secara langsung akan mempengaruhi kualitas air yang ada ditambak. Rumput laut yang ada ditambak secara tidak langsung akan menyerap logam berat yang ada ditambak, sehingga rumput laut akan mengandung logam berat.
2. Penyerapan zat hara dan logam berat Pb oleh rumput laut akan menghasilkan kualitas rumput laut yang kurang baik, selain itu juga dimanfaatkan udang dan bandeng sehingga mengandung logam berat.
3. Masukan logam berat dan zat hara berasal dari sumber air dan bibit rumput laut yang sudah mengandung logam berat. Rumput laut dimanfaatkan oleh bandeng, serta logam berat yang ada di air dimanfaatkan oleh bandeng dan udang.

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui laju penyerapan rumput laut terhadap logam berat Pb.
2. Mengetahui kandungan Logam berat Pb didalam rumput laut
3. Hubungan kadar logam berat dalam air dengan logam berat dalam rumput laut.

### 1.4 Kegunaan Penelitian

1. Memberi Informasi tentang kandungan logam berat Pb pada rumput laut dari tambak di Jabon.
2. Memberi Informasi tentang daya serap rumput laut terhadap logam berat Pb.
3. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai bahan masukan dalam pengelolaan tambak polikultur.
4. Informasi bagi pemerintah Sidoarjo tentang kadar logam berat Pb didalam rumput laut di Jabon

### 1.5 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di tambak tradisional Desa Jabon, Kecamatan Jabon Sidoarjo Jawa Timur, selama bulan November 2007.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tambak Polikultur

Budidaya tambak secara polikultur merupakan budidaya yang berupaya meningkatkan perekonomian pesisir. Tambak polikultur bertumpu pada tiga komoditas perikanan sekaligus dalam satu area yakni udang, bandeng dan rumput laut (Anonymous, 2006).

Sistem polikultur udang windu di tambak selain merupakan diversifikasi usaha pertambakan juga ditujukan untuk mengurangi resiko kegagalan, meningkatkan kualitas air pemeliharaan serta kelangsungan hidup udang (Karyaningsih dkk, 2002).

### 2.2 Karakteristik Logam Berat Timbal (Pb)

Logam adalah unsur-unsur kimia yang memiliki kemampuan sebagai penghantar listrik (konduktor) dan penghantar panas. Untuk logam yang berbentuk padat, dapat ditempa dan dibentuk. Di samping itu, semua unsur logam baik logam padat maupun cair akan memberikan ion positif (+) apabila senyawanya dilarutkan dalam air (Palar, 2004). Berdasarkan densitasnya, logam dibedakan menjadi logam berat ( $> 5 \text{ gr/cm}^3$ ) dan logam ringan ( $< 5 \text{ gr/cm}^3$ ). Menurut Mulyanto (1992), Logam berdasarkan kebutuhannya dibedakan menjadi logam esensial dan logam non-esensial. Logam esensial keberadaannya dalam jumlah tertentu berfungsi sebagai mikronutrien yang sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat jenis ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Logam non-esensial atau beracun keberadaannya dalam tubuh meski dalam jumlah relatif kecil akan bersifat toksik, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain (Vouk, 1986 dalam Anonymous, 2006)

Air sering tercemar oleh komponen-komponen anorganik diantaranya berbagai logam berat yang berbahaya. Beberapa jenis logam berat banyak digunakan dalam skala industri, oleh karena itu diproduksi secara rutin. Industri yang menghasilkan produk logam berat ataupun menggunakan logam berat dalam proses industrinya atau produksinya akan mengeluarkan limbah yang mengandung logam berat juga (Fardiaz, 1992).

Toksistas logam dari kuat ke lemah secara berturut-turut menurut Darmono (2001) adalah sebagai berikut : Hg>Ag>Cu>Zn>Ni>Pb>Cd>As>Cr>Mn. Timbal (Pb) masuk perairan melalui pengendapan jatuhnya debu yang mengandung Pb seperti hasil pembakaran bensin, erosi, dan limbah industri. Logam Pb dapat mempengaruhi kerja enzim atau fungsi dari protein karena mempunyai afinitas yang besar terhadap gugus sulfhidril (-SH). Yaitu suatu gugus protein organisme hidup, sehingga mengganggu fungsi normal enzim atau gangguan terhadap struktur seluler. Menurut Waldichuk (1974) dalam Kusuma (2003), Untuk pengamanan terhadap organisme perairan kandungan konsentrasi Pb pada air tidak melebihi 0,01 ppm (KEP-02/MENKLH/I/1988). Konsentrasi Pb 0,05 ppm dapat menimbulkan bahaya pada lingkungan perairan.

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria yang sama dengan logam lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat tersebut berikatan atau masuk ke dalam tubuh organisme. Unsur logam di alam ditemukan secara luas diseluruh lapisan permukaan bumi, mulai dari tanah, batuan, badan air, bahkan pada lapisan atmosfer yang menyelimuti bumi (Palar, 2004). Lebih lanjut dikatakan secara alami logam mengalami siklus perputaran dari kerak bumi ke

lapisan tanah, masuk ke dalam makhluk hidup, ke dalam kolom air, mengendap di dasar dan akhirnya kembali lagi ke dalam kerak bumi.

Kandungan alamiah logam berubah-ubah tergantung pada kadar pencemaran yang dihasilkan manusia maupun karena erosi alami. Pencemaran akibat aktivitas manusia lebih banyak berpengaruh ke lingkungan dibandingkan pencemaran secara alami. Jenis-jenis industri yang umumnya membebaskan logam berat menurut Dean *dkk* (1972) dalam Supriharyono (2002) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Logam-logam berat yang digunakan oleh berbagai industri.

No	Jenis Industri	Cd	Cu	Hg	Mn	Pb	Zn
1	Pulp, pabrik kertas, kertas karton, kertas bangunan, pabrik kayu		X	X		X	X
2	Kimia organik, petrokimia	X		X		X	X
3	Alkalis, <i>chlorine</i> , kimia an-organik	X		X		X	X
4	Pupuk	X	X	X	X	X	X
5	Permurnian minyak ( <i>Petroleleum refining</i> )	X	X			X	X
6	Pekerjaan pelelehan baja	X	X	X		X	X
7	Pekerjaan pelelehan bahan logam bukan besi	X	X	X		X	X
8	Kendaraan bermotor, pemolesan pesawat	X	X	X			

Ket : X : terdapat logam

Daya racun logam dipengaruhi oleh : (1) Bentuk logam, berupa ion, organik atau anorganik, (2) Ada tidaknya logam lain (sifat sinergis atau antagonis), (3) Faktor lingkungan, yang mempengaruhi fisiologis organisme seperti suhu air, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut, cahaya dan salinitas, dan (4) Organisme, yaitu siklus hidup, makanan, aktifitas, alat tambahan (misal pelindung berupa shell atau alat pernapasan) dan adaptasi organisme terhadap logam (Mulyanto, 1992).

Pb biasa digunakan dalam cat dan pestisida Sunu (2001). Ditambahkan pula oleh Palar (2004), persenyawaan yang terbentuk antara Pb dengan arsenat dapat digunakan

sebagai insektisida. Selain itu Pb banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena mempunyai titik cair rendah sehingga jika digunakan dalam bentuk cair dibutuhkan teknik yang cukup sederhana dan tidak mahal. Pb merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah menjadi berbagai bentuk. Sifat kimia Pb menyebabkan logam ini berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab. Densitas Pb lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya kecuali emas dan merkuri (Fardiaz, 1992). Sifat-sifat Pb antara lain tahan terhadap peristiwa korosi atau karat dan merupakan penghantar listrik yang tidak baik (Palar, 2004).

### 2.2.1 Toksisitas Logam Timbal (Pb)

Connell and Miller (1995) menyatakan bahwa logam-logam sebaiknya dipisahkan kedalam 3 : kelas A, kelas B dan garis pembatasan berdasarkan tetapan keseimbangan untuk pembentukan kompleks ion logam atau ligan dalam larutan air. Semakin besar tetapan keseimbangan, semakin stabil kompleks logam tersebut didalam larutan. Pertimbangan seperti itu biasanya terbatas untuk keseimbangan anorganik daripada untuk sistem biologi. Toksisitas logam berat bagi makhluk hidup tergantung pada jenis logam, bentuknya dan organisme target yang terkena. Jenis dan bentuk logam yang paling toksik adalah logam timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) yang berikatan dengan senyawa organik tingkat racun logam berat menurut Miller (1995) ditunjukkan pada Tabel 2.



Tabel 2. Toksisitas Logam Berat

Logam Berat	Kisaran Tingkat Racun (ppm)
Ar/Arsen	3.000 – 60.000
Pb/Timah hitam (anorganik)	1.000 – 100.000
Pb/Timah hitam (organik)	0,02 – 300
Zn/Seng	200 – 20.000
Cu/Tembaga	20 – 100.000
Cd/Kadmium	0,1 – 50
Hg/Air raksa (anorganik)	5 – 4.000
Hg/Air raksa (organik)	0,2 – 8.000

Logam berat menjadi berbahaya jika terjadi bioakumulasi, yang berarti terjadi peningkatan konsentrasi unsur kimia tersebut dalam tubuh makhluk hidup sesuai piramida makanan. Akumulasi atau peningkatan konsentrasi logam berat di alam dapat mengakibatkan tingginya konsentrasi logam berat di tubuh manusia. Jumlah logam berat yang terakumulasi setara dengan jumlah logam berat yang tersimpan dalam tubuh organisme ditambah jumlah yang diambil dari makanan, minuman, atau udara yang terhirup. Jumlah logam berat yang terakumulasi akan lebih cepat dibandingkan dengan jumlah logam yang tereskresi dan terdegradasi (Martaningtyas, 2004)

Badan perairan yang telah kemasukan senyawa atau ion-ion Pb, sehingga jumlah Pb yang ada dalam badan perairan melebihi konsentrasi yang semestinya dapat mengakibatkan kematian bagi biota perairan tersebut. Konsentrasi Pb yang mencapai 188 mg/l dapat membunuh ikan-ikan. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan pada tahun 1979 (oleh Murphy P.M), diketahui bahwa biota-biota perairan seperti *Crustacea* akan mengalami kematian apabila pada badan perairan terdapat Pb dengan konsentrasi antara 2,75 – 49 mg/l. Sedangkan biota perairan golongan *Insecta* pada konsentrasi 3,5 – 64 mg/l (Palar, 2004).

Pb merupakan salah satu jenis logam berat yang diketahui juga beracun bagi makhluk hidup, termasuk manusia. Didalam sistem perairan Pb terdapat dalam bentuk kompleks, dengan gugus organik membentuk larutan koloidal atau dalam bentuk ion  $Pb^{++}$  dan  $PbCl^+$ . Sumber utama Pb berasal dari gugus alkali Pb yang digunakan sebagai bahan *additive* bensin. Komponen ini beracun terhadap seluruh aspek kehidupan. Pb menunjukkan beracun pada sistem syaraf, *hemetologik*, *hemetotoxic*, dan mempengaruhi kerja ginjal. Mobilitas Pb ditanah dan tumbuhan cenderung lambat dengan kadar normalnya pada tumbuhan berkisar 0,5 – 3 ppm (Suhendrayatna, 2001). Sedangkan menurut Palar (2004), senyawa Pb yang ada dalam perairan dapat ditemukan dalam bentuk ion-ion divalen atau ion-ion tetravalen ( $Pb^{2+}$  dan  $Pb^{4+}$ ), dimana berdasarkan penelitian ion  $Pb^{2+}$  lebih berbahaya dibandingkan ion tetravalen.

Logam berat dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagaimana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Logam berat akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia. Jalur masuknya adalah melalui kulit, pernapasan dan pencernaan. Logam berat jika sudah terserap ke dalam tubuh maka tidak dapat dihancurkan tetapi akan tetap tinggal didalamnya hingga nantinya dibuang melalui proses ekskresi (Nordberg, *et. al.*, 1986 dalam Anonymous, 2006)

Pb dapat menyerang sistem syaraf pusat, menghambat reaksi enzim, memperpendek umur sel darah merah, menurunkan jumlah sel darah merah, meningkatkan kandungan besi (Fe) dalam plasma darah, kerusakan otak besar, dan menghambat pada pertumbuhan rahim (Anonymous, 2005).

### 2.2.2 Mekanisme masuknya logam berat ke tubuh organisme

Logam akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup (tumbuhan, hewan, dan manusia). Logam ini akan masuk kedalam tubuh bersama makanan yang dikonsumsi dan telah terkontaminasi oleh logam-logam serta persenyawaannya. Dalam tubuh biota perairan jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan dengan adanya proses biomagnifikasi di badan perairan (Palar, 2004). Ada tiga jalan yang dapat ditempuh oleh air dan ion-ion yang terlarut bergerak menuju sel-sel xylem dalam akar, yaitu (1) melalui dinding sel (apoplas) epidermis dan sel-sel korteks, (2) melalui sistem sitoplasma (simplas) yang bergerak dari sel ke sel, dan (3) melalui sel hidup pada akar, dimana sitosol dari setiap sel membentuk suatu jalur ([www.letsbelajar.com](http://www.letsbelajar.com)).

Pemanfaatan sistem adsorpsi untuk pengambilan logam berat dari perairan telah banyak dilakukan. Beberapa spesies alga telah ditemukan mempunyai kemampuan yang cukup tinggi untuk mengadsorpsi ion logam, baik dalam keadaan hidup maupun dalam bentuk sel mati (biomassa). Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa gugus fungsi yang terdapat dalam dinding sel (sitoplasma) alga mampu melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama adalah gugus karboksil, hidroksil, sulfhidril, amino, iomodazol, sulfat, dan sulfonat yang terdapat didalam dinding sel dalam sitoplasma (Putra, 2006)

Menurut Harris dan Ramelow (1990) dalam Putra (2006), kemampuan alga dalam menyerap ion-ion logam sangat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti ukuran alga yang sangat kecil, berat jenis alga yang rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain. Untuk mengatasi kelemahan kemampuan alga dalam

menyerap logam tersebut dilakukan upaya mengimmobilisasi biomassa alga dengan menggunakan (1) Matrik polimer seperti polietilena glikol, akrilat, (2) oksida (oxides) seperti alumina, silika, (3) campuran oksida (mixed oxides) seperti kristal aluminasilikat, asam polihetero, dan (4) Karbon.

Berbagai mekanisme yang berbeda telah dipostulasikan untuk ikatan antara logam dengan alga/biomassa seperti pertukaran ion, pembentukan kompleks koordinasi, penyerapan secara fisik dan pengendapan mikro. Tetapi hasil penelitian menunjukkan bahwa mekanisme pertukaran ion antara logam dan alga adalah yang lebih dominan. Hal ini dimungkinkan karena adanya gugus aktif dari alga seperti karboksil, sulfat, sulfonat dan amina yang akan berikatan dengan ion logam (Putra, 2006).

Tumbuhan yang hidup di daerah tercemar memiliki mekanisme penyesuaian yang membuat polutan menjadi nonaktif dan disimpan di dalam jaringan tua sehingga tidak membahayakan pertumbuhan dan kehidupan tumbuhan. Polutan tersebut akan memberi pengaruh jika dikeluarkan melalui metabolisme jaringan atau jika tumbuhan tersebut di konsumsi. Pemberian polutan dapat merangsang kemampuannya untuk bertahan pada tingkat yang lebih toksik. ([www.letsbelajar.com](http://www.letsbelajar.com))

Tumbuhan memiliki kemampuan menyerap ion-ion dari lingkungannya kedalam tubuh melalui membran sel. penyerapan ion oleh tumbuhan dipengaruhi oleh (1) Faktor konsentrasi, kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi ion sampai tingkat konsentrasi tertentu, bahkan dapat mencapai beberapa tingkat lebih besar dari konsentrasi ion di dalam mediumnya. (2) Perbedaan kuantitatif akan kebutuhan hara yang berbeda pada tiap jenis tumbuhan, sel-sel akar tumbuhan umumnya mengandung konsentrasi ion yang lebih tinggi daripada medium sekitarnya. Beberapa penelitian telah

dilakukan untuk menunjukkan adanya hubungan antara laju pengambilan ion yang menyerupai hubungan antara laju reaksi yang dihantarkan enzim dengan konsentrasi substratnya, analogi ini menunjukkan adanya barrier khusus dalam membran sel yang hanya sesuai untuk suatu ion tertentu dan dapat menyerap ion tersebut, sehingga pada konsentrasi substrat yang tinggi semua barrier berperan pada laju maksimum hingga mencapai laju pengambilan jenuh ([www.letsbelajar.com](http://www.letsbelajar.com))

Mekanisme yang mungkin dilakukan rumput laut untuk menghadapi konsentrasi toksik berlebihan antara lain penanggulangan (ameliorasi), jika konsentrasi internal harus dihadapi dimana ion-ion akan dipindahkan dari tempat sirkulasi dengan beberapa jalan atau menjadi toleran di dalam sitoplasma. Ameliorasi sendiri dapat dilakukan dengan jalan lokalisasi (intraseluler dan ekstraseluler, biasanya terjadi di akar), eksresi (secara aktif melalui kelenjar pada tajuk atau secara pasif melalui akumulasi pada daun), dilusi (melalui pengenceran), inaktivasi (secara kimia). Selain ameliorasi ada juga secara toleransi, rumput laut mengembangkan sistem metabolic yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik ([www.letsbelajar.com](http://www.letsbelajar.com)).

## 2.3 Rumput Laut

### 2.3.1. Taksonomi rumput laut (*Gracillaria sp.*)

Trono (1988) menjelaskan, taksonomi dari rumput laut jenis *Gracillaria sp.* adalah sebagai berikut :

Phylum : Rhodophyta

Klass : Rhodophyceae

Subklass : Florideae

Ordo : Gigartinales

Famili : Gracillariaceae  
Genus : Gracillaria  
Spesies : *Gracillaria sp.*



Gambar 2. *Gracillaria sp*

(Casio exilim 7,2 mega pixel, tambak tradisional, Kecamatan Jabon, Sidoarjo)

(Warna rumput laut coklat dengan panjang 40 cm dan pembesaran 1 x)

### 2.3.2 Morfologi

Rumput laut merupakan bagian dari tanaman perairan (algae) yang diklasifikasikan kedalam kelas makroalga (Suptijah, 2002). Morfologi rumput laut tidak memperlihatkan adanya perbedaan antara akar, batang dan daun, secara keseluruhan tanaman ini mempunyai morfologi yang mirip walaupun sebenarnya berbeda. Semua bagian tubuh rumput laut disebut Thallus (Aslan, 1998). Menurut Indriani dan Sumiarsih (2001), rumput laut adalah jenis ganggang yang berukuran besar termasuk kedalam divisio Thallophyta yang merupakan tanaman tingkat rendah. Thallophyta merupakan divisi tanaman yang morfologinya hanya terdiri dari thalus, yaitu tidak mempunyai akar, batang dan daun sejati.

Menurut Atmadja dan Sulistijo (1999), bentuk thallus rumput laut bermacam-macam ada yang bulat seperti tabung, pipih, bulat seperti kantung, rambut dan sebagainya. Thalli ini ada yang berbentuk uniselluler (satu sel) dan ada yang multiselluler (banyak sel) (Anggadiredja, 1996). Sifat substansi thalii juga beraneka ragam ada yang lunak seperti gelatin (*gelatinous*), keras karena mengandung zat kapur (*calcareous*), lunak bagaikan tulang rawan (*cartilaginous*) dan berserabut (*spongiuous*) (Aslan, 1998).

Dinding rumput laut tersusun atas 2 lapisan yaitu lapisan dalam yang keras serta mengandung selulosa dan lapisan luar yang terdiri dari substansi pektin yang mengandung agar dan karaginan. Struktur anatomi thalli untuk setiap jenis rumput laut berbeda-beda, misalnya pada genus yang sama antara *Eucheuma spinosum* dengan *Eucheuma cottonii*, potongan thallus yang melintang mempunyai susunan sel yang berbeda. Perbedaan ini membantu dalam mengidentifikasi jenis genus ataupun famili. Pigmen yang terdapat dalam thallus rumput laut dapat digunakan dalam membedakan berbagai kelas (Aslan, 1998).

Ciri umum dari rumput laut jenis *Gracillaria sp.* menurut Aslan (1998) adalah *thalli* berbentuk silindris atau gepeng dengan percabangan, mulai dari yang sederhana sampai pada yang rumit dan rimbun, diatas percabangan umumnya bentuk *thalli* agak mengecil, perbedaan bentuk, struktur dan asal-usul pembentukan organ reproduksi sangat penting dalam perbedaan tiap spesies, warna *thalli* beragam, mulai dari warna hijau-coklat, merah, pirang, merah coklat dan sebagainya, Substansi *thalli* menyerupai gel atau lunak seperti tulang rawan.

Anonymous (2002), *Gracillaria sp.* memiliki spesifikasi berupa *Thalli* silindris, licin, berwarna kuning-coklat atau kuning hijau. Percabangan berselang-seling tidak beraturan, kadang-kadang berulang-ulang memusat ke bagian pangkal. Cabang-cabang lateral memanjang menyerupai rambut, ukuran panjang sekitar 250 mm.

Pengklasifikasian rumput laut didasarkan pada fragmentasinya artinya pengklasifikasian tersebut sesuai dengan warna yang terkandung pada rumput laut tersebut. Selain mempunyai klorofil rumput laut mempunyai zat warna yang berbeda-beda. Adanya perbedaan zat warna ini akan menimbulkan ciri rumput laut seperti hijau, biru, coklat dan merah (Anggadiredja, 1996).

### 2.3.3 Ekologi dan Penyebaran Rumput Laut

Tempat tumbuh rumput laut berfungsi untuk tempat menempel agar tahan terhadap terpaan ombak. Kebanyakan tempat menempel rumput laut berupa karang mati atau cangkang moluska, walaupun dapat juga berupa pasir atau lumpur (Indriani, 1991).

Menurut Anonymous (2002), *Gracillaria sp.* di alam terdapat menempel pada substrat batu atau benda lainnya. Menurut Aslan (1998), pertumbuhan *Gracillaria sp* umumnya lebih baik di tempat dangkal daripada di tempat dalam. Substrat tempat melekatnya dapat berupa batu, pasir, lumpur, kebanyakan lebih menyukai intensitas cahaya yang lebih tinggi. Rumput laut *Gracillaria* dapat hidup pada perairan yang tenang atau di tempat tergenang (kolam atau tambak), berdasar lumpur dan toleransi terhadap kisaran salinitas yang cukup besar. Dengan demikian diharapkan akan dapat memanfaatkan lahan yang ada, baik tambak atau perairan pantai dengan budidaya *Gracillaria* (Sulistijo, 1985).



Menurut Aslan (1998), perbedaan sifat dan biologis rumput laut di Indonesia mengakibatkan pula perbedaan cara penyebaran di wilayah negara kita. Di Indonesia algae jenis *Gracillaria sp.* mempunyai berbagai nama menurut daerahnya, misalnya “bulung sangu” (Bali) dan “rambu kasang” (Jawa Barat). Alga jenis ini sekarang merupakan tanaman budidaya di tambak yang banyak dijumpai di daerah Takalar, Sulawesi Selatan (Anonymous, 2002). Rumput laut dari genus *Gracilaria sp.* mempunyai daerah penyebaran yang meliputi daerah kepulauan seribu, perairan Jawa Barat, Jawa Tengah, Bali, dan Sulawesi (Afrianto dan Liviawaty, 1993).

Substrat dasar perairan secara alami digunakan oleh rumput laut untuk menempelkan tubuhnya. Perakaran yang dibangun thallus rumput laut adalah untuk tempat menempelkan tubuhnya bukan digunakan oleh seluruh permukaan thallus rumput laut. Menurut Azis (1992) dalam Shusana (2004), substrat yang umum ditumbuhi oleh rumput laut secara alami di perairan Indonesia adalah pasir dan karang. Dua jenis substrat ini berada di perairan dangkal di sekeliling kepulauan Indonesia.

#### **2.3.4 Kandungan dan manfaat rumput laut (*Gracillaria verrucosa*)**

Rumput laut jenis *Gracillaria sp.* merupakan salah satu jenis yang mempunyai kandungan agar-agar. Aslan (1998), jenis-jenis penghasil agar-agar antara lain *Gracillaria sp.*, *Gelidium sp.*, *Gelidiella sp.* dan *Gelidiopsis sp.* serta kelompok Carrageenan (*Eucheuma spinosum* dan *Hypnea sp.*). Rumput laut jenis *Gracillaria verrocosa* dapat menghasilkan agar-agar tiga kali lipat dibandingkan dari jenis lain.

Indriani dan Suminarsih (2003) menjelaskan, agar-agar merupakan asam sulfanik, yaitu ester dari galacto linear dan diperoleh dari mengekstraksi ganggang *Agarophyte* (ganggang yang mengandung agar-agar). Aslan (1998), agar-agar tidak larut

dalam air dingin, tetapi larut dalam air panas. Pada suhu 32-39° C berbentuk bekuan atau "solid" dan tidak mencair pada suhu dibawah 85° C.

Dalam industri farmasi agar-agar berguna sebagai pencahar atau peluntur dan kultur bakteri. Dalam industri kosmetika digunakan dalam pembuatan salep, cream, sabun dan pembersih muka atau lotion. Beberapa industri lain menggunakan agar-agar sebagai bahan "additive" atau tambahan, misalnya dalam beberapa proses pada industri kertas, tekstil, fotografi, semir sepatu, tapal gigi, pengalengan ikan atau daging (Aslan 1998).

#### 2.4 Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah merupakan penimbunan dari sebagian sisa dan sebagian dari pembentukan baru dari sisa tumbuhan dan hewan. Bahan ini adalah sisa yang tidak statis yang mengalami serangan jasad-jasad renik tanah. Bahan organik yang terkandung dalam tanah hanya sedikit, kira-kira hanya 3 sampai 5 % dari berat tanah dalam topsoil tanah mineral, meskipun sedikit tetapi memegang peran penting dalam menentukan kesuburan tanah (Buckman *et al*, 1982). Pada tanah mineral, bahan organik hanya tersedia dalam jumlah sedikit dari total volume tanah karena dipengaruhi oleh faktor utama yaitu ukuran organisme yang memanfaatkannya (Lavelle and Spain 2001).

Bahan organik merupakan sumber pokok dari dua unsur utama, yaitu fosfor dan sulfat serta merupakan satu-satunya sumber nitrogen. Pengaruhnya terhadap sifat-sifat fisika tanah, bahan organik mendorong meningkatkan daya menahan air tanah dan mempertinggi jumlah air yang tersedia (Buckman *et al*, 1982)

Wilson (1988) dalam Arisandi(2001), Menyatakan logam berat yang terlarut dalam air akan berpindah ke dalam sedimen jika berkaitan dengan materi organik bebas

atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen, dan penyerapan langsung oleh permukaan partikel sedimen. Materi organik dalam sedimen dan kapasitas penyerapan logam sangat berhubungan dengan ukuran partikel dan luas permukaan penyerapan, sehingga konsentrasi logam dalam sedimen biasanya dipengaruhi ukuran partikel dalam sedimen.

## 2.5 Kualitas Air

Darmono (1995), bioakumulasi logam dipengaruhi oleh suhu, salinitas dan pH. Kepekatan garam yang tinggi dapat menurunkan kandungan logam dalam sedimen. Kenaikan salinitas menyebabkan pH juga naik, sehingga kelarutan logam dalam air turun karena kestabilan berubah dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air, sehingga mengendap membentuk lumpur.

### 2.5.1 Salinitas

Salinitas dari pandangan oseanografi didefinisikan sebagai jumlah garam dari garam-garam yang terlarut dalam satu kilogram air laut, setelah semua karbonat diubah menjadi oksida, semua bromida dan iodine sudah ditransformasi sebagai klorida ekuivalen dan semua bahan organik telah dioksidasi. Meskipun dapat dinyatakan dalam mg/L, tetapi salinitas lebih sering dinyatakan dalam ppt (*part per thousand*) atau promil (Hariyadi *et al.*, 1992).

Salinitas secara umum dapat disebut sebagai jumlah kandungan garam dari suatu perairan, yang dinyatakan dalam permil. Kisaran salinitas air laut berada antara 0-40 ‰, yang berarti kandungan garam berkisar antara 0-40 g/kg air laut. Secara umum, salinitas permukaan rerata perairan Indonesia berkisar antara 32-34 (Pariwono, 1996). Salinitas

untuk pertumbuhan rumput laut jenis *Gracilaria* antara 15 – 30 permil, sedangkan salinitas optimalnya pada 25 permil. (Anonymous, 2007)

Aslan (1998) menjelaskan, kesuburan algae rumput laut sangat dipengaruhi oleh kadar garam atau salinitas, misalnya *Gracillaria sp.* kebanyakan mandul pada bulan-bulan yang bersalinitas tinggi (30-35 permill). Kualitas air yang dibutuhkan untuk budidaya rumput laut di tambak adalah salinitas berkisar antara 12 – 30 permill dengan kadar ideal adalah 15 – 25 permil.

Kenaikan salinitas menyebabkan kelarutan logam dalam air turun. Aktivitas logam dalam air akan menurun akibat penguapan, dengan adanya penguapan maka salinitas air laut akan meningkat sehingga kepekatan air akan menjadi tinggi. Tingginya kepekatan tersebut akan mempengaruhi ruang gerak logam berat sehingga aktivitas logam berat menurun, dengan demikian ketersediaan logam berat juga menurun (Malea, 1994 dalam Satwika, 2004)

### 2.5.2 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) didefinisikan sebagai logaritma negatif dari aktivitas ion hydrogen yang menunjukkan derajat keasaman atau kebasaan suatu perairan. Nilai pH akan berpengaruh terhadap kualitas plankton dan berpengaruh terhadap aktivitas bakteri dalam proses penguaraian bahan organik (Aleart dan santika, 1984). Derajat keasaman (pH) mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap tumbuhan dan hewan air, sehingga sering dipergunakan sebagai petunjuk baik buruknya keadaan lingkungan hidup. Derajat keasaman akan sangat berpengaruh terhadap proses asimilasi dan pernafasan bagi hewan air. Semakin rendah pH maka kandungan CO<sub>2</sub> bebas akan semakin tinggi. Keadaan ini biasanya terjadi pada siang hari (Arfiati, 1995).

Kondisi pH yang dapat ditolelir oleh rumput laut jenis *Gracilaria* untuk hidup merupakan daerah pertambakan pada kondisi basa, sedangkan kondisi optimal didapatkan pada pH 8. (Anonymous, 2007)

Odum (1971) menyatakan bahwa, pH merupakan salah satu indikator kualitas perairan yang sangat penting dan mempunyai pengaruh langsung dalam pengaturan sistem enzim pada organism perairan. Organisme biota akuatik sangat sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH sekitar 7-9, hal ini menyebabkan biota mampu bertahan pada kondisi perairan tercemar oleh logam berat karena pH berhubungan dengan adanya ikatan ionik dan ikatan kovalen pada logam berat Pb yang masuk ke perairan (Effendi, 2003).

### 2.5.3 Suhu

Proses kehidupan yang vital, yang secara kolektif disebut metabolisme, hanya berfungsi didalam kisaran 0-40<sup>0</sup>C (Romimohtarto dan Juwana, 2005). Suhu air laut adalah salah satu faktor yang amat penting bagi kehidupan organisme di lautan, karena suhu mempengaruhi baik aktivitas metabolisme maupun perkembangbiakan dari organisme-organisme tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya suhu antara lain : Intensitas cahaya matahari (Hutabarat dan Evans, 1985). Kondisi suhu untuk rumput laut jenis *Gracilaria* untuk tumbuh yaitu antara 20-40 °C, sedangkan suhu optimalnya pada 27-32 °C. (Anonymous, 2007). Dalam keadaan basah dapat tahan hidup di atas permukaan air dalam kondisi basah selama satu hari (Aslan, 1998).

Suhu akan mempengaruhi ketersediaan logam berat dalam perairan, dimana tingginya suhu dapat menurunkan ketersediaan logam berat yang ada dalam suatu perairan. Hal ini berhubungan dengan penyerapan sinar matahari yang masuk ke perairan, dimana semakin banyak intensitas cahaya matahari yang masuk maka ketersediaan logam berat dalam suatu perairan akan berkurang (Malea,1994 *dalam* Satwika, 2004).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



### 3. MATERI DAN METODE PENELITIAN

#### 3.1 Materi Penelitian

Materi yang diteliti pada penelitian ini adalah air tambak, rumput laut, dan sedimen.

##### 3.1.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian terdiri dari Es,  $\text{HNO}_3$ , 1 ml  $\text{KMNO}_4$  atau  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , larutan  $\text{MnSO}_4$  (120 gr  $\text{MnSO}_4$  dilarutkan dalam 250 ml  $\text{H}_2\text{O}$ ), asam sulfat pekat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), dan aquadest.

##### 3.1.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam kegiatan penelitian adalah Termometer Hg, salinometer, kertas pH, pipet ukur, pipet tetes, plastik dan *Ice box*, botol sampel.

#### 3.2 Metode Penelitian

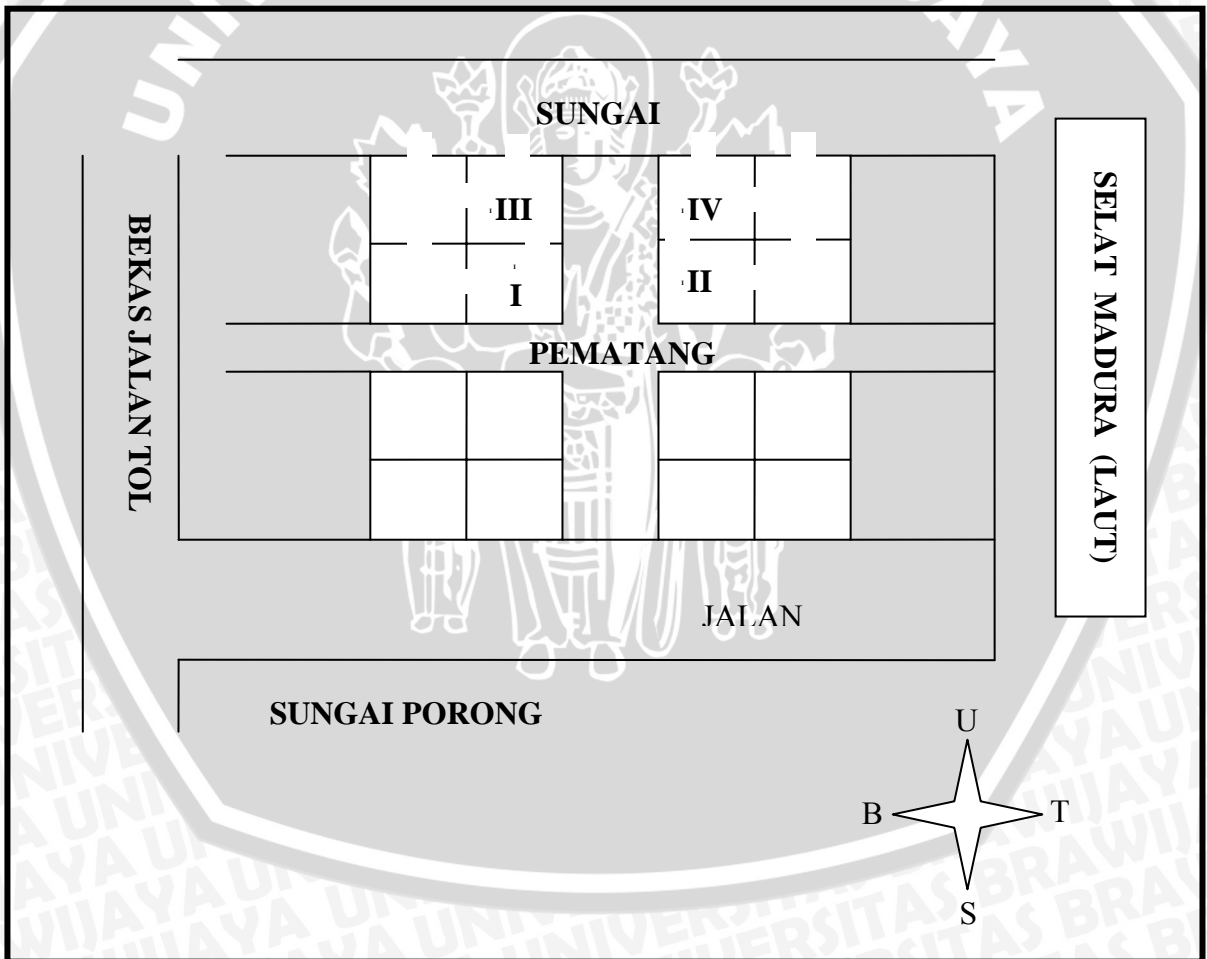
##### 3.2.1 Teknik Pengumpulan Data

Metode pengambilan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah survei, yaitu mengumpulkan, menyusun, menganalisa, dan menafsirkan data yang ada yang bertujuan untuk membuat diskripsi mengenai kejadian yang terjadi pada saat penelitian (Suryabrata, 1983).

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara pengambilan data langsung di lapang, secara observasi, wawancara dan dokumentasi dan kemudian dilakukan analisa di Laboratorium Ilmu-ilmu Perairan Fakultas Perikanan dan Laboratorium Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya Malang.

### 3.2.2 Penentuan Stasiun Pengamatan

Penentuan stasiun dan lokasi pengambilan sampel dimulai dengan melakukan pengamatan untuk mengetahui keadaan lapang secara umum. Stasiun yang ditetapkan merupakan daerah pertambakan yang berada di Kecamatan Jabon Kota Sidoarjo Jawa Timur. Stasiun tersebut merupakan tambak tambak polikultur dengan komoditas rumput laut, udang dan ikan bandeng. Sumber air tambak berasal dari sungai yang mengalir ke dalam tambak dan bermuara kearah selat Madura. Adapun denah lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Ket : I, II, III, dan IV : tambak yang digunakan untuk penelitian

Gambar 3. Denah Lokasi Penelitian



### 3.2.3 Prosedur Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga kali dalam selang waktu satu minggu pada tambak yang sama dengan organisme yang di pelihara adalah rumput laut, udang dan ikan bandeng. Dihitung laju penyerapan logam Pb oleh rumput laut, kadar Pb pada tanah (sedimen) dan air. Sampel diambil secara komposit yaitu sampel gabungan dari beberapa sampel sesaat (*grab sample*) yang diambil dari beberapa titik berbeda pada tempat yang sama, kemudian dikumpulkan dalam suatu wadah.

#### 3.2.3.1 Sampel Air

Sampel air diambil dari beberapa titik secara acak agar dapat mewakili secara keseluruhan tambak yang ada. Sampel air diukur berdasarkan kumpulan standar nasional Indonesia bidang pekerjaan umum mengenai kualitas air (Effendi, 2003).

Parameter air yang diukur adalah : pH, suhu, salinitas dan logam berat.

##### - pH (Diukur dengan menggunakan pH pen)

- Menyiapkan pH pen.
- Ambil air sampel diletakan dalam gelas
- Memasukan pH pen ke dalam gelas
- Dilihat nilai yang tertera pada pH pen tersebut.

##### - Suhu (Diukur dengan menggunakan termometer Hg)

- Thermometer dimasukan ke dalam perairan.
- Dibiarkan selama kurang lebih 1 menit sampai skala suhu pada thermometer menunjukkan skala yang stabil.
- Suhu langsung dibaca saat thermometer dalam air.

**- Salinitas (Diukur dengan menggunakan refraktometer)**

- Mengkonversi refraktometer dengan menggunakan air aquades.
- Mengambil sampel air tambak dengan pipet tetes, kemudian ditetaskan pada prisma refraktometer.
- Membaca angka yang tertera pada refraktometer.

**- Logam berat**

- Digunakan tiga titik pengambilan dengan menggunakan 3 buah botol, yaitu di air masuk, tengah tambak dan pintu keluar air.
- Botol dengan volume 250 ml dimasukan ke dalam air pada 3 titik pengambilan sampel.
- Setelah itu botol diangkat dan dicampurkan dalam satu wadah dengan air dari 2 titik yang lain dan dimasukan dalam satu botol.
- Ditetesi  $\text{HNO}_3$  pekat sehingga pH menjadi kurang dari dua.
- Botol ditutup, kemudian dimasukan dalam *cool box* yang sudah diisi es.
- Dibawa ke Laboratorium untuk dianalisa.

**3.2.3.2 Sedimen**

- Sedimen diambil dengan menggunakan sekop kecil pada beberapa titik agar mewakili tambak yang ada dan ditempatkan menjadi satu pada kantong plastik kapasitas 1 kg di es dalam cool box, kemudian sampel dibawa ke Laboratorium kimia Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya Malang.
- Diamati logam berat dan kadar Bahan Organik.

### 3.2.3.3 Rumput Laut

- Rumput Laut yang tumbuh di dasar perairan tambak diambil dari ujung hingga bagian akar pada tiga titik yaitu di air masuk, tengah tambak dan pintu air keluar, kemudian ditempatkan dalam satu wadah.
- Dimasukan pada kantong plastik yang telah diberi label hingga penuh.
- Dimasukan ke dalam *cool box*.
- Kemudian sampel dibawa ke Laboratorium kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang untuk di analisa kadar logam beratnya menggunakan metode AAS.

### 3.2.3.4 Analisa logam Pb pada Rumput laut

1. Sampel dipotong/dibuat menjadi kecil lalu ditimbang sebanyak 20 gr.
2. Sampel dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml.
3. Ditambahkan 5 ml larutan  $\text{HNO}_3$  pekat dan 15 ml larutan HCl pekat dengan perbandingan 1: 3.
4. Kemudian erlenmeyer dipanaskan di atas hotplate/pemanas hingga semua sampel larut.
5. Sampel didinginkan kemudian disaring dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml.
6. Sampel di ukur dengan menggunakan AAS.

### 3.2.3.5 Analisis Logam Berat Pb pada Air

1. Sampel diambil sebanyak 250 ml ke dalam beaker glass.
2. Ditambahkan 3 ml larutan  $\text{HNO}_3$  pekat dalam sampel.
3. Sampel dipanaskan di atas hotplate hingga volume mencapai 3-5 ml.
4. Sampel didinginkan dan disaring, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml.
5. Sampel diukur dengan menggunakan AAS.

### 3.2.3.6 Analisis Logam Berat Pb pada Tanah

1. Sampel ditimbang sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml.
2. Ditambahkan 5 ml larutan  $\text{HNO}_3$  pekat dan 15 ml larutan HCL pekat dengan perbandingan 1:3.
3. Kemudian erlenmeyer dipanaskan pada hotplate hingga semua sampel larut.
4. Sampel didinginkan dan disaring kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml.
5. Sampel diukur dengan menggunakan AAS.

### 3.2.4 Analisa Data

Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan regresi linier sederhana untuk melihat pengaruh kandungan logam berat yang terakumulasi dalam rumput laut, air tambak dan sedimen.

#### ▪ Regresi Linier Sederhana

Untuk mengetahui hubungan antara 2 variabel atau bilamana ingin meramal nilai suatu variabel berdasarkan pengetahuan tentang variabel lainnya, digunakan regresi

linier sederhana. Cara ini digunakan untuk menggunakan tingkat perubahan suatu variabel yang disebabkan variabel lain (Dajan, 1986). Kandungan logam berat Pb pada rumput laut dengan kandungan logam berat Pb air dan sedimen, dihitung dengan persamaan regresi linier sederhana sebagai berikut :

$Y = a + bX_1$  → hubungan kandungan Pb pada rumput laut dengan kandungan Pb dalam air.

$Y = a + bX_2$  → hubungan kandungan Pb pada rumput laut dengan kandungan Pb dalam sedimen.

Dimana : Y = kandungan logam berat Pb pada rumput laut

$X_1$  = kandungan logam berat Pb pada air

$X_2$  = kandungan logam berat Pb pada sedimen

Persamaan diatas menunjukkan bahwa setiap kali X meningkat satu satuan, maka Y akan meningkat sebanyak b kali satu satuan. Begitu nilai konstan (a dan b) dalam persamaan ditentukan, maka nilai Y dapat diramal untuk nilai X berapa pun. Jika nilai Y sebagai perbandingan dengan X ditempatkan di dalam bidang grafik, maka persamaan regresi ini akan membentuk garis yang akan menggambarkan hubungan tersebut dengan baik.

Sedangkan penjelasan perbandingan Pb yang terdapat di air dengan Pb yang terdapat di rumput laut dengan menggunakan analisa deskriptif. Peneliti akan menjelaskan atau menggambarkan kondisi perairan tambak dan penyerapan logam berat Pb oleh rumput laut sebagai parameternya.

Perhitungan laju penyerapan logam berat Pb oleh rumput laut dapat di gunakan rumus Dauglas (1997) sebagai berikut :

$$V = \frac{V_t - V_o}{T}$$

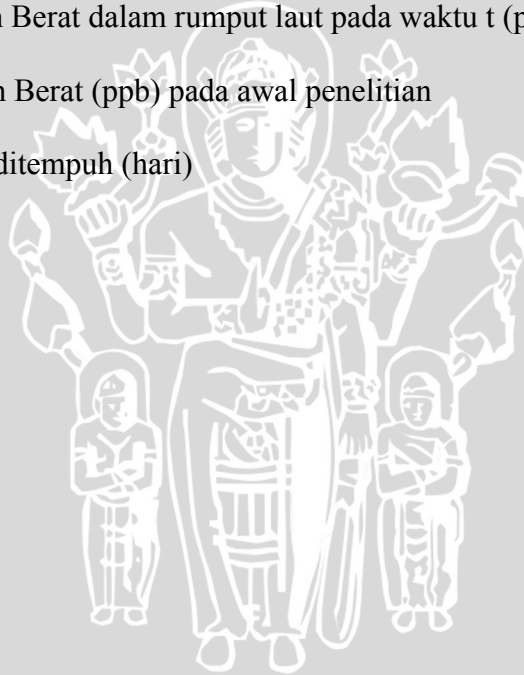
Dimana :

V : Laju Penyerapan Rumput Laut Terhadap Logam Berat (ppb/hari)

$V_t$  : Kadar Logam Berat dalam rumput laut pada waktu t (ppb)

$V_o$  : Kadar Logam Berat (ppb) pada awal penelitian

T : Waktu yang ditempuh (hari)



## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

Secara administrasi daerah Kecamatan Jabon berada di wilayah Kotamadya Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur. Dilihat dari letak geografinya Kecamatan Jabon terletak pada  $7^{\circ}43'41''$  -  $7^{\circ}49'04''$  LS sampai  $113^{\circ}10'$  -  $113^{\circ}15'$  BT dengan luas wilayah  $126.667 \text{ km}^2$ , ketinggian tempatnya berada pada 25 m dpl. Penggunaan lahan oleh masyarakat untuk persawahan/ladang, tambak, perumahan, dan sebagainya. Batas wilayah Kecamatan Jabon adalah sebagai berikut :

Sebelah Barat : berbatasan dengan Kecamatan Porong dan Kota Sidoarjo.

Sebelah Utara : berbatasan dengan Kecamatan Porong dan Kota Sidoarjo.

Sebelah Timur : berbatasan dengan Selat Madura.

Sebelah Selatan : berbatasan dengan Kabupaten Pasuruan.

Penelitian dilaksanakan di tambak tradisional yang terletak di Kecamatan Jabon sebelah Timur luapan lumpur Lapindo, Sidoarjo dan berbatasan langsung dengan sungai Porong.

Kecamatan Jabon terdiri dari 15 desa, dengan jumlah penduduk wanita sebanyak 22.577 orang sedangkan untuk pria sebanyak 21.614 orang. Sebagian besar penduduk Kecamatan Jabon bermata pencaharian sebagai petani dan pengusaha tambak tradisional. Komoditas yang dihasilkan dari tambak tersebut berupa ikan bandeng, rumput laut, dan udang. Rumput laut yang dihasilkan akan dikirim ke pabrik agar-agar yang berada di Kabupaten Pasuruan.

## 4.2 Keadaan Tambak

### a. Tambak I

Tambak I merupakan tambak yang terletak di sebelah Selatan dan jauh dari sumber air (sungai kecil) dibandingkan dengan tambak lain. Sungai yang mengalir ke dalam tambak berasal dari selat Madura yang sengaja dibuat oleh pemilik tambak guna mendapatkan masukan air dari laut. Tambak ini ditumbuhi sedikit mangrove dengan luas 20 x 50 m<sup>2</sup>. Organisme yang terdapat dalam tambak adalah ikan bandeng dan rumput laut jenis *Gracilaria sp.*. Lokasi tambak I dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tambak I

(Casio exilim 7,2 mega pixel, tambak tradisional, Kecamatan Jabon, Sidoarjo)

### b. Tambak II

Tambak II terletak di sebelah timur dari tambak I, sehingga jauh dari sumber air seperti pada tambak I. Luas tambak II adalah sebesar 30 x 70 m<sup>2</sup>. Mangrove yang tumbuh di tepi tambak lebih banyak jika dibandingkan dengan tambak I. Organisme yang terdapat dalam tambak berupa ikan, udang, dan rumput laut (*Gracilaria sp.*). Adapun lokasi tambak II dapat dilihat pada Gambar 5.





Gambar 5. Tambak II

(Casio exilim 7,2 mega pixel, tambak tradisional, Kecamatan Jabon, Sidoarjo)

c. Tambak III

Tambak III dengan luas tambak sebesar  $25 \times 50 \text{ m}^2$  dan berada di sebelah Utara dari tambak I ataupun tambak II. Terletak lebih dekat dengan sumber air dengan ditumbuhi banyak pohon mangrove di pinggiran tambak (gambar 6). Adapun organisme yang terdapat didalam tambak tersebut yaitu ikan bandeng, udang, dan rumput lau jenis *Gracilaria sp.*



Gambar 6. Tambak III

(Casio exilim 7,2 mega pixel, tambak tradisional, Kecamatan Jabon, Sidoarjo)

#### d. Tambak IV

Tambak IV terletak di sebelah timur dari tambak III, juga dekat dengan sumber air. Luas tambak IV adalah sekitar 20 x 50 m<sup>2</sup> dengan ditumbuhi pohon mangrove disekitar tambak (gambar 7). Pada tambak ini memiliki naungan yang lebih sedikit dibandingkan dengan lokasi tambak yang lainnya. Organisme yang terdapat didalamnya antara lain ikan bandeng, udang, dan rumput laut jenis *Gracilaria sp.*



Gambar 7. Tambak IV

(Casio exilim 7,2 mega pixel, tambak tradisional, Kecamatan Jabon, Sidoarjo)

### 4.3 Kondisi Kualitas Air Tambak

#### 4.3.1 Suhu

Suhu pada masing-masing tambak berkisar antara 29-33 °C (Tabel 3), nilai tersebut masih mendukung untuk kelangsungan hidup organisme. Sesuai dengan pendapat Darmono (2001), ikan dan organisme perairan lainnya di daerah tropik seperti Indonesia dapat hidup baik pada suhu optimum 28-33 °C.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Suhu Pada Tambak (dalam °C)

Tambak	Minggu I	Minggu II	Minggu III	Rata-rata
I	29	32	31	30,6
II	29	31	31	30,3
III	32	32	33	32,3
IV	31	32	32	31,6

Nilai suhu yang diperoleh pada setiap tambak bervariasi, hal tersebut dapat terjadi karena setiap tambak memiliki daerah naungan yang berbeda sehingga dapat mempengaruhi intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalamnya. Suhu rata-rata tertinggi diperoleh pada tambak III, yaitu sebesar 32,3 °C. Suhu pada tambak III diduga disebabkan karena sedikit naungan yang ada di sekitarnya sehingga intensitas matahari langsung masuk ke dalam perairan tambak dapat mempengaruhi suhu yang ada di perairan. Suhu rata-rata dengan nilai terendah ditemukan di tambak II (30,3 °C). Hal ini disebabkan naungan yang terdapat di tambak II lebih lebat, sehingga sinar matahari yang masuk terhalang oleh naungan tersebut. Daerah tambak II lebih teduh dan suhunya lebih rendah daripada tambak lainnya.

Menurut Dahuri (2003), suhu suatu perairan dipengaruhi oleh radiasi matahari, posisi matahari, musim, letak geografis, kondisi awan, serta proses interaksi antara air dan udara. Menurut Malea, (1994) dalam Satwika, (2004) tingginya suhu dapat menurunkan ketersediaan logam berat yang ada dalam suatu perairan. Hal ini berhubungan dengan penyerapan sinar matahari yang masuk ke perairan, Makin banyak intensitas cahaya matahari yang masuk maka ketersediaan logam berat dalam suatu

perairan akan berkurang, karena kenaikan suhu perairan dapat mempengaruhi kenaikan salinitas, sehingga kelarutan logam dalam air akan menurun. Pada salinitas tinggi senyawa logam akan berubah dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel padat pada badan air, sehingga mengendap membentuk lumpur.

#### 4.3.2 Derajat Keasaman (pH)

Kadar pH di perairan tambak kecamatan jabon masih dalam kisaran normal berkisar antara 7,3-8,5. Kep-02/MENKLH/I/1988 dalam Anonymous (2004) tentang baku mutu air untuk biota perairan (Budidaya Perairan), pH perairan yang mendukung untuk kelangsungan hidup suatu organisme berkisar antara 6 – 9. Nilai pH tertinggi ditemukan pada tambak IV, yaitu sebesar 8,26. Pada tambak tersebut memiliki sedikit naungan, sehingga intensitas cahaya matahari yang masuk kedalam tambak lebih besar dibandingkan dengan tambak yang lainnya.

Tabel 4. Hasil Pengukuran pH Pada Tambak

Tambak	Minggu I	Minggu II	Minggu III	Rata-rata
I	7,4	7,7	7,3	7,46
II	7,8	7,5	7,7	7,66
III	8,2	8,3	8,0	8,16
IV	8,1	8,5	8,2	8,26

Menurut Wiadnya (1994) fotosintesis yang dilakukan tumbuhan akuatik akan mengambil karbondioksida dari air selama siang hari, hal ini akan menyebabkan pH naik. Sedangkan menurut Odum (1971) bahwa pH merupakan salah satu indikator kualitas perairan yang sangat penting dan mempunyai pengaruh langsung dalam pengaturan sistem enzim pada organisme perairan. Menurut palar (2004) umumnya

logam-logam dalam tanah dan perairan membentuk persenyawaan seperti senyawa hidroksida, oksida, karbonat, dan senyawa sulfida. Senyawa tersebut sangat mudah larut dalam air. Namun, pada badan air yang mempunyai pH mendekati normal atau pada kisaran 7-8, kelarutan senyawa-senyawa ini cenderung stabil. Di lingkungan perairan, bentuk logam antara lain berupa ion-ion bebas, pasangan ion organik, dan ion kompleks dimana kelarutannya dikontrol oleh pH. Kenaikan pH menurunkan kelarutan logam dalam air, karena kenaikan pH mengubah kestabilan bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air, sehingga akan mengendap membentuk lumpur.

#### 4.3.3 Salinitas

Nilai salinitas yang diperoleh berkisar antara 24-27 ‰ dengan nilai rata-rata 26,3 ‰ (tabel 5). Pada setiap tambak memiliki nilai salinitas yang hampir sama, karena memiliki masukan air sumber yang sama. Selain itu pengambilan sampel dilakukan pada waktu yang bersamaan pada setiap minggunya. Menurut Malea, (1994) dalam Satwika, (2004) Kenaikan salinitas akan menyebabkan kelarutan logam dalam air menurun. Aktivitas logam dalam air akan menurun akibat penguapan. Salinitas air juga akan meningkat dengan adanya penguapan sehingga meningkatkan kepekatan air. Tingginya kepekaan tersebut akan mempengaruhi ruang gerak logam berat sehingga aktivitas logam berat menurun, dengan demikian ketersediaan logam berat juga menurun.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Salinitas Pada Tambak (dalam ‰)

Tambak	Minggu I	Minggu II	Minggu III	Rata-rata
I	26	25	27	26
II	26	26	27	26,3
III	26	26	27	26,3
IV	26	26	27	26,3

Menurut Wibisono (2005) proses pengendapan yang didahului dengan proses adsorpsi dari tiap partikel yang bermuatan ion merupakan fungsi dari salinitas. Makin tinggi tingkat salinitas yang biasanya makin ke arah laut, proses bersatunya partikel yang bermuatan tersebut makin bervariasi. Dengan peningkatan salinitas, kekuatan tarik menarik antar partikel akan lebih kuat, sehingga saat partikel saling bertabrakan, akan membentuk gumpalan yang memungkinkan untuk mengendap di dasar perairan.

#### 4.3.4 Kondisi Bahan Organik Tanah

Bahan organik adalah sisa-sisa tumbuhan, hewan atau organisme-organisme yang telah mati yang sedang ataupun telah mengalami proses dekomposisi. Nilai kandungan bahan organik tanah pada masing-masing tambak dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Kandungan Bahan Organik Tanah pada Lokasi Penelitian

Tambak	Bahan Organik
I	1,32 %
II	1,51 %
III	2,18 %
IV	2,26%

Berdasarkan Tabel 6 diperoleh nilai kandungan bahan organik tanah pada masing-masing tambak adalah : tambak I sebesar 1,32 % ; tambak II sebesar 1,51 % ; tambak III sebesar 2,18 % dan tambak IV sebesar 2,26 % . Kriteria kandungan bahan organik tanah menurut Sutanto (2005) dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Kriteria Kandungan Bahan Organik Tanah

Kandungan bahan organik (%)	Kriteria
< 0,5	Rendah
0,5 – 1	Sedang – rendah
1 – 2	Sedang
2 – 4	Tinggi
4 – 8	Berlebihan
8 – 15	Sangat Berlebihan
> 15	Gambut

Berdasarkan tabel 7 dapat diketahui bahwa kondisi bahan organik di tiap tambak termasuk dalam kriteria sedang hingga tinggi. Bahan organik tanah pada kadar tinggi diperoleh pada tambak III dan IV, dekat dengan sumber air sehingga mendapat lebih banyak masukan bahan organik di bandingkan dengan tambak I dan II. Air tawar yang dibawa masuk oleh sungai yang membawa bahan organik dari limbah rumah tangga akan mengendap di dasar tambak sehingga dapat mempengaruhi jumlah bahan organik yang terdapat pada sedimen. Selain itu juga pembusukan dari daun-daun mangrove yang berguguran juga dapat mempengaruhi kandungan bahan organik yang ada ditambak. Wilson (1988) dalam Arisandi (2001) menyatakan bahwa logam berat yang terlarut dalam air akan berpindah ke dalam sedimen jika berkaitan dengan materi organik bebas

atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen, dan penyerapan langsung oleh permukaan partikel sedimen. Materi organik dalam sedimen dan kapasitas penyerapan logam sangat berhubungan dengan ukuran partikel dan luas permukaan penyerapan, sehingga konsentrasi logam dalam sedimen biasanya dipengaruhi ukuran partikel dalam sedimen.

#### 4.4 Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dalam Air

Pada waktu diadakan penelitian diperoleh rata-rata kandungan Timbal (Pb) pada air di perairan tambak berkisar antara 0,21-0,24 ppm (tabel 8). Kandungan logam berat Pb pada air tambak tersebut masih dalam kondisi normal. Saeni (1997) dalam Margono (2007) menjelaskan bahwa kandungan logam berat Pb pada konsentrasi 2,3 – 2,5 mg/l dapat mematikan ikan dan akan menimbulkan efek keracunan, yaitu kerusakan pada selaput lendir. WHO menetapkan batas kandungan Pb di dalam air sebesar 1 mg/l. Darmono (2001) mengatakan, logam berat secara alamiah didalam air dapat ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit sekali, yaitu kurang dari 1 ppm. Bila terjadi erosi alamiah, konsentrasi logam tersebut dapat meningkat.

Tabel 8. Hasil Pengukuran Logam Berat Timbal (Pb) dalam Air ( ppm)

Tambak	Minggu I	Minggu II	Minggu III	Rata-rata
I	0,19	0,22	0,23	0,21
II	0,16	0,25	0,31	0,24
III	0,19	0,22	0,31	0,24
IV	0,18	0,25	0,29	0,24

Dalam mempelajari konsentrasi logam berat Pb dalam lingkungan perairan terlebih dahulu perlu diketahui tujuan dan pengetahuan mengenai *spesiasi* logam. Sifat atau tingkah laku logam dalam lingkungan perairan sangat tergantung dari karakteristik logam yang bersangkutan atau lazim disebut spesiasi logam. Spesiasi suatu logam akan



mempengaruhi hadirnya logam tersebut dalam jaringan biologik (*bioavailability*) dan toksisitasnya terhadap biota, transportasi dan mobilisasi serta interaksi dengan sedimen atau tanah. Ikatan logam berat dalam suatu bentuk senyawa kimiawi di dalam air sangat berbeda-beda tergantung pada jenis air yang terkandung didalamnya.

#### 4.5 Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Sedimen

Kandungan logam berat pada sedimen 4,27 sampai dengan 8,15 mg/l (tabel 9), nilai tersebut belum melampaui ambang batas, karena berdasarkan *Reseau National d'Observation* (RNO) dalam Rochyatun (2003), kandungan logam berat Pb pada sedimen yang terkontaminasi berkisar antara 10-70 mg/l. Masuknya bahan pencemar kedalam perairan akan dipekatkan oleh proses fisika dan kimiawi dengan pengendapan didasar dan sebagian akan diserap oleh organisme yang ada di perairan tersebut, sehingga besarnya kandungan logam berat Pb pada sedimen akan berpengaruh terhadap besarnya kandungan logam berat Pb yang ada di rumput laut, dimana rumput laut juga ada yang hidup didasar perairan (lampiran 2).

Tabel 9. Hasil Pengukuran logam Berat Pb Pada Sedimen (dalam mg/l)

Tambak	Minggu I	Minggu II	Minggu III	Rata-rata
I	4.23	4.3	4.3	4.27
II	5.88	5.88	5.88	5.88
III	8.11	8.16	8.17	8.15
IV	6.51	6.52	6.52	6.51

Kandungan logam berat di sedimen yang tertinggi didapat pada tambak III yaitu 8,15 mg/l. Hal tersebut dapat terjadi karena letak tambak III dekat dengan sumber air, dan mendapatkan masukan bahan pencemar yang cukup tinggi. Bahan pencemar yang terbawa masuk kedalam tambak tersebut tercampur dengan lumpur, sehingga akan

langsung mengendap didasar perairan. Selain itu tidak adanya turbulensi pada tambak sehingga bahan pencemar yang masuk langsung mengendap didasar perairan.

Tingginya kandungan logam berat dalam sedimen disebabkan karena peran lumpur dalam pengikatan logam berat pada sedimen. Lumpur pada sedimen di daerah muara sungai mempunyai kemampuan untuk menyerap unsur hara sehingga cenderung bersifat ligan. Lumpur yang bersifat ligan merupakan suatu senyawa yang mempunyai dua atau lebih pasangan elektron yang bebas sehingga dapat mengikat elektron-elektron positif dari suatu atom unsur logam membentuk suatu ikatan kompleks dengan logam berat dalam perairan (Pulich, 1980 *dalam* Kiswara , 1994)

#### 4.6 Kandungan Serta Laju Penyerapan Logam Berat Pb Pada Rumput Laut

Kandungan logam berat rata-rata pada masing-masing stasiun mulai dari tambak I sampai IV antara lain adalah 1,2 ppm ; 0,56 ppm ; 1,07 ppm dan 1,05 ppm (tabel 10). Selain itu juga di peroleh hasil dari daya serap rumput laut terhadap logam berat Pb pada masing-masing tambak mulai dari tambak I sampai IV pada 7 hari pertama adalah 0,111 ppm/hari ; -0,005 ppm/hari ; 0,057 ppm/hari ; 0,042 ppm/hari. Sedangkan pada 7 hari kedua diperoleh daya serap rumput laut dari tambak I sampai IV antara lain 0,008 ppm/hari ; 0,02 ppm/hari ; 0,007 ppm/hari ; 0,008 ppm/hari.

Tabel 10. Hasil Pengukuran Laju Penyerapan Logam Berat Pb Pada Rumput Laut (ppm/hari).

Tambak	Minggu I	Minggu II	Minggu III	Rata-rata	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>
I	0.66	1.44	1.5	1.2	0.11143	0.00857
II	0.54	0.5	0.64	0.56	-0.0057	0.02
III	0.79	1.19	1.24	1.07	0.05714	0.00714
IV	0.83	1.13	1.19	1.05	0.04286	0.00857

Ket : V<sub>1</sub> dan V<sub>2</sub> = Laju Penyerapan ( ppm/hari )

Mengacu dari data yang ada diperoleh hasil bahwa konsentrasi kandungan logam berat Pb pada setiap tambak tidak menunjukkan perbedaan yang berarti. Hal tersebut dapat terjadi karena diduga setiap tambak yang diteliti diambil pada tempat yang sama dan juga memiliki sumber air yang sama yaitu air yaitu berasal dari selat madura yang melalui sungai-sungai kecil, sehingga masukan logam kedalam tambak diduga sama. Dilihat dari padat sebarunya pada setiap tambak juga hampir sama, sehingga akumulasi logam berat yang terdapat di rumput laut juga hampir sama. Selain itu juga kualitas air yang ada juga tidak mengalami perbedaan yang drastis, dimana kualitas air secara tidak langsung dapat mempengaruhi kandungan logam berat yang ada ditambak. Kepekatan garam yang tinggi dapat menurunkan kandungan logam yang ada, kestabilan senyawa logam berubah dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air, sehingga mengendap membentuk lumpur. Mulyanto (1992) menyatakan bahwa akumulasi logam dipengaruhi oleh suhu dan salinitas. Pada salinitas tetap dengan suhu semakin tinggi didapatkan tingkat bioakumulasi tinggi, sedangkan pada suhu tetap salinitas makin rendah tingkat bioakumulasi makin tinggi.

Daya serap rumput laut terhadap kandungan logam berat Pb pada setiap tambak, juga tidak terlalu berbeda. Rumput laut paling banyak menyerap terjadi pada 7 hari pertama dibandingkan dengan 7 hari kedua, hal tersebut diduga karena umur dari rumput laut tersebut. Umur diduga mempengaruhi tingkat penyerapan rumput laut terhadap logam berat Pb, dimana semakin tua umur rumput laut semakin tinggi tingkat bioakumulasinya, tetapi semakin lambat laju penyerapannya. Selain itu penumpukan bahan-bahan organik serta unsur hara yang lain dan akumulasi logam berat yang sebelumnya juga mempengaruhi laju penyerapan rumput laut terhadap logam berat Pb.

Logam akan masuk ke dalam tubuh biota perairan bersama dengan makanan (unsur hara) yang dikonsumsi, didalam tubuh biota perairan jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan dengan adanya proses biomagnifikasi di badan perairan (Palar, 2004) Logam akan terakumulasi pada tumbuhan setelah membentuk kompleks dengan unsur-unsur atau senyawa lainnya ([www.letsbelajar.com](http://www.letsbelajar.com)). Rumput laut yang digunakan pada penelitian ini berumur sekitar 4-7 minggu.

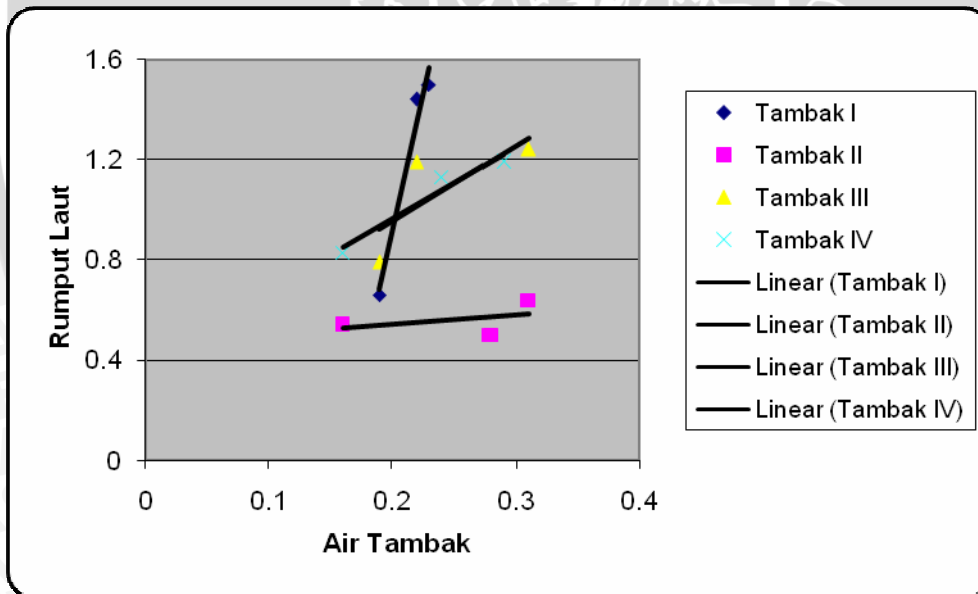
#### 4.7 Hubungan Antara Kandungan Pb Pada Rumput Laut Dengan Kandungan Pb Dalam Air Pada Setiap Tambak

Berdasarkan hasil analisa regresi linier sederhana terhadap kandungan Pb pada rumput laut dengan kandungan Pb pada air tambak disetiap tambaknya diperoleh persamaan sebagai berikut : tambak I :  $Y_{reg} = 22,154x_1 - 3,526$  ;  
tambak II :  $Y_{reg} = 0,381x_1 + 0,464$  ; tambak III  $Y_{reg} = 3,0128x_1 + 0,350$  ;  
tambak IV  $Y_{reg} = 2,860x_1 + 0,391$ .

Persamaan di atas dapat diartikan bahwa dengan kenaikan kandungan logam Pb yang terdapat pada air tambak maka akan diikuti dengan kenaikan kandungan logam Pb pada rumput laut pada setiap tambak kecuali pada tambak I (grafik 1). Pada tambak I terjadi kenaikan logam Pb pada air akan diikuti penurunan kandungan logam Pb pada rumput laut. Hal tersebut dapat terjadi karena pada tambak I memiliki kualitas air yang lebih rendah dibandingkan dengan tambak yang lainnya. Sehingga secara keseluruhan perbandingan Pb antara air tambak dengan kandungan Pb pada rumput laut berbanding lurus (Dajan, 1986). Berdasarkan persamaan 2 dan 3 maka dapat diduga rumput laut merupakan biofilter akan menyerap bahan pencemar yang ada diperairan melalui pemekatan proses kimiawi, sehingga logam berat banyak diserap oleh rumput laut

sehingga kandungan logam berat yang ada di rumput laut akan bertambah dengan seiring bertambahnya kandungan logam berat Pb yang ada diperairan. Bahan pencemar yang masuk ke ekosistem akan disebarkan oleh arus yang disebabkan oleh masukan air kedalam tambak. Darmono (2001) menyatakan bahwa semua spesies yang hidup dalam air sangat terpengaruh oleh hadirnya logam yang terlarut dalam air, terutama pada konsentrasi yang melebihi normal, proses akumulasi logam dalam jaringan terjadi setelah absorpsi logam dari air atau melalui pakan yang terkontaminasi.

Gambar 8. Grafik Hubungan kandungan Pb pada air tambak dengan Kandungan Pb pada rumput laut pada Tambak I – IV



- Keterangan :
- Tambak I :  $y = 22.15x - 3.526$   $r = 0.31$
  - Tambak II :  $y = 0.381x + 0.4646$   $r = 0,136$
  - Tambak III :  $y = 3.012x + 0.350$   $r = 0.214$
  - Tambak IV :  $y = 2.860x + 0.392$   $r = 0.321$

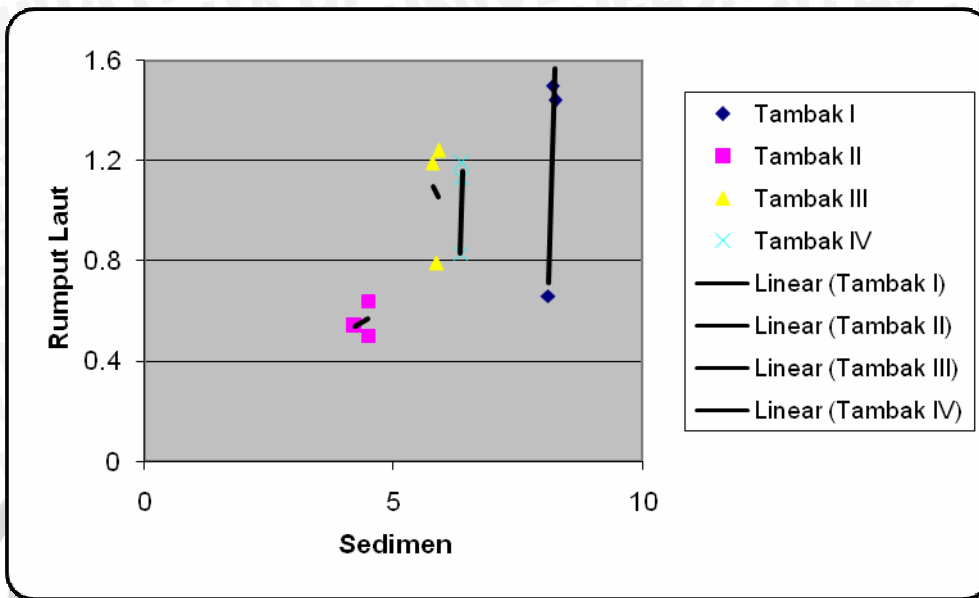
#### 4.8 Hubungan Antara Kandungan Pb Pada Rumput Laut Dengan Kandungan Pb Dalam Sedimen Pada Setiap Tambaknya

Berdasarkan hasil analisa regresi linier sederhana kandungan Pb pada rumput laut dengan kandungan Pb pada sedimen disetiap tambak diperoleh persamaan sebagai berikut : tambak I :  $Y_{\text{reg}} = 6,1154x_2 - 48,82$  ; tambak II :  $Y_{\text{reg}} = 0,111 x_2 + 0,07$  ; tambak III :  $Y_{\text{reg}} = -0,3571x_2 + 3,168$  ; Tambak IV :  $Y_{\text{reg}} = 8,25x_2 - 51,64$ .

Berdasarkan dari grafik hasil analisa kandungan Pb pada rumput laut dengan kandungan Pb pada sedimen, dapat ditarik kesimpulan bahwa setiap kenaikan Pb pada sedimen (grafik 2) akan diikuti dengan kenaikan Pb pada rumput laut. Dengan kata lain perbandingan kandungan Pb antara sedimen dengan kandungan Pb pada rumput laut adalah berbanding lurus (Dajan, 1986). Rumput laut bersifat biofilter dan hidup didasar tambak sehingga besarnya kandungan Pb pada rumput laut akan diikuti dengan besarnya kandungan Pb pada sedimen.

Pulich (1980) dalam Kiswara (1994) menyatakan bahwa kadar logam berat dalam sedimen mempunyai korelasi yang positif, dimana semakin banyak kandungan lumpur dalam sedimen maka semakin tinggi kandungan kandungan logam berat yang terdapat pada sedimen tersebut. Hal ini disebabkan karena peran lumpur dalam pengikatan logam berat pada sedimen efektif, yang mana lumpur pada sedimen di daerah muara sungai mempunyai kemampuan untuk menyerap unsur hara sehingga cenderung bersifat ligan, karena lumpur yang bersifat ligan merupakan suatu senyawa yang mempunyai dua atau lebih pasangan elektron yang bebas yang dapat mengikat elektron-elektron positif dari suatu atom unsur logam (membentuk suatu ikatan kompleks dengan logam berat dalam perairan).

Gambar 9. Grafik Hubungan kandungan Pb pada sedimen dengan Kandungan Pb pada rumput laut pada Tambak I – IV



- Keterangan :
- Tambak I :  $y = 6.115x - 48.82$   $r = 0.282$
  - Tambak II :  $y = 0.111x + 0.07$   $r = 0.023$
  - Tambak III :  $y = -0.357x + 3.168$   $r = 0.021$
  - Tambak IV :  $y = 8.25x - 51.64$   $r = 0.321$

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Logam berat yang terkandung pada air tambak pada penelitian ini berkisar antara 0,21 – 0,24 ppm.
2. Logam berat yang terkandung pada sedimen berkisar antara 4,27 – 8,15 mg/l. Kandungan logam berat tersebut belum melampaui ambang batas.
3. Logam berat yang terkandung pada rumput laut berkisar antara 0,5 – 1,2 ppm, sedangkan laju penyerapan rumput laut terhadap logam berat Pb didapatkan pada 7 hari pertama antara – 0,005 hingga 0,111 ppm/hari, dan pada 7 hari kedua antara 0,00714 – 0,02 ppm/hari. Penyerapan paling banyak terjadi pada 7 hari pertama, hal tersebut diduga karena karena umur dari rumput laut tersebut. Umur diduga mempengaruhi tingkat penyerapan rumput laut terhadap logam berat Pb, dimana semakin tua umur rumput laut semakin tinggi tingkat bioakumulasinya, tetapi semakin lambat laju penyerapannya..
4. Kondisi kualitas air pada tambak diperoleh nilai, yaitu : suhu antara 30 – 33 °C ; salinitas antara 24 – 27 ‰ ; pH antara 7 – 8 ; Bahan organik tanah antara 1,32 % - 2,26 %.
5. Hasil analisa regresi linier sederhana kandungan Pb pada rumput laut dengan kandungan Pb pada air disetiap tambak, diperoleh persamaan yang berbanding lurus, makin meningkatnya kandungan Pb pada air akan diikuti dengan kenaikan kandungan Pb yang terdapat pada rumput laut.



6. Hasil regresi linier sederhana antara kandungan Pb pada rumput laut dengan kandungan Pb yang terdapat pada sedimen disetiap tambak, diperoleh persamaan yang berbanding lurus. Dimana apabila kandungan Pb pada sedimen naik maka akan diikuti dengan kenaikan kandungan Pb yang terdapat pada rumput laut.

## 5.2 Saran

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penyerapan maksimum dari rumput laut *gracillaria sp.* dengan perlakuan yang sama pada rumput lautnya.
2. Berdasarkan hasil analisa kandungan Pb pada rumput laut jenis *gracillaria sp.* mempunyai penyerapan yang paling banyak, sehingga hal ini dapat dijadikan suatu acuan untuk memonitoring suatu pencemaran lingkungan dengan menggunakan bioindikator jenis rumput laut.

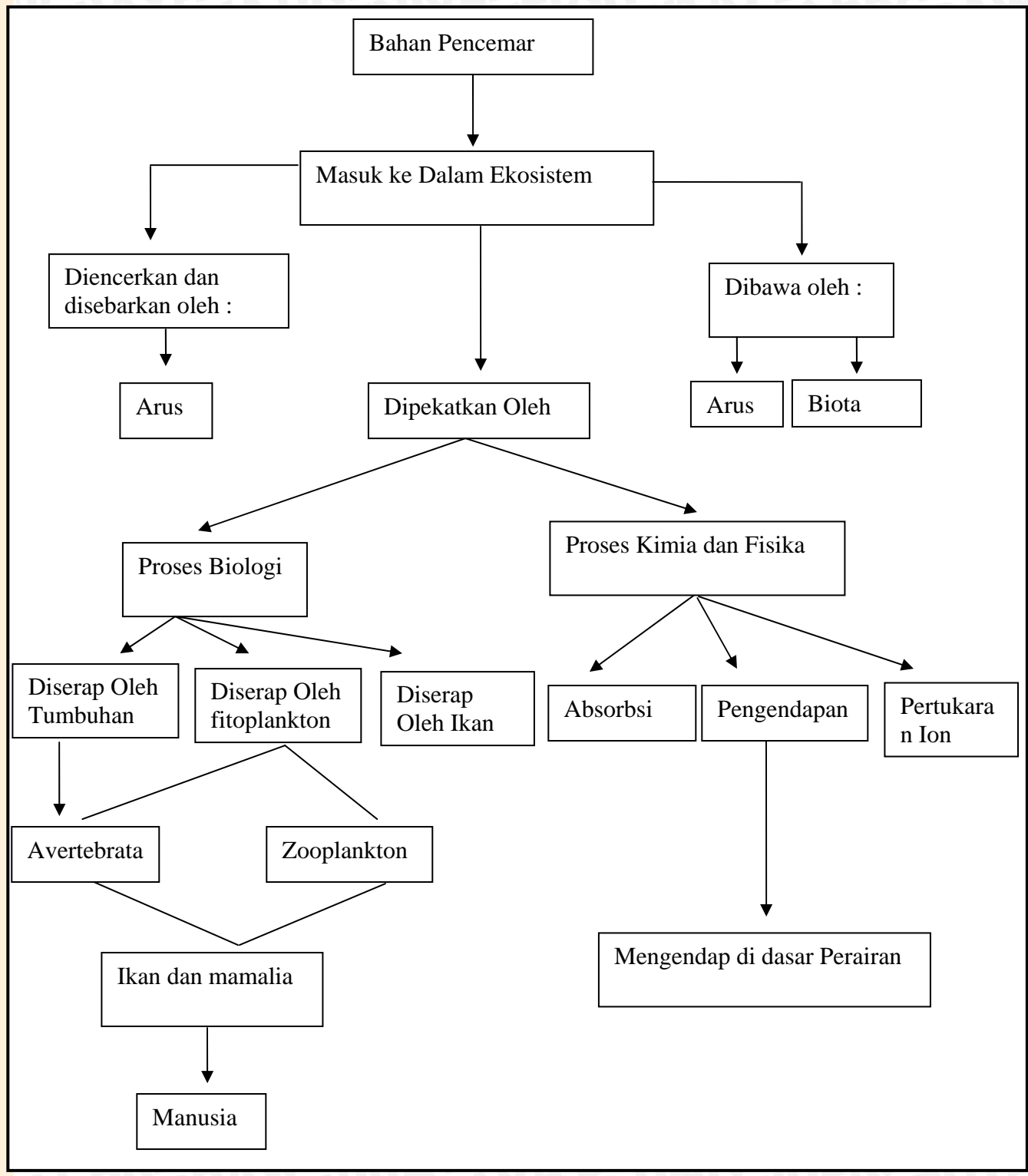
## DAFTAR PUSTAKA

- [www.lipi/chemistry.org](http://www.lipi/chemistry.org) 13 Agustus 2007. Artikel : Alga Laut Sebagai Biotarget industri.
- [www.ecoton.terranet.or.id](http://www.ecoton.terranet.or.id). 13 agustus 2007. Mangrove Jenis Api-api (*Avicennia marina*) alternative Pengendalian Pencemaran Logam Berat Pesisir. Jakarta.
- [www.pikiranrakyat.com](http://www.pikiranrakyat.com). 13 Agustus 2007. Bahaya Cemar Logam Berat. Jakarta. Jakarta.
- [www.budidayapolikultur/udangdanbandeng.com](http://www.budidayapolikultur/udangdanbandeng.com). 13 Agustus 2007. Pengkajian Adaptasi Budidaya Polikultur (Udang Windu Dan Bandeng) Di Tambak Pantai.
- [www.ristek.go.id](http://www.ristek.go.id). 15 Agustus 2007. Mengenal Rumput Laut.
- <http://www.telukjakarta.net>. 28 September 2007. Pendugaan Tingkat Akumulasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dan Ni pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Ukuran < 5 cm di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta.
- <http://www.bioline.org>. 28 September 2007. Pemantauan Kualitas Lingkungan hidup diTeluk Buyat.
- [www.info\\_bangka.go.id](http://www.info_bangka.go.id) 27 Oktober 2007. Budidaya Rumput Laut di Kabupaten Bangka.
- [www.Biologyresourcesonshantybio.com](http://www.Biologyresourcesonshantybio.com) 19 November 2007. Makalah Limbah Udang : Potensi Limbah Udang Sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium dan Tembaga) di Perairan.
- <http://jiptits-gdl-s1-2005-dienariest-3319>. 2 Desember 2007. Pemanfaatan *Gracilaria salicomia* Sebagai Biofilter Limbah Marikultur.
- [www.uwec.edu](http://www.uwec.edu). 20 Desember 2007. Mercury in the Environment and Water Supply.
- [www.nios.com](http://www.nios.com). 20 Desember 2007. Prosedur Analisa Logam Berat Pb.
- [www.letsbelajar.com](http://www.letsbelajar.com). 7 Juni 2008. Adaptasi Tumbuhan Terhadap Logam Berat.
- Afianto,E dan E. Liviawati. 1993. Budidaya Rumput Laut dan Cara Pengelolaannya. Bhratara. Jakarta.
- Amin. M, T.P. Rumayar, Femmi N.F., D.Kemur dan IK Suwitra. 2002. Kajian Budidaya Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*) Dengan Sistem dan Musim Tanam yang Berbeds di Kabupaten Bangkep Sulawesi Tengah. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Tengah. Sulawesi Tengah.

- Aslan, M L. 1998. Budidaya Rumput Laut. Kanisius. Yogyakarta.
- Atmadja, W S dan Sulistijo. 1999. Perkembangan dan Makna Penelitian Rumput Laut (Algae Makro) di Indonesia. Puslitbang-LIPI. Jakarta.
- Cholik, F., Jagatraya a., Purnomo P dan Jauzi A. 2005. Akuakultur. Masyarakat Perikanan Nusantara. Jakarta.
- Connell, D. W. And Miller. 1995. Kimia dan Ekotosikologi Pencemaran. Universitas Indonesia. Jakarta
- Dahuri, R. 2003. Keanekaragaman Hayati Laut. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Dajan, A. 1986. Pengantar Metode Statistik Jilid I. Lembaga Penelitian, Pendidikan dan Penetapan Ekonomi dan Sosial. PT Intercipta Prajasa. Jakarta
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Universitas Indonesia Press. Jakarta
- . 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran : Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. Penerbit universitas Indonesia. Jakarta.
- Douglas, G C. 1997. FISIKA. Erlangga. Jakarta
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber daya dan Lingkungan. Kanisius. Yogyakarta
- Fardiaz, S. 1992. Polusi Air dan Udara. Penerbit Kanisius. Yogyakarta
- Hutabarat, S dan S. M. Evans. 1985. Pengantar Oceanografi. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta
- Indriani, H dan E. Sumiarsih. 2001. Budidaya, Pengolahan dan Pemasaran Rumput Laut. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Kiswara, W. 1994. Perbandingan Kadar Logam Berat (Cd, Pb, Cu, Zn) Dalam Lamun di Perairan tropis dan Subtropis. P2O LIPI. Jakarta
- Mulyanto. 1992. Manajemen Perairan. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang.
- Odum, E.P. 1971. Fundamentals of Ecology, Third Edition. W.B Saunders Company. Philadelphia, London, Toronto
- Palar, H. 2004. Pencemaran Air dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta.

- Rochyatun. 2003. Kandungan Logam Berat Pb, Cd, ZN, Ni, Cr, Mn, Fe Dalam Air Laut dan Sedimen di Perairan Kalimantan Timur. P2O LIPI. Jakarta
- Satwika, M. 2004. Kandungan Logam Berat Pb dan Cd pada Dua jenis Lamun (*Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides*) di Rataan Terumbu Pulau Pari Kepulauan Seribu DKI Jakarta. Skripsi. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang. Tidak diterbitkan.
- Shusana, 2004. Laporan Skripsi, Studi Komunitas Rumput Laut di Rataan Terumbu Pulau Pari Kepulauan Seribu DKI Jakarta. Fakultas Perikanan, Universitas Brawijaya. Malang. Tidak diterbitkan
- Silitjo,. 1985. Jurnal : Budidaya Rumput Laut. Fisheries Departement.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan. Disampaikan pada Seminar Bioteknologi Untuk Indonesia Abad 21, 1 – 14 Februari 2001.
- Sunu, P. 2001. Melindungi Lingkungan Dengan Menerapkan ISO 14001. Gramedia Widiasarana Indonesia. Jakarta.
- Supriharyono. 2002. Pelestarian dan Pengelolaan Sumberdaya Alam di Wilayah Pesisir Tropis. PT. Gramedia. Jakarta.
- Suptijah, P. 2002. Rumput Laut Prospek dan Tantangannya. Makalah Pengantar Falsafah Sains. IPB. Bogor.
- Suryabrata, S.1983. Metodologi Penelitian. CV Rajawali. Jakarta.
- Sutanto, R. 2005. Dasar-dasar Ilmu Tanah; Konsep dan Kenyataan. Kanisius. Yogyakarta.
- Syahid, M., Ali Subhan dan Rochim A. 2006. Budidaya Udang Organik Secara Polikultur. Swadaya. Surabaya.
- Trono, G. C. 1998. Pons Culture of Gracilaria. Regional Small-Scele Coastal Fisheries Development Project. ASEAN/UNDP/FAO
- Wawa, J U. 2006. Jurnal Budidaya Polikultur : Modal Minim Hasil Menggiurkan. Kompas.Jakarta
- Wibisono, M.S. 2005. Pengantar Ilmu kelautan. PT Gramedia Widiasarana Indonesia. Jakarta.

Lampiran 2. Proses Masuknya Bahan Pencemar kedalam Ekosistem Perairan.



Sumber : (Sianainenina, 2001)