

**KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb PADA AKAR DAN DAUN MANGROVE
(*Avicennia alba*) DI GUNUNG ANYAR, SURABAYA DAN KEDAWANG,
PASURUAN JAWA TIMUR**

SKRIPSI

**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERIKANAN**

Oleh :

LINDA SILVIRA SALSABELA

NIM. 0910810041



**MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2013

**KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb PADA AKAR DAN DAUN MANGROVE
(*Avicennia alba*) DI GUNUNG ANYAR, SURABAYA DAN KEDAWANG,
PASURUAN JAWA TIMUR**

SKRIPSI

**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERIKANAN**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Perikanan di
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya**

Oleh :

**LINDA SILVIRA SALSABELA
NIM. 0910810041**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

**KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb PADA AKAR DAN DAUN MANGROVE
(*Avicennia alba*) DI GUNUNG ANYAR, SURABAYA DAN KEDAWANG,
PASURUAN JAWA TIMUR**

Oleh:

**LINDA SILVIRA SALSABELA
NIM. 0910810041**

Telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal 30 Juli 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,

Dosen Penguji 1

Dosen Pembimbing 1

Ir. Mulyanto, MS
NIP. 19600317 198602 1 001
TANGGAL:

Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MS
NIP.19600505 198601 1 004
TANGGAL:

Dosen Penguji 2

Dosen Pembimbing 2

Ir. Sri Sudaryanti, MS
NIP. 19601009 198602 2 001
TANGGAL:

Asus Maizar S.H., SPi, MP
NIP. 19720529 200312 1 001
TANGGAL:

Mengetahui,
Ketua Jurusan

(Dr. Ir. HAPPY NURSYAM, MS)

NIP. 19650322 198601 1 001
Tanggal :

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya Penelitian melalui Program Penelitian Payung Disertasi Doktor an. Sukian Wilujeng. Dalam naskah Skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil penjiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 20 Agustus 2013

Mahasiswa,

Linda Silvira Salsabela



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirobbil'alamin, berkat rahmat Allah SWT perjuangan mencari ilmu di bangku perkuliahan selama 4 tahun ini dapat terselesaikan ☺.

Saya (Linda Silvira Salsabela) tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. **Allah SWT.** Tempat aku meminta, tempat aku mengadu, tempat aku bersyukur. Terima kasih atas segala nikmat yang Engkau berikan. Engkau Maha Besar, Maha Pendengar lagi Maha Penyayang bagi seluruh umatnya.
2. **Bapak Sulistyono dan Ibu Iin Mutmainah.** Orang tua terhebat di dunia yang aku miliki, yang selalu menyayangi, mendukung, memperhatikan, dan memberi apapun yang aku butuhkan. Semoga aku bisa menjadi anak yang selalu membanggakan kalian.
3. **Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan.** Tempat aku menuntut ilmu selama 4 tahun ini.
4. **Bapak Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MSc dan bapak Agus Maizar S.H, SPI, MP** selaku dosen pembimbing. Terima kasih atas bimbingan dan kesabarannya selama membimbing saya.
5. **Bapak Ir. Mulyanto, MSc dan Ir. Sudaryanti, MSc** selaku dosen penguji. Terima kasih atas masukan dan wejangan yang diberikan.
6. **Ibu Sukian Wilujeng** sebagai pelayang dalam skripsi kami. Terimakasih atas ijinnya untuk mengikuti penelitian.
7. **Toya, kakak Nina, Amel, Galuh.** Sister-sister yang selalu mengganggu ketenangan di rumah, selalu membuatku tertawa dan menemaniku di kala sepi.
8. Keluarga besar dan saudara-saudara di Batu. Terima kasih atas do'a dan semangatnya.
9. Teman-teman tercinta, tersayang, terhebat dan terkasih :
 - ❖ My wocucu :* Kiki, cintaku Indri, Firda, Belinda, Lusi dan Nina.
 - ❖ **KS13.** Kiki (lagi), Rina, Ghanis dan Danti.
 - ❖ **Baja86.** Mami Desti, kakak Nene, Tante Vida, Belia dan mbak Devi.
 - ❖ **Sister JYS47.** Kikring, Rina, mbak Ria, mbak Akma, mbak Nova, mbak Nisa dan Tiwi.

❖ **Gang Ent**. Rizka dan Kacir.

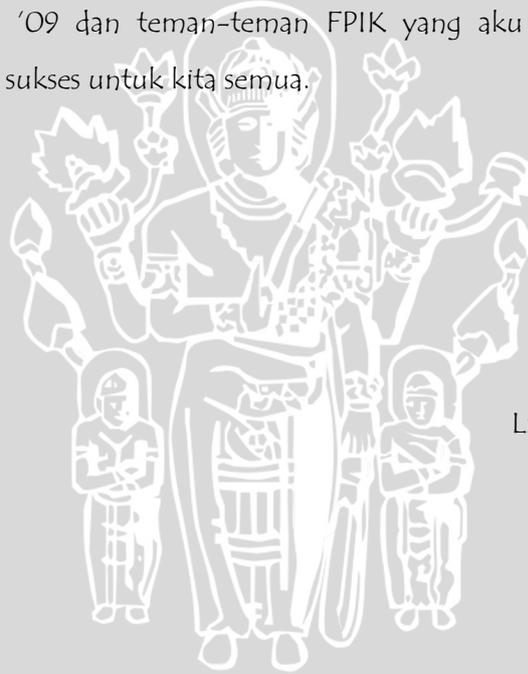
Tanpa kalian aku tak berarti apa-apa. Terima kasih atas kebersamaan dan kegilaannya selama ini. Kalian yang selalu menemani mulai dari pagi sampai ketemu pagi lagi, dan yang akan selalu kurindukan.

10. **Donny Budiarta**. Sumber kebahagiaan dan kegalauan selama kuliah. Terima kasih buat semuanya.

11. **Saudara Coral**. Kakak Pipin, Nisa, Ila, Belinda, Vitria, Manda, Mirna, Ahong, Mahbub, Cahya, Ogok, Kacong, Kelik, Zizi, Romy, Ainul, Ical, Cukong, Juang, Duto, Amin, Habib, Tio dan lainnya. Persaudaraan kita tak akan lekang oleh waktu.

12. **Partner dari segala partner**. Rona, dek Bebet, Ana, Argo, Luki dan Kentung. Perjuangan kita pasti akan memberikan hasil yang terbaik.

13. Teman-teman MSP '09 dan teman-teman FPIK yang aku cintai. Bersyukur mengenal kalian dan sukses untuk kita semua.



Penulis,
Linda Silvira Salsabela

RINGKASAN

LINDA SILVIRA SALSABELA. Skripsi tentang Kandungan Logam Berat Pb pada Akar dan Daun Mangrove (*Avicennia alba*) di Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan Jawa Timur (di bawah bimbingan **Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MS** dan **Asus Maizar S.H., SPI, MS**)

Pencemaran logam berat timbal (Pb) merupakan masalah yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Pb dapat mencemari udara, air, tanah, tumbuhan, hewan bahkan manusia. Masuknya Pb ke tubuh manusia dapat melalui makanan dari tumbuhan yang biasa dikonsumsi manusia seperti padi, teh dan sayur-sayuran. Logam Pb terdapat di perairan baik secara alamiah maupun sebagai dampak dari aktivitas manusia. Mangrove merupakan tumbuhan tingkat tinggi di kawasan pantai yang dapat berfungsi untuk menyerap bahan-bahan organik dan non-organik sehingga dapat dijadikan bioindikator logam berat. Menurut Susanto (2004), syarat tumbuhan yang dapat dijadikan bioindikator adalah specific, mensurable, attributable, revelant dan timely. Salah satunya mangrove jenis *Avicennia alba* dapat digunakan sebagai indikator biologis lingkungan yang tercemar logam berat seperti Pb melalui monitoring berkala.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui kandungan logam berat Pb pada perairan, sedimen, akar dan daun pada tanaman mangrove jenis *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan. Untuk mengetahui kemampuan vegetasi tersebut dalam menyerap logam berat Pb pada kedua stasiun pengamatan sehingga dapat dijadikan akumulator logam berat di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret-Mei 2013 di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan Jawa Timur.

Kadar Pb pada air di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,28-0,37 ppm dan pada lokasi Kedawang berkisar antara 0,12-0,17 ppm. Kadar Pb air di kedua lokasi menunjukkan bahwa kadar tersebut sudah melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Berdasarkan pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 mengenai baku mutu air laut untuk biota laut, batas kandungan untuk Pb yaitu sebesar 0,008 ppm. Kadar Pb pada sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 10,72-12,04 ppm dan pada lokasi Kedawang berkisar antara 2,08-3,73 ppm. Kadar Pb pada sedimen di kedua lokasi menunjukkan bahwa kadar tersebut masih berada di bawah ambang batas menurut nilai baku mutu yang dikeluarkan oleh *International of Dredging Companies/Central Dredging Association* (1997) mengenai kandungan logam yang dapat ditoleransi keberadaannya dalam sedimen untuk logam berat timbal (Pb) yaitu sebesar 85 ppm.

Kadar Pb di lokasi kawasan mangrove Gunung Anyar pada akar nafas *Avicennia alba* di bagian pangkal berkisar 2,02-3,09 ppm, di ujung berkisar antara 1,72-2,35 ppm dan akar total berkisar antara 3,74-5,44 ppm, sedangkan di lokasi Kedawang pada akar nafas *Avicennia alba* di bagian pangkal berkisar

1,06-2,22 ppm, di ujung berkisar antara 0,78-1,62 ppm dan akar total berkisar antara 1,84-3,84 ppm. Kadar Pb di lokasi kawasan mangrove Gunung Anyar pada daun tua *Avicennia alba* berkisar 0,71-0,98 ppm, pada daun sedang berkisar antara 0,49-0,79 ppm dan pada daun muda berkisar antara 0,31-0,59 ppm, sedangkan di lokasi Kedawang pada daun tua *Avicennia alba* berkisar 0,28-0,50 ppm, pada daun sedang berkisar 0,15-0,28 ppm dan pada daun muda berkisar antara 0,09-0,22 ppm.

Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) pada akar di daerah kawasan Mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,31-0,45 dan di daerah Kedawang berkisar antara 0,88-1,25. Nilai *Translocation Factor* (TF) pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,18-0,19 dan daerah Kedawang berkisar antara 0,12-0,15. Nilai Fitoremediasi (FTD) pada lokasi penelitian kawasan mangrove Gunung Anyar pada semua stasiun menunjukkan nilai yang negatif yaitu berkisar antara 0,12-0,27, sedangkan nilai Fitoremediasi pada daerah Kedawang berkisar antara 0,73-1,13.

Hasil analisa kualitas air pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara suhu 25-32,6°C, pH 6,71-6,76, salinitas 1-12,3 dan DO 2,1-5,23 mg/l, sedangkan ada daerah Kedawang berkisar antara suhu 32,3-33,2 °C, pH 6,85-7,76, salinitas 16-26 dan DO 0,8-1,85 mg/l. Hasil analisa kualitas sedimen pada kawasan mangrove Gunung Anyar yaitu tekstur didominasi oleh liat, pH dengan antara 7,5-7,9, total N 1,3 - 2 mg kg⁻¹ dan total P 11,88 - 18,40 mg kg⁻¹, sedangkan pada daerah Kedawang yaitu tekstur didominasi oleh pasir, pH antara 7,3-8,1, total N 0,9 - 1,4 mg kg⁻¹ dan total P 38,26 - 42,45 mg kg⁻¹. Kualitas air dan sedimen yang demikian menurut Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 masih bisa mendukung kehidupan mangrove *Avicennia alba*.

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah kandungan logam berat Pb pada kedua lokasi sudah melebihi ambang batas dan kandungan Pb pada sedimen masih dalam batas yang diijinkan. Kandungan logam berat Pb pada *Avicennia alba* lebih tinggi pada bagian akar dibandingkan dengan bagian daun, besarnya kandungan logam berat di bagian akar diduga karena lebih banyak variasi dan interaksi dengan sedimen yang banyak mengandung logam berat karena proses pengendapan. Berdasarkan nilai BCF, TF dan FTD mangrove *Avicennia alba* dapat dijadikan fitoremediasi karena dapat beradaptasi terhadap logam berat. Saran yang dapat diberikan ialah menentukan kebijakan bagi pengelolaan dan konservasi hutan mangrove secara berkelanjutan pada kawasan mangrove Gunung Anyar dan kawasan mangrove daerah Kedawang, karena hutan mangrove tersebut dapat menjadi fitoremediasi untuk mengurangi logam berat yang mencemari lingkungan. Diperlukan juga penelitian tentang kandungan logam berat Pb pada bagian tumbuhan mangrove lainnya, seperti batang dan buah serta kandungan logam berat pada jenis mangrove yang lainnya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan ridho-Nya, Laporan Hasil Penelitian Skripsi dengan judul “Kandungan Logam Berat Pb pada Akar dan Daun Mangrove (*Avicennia alba*) di Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan Jawa Timur” ini dapat diselesaikan. Laporan Hasil Penelitian Skripsi ini disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Perikanan dari Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, Malang.

Adapun ucapan terima kasih tak lupa saya persembahkan kepada pihak-pihak yang telah ikut serta dalam penyelesaian Laporan Skripsi ini, diantaranya:

1. Orang tua saya yang selalu memberikan dukungan.
2. Bapak Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MS dan Bapak Agus Maizar S.H., SPI, MS selaku dosen pembimbing atas bimbingan serta nasehat yang telah diberikan.
3. Ibu Ir. Sri Sudaryanti, MS dan bapak Ir. Mulyanto, MS selaku dosen penguji Skripsi.
4. Ibu Sukian Wilujeng yang mengikutsertakan kami dalam penelitiannya.
5. Teman-teman MSP 2009 yang membantu dalam pelaksanaan Skripsi.

Dalam penyusunan laporan ini saya menyadari adanya kekurangan-kekurangan, oleh sebab itu segala kritik dan saran yang membangun saya terima dengan senang hati.

Semoga laporan ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi yang membacanya. Amin.

Malang, Juli 2013

Penulis

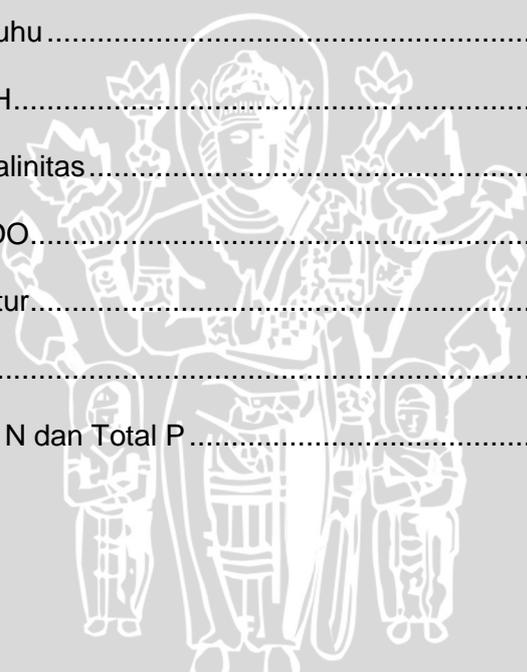
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
RINGKASAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Kegunaan.....	7
1.5 Waktu dan Tempat.....	7
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Logam Berat.....	8
2.2 Pencemaran Logam Berat pada Perairan	9
2.3 Pencemaran Logam Berat pada Sedimen.....	11
2.4 Logam Berat Pb (Timbal)	13
2.4.1 Sifat-sifat Pb (Timbal)	14
2.4.2 Sumber Pb (Timbal).....	15
2.4.3 Dinamika Pb (Timbal)	16
2.5 Bioakumulasi Logam Berat.....	17
2.6 Mekanisme Penyerapan Logam Berat.....	18
2.7 Pengertian Mangrove	20
2.7.1 Karakteristik Hutan Mangrove.....	22
2.7.2 Struktur Vegetasi Hutan Mangrove dan Adaptasi.....	23
2.8 <i>Avicennia alba</i>	24
2.8.1 Ciri-ciri Umum <i>Avicennia alba</i>	24
2.8.2 Akar <i>Avicennia alba</i>	25
2.8.3 Daun <i>Avicennia alba</i>	28
2.9 Parameter Kualitas Pendukung	30
2.9.1 Parameter Fisika.....	30
2.9.1.1 Suhu	30
2.9.1.2 Substrat	30
2.9.2 Parameter Kimia	31
2.9.2.1 Salinitas	31

2.9.2.2 pH Air.....	31
2.9.2.3 pH Tanah.....	32
2.9.2.4 DO.....	33
2.9.2.5 Nitrat.....	33
2.9.2.6 Fosfat.....	34
3. METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	35
3.2 Materi Penelitian.....	35
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	35
3.4 Metode Penelitian.....	36
3.4.1 Data Primer.....	37
3.4.2 Data Sekunder.....	38
3.5 Penentuan Stasiun Pengamatan.....	38
3.6 Teknik Pengambilan Sampel.....	41
3.6.1 Pengambilan Sampel <i>Avicennia alba</i>	41
3.6.2 Pengambilan Sampel Air dan Sedimen.....	42
3.7 Prosedur Pengamatan Logam Berat.....	43
3.7.1 Pengamatan Logam Berat pada Akar dan Daun.....	43
3.7.2 Pengamatan Logam Berat pada Air.....	44
3.7.3 Pengamatan Logam Berat pada Sedimen.....	44
3.8 Prosedur Kerja Pengukuran Parameter.....	45
3.8.1 Parameter Fisika.....	45
3.8.2 Parameter Kimia.....	47
3.9 Prinsip Kerja <i>Atomic Absorption Spectrofotometer</i>	49
3.10 Analisa Data.....	50
3.10.1 Faktor Biokonsentrasi (BCF) dan Faktor Translokasi (TF).....	50
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Deskripsi Lokasi Umum Penelitian.....	51
4.2 Hasil Analisis Timbal (Pb).....	52
4.2.1 Hasil Analisis Timbal (Pb) pada Air.....	52
4.2.2 Hasil Analisis Timbal (Pb) pada Sedimen.....	56
4.2.3 Hasil Analisis Timbal (Pb) pada Mangrove <i>Avicennia alba</i>	60
4.3 <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) dan <i>Translocation Factor</i> (TF).....	66
4.4 Parameter Kualitas Air.....	69
4.4.1 Suhu.....	69
4.4.2 pH.....	71
4.4.3 Salinitas.....	72
4.4.4 DO.....	73
4.5 Parameter Kualitas Sedimen.....	74
4.5.1 Tekstur.....	74
4.5.2 pH Sedimen.....	76
4.5.3 Total N dan Total P Sedimen.....	78
5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	80
5.2 Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....	82
LAMPIRAN.....	93

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat dan Bahan yang Digunakan.....	35
2. Rerata Kandungan Pb pada Air.....	53
3. Rerata Kandungan Pb pada Sedimen.....	57
4. Rerata Kandungan Pb pada Akar <i>Avicennia alba</i>	60
5. Rerata Kandungan Pb pada Daun <i>Avicennia alba</i>	63
6. <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF), <i>Tranlocation Factor</i> (TF) dan <i>Fitoremediation</i> (FTD) Logam Berat Timbal (Pb).....	66
7. Data Pengukuran Suhu.....	70
8. Data Pengukuran pH.....	71
9. Data Pengukuran Salinitas.....	72
10. Data Pengukuran DO.....	73
11. Hasil Analisis Tekstur.....	75
12. Hasil Analisis pH.....	77
13. Hasil Analisis Total N dan Total P.....	78



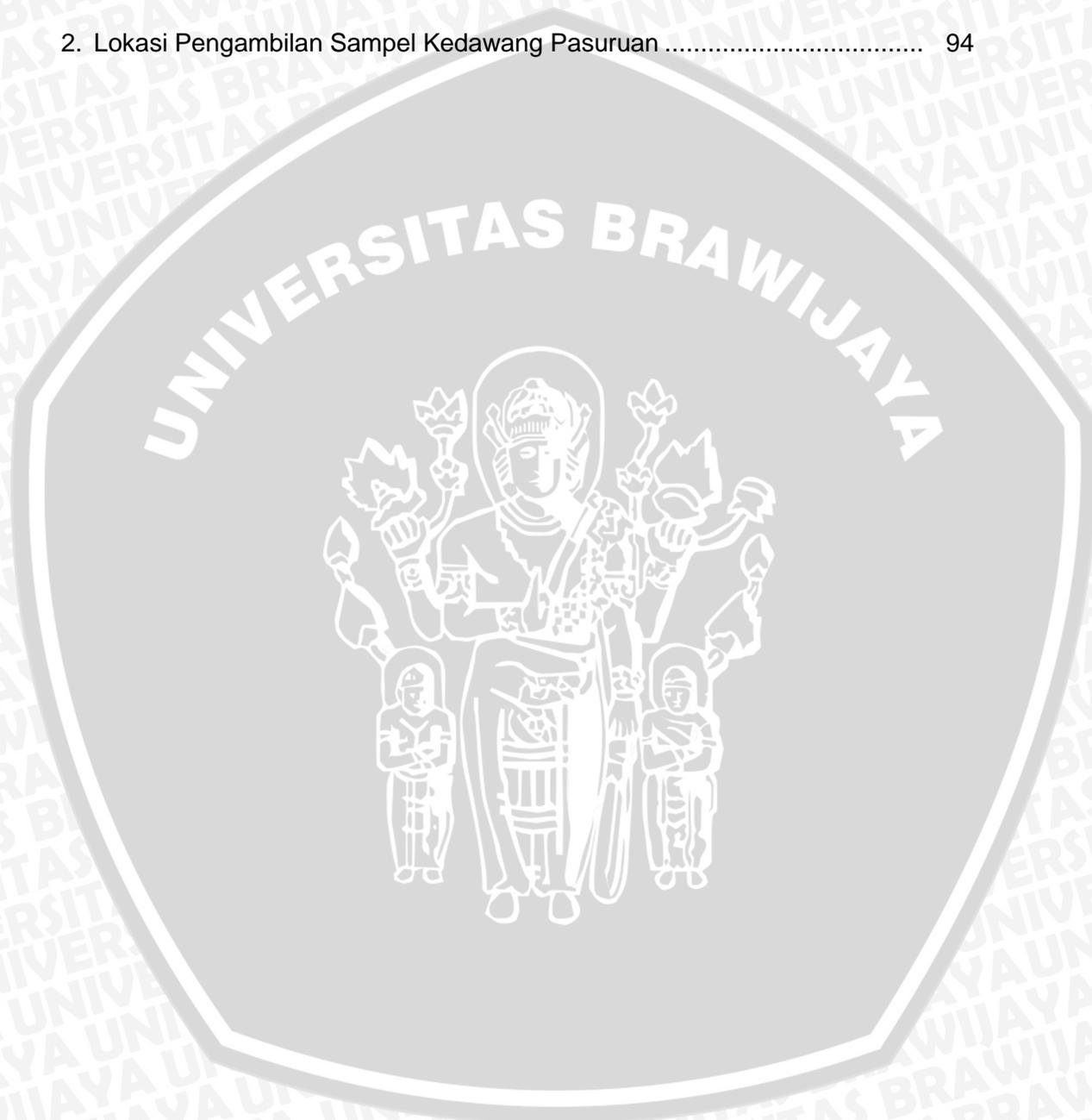
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Akar	26
2. Sistem Akar <i>Avicennia alba</i>	27
3. Struktur Pneumatophore	28
4. Daun <i>Avicennia alba</i>	29
5. Jaringan Daun.....	29
6. Grafik Kadar Pb di Air.....	54
7. Grafik Kadar Pb di Sedimen	58
8. Grafik Kadar Pb di Akar.....	61
9. Grafik Kadar Pb di Daun	63
10. Grafik Analisa Tekstur.....	75



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Lokasi Pengambilan Sampel Gunung Anyar Surabaya	93
2. Lokasi Pengambilan Sampel Kedawang Pasuruan	94



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah pesisir adalah daerah pertemuan antara darat dan laut. Ke arah darat wilayah pesisir meliputi bagian daratan, baik kering maupun terendam air, yang masih dipengaruhi oleh sifat-sifat laut, seperti pasang surut, angin laut, dan perembesan air asin. Ke arah laut, wilayah pesisir mencakup bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses alami yang terjadi di darat, seperti sedimentasi dan aliran air tawar, maupun yang disebabkan karena kegiatan manusia di darat, seperti penggundulan hutan dan pencemaran (Supriharyono, 2002). Menurut UU No.23 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran lingkungan hidup adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

Di Indonesia, masalah pencemaran logam berat tidak hanya berasal dari industri, tetapi juga dapat berasal dari limbah pertanian dan rumah tangga. Wilayah pesisir merupakan salah satu bagian dari sumberdaya alam yang paling mudah terkena dampak kegiatan manusia. Menurut Palar (2004), industrialisasi menimbulkan efek negatif berupa limbah industri baik yang terbentuk padat maupun cair berpengaruh terhadap lingkungan sekitarnya. Bilamana limbah tersebut dilepaskan ke perairan bebas, akan terjadi perubahan nilai dari perairan itu baik kualitas maupun kuantitas sehingga perairan dapat dianggap tercemar. Salah satu bahan pencemar pada perairan adalah logam berat Timbal (Pb).

Pencemaran logam berat timbal (Pb) merupakan masalah yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Pb dapat mencemari udara, air, tanah, tumbuhan, hewan bahkan manusia.

Masuknya Pb ke tubuh manusia dapat melalui makanan dari tumbuhan yang biasa dikonsumsi manusia seperti padi, teh dan sayur-sayuran. Logam Pb terdapat di perairan baik secara alamiah maupun sebagai dampak dari aktivitas manusia. Logam ini masuk ke perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan (Palar, 1994).

Perairan muara sungai Kebon Agung, kecamatan Gunung Anyar, kota Surabaya merupakan salah satu perairan di Indonesia yang digunakan untuk berbagai jenis kegiatan manusia. Sepanjang sungai tersebut terdapat pemukiman yang padat penduduk serta industri atau pabrik yang membuang limbahnya secara langsung ke sungai yang bermuara ke Selat Madura. Muara sungai Kebon Agung ditumbuhi beberapa jenis mangrove, terutama *Avicennia* sp. dan *Rhizophora* sp (Arisandy *et al.*, 2011). Perairan estuari Pantai Timur Surabaya merupakan muara dari 7 buah sungai besar salah satunya adalah sungai Gunung Anyar. Sungai-sungai tersebut membawa limbah padat dan cair yang berasal dari kawasan industri SIER (*Surabaya Industry Estate Rungkut*) maupun rumah tangga yang pada akhirnya akan menumpuk dan mencemari perairan estuari Pantai Timur Surabaya. Hastuti dan Sulistyarso (2012) menjelaskan bahwa aktivitas industri berada di kawasan industri SIER (*Surabaya Industrial Estate Rungkut*) memiliki jenis industri yang bervariasi, dengan total 300 industri, yang berkontribusi dalam pengeluaran limbah cair. Dikhawatirkan masuknya limbah cair dapat menurunkan potensi sumber daya hayati.

Menurut Kusumastuti (2009), pada saat buangan limbah industri masuk ke dalam suatu perairan maka akan terjadi proses pengendapan dalam sedimen. Hal ini menyebabkan konsentrasi bahan pencemar dalam sedimen meningkat. Salah satu pencemaran yang berbahaya adalah pencemaran logam timbal (Pb). Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang banyak dimanfaatkan dalam

industri-industri kimia seperti pembuatan baterai, industri pembuatan kabel listrik dan industri pewarnaan pada cat. Ditambahkan oleh Suhendrayatna (2001), timbal merupakan logam berat yang sangat beracun, dapat dideteksi secara praktis pada seluruh benda mati di lingkungan dan seluruh sistem biologis. Sumber utama timbal adalah bersal dari komponen gugus alkyl timbal yang digunakan sebagai bahan additive bensin. Semakin banyaknya alat transportasi yang menggunakan bahan bakar bensin menyebabkan sumbangan logam berat Pb juga semakin banyak. Selain itu MacFarlane and Burchett (2002) menyatakan logam berat Pb memiliki toksisitas yang tertinggi dan menyebabkan racun bagi beberapa spesies.

Di Kabupaten Pasuruan, Kecamatan Nguling merupakan suatu kawasan yang banyak ditumbuhi tanaman mangrove, menurut pemerintah Kabupaten Pasuruan (2012), terutama banyak didominasi oleh jenis *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata*. Berdasarkan hasil studi pendahuluan Wilujeng (2013) dalam penelitian disertasi yang dilakukan pada tanggal Desember 2012, telah dilakukan analisa sampel sedimen. Kandungan logam berat Pb pada sampel sedimen didapat 3,8380 ppm. Berdasarkan hasil studi tersebut, maka kawasan hutan Mangrove di Kabupaten Pasuruan, Kecamatan Nguling dapat dijadikan sebagai daerah yang sedikit tercemar, karena kondisi kawasan tersebut jauh dari pemukiman serta industri, sehingga perairan ini relatif bersih dari pencemaran. Hal tersebut diperkuat dalam baku mutu logam berat di dalam lumpur atau sedimen yang dikeluarkan oleh *International of Dredging Companies/Central Dredging Association* (1997) mengenai kandungan logam yang dapat ditoleransi keberadaanya dalam sedimen untuk logam berat timbal (Pb) yaitu sebesar 85 ppm.

Tanaman mangrove berperan juga sebagai buffer (perisai alam) dan menstabilkan tanah dengan menangkap dan memerangkap endapan material

dari darat yang terbawa air sungai dan yang kemudian terbawa ke tengah laut oleh arus. Mangrove tumbuh subur dan luas di daerah delta dan aliran sungai yang besar dengan muara yang lebar. Di pantai yang tidak ada sungainya, daerah mangrove sempit. Mangrove mempunyai toleransi besar terhadap kadar garam dan dapat berkembang di daratan bersalinitas tinggi di mana tanaman biasa tidak dapat tumbuh (Murdiyanto, 2003).

Melalui akarnya, mangrove dapat menyerap logam-logam berat yang terdapat pada sedimen maupun kolom air dan dapat pula berpengaruh pada mangrove itu sendiri (Amin, 2001). Diperkuat dari penjelasan Arisandi (1996) dalam Mulyadi *et al.*, (2009) melaporkan bahwa Pantai Timur Surabaya ditumbuhi vegetasi mangrove yang didominasi oleh jenis *Avicennia alba*. Ekosistem mangrove di Pantai Timur Surabaya berpotensi sebagai bioakumulator logam berat.

Menurut Mukhtasar (2007), *Avicennia alba* dapat digunakan sebagai indikator biologis lingkungan yang tercemar logam berat melalui monitoring berkala. Mekanisme yang terjadi pada *A. alba* untuk mengurangi toksisitas logam berat adalah menyimpan banyak air sehingga dapat mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuhnya. Ditambahkan dari penelitian Hamzah dan Setiawan (2010), yang dilakukan di Muara Angke, Jakarta mangrove jenis *Avicennia alba* ini mampu menyerap logam berat lebih banyak daripada mangrove jenis *Sonneratia casiolaris* dan *Rhizophora mucronata*.

Menurut hasil uji pendahuluan Wilujeng (2013), dalam penelitian disertasi yang dilakukan pada November 2011 pada kawasan mangrove Gunung Anyar didapatkan kandungan Pb pada sedimen sebesar 11,1941 ppm dan kandungan Pb pada air sebesar 0,3619 ppm. Berdasarkan pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup N0. 51 tahun 2004 mengenai baku mutu air laut untuk biota laut, batas kandungan untuk Pb yaitu sebesar 0,008 ppm. Dari hasil yang didapat

menunjukkan bahwa kondisi tersebut telah melewati baku mutu yang telah ditetapkan. Hal tersebut diperkuat dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 yaitu kandungan logam untuk timbal (Pb) tidak boleh melebihi 0,03 ppm pada suatu perairan. Sehingga dapat disimpulkan, dari uji pendahuluan tersebut dapat dibuktikan bahwa kandungan logam berat Pb di kawasan mangrove Gunung Anyar sudah melewati ambang batas yang telah ditetapkan.

Pencemaran lingkungan antara lain disebabkan oleh industri-industri maupun produk yang dihasilkannya. Salah satu pencemaran yang berbahaya bila tidak ada penanganan dan pengendalian secara serius adalah pencemaran logam berat. Logam berat bersifat toksik pada manusia dan dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Dari sifat logam berat yang tidak mudah diuraikan, bila tidak ada penanganan yang berkelanjutan maka akan mengendap dan bisa mencemari lingkungan estuari dan laut. Salah satu logam berat yang berbahaya adalah logam berat Pb, karena logam berat Pb ini dapat dideteksi secara praktis pada seluruh benda mati di lingkungan dan seluruh sistem biologis. Berdasarkan kondisi tersebut maka perlu dilakukan tindakan pengelolaan secara terpadu agar pencemaran tersebut tidak lebih mencemari lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai kandungan logam berat Pb yang diserap oleh tanaman mangrove pada bagian akar dan daunnya.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah :

- Bagaimana kandungan logam berat Pb pada air dan sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Desa Kedawang, Kecamatan Nguling, Pasuruan?

- Bagaimana kandungan logam berat Pb pada akar dan daun (daun muda, daun sedang, daun tua) pada tanaman mangrove *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Desa Kedawang, Kecamatan Nguling, Pasuruan?
- Bagaimana kemampuan tanaman mangrove *Avicennia alba* dalam menyerap logam berat Pb di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Desa Kedawang, Kecamatan Nguling, Pasuruan?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah :

- Untuk mengetahui kandungan logam berat Pb pada perairan dan sedimen yang terletak di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan.
- Untuk mengetahui kandungan logam berat Pb pada akar dan daun pada tanaman mangrove jenis *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan.
- Untuk mengetahui perbandingan kandungan logam berat Pb pada akar dan daun pada tanaman *Avicennia alba* karena diduga mempunyai kemampuan penyerapan yang berbeda di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan.
- Untuk mengetahui kemampuan vegetasi tersebut dalam menyerap logam berat Pb pada kedua stasiun pengamatan sehingga dapat dijadikan akumulator logam berat di kawasan hutan mangrove.

1.4 Kegunaan

a. Masyarakat setempat

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan masukan kepada masyarakat tentang pentingnya hutan mangrove bagi peningkatan kualitas lingkungan dan penyerap logam berat sehingga tumbuh kesadaran untuk menjaga lingkungan khususnya memelihara dan melestarikan hutan mangrove di Kawasan Pantai mangrove Gunung Anyar dan Desa Kedawang, Pasuruan.

b. Pemerintah Kota

Dari hasil penelitian dapat menghimbau kepada Pemerintah Kota sebagai pembuat keputusan kebijakan pengelolaan hutan mangrove, agar dapat melakukan tindakan tepat dalam mengantisipasi perkembangan pembangunan yang dapat merusak ekosistem yang ada sehingga kondisi alam dan lingkungan terutama hutan mangrove di kawasan mangrove Gunung Anyar tidak rusak secara terpadu dan berkelanjutan.

c. Mahasiswa

Penelitian ini dapat digunakan sebagai pengkayaan materi kuliah serta berguna untuk informasi dalam pengembangan ilmu yang berkaitan dengan biomonitoring, khususnya biomonitoring di wilayah pesisir.

1.5 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di kawasan mangrove Gunung Anyar Surabaya dan kawasan mangrove Kedawang Kecamatan Nguling Pasuruan pada bulan Maret-Mei 2013. Analisis kandungan logam berat Pb dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA dan analisis Kualitas Sedimen dilakukan di Laboratorium Kimia dan Fisika Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul yang tinggi, mempunyai daya hantar panas listrik yang tinggi dan memiliki densitas $>5 \text{ gr/cm}^3$ (Hutagalung *et al.*, 1997). Logam berat termasuk ke dalam golongan logam dengan kriteria sama dengan logam - logam lainnya. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat tersebut membentuk ikatan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup (Hariono, 1998).

Umumnya logam berat bersifat racun, meskipun dalam jumlah kecil logam berat dibutuhkan oleh tubuh, sifat racunnya akan timbul bila dalam kadar yang relatif tinggi. Ada 11 jenis logam berat yang diperlukan untuk kehidupan organisme, diantaranya adalah Cu dan Zn. Leninger menyatakan organisme perairan membutuhkan Cu dan Zn sebagai haemocyanin, cytochrom bersama-sama dengan Fe, dan Zn sebagai karbonik anhidrase. Hg, Pb, dan Cd belum diketahui manfaatnya bagi organisme, sebaiknya dapat menimbulkan penyakit (Ahmad, 2009). Selain itu Sanusi (2006), juga mengemukakan bahwa logam berat di perairan terdiri atas logam berat esensial dan non esensial. Logam berat yang sering mencemari lingkungan atau non esensial adalah Hg, Cd, As, dan Pb. Selain logam berat non esensial (Hg, Cd, As, dan Pb) terdapat juga logam berat bersifat esensial dimana logam berat ini dibutuhkan dalam pembentukan haemosianin dalam darah dan sistem enzimatik, misalnya Cr, Zn, Ni dan Cu.

Menurut Supriyanto *et al.* (2007), logam berat umumnya bersifat racun terhadap makhluk hidup. Walaupun beberapa diantaranya diperlukan dalam jumlah kecil. Melalui berbagai perantara, seperti udara, makanan, maupun air yang terkontaminasi oleh logam berat, logam tersebut dapat terdistribusi ke dalam tubuh manusia dan sebagian akan terakumulasi. Jika keadaan ini

berlangsung terus-menerus dalam jangka waktu yang lama dapat mencapai jumlah yang membahayakan kesehatan manusia.

Kelompok logam berat menurut Palar (1994), memiliki ciri-ciri yaitu :

1. Unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 .
2. Memiliki nomor atom 22 – 34 dan 40 – 50 serta unsur lantanida dan aktinida
3. Mempunyai respon biokimia spesifik pada organisme hidup

Logam berat menurut Darmono (1995), dibagi kedalam dua jenis, yaitu :

1. Logam berat esensial, yakni logam dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme. Dalam jumlah yang berlebihan, logam tersebut bisa menimbulkan efek toksik. Contohnya adalah Zn, Cu, Fe, Co dan Mn.
2. Logam berat tidak esensial, yakni logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat toksik. Contohnya adalah Hg, Cd dan Cr.

2.2 Pencemaran Logam Berat pada Perairan

Pencemaran air adalah penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal, bukan dari kemurniannya. Air yang tersebar di alam semesta ini tidak pernah terdapat dalam bentuk murni, namun bukan berarti bahwa semua air sudah tercemar. Air permukaan dan air sumur pada umumnya mengandung bahan – bahan metal terlarut, seperti Na, Mg, Ca dan Fe. Air yang mengandung komponen – komponen tersebut dalam jumlah tinggi disebut air sadah. Adanya benda-benda asing yang mengakibatkan air tersebut tidak dapat digunakan sesuai dengan peruntukannya secara normal disebut dengan pencemaran air (Kristanto, 2002). Keadaan logam di perairan juga dipengaruhi oleh interaksi yang terjadi antara air dengan sedimen. Keadaan ini terutama sekali terjadi pada bagian dasar perairan. Pada dasar sungai ion-ion logam dan kompleksnya yang terlarut dengan cepat akan membentuk partikel-partikel lebih besar apabila

kontak dengan partikulat yang melayang-layang dalam badan perairan (Sudarwin, 2008).

Pencemaran logam berat terhadap lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia (Rochyatun *et al.*, 2007). Keberadaan logam – logam dalam badan perairan dapat berasal dari sumber alamiah dan dari aktifitas manusia. Sumber alamiah masuk ke dalam perairan bisa dari pengikisan batuan mineral. Di samping itu partikel logam yang ada di udara, karena adanya hujan dapat menjadi sumber logam dalam perairan. Adapun logam yang berasal dari aktifitas manusia dapat berupa buangan industri ataupun buangan dari rumah tangga (Fardiaz, 1992).

Pembangunan di Indonesia diutamakan pada sector industri. Kemajuan dari sektor industri memberikan efek samping bagi manusia sendiri yaitu timbulnya pencemaran, berupa buangan limbah atau limbah industri yang mengandung gugus logam berat. Pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah industri yang mengandung logam berat misalnya As, Cd, Pb, dan Hg dapat berakumulasi dalam tanaman misalnya padi, rumput, sayuran, dan jenis tanaman lain yang digunakan makanan ternak. Akibat yang ditimbulkan dari pencemaran adalah terganggunya aktivitas kehidupan makhluk hidup, terlebih apabila organisme tersebut tidak mampu mendegradasi bahan tercemar tersebut, sehingga bahan tersebut terekumulasi dalam tubuhnya. Peristiwa tersebut akan mengakibatkan terjadinya *biomagnifikasi* dari organisme satu ke organisme yang lain yang mempunyai tingkatan lebih tinggi (Darmono, 2001).

Logam berat berbahaya dan sering mencemari lingkungan, yang terutama merkuri (Hg), Timbal (Pb), Arsenik (As), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), dan Nikel (Ni). Logam – logam tersebut diketahui dapat mengumpul di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama sebagai

racun yang terakumulasi. Dua macam logam berat yang sering mengkontaminasi air adalah merkuri dan timbal (Kristanto, 2002).

Pengetahuan mengenai kandungan logam berat di perairan sangat bermanfaat untuk mencegah adanya akibat buruk bagi lingkungan perairan. Darmono (2001) menyatakan, pencemaran logam berat dalam suatu lingkungan perairan perlu diperhatikan secara serius, mengingat akan timbulnya akibat buruk bagi keseimbangan lingkungan hidup. Tujuan utama untuk mengetahui konsentrasi logam dalam lingkungan perairan :

- a. mengetahui konsentrasi logam yang tinggi dalam hewan air, baik ikan air laut maupun air tawar, yang dapat digunakan sebagai pedoman untuk mencegah terjadinya toksisitas kronis maupun akut pada orang yang memakannya.
- b. Mengetahui konsentrasi logam yang tinggi dalam air dan sedimen, yang dapat digunakan sebagai pedoman untuk memonitor kualitas air yang mungkin digunakan sebagai irigasi ataupun air minum, yang akhirnya berakibat buruk bagi orang yang mengkonsumsinya.

2.3 Pencemaran Logam Berat pada Sedimen

Sedimen merupakan sumber nutrisi untuk pertumbuhan suatu tanaman, selain itu sedimen juga berperan sebagai akumulasi bahan limbah yang berasal dari industri dan pertanian (Basta *et al.*, 2005). Menurut Sudarwin (2008), peranan tanah terhadap pengangkutan dan penghilangan bahan pencemar sangatlah besar. Proses pengangkutan tersebut ada bermacam - macam, diantaranya adalah dengan pengaliran, peresapan, dan pelumeran.

Akumulasi logam berat ke dalam sedimen dipengaruhi oleh jenis sedimen (Amin, 2001). Keberadaan lumpur di dasar perairan sangat dipengaruhi oleh banyaknya partikel tersuspensi yang dibawa oleh air tawar dan air laut serta faktor-faktor yang mempengaruhi penggumpalan, pengendapan bahan

tersuspensi tersebut, seperti arus dari laut (Nybakken,1992). Kandungan logam berat dalam sedimen dipengaruhi oleh tipe sedimen, dengan kategori kandungan logam berat dalam lumpur > lumpur berpasir > berpasir (Korzeniewski & Neugabieuer *dalam* Amin, 2001). Pada konsentrasi logam berat tertinggi dalam sedimen yang berupa lumpur, tanah liat, pasir berlumpur dan campuran dari ketiganya dibandingkan dengan yang berupa pasir murni. Hal ini sebagai akibat dari adanya gaya tarik elektro kimia partikel sedimen dengan partikel mineral, pengikatan oleh partikel organik dan pengikatan oleh sekresi lendir organisme (Hutagalung *et al.*, 1997).

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. Pada saat buangan limbah industri masuk ke dalam suatu perairan maka 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 yang hidup di perairan tersebut (Ali dan Rina, 2012). Pencemaran logam pada alam lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut pada manusia. Pada awal digunakannya logam sebagai alat, belum diketahui pencemaran terhadap lingkungan. Pencemaran logam berat dapat terjadi pada lingkungan yang bermacam-macam, hal ini dapat dibagi menjadi 3 golongan yaitu udara, tanah dan air. Pencemaran udara biasanya terjadi pada proses-proses industri yang menggunakan suhu tinggi. Pencemaran daratan dan air biasanya terjadi karena pembuangan limbah dari industri pengguna logam yang bersangkutan secara tidak terkontrol (Iyabu, 2008).

2.4 Logam Berat Pb (Timbal)

Timbal merupakan salah satu unsur logam yang termasuk elemen mikro merupakan logam berat yang tidak mempunyai fungsi biologi sama sekali. Logam tersebut sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (Darmono, 1995). Pencemaran logam berat timbal (Pb) merupakan masalah yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Pb dapat mencemari udara, air, tanah, tumbuhan, hewan bahkan manusia. Masuknya Pb ke tubuh manusia dapat melalui makanan dari tumbuhan yang biasa dikonsumsi manusia seperti padi, teh dan sayur-sayuran. Logam Pb terdapat di perairan baik secara alamiah maupun sebagai dampak dari aktivitas manusia. Logam ini masuk ke perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan (Palar, 1994). Timbal adalah logam yang berwarna abu-abu kebiruan, dengan rapatan yang tinggi (11,48gr/ml pada suhu kamar) (Purnomo dan Muchyiddin, 2007).

Timbal (Pb) adalah logam berat yang secara alami terdapat di dalam kerak bumi dan tersebar melalui proses alami dan berasal dari kegiatan manusia (Widowati *et al.*, 2008). Timbal tidak termasuk unsur yang esensial bagi makhluk hidup, bahkan unsur ini bersifat toksik bagi hewan dan manusia karena dapat terakumulasi pada tulang. Toksisitas timbal terhadap tumbuhan relatif lebih rendah dibandingkan dengan unsur renik lainnya (Effendi, 2003).

Sumber alami logam Pb adalah *galena* (PbS), *gelesite* (PbSO₄), dan *crussite* (PbCO₃). Secara alamiah logam Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan logam Pb di udara dengan bantuan air hujan, disamping itu proses korofikasi batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin yang merupakan salah satu jalur sumber logam Pb yang akan masuk ke dalam badan perairan (Effendi, 2003). Timbal terdapat dalam air karena adanya kontak antara air dengan tanah atau udara tercemar timbal, air yang tercemar oleh limbah

industry atau berakibat korosi pada pipa. Timbal dalam system perairan biasanya dalam bentuk kompleks dalam gugusan organik membentuk larutan klorida atau dalam bentuk ion Pb^{++} dan $PbCl^+$ (Supriharyono (2002) dalam Permana (2006)).

Timbel atau dalam keseharian lebih dikenal dengan nama timah hitam, dalam bahasa ilmiahnya dinamakan plumbum dan logam ini disimbolkan dengan Pb. Penyebaran logam timbel di bumi sangat sedikit, jumlah timbel yang terdapat diseluruh lapisan bumi hanyalah 0,0002% dari jumlah seluruh kerak bumi, jumlah tersebut sangat sedikit jika dibandingkan dengan kandungan logam berat lainnya yang ada di bumi (Palar, 1994). Menurut peraturan penulisan ilmiah, timbel disimbolkan dg "Pb" yang merupakan logam lunak berwarna kebiruan atau kelabu keperakan, lazim terdapat pada kandungan endapan sulfit yang bercampur dengan mineral lainnya terutama seng dan tembaga (Sunu, 2001). Timbel Pb, merupakan salah satu logam berat beracun bagi organisme, meskipun dalam konsentrasi yang rendah. Sedangkan bagi kehidupan organisme, logam ini tidak bermanfaat bahkan sangat berbahaya karena dapat terakumulasi dalam tulang belakang manusia (Fardiaz, 1992).

2.4.1 Sifat – sifat Pb (Timbal)

Purnomo dan Muchyiddin (2007) menyatakan, sifat – sifat dan kegunaan logam Pb adalah :

- Mempunyai titik lebur yang rendah sehingga mudah digunakan dan murah biaya operasionalnya
- Mudah dibentuk karena lunak
- Mempunyai sifat kimia yang aktif sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam untuk mencegah perkaratan
- Bila dicampur dengan logam lain membentuk logam campuran yang lebih bagus daripada logam murninya

e. Kepadatannya melebihi logam lainnya

Menurut Fardiaz (1992), timbel banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena sifat – sifatnya, yaitu sebagai berikut :

- a. Titik cairnya rendah sehingga jika akan digunakan dalam bentuk cair maka membutuhkan teknik yang sederhana dan murah.
- b. Timbel merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah ke berbagai bentuk.
- c. Sifat kimia menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak udara lembab.
- d. Timbel dapat membentuk ikatan (alloy) dengan logam lainnya dan alloy yang terbentuk mempunyai sifat yang berbeda dengan timbel yang murni.
- e. Densitas lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya, kecuali bila dibanding dengan timbal yang murni.

Menurut Darmono (1995), Pb mempunyai sifat titik lebur rendah, mudah dibentuk mempunyai sifat kimia yang aktif, sehingga dapat digunakan untuk melapisis logam untuk mencegah perkaratan. Bila dicampur dengan logam lain, membentuk logam campuran yang lebih bagus daripada logam murninya, mempunyai kepadatan melebihi logam lain.

2.4.2 Sumber Pb (Timbal)

Menurut Sudarmadji dan Lana (2006), kadar Pb yang secara alami dapat ditemukan dalam bebatuan sekitar 13 mg/kg. Khusus Pb yang bercampur dengan batu fosfat dan terdapat di dalam batu pasir (sand stone) kadarnya lebih besar yaitu 100 mg/kg.

Mills (1995) telah melakukan observasi terhadap beberapa logam berat yang masuk ke daerah estuari, dan hasilnya adalah sebagian besar logam yang masuk kedalam estuari berasal dari aktivitas industri antara lain Pb. Industri

yang dalam produksinya menghasilkan Pb yaitu industri pembuatan baterai penyimpan untuk mobil. Selain itu timbal juga digunakan untuk produk-produk logam seperti amunisi, pelapis kabel, pipa, solder, bahan kimia dan pewarna (Fardiaz, 1992).

2.4.3 Dinamika Pb (Timbal)

Dinamika logam berat Pb dipengaruhi oleh pelapukan batuan dan pemanfaatan logam berat tersebut oleh manusia, selain itu keberadaan logam berat ini juga dipengaruhi oleh keadaan lingkungan. Menurut Renoua *et al.*, (2008), pencemaran logam berat Pb merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia. Keberadaan logam ini dalam lingkungan berasal dari dua sumber. Pertama dari proses alamiah seperti pelapukan secara kimiawi dan kegiatan geokimiawi serta dari tumbuhan dan hewan yang membusuk, kedua dari hasil aktifitas manusia terutama hasil dari limbah industri. Semakin bertambahnya industri akan mengakibatkan peningkatan jumlah logam berat yang akan berakibat buruk bagi lingkungan.

Kondisi perairan yang sangat asam maupun sangat basa dapat memengaruhi kehidupan organisme karena berpengaruh terhadap senyawa logam yang bersifat toksik, karena pH merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi keberadaan logam berat. Menurut Yuwanti *et al.*, (2012), pH merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi proses penyerapan logam berat dalam larutan, pengendapan sangat cepat terjadi pada $\text{pH} > 6$. Hal ini disebabkan karena pada kondisi basa, terbentuknya senyawa oksida dari unsur-unsur pengotor lebih besar menutupi permukaan adsorben dan akan menghalangi proses penyerapan partikel-partikel terlarut pada adsorben.

Suhendrayatna (2001) dalam Irmanika (2007), Pb secara praktis dapat dideteksi pada seluruh benda mati di lingkungan dan pada seluruh sistem biologis. Rochyatun *et al.*, (2006) berpendapat hahan pencemar yang mengandung logam berat Pb yang berasal dari darat cukup tinggi terbawa air hujan kemudian mengalir ke laut melalui sungai. Logam berat yang semula terlarut dalam air sungai diadsorbsi oleh partikel halus (suspended solid) dan oleh aliran air sungai dibawa ke muara. Di muara, arus air sungai bertemu dengan arus pasang dan kondisi arus gelombang yang cukup tenang, sehingga logam tersebut mengalami pengenceran cukup rendah.

2.5 Bioakumulasi Logam Berat

Purnomo dan Muchyddin (2007) berpendapat, 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 yang hidup, 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 *et al.*, 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).

2.6 Mekanisme Penyerapan Logam Berat

Menurut Priyanto dan Prayitno (2009), penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang sinambung, yaitu :

1. Penyerapan oleh akar.

Akar tumbuhan biasa melakukan perubahan pH, kemudian membentuk suatu zat Khelat yang disebut Fitokhelatin. Fitokhelatin adalah suatu protein yang mampu mengikat logam yang tersusun dari beberapa asam amino seperti sistein dan glisin.

2. Translokasi di dalam tubuh tumbuhan.

Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut, yaitu xilem dan floem, ke bagian tumbuhan lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat.

3. Lokalisasi logam pada jaringan.

Untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.

Mineral-mineral yang diserap oleh akar harus terlarut juga dalam air. Akar adalah organ tanaman yang aktif menyerap air. Selain itu akar mempunyai fungsi penyerapan dan penyimpanan. Akar menyerap air dari lingkungan sekitarnya secara osmosis. Akar juga menyerap mineral dari lingkungan sekitarnya bersama dengan penyerapan air. Air masuk ke dalam akar melalui rambut-rambut akar. Rambut akar akan meningkatkan luas permukaan akar dan dapat meningkatkan jumlah air yang diserap atau diambil oleh tumbuhan. Air yang diserap oleh akar diangkut melalui batang. Mineral dari tanah terlarut sehingga juga diangkut melalui batang. Air berasal dari akar dan pati dibuat dari gula yang diangkut dari daun. Ada dua mekanisme penyerapan yaitu penyerapan aktif (aktif osmotik dan non osmotik) dan penyerapan pasif (tarikan transpirasi daun) (Dewi, 2008).

Mulyadi *et al.*, (2009) juga mengemukakan ekskresi juga merupakan upaya yang mungkin terjadi, yaitu dengan menyimpan materi toksik logam berat di dalam jaringan yang sudah tua seperti daun yang sudah tua dan kulit batang yang mudah mengelupas, sehingga dapat mengurangi konsentrasi logam berat di dalam tubuhnya. Metabolisme atau transformasi secara biologis (biotransformasi) logam berat dapat mengurangi toksisitas logam berat. Logam berat yang masuk ke dalam tubuh akan mengalami pengikatan dan penurunan daya racun, karena diolah menjadi bentuk-bentuk persenyawaan yang lebih sederhana. Menurut Ali dan Rina (2012), tumbuhan mangrove mampu mengalirkan oksigen melalui akar ke dalam sedimen tanah untuk mengatasi kondisi anaerob pada sedimen tersebut. Jika logam berat memasuki jaringan, terdapat mekanisme yang sangat jelas, pengambilan (*up taken*) logam berat oleh tumbuhan di lahan basah adalah melalui penyerapan dari akar, setelah itu tumbuhan dapat melepaskan senyawa kelat, seperti protein dan glikosida yang berfungsi mengikat logam dan dikumpulkan ke jaringan tubuh kemudian

ditransportasikan ke batang, daun dan bagian lainnya, sedangkan ekskresinya terjadi melalui transpirasi.

Proses absorpsi racun, termasuk unsur logam berat menurut Soemirat (2003) dapat terjadi lewat beberapa bagian tumbuhan, yaitu : (1) akar, terutama untuk zat anorganik dan zat hidrofilik; (2) daun bagi zat yang lipofilik; dan (3) stomata untuk memasukkan gas. Adapun proses absorpsinya sendiri terjadi seperti pada hewan dengan berbagai mekanisme difusi, hanya istilah yang digunakan berbeda, yakni translokasi. Transpor ini terjadi dari sel-sel menuju jaringan vaskuler agar dapat didistribusikan ke seluruh bagian tumbuhan. Difusi katalis terjadi dengan ikatan benang sitoplasma yang disebut plasmadesmata. Misalnya transport zat hara dari akar ke daun dan sebaliknya transpor makanan atau hidrat karbon dari daun ke akar. Namun pada tanaman menunjukkan beberapa pola penyerapan dalam merespon logam berat.

2.7 Pengertian Mangrove

Ekosistem mangrove didefinisikan sebagai mintakat pasut dan mintakat suprapasut dari pantai berlumpur dan teluk, goba dan estuary yang didominasi oleh (*halophyta*), yakni tumbuh – tumbuhan yang hidup di air asin, berpokok dan beradaptasi tinggi yang berkaitan dengan anak sungai, rawa bersama – sama dengan populasi tumbuh – tumbuhan dan hewan. Ekosistem mangrove terdiri dari dua bagian, bagian daratan dan bagian perairan. Bagian perairan juga terdiri dari dua bagian yakni tawar dan laut (Romimohtarto dan Juwana, 2001).

Salah satu sumber daya alam yang mendapat perhatian dan berada di wilayah pesisir adalah ekosistem hutan mangrove. Hutan mangrove sering juga disebut hutan pantai, hutan pasang surut, hutan payau dan hutan bakau. Akan tetapi, istilah bakau sebenarnya hanya merupakan nama dari salah satu jenis tumbuhan yang menyusun hutan mangrove, yaitu jenis *Rhizophora* spp. oleh

karena itu, hutan mangrove sudah ditetapkan sebagai nama baku untuk *mangrove forest* (Prajitno, 2010).

Hutan mangrove merupakan suatu bentuk ekosistem yang kompleks dan khas, umumnya terbatas pada daerah sub tropis dan tropis. Ekosistem ini perpaduan antara ekosistem darat dan ekosistem laut, dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Hutan mangrove merupakan ekosistem intertidal yang memiliki produktivitas tinggi yang sering ditemukan di daerah pantai yang terlindung dari gempuran ombak dan daerah yang landai. Mangrove tumbuh optimal di wilayah pesisir yang memiliki muara sungai besar dan delta yang aliran banyak mengandung lumpur (Chapman, 1997).

Hutan mangrove merupakan daerah yang memiliki arti penting, yang memberikan fungsi dan manfaat bagi manusia dan alam. Hutan mangrove tidak saja bermanfaat karena menghasilkan kayu, namun lebih dari itu yaitu sebagai penyangga ekosistem laut dan daratan. Ekosistem hutan bakau sebagian besar terbentuk dari pohon bakau yang terdapat di sepanjang garis pantai, baik di daratan maupun yang terdapat di perairan dangkal. Endapan dasar biasanya berlumpur dan berbentuk alga dan dedaunan serta akar yang membusuk yang berasal dari pohon bakau itu sendiri yang disebut "detritus". Campuran detritus yang berasal dari jaring makanan yang rumit yang meluas ke padang lamun dan terumbu karang. Bakau bertindak sebagai tempat perawatan dan mencari makan bagi ikan dan udang muda dan menyediakan habitat untuk udang – udangan, molusca, buaya muara, dan ular. Manusia juga memperoleh keuntungan dari hutan bakau dengan memiliki air laut yang jernih, sumber makanan laut, bahan bangunan, makanan, bahan bakar, dan obat – obatan (Prajitno, 2010).

2.7.1 Karakteristik Hutan Mangrove

Karakteristik hutan mangrove dapat dilihat dari berbagai aspek seperti floristic, iklim, temperature, salinitas, curah hujan, geomorphologi, hidrologi dan drainase. Menurut Bengen (2000), secara umum, karakteristik habitat hutan mangrove digambarkan sebagai berikut :

- Umumnya tumbuh pada daerah intertidal yang jenis tanahnya berlumpur, berlempung dan berpasir.
- Daerahnya tergenang air laut secara berkala, baik setiap hari maupun yang hanya tergenang pada saat pasang purnama. Frekuensi genangan menentukan komposisi vegetasi hutan mangrove.
- Menerima pasokan air tawar yang cukup dari darat.
- Terlindung dari gelombang besar dan arus pasang surut yang kuat. Air bersalinitas payau (2 – 22 ‰) hingga asin (38 ‰).

Sebagian besar jenis – jenis mangrove tumbuh dengan baik pada tanah berlumpur, terutama di daerah dimana endapan lumpur terakumulasi. Di Indonesia, substrat berlumpur ini sangat baik untuk tegakkan *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina* . Jenis – jenis lain seperti *Rhizophora stylosa* tumbuh dengan baik pada substrat berpasir atau bahkan pada pantai berbatu (Noor *et al.*, 1999). Pada kondisi tertentu, mangrove dapat juga tumbuh pada daerah pantai bergambut, misalnya di Florida, Amerika Serikat. Di Indonesia, kondisi ini ditemukan di utara Teluk Bone, dan di sepanjang Larian – Lumu Sulawesi Selatan, dimana mangrove tumbuh pada gambut dalam (> 3 m) yang bercampur dengan lapisan pasir dangkal (0,5 m). Substrat mangrove berupa tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi (62 %) juga dilaporkan di kepulauan Seribu, teluk Jakarta (Hardjowigeno, 1989).

2.7.2 Struktur Vegetasi Hutan Mangrove dan Adaptasi

Hutan mangrove meliputi pohon – pohon dan semak yang terdiri dari 12 jenis pohon berbunga (*Avicennia*, *Sonneratia*, *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Xylocarpus*, *Lumnitzera*, *Languncularia*, *Aegiatilis*, *Snaeda* dan *Conocarpus*) yang termasuk ke dalam 8 famili (Bengen, 2000).

Menurut Prajitno (2010), mangrove diketahui mempunyai daya adaptasi fisiologis yang sangat tinggi. Mereka tahan terhadap lingkungan dengan suhu perairan yang tinggi, fluktuasi salinitas yang luas dan tanah yang anaerob. Salah satu faktor yang penting dalam adaptasi fisiologis tersebut adalah sistem pengudaraan di akar – akarnya. Spesies *Rhizophora* spp. memenuhi kebutuhan tersebut dengan akar tunjang yang mencuat sampai satu meter atau lebih di atas permukaan tanah. Spesies dari genera *Sonneratia* spp., *Avicennia* spp., *Lumnitzera* spp., dan *Xylocarpus* spp. tidak memiliki akar tunjang, akan tetapi mereka mempunyai *pneumatophores*, yaitu akar – akar yang mencuat secara vertikal keluar dari bawah tanah sampai pada ketinggian 20 – 30 cm dari atas tanah.

Kemampuan mangrove tumbuh pada air asin karena kemampuan akar – akar tumbuh untuk mengeluarkan atau mensekresi garam. Menurut Johannes (1975) dalam Supriharyono (2002), spesies dari genera *Rhizophora*, *Avicennia* dan *Leguncularia* mempunyai akar – akar yang dapat memisahkan garam. Pemisahan terjadi dari proses penguapan atau transpirasi di daun. Penguapan daun ini menimbulkan terjadinya tekanan negatif, yang menyebabkan air yang ada di sistem perakaran tertarik ke dekat xylem, dalam peristiwa ini terjadi pula pemisahan air tawar dari air laut yang ada di membrane akar.

Pada kondisi salinitas di atas 90% spesies mangrove seperti *Avicennia* spp. mempunyai sistem perakaran yang ekstensif, dan dengan sejumlah besar kelenjar yang mampu mensekresi garam. Sedangkan pada kondisi salinitas

rendah (air tawar), system perakaran yang menjadi kurang ekstensif dan kelenjar sekresi garam ini tidak ada di daun (Macnae, 1986).

2.8 *Avicennia alba*

2.8.1 Ciri-ciri Umum *Avicennia alba*

Menurut Tomlinson (1996) dalam Mulyadi *et al.*, (2009), pohon api-api (*Avicennia* spp.) telah dimasukkan dalam suku tersendiri yaitu *Avicenniaceae*, setelah sebelumnya dimasukkan dalam suku *Verbenaceae*, karena *Avicennia* memiliki perbedaan mendasar dalam bentuk organ reproduksi dan cara berkembang biak dengan anggota suku *Verbenaceae* lainnya. Penjelasan dari Setyawan *et al.*, (2002), menjelaskan pohon api-api putih (*Avicennia alba*) memiliki akar napas (*pneumatofore*) berbentuk pasak yang merupakan akar percabangan yang tumbuh dengan jarak teratur secara vertikal dari akar horizontal yang terbenam di dalam tanah. Reproduksi bersifat *kryptovivipary*, yaitu biji tumbuh keluar dari kulit biji saat masih menggantung pada tanaman induk, tetapi tidak tumbuh keluar menembus buah sebelum biji jatuh ke tanah. Buah berbentuk elip memanjang dan pipih seperti cabai, ujung buah lancip dengan panjang 2,5-4 cm dan lebar 1,5-2 cm, berwarna hijau kekuningan. Daun berbentuk ellips atau lanset dengan ujung runcing dan panjang daun sekitar 10-18 cm, permukaan atas daun berwarna hijau mengkilat dan permukaan bawah berwarna putih berkilin. Daun terdapat kelenjar garam dengan sisi bawah berwarna abu-abu perak atau putih.

Menurut Kamaruzzaman (2011), spesies mangrove seperti *Avicennia alba* adalah mangrove yang berkayu, berbiji dan tanaman yang sangat khusus dan ditemukan di sepanjang garis pantai intertidal terlindung dari muara dan laguna. Karena adaptasi unik mereka, mangrove berkembang dengan baik di lingkungan di mana tanaman lain tidak bisa tumbuh.

Klasifikasi *Avicennia alba* menurut Zipcodezoo (2013) :

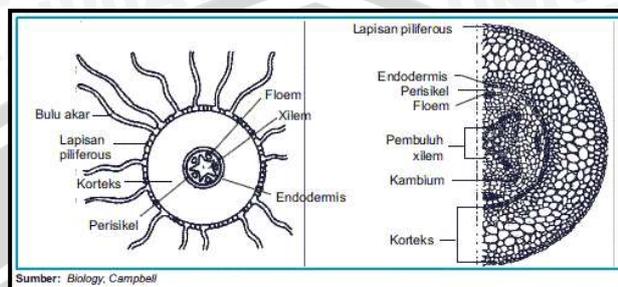
Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Viridaeplantae
Subfilum	: Euphyllphytina
Infrafilum	: Radiatopses
Kelas	: Spermatopsida
Subkelas	: Asteridae
Ordo	: Lamiales
Famili	: Acanthaceae
Subfamili	: Avicennioideae
Genus	: <i>Avicennia</i>
Species	: <i>Avicennia alba</i>

Beberapa jenis tumbuhan salah satunya yang tergolong dalam Genus *Avicennia* menghasilkan bahan-bahan yang dapat digunakan untuk keperluan pengobatan, pangan, pakan, perumahan dan farmasi. Tumbuhan api-api ini banyak mengandung senyawa aktif, yaitu triterpenoid, steroid, alkaloid, senyawa flavonoid, saponin, dan tannin (Yusuf, 2010). Mangrove sejati ini banyak mengandung senyawa aktif yang dapat dimanfaatkan secara maksimal. Daun dan kulit batang api-api mengandung senyawa aktif alkaloid, triterpenoid, saponin, tanin, glikosida, dan flavonoid yang sangat potensial digunakan sebagai antioksidan, antimikroba, antifungi, dan antibiotik (Wibowo *et al.*, 2009). Menurut Yuhernita dan Juniarti (2011), Senyawa alkaloid merupakan senyawa yang memiliki kemampuan untuk menghentikan reaksi rantai radikal bebas secara efisien.

2.8.2 Akar *Avicennia alba*

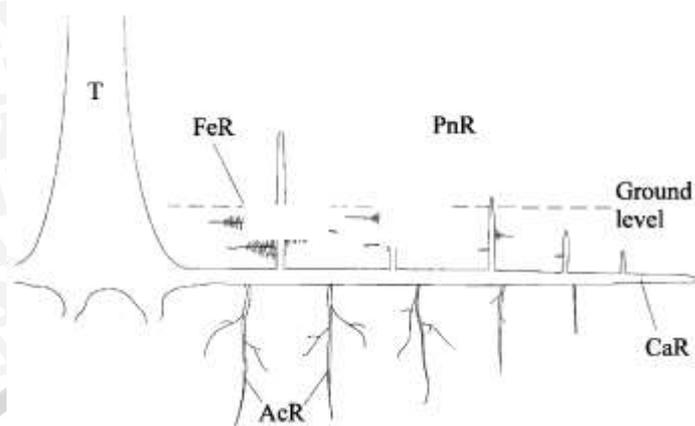
Akar sangat berperan penting bagi pertumbuhan suatu tumbuhan. Umumnya, akar terdapat di dalam tanah, tetapi ada pula kar yang menggantung karena tekah mengalami metamorphosis (Nugroho *et al.*, 2006). Akar tumbuhan berfungsi untuk memperkuat berdirinya tubuh tumbuhan, menyerap air dan

unsure hara tumbuhan dari dalam tanah, mengangkut air dan unsur hara ke bagian tumbuhan yang memerlukan, dan kadang kala sebagai tempat penimbunan zat makanan cadangan (Lakitan, 2001). Gambar struktur akar dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Akar (Campbell dan Reece, 2005)

Menurut Muzayyinah (2008), akar *Avicennia* sp. termasuk dalam akar pasak. Akar pasak tumbuh dari akar horizontal dekat permukaan tanah, arah tumbuh vertikal ke atas (geotropi negative) dan muncul di atas permukaan tanah. Hal ini berkaitan dengan fungsinya mengambil oksigen dan akat ini disebut pneumatofor. Di ujung pneumatofor inilah terjadi pertukaran gas. Pori pada pneumatophore memungkinkan akar yang terendam air membawa pertukaran gas dengan udara di atasnya. Tidak seperti gerak geotropism positif, akar pneumatophore adalah gerak geotropis negative dan tumbuh ke atas keluar dari lumpur dan melawan gravitasi. Menurut Purnobasuki (2011), dalam pohon dewasa, sistem akar *Avicennia alba* yang rumit dan memiliki jenis akar empat, yaitu akar kabel, pneumatophores, akar makan, dan akar jangkar. Gambar sistem akar *Avicennia alba* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem Akar *Avicennia alba* (Purnobasuki dan Suzuki, 2005)

Keterangan :

- CaR : Akar kawat, dimana merupakan akar primer yang tumbuh bercabang ke samping secara horizontal
- PnR : Pneumatopor, akar nafas yang tumbuh sampai ke atas permukaan tanah secara vertical yang berasal dari akar kawat
- FeR : Akar makan, akar yang tumbuh kesamping secara horizontal dari akar nafas (pneumatopor)
- AcR : Akar jangkar, akar yang tumbuh secara kebawah dari akar kawat
- T : Batang pohon

Menurut Purnobasuki (2011), akar kabel tersebut tumbuh secara horizontal dan radial untuk beberapa meter dari pohon. Pneumatophores tumbuh secara vertikal ke atas dan mengambil udara. Akar jangkar tumbuh secara vertikal ke bawah sekitar 1 m. Akar makan berasal dari pneumatophores yang terpendam di bawah tanah dan tumbuh secara horizontal. Lentisel pada permukaan pneumatophores memungkinkan pertukaran gas antara atmosfer dan struktur internal akar. Oleh karena itu, pneumatophores memiliki fungsi penting sebagai mekanisme ventilasi yang sangat khusus, yang memungkinkan tanaman untuk bertahan hidup di tanah anaerobik.

Menurut Tjitrosoepomo (2005), akar nafas (*pneumatophora*), yaitu cabang-cabang akar yang tumbuh tegak lurus ke atas hingga muncul dari permukaan tanah atau air tempat tumbuhnya tumbuhan. Akar ini mempunyai banyak liang-liang atau celah-celah (*pneumatoda*) untuk jalan masuknya udara yang diperlukan dalam pernafasan karena tumbuhan ini biasanya hidup di tempat-

tempat yang dalam tanah sangat kekurangan oksigen, misalnya pada bogem (*Sonneratia*) dan kayu api (*Avicennia*). Menurut Kamaruzzaman (2011), akumulasi peningkatan dari logam dalam jaringan tanaman dalam spesies diperkirakan dicapai melalui translokasi udara diserap melalui lentisel di pneumatophores di akar bawah tanah. Gambar struktur pneumatophore dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Pneumatophore (Purnobasuki, 2011).

Beberapa mangrove mengembangkan system perakaran yang dinamakan akar udara untuk menghadapi kondisi anaerob pada saat air tergenang air laut (pasang). Akar udara ini berfungsi sebagai tempat pertukaran dan penyimpanan udara untuk keperluan respirasi (Rahadyan, 2003).

2.8.3 Daun *Avicennia alba*

Daun termasuk organ pokok pada tubuh tumbuhan. Pada umumnya berbentuk pipih bilateral, berwarna hijau, dan merupakan tempat utama terjadinya proses fotosintesis. Berkaitan dengan itu, daun memiliki struktur mulut daun yang berguna pada pertukaran gas CO_2 , O_2 , dan uap air dari daun ke alam sekitar dan sebaliknya. Organ yang dimiliki oleh daun yaitu, pangkal daun,

pelepah dan upih daun, tangkai daun dan helaian daun (Nugroho *et al.*, 2006).

Daun *Avicennia alba* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Daun *Avicennia alba* (Setyawan *et al.*, 2002).

Menurut Rofik *et al.*, (2012), ciri-ciri daun *Avicennia alba* yaitu berbentuk tunggal, bertangkai, berhadapan, bertepi rata, berujung runcing atau membulat; helai daun seperti kulit, hijau mengkilap pada permukaan atas daun, abu-abu atau keputihan di sisi bawahnya, tulang daun umumnya tidak terlihat jelas.

Menurut Hutching dan Saenger (1987) dalam Fitriana (2006), flora mangrove menyerap air dengan salinitas tinggi kemudian mengekskresikan garam dengan kelenjar garam yang terdapat pada daun. Mekanisme ini dilakukan oleh *Avicennia*, *Sonneratia*, *Aegiceras*, *Aegialitis*, *Acanthus*, *Laguncularia* dan *Rhizophora* (melalui unsur-unsur gabus pada daun). Jaringan pada daun dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Jaringan Daun (Campbell dan Reece, 2005)

2.9 Parameter Kualitas Pendukung

2.9.1 Parameter Fisika

2.9.1.1 Suhu

Suhu penting dalam proses fisiologis, seperti fotosintesis dan respirasi. Aksornkoe menyatakan bahwa pertumbuhan mangrove yang baik memerlukan suhu rata-rata minimal lebih besar dari 20°C dan perbedaan suhu musiman tidak melebihi 5°C , kecuali di Afrika Timur dimana perbedaan suhu musiman mencapai 10°C . Hutching dan Saenger (1987) mendapatkan kisaran suhu optimum untuk pertumbuhan beberapa jenis tumbuhan mangrove, yaitu *Avicennia marina* tumbuh baik pada suhu $18-20^{\circ}\text{C}$, *R. stylosa*, *Ceriops* spp., *Excoecaria agallocha* dan *Lumnitzera racemosa* pertumbuhan daun segar tertinggi dicapai pada suhu $26-28^{\circ}\text{C}$, suhu optimum *Bruguiera* spp. 27°C , *Xylocarpus* spp. berkisar antara $21-26^{\circ}\text{C}$ dan *X. granatum* 28°C .

2.9.1.2 Substrat

Menurut Rahadyan (2003), tanah tempat tumbuh vegetasi mangrove pada umumnya berupa lumpur atau lumpur berpasir. Jenis pohon yang terdapat di hutan mangrove berbeda antara tempat satu dengan lainnya, tergantung pada jenis tanahnya, intensitas genangan air laut, kadar garam dan daya tahan terhadap ombak dan arus.

Susunan tanah mangrove tersebut diakibatkan adanya kondisi fisik di daerah mangrove oleh gerakan air yang minim. Gerakan air yang minim mengakibatkan partikel-partikel sedimen yang halus sampai di daerah tersebut cenderung mengendap dan mengumpul di dasar berupa lumpur halus. Hasilnya berupa lapisan lumpur yang menjadi dasar (substrat) hutan. Sirkulasi air di dasar (substrat) yang sangat minimal, ditambah banyaknya bahan organik dan bakteri

sehingga kandungan oksigen di dasar juga sangat minim, bahkan mungkin tidak terdapat oksigen sama sekali di dalam substrat tersebut (Kusmana, 1997).

2.9.2 Parameter Kimia

2.9.2.1 Salinitas

Menurut Praseno *et al.*(2010), salinitas diartikan sebagai ukuran yang menggambarkan tingkat keasinan (NaCl) dari suatu perairan. Satuan salinitas umumnya dalam bentuk promil (‰) atau satu bagian per seribu bagian, misalnya 35g dalam 1 L air (1000 ml) maka kandungan salinitasnya 35‰ atau dalam istilah lainnya disebut psu (partical salinity unit). Air tawar memiliki salinitas 0‰, air payau memiliki salinitas antara 1‰-30‰, sedangkan air laut/asin memiliki salinitas diatas 30‰.

Salinitas air tanah mempunyai peranan penting sebagai faktor penentu dalam pengaturan pertumbuhan dan sintasan. Salinitas tanah dipengaruhi oleh sejumlah faktor, seperti genangan pasang, topografi, curah hujan, masukan air tawar dari sungai, *run-off* daratan, dan evaporasi (Purnobasuki dan Suzuki, 2005). Salinitas air dan salinitas tanah rembesan merupakan faktor penting dalam pertumbuhan, daya tahan, dan zonasi spesies mangrove. Tumbuhan mangrove tumbuh subur di daerah estuaria dengan salinitas 10-30 ppt (Kusmana *et al.*, 2003).

2.9.2.2 pH Air

Nilai pH menyatakan nilai konsentrasi ion Hidrogen dalam suatu larutan. Dalam air yang bersih jumlah konsentrasi ion H^+ dan OH^- berada dalam keseimbangan sehingga air yang bersih akan bereaksi netral. Organisme akuatik dapat hidup dalam suatu perairan yang mempunyai nilai pH netral dengan nilai kisaran toleransi antara asam lemah dan basa lemah. pH yang ideal bagi kehidupan organisme akuatik umumnya berkisar antara 7-8,5. Kondisi perairan

yang sangat asam maupun sangat basa akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan menyebabkan mobilitas berbagai senyawa logam yang bersifat toksik (Barus, 2004).

Nilai pH berpengaruh terhadap toksisitas suatu senyawa kimia. Toksisitas logam berat memperlihatkan peningkatan pH rendah dan berkurang dengan meningkatnya pH. Nilai pH berkaitan erat dengan karbondioksida dan alkalinitas. Pada $pH < 5$, alkalinitas dapat mencapai nol. Semakin tinggi nilai pH, semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida bebas. Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai nilai pH 7-8,5. Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan. Toksisitas logam dapat memperlihatkan peningkatan pH rendah (Effendi, 2003). Menurut Panjaitan (2009), pH adalah faktor penting yang menentukan transformasi logam. Penurunan pH secara umum meningkatkan ketersediaan logam berat kecuali Mo dan Se.

2.9.2.3 pH Tanah

Derajat keasaman adalah suatu ukuran konsentrasi ion hydrogen yang menunjukkan suasana tersebut asam, basa atau netral (Hariyadi *et al.*, 1992). Menurut Fitriana (2006), nilai pH dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu aktivitas fotosintesis, aktivitas biologi, suhu, kandungan oksigen, dan adanya kation-kation dalam perairan.

Derajat keasaman tanah dapat mempengaruhi transportasi dan keberadaan nutrient yang diperlukan tanaman mangrove (Murdiyanto, 2003). Jenis tanah banyak dipengaruhi oleh keasaman tanah yang berlebihan, yang mengakibatkan tanah sangat peka terhadap terjadinya proses biologi. Jika keadaan lingkungan berubah dari keadaan alaminya, keadaan pH tanah juga akan dapat berubah (Arief, 2003).

2.9.2.4 DO

Menurut Fitriana (2006), oksigen terlarut sangat dibutuhkan dalam proses respirasi dan proses dekomposisi serasah daun mangrove. Konsentrasi oksigen bervariasi selama 24 jam, rendah di malam hari dan tinggi pada siang hari. Konsentrasi oksigen terlarut bervariasi menurut waktu, musim, dan kekayaan tumbuhan dan organisme akuatik mangrove.

Menurut Effendi (2003), oksigen merupakan salah satu gas yang terlarut dalam perairan. Kadar oksigen yang terlarut di alam perairan bervariasi, tergantung pada suhu, salinitas, turbulensi dan tekanan atmosfer. Semakin besar suhu dan ketinggian serta semakin kecil tekanan atmosfer, kadar oksigen terlarut semakin kecil. Semakin tinggi suatu tempat dari permukaan laut, tekanan atmosfer semakin rendah. Kadar oksigen terlarut juga berfluktuasi secara harian dan musiman, tergantung pada pencampuran dan pergerakan massa air, aktifitas fotosintesis, respirasi dan limbah yang masuk ke badan air. Sumber oksigen terlarut dapat berasal dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer (sekitar 35%) dan aktifitas fotosintesis oleh tumbuhan air dan fitoplankton. Difusi oksigen ke dalam air dapat terjadi secara langsung pada kondisi air diam (stagnan).

2.9.2.5 Nitrat

Nitrat merupakan hasil dari reaksi biologi yaitu nitrogen organik. Nitrat merupakan elemen esensial atau sebagai nutrisi dalam proses eutrofikasi, pada perairan alami nitrat hanya sedikit. Soda nitrat (NaNO_3) merupakan komponen utama pada endapan. Penambahan nitrat pada perairan dapat berasal dari pupuk yang tercuci dari tanah pertanian. Residu dari limbah peternakan, juga mengandung nitrogen organik dan apabila teroksidasi juga akan menjadi nitrat. Bahan ini (nitrat) dapat digunakan sebagai elektron aseptor oleh beberapa mikrobia (Arfiati, 2001).

Nitrogen dalam air biasanya dalam bentuk nitrit (NO_2), nitrat (NO_3), ammonium (NH_4^+) dan amoniak (NH_3), dari bermacam-macam bentuk ini yang dapat dimanfaatkan oleh algae atau tanaman air adalah senyawa garam-garam ammonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3) (Subarijanti, 2000).

2.9.2.6 Fosfat

Menurut Efendi (2003), orthofosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan akuatik. Fosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Sumber alami fosfor di perairan adalah pelapukan batuan mineral. Selain itu, fosfor juga berasal dari dekomposisi bahan organik.

Orthofosfat adalah senyawa fosfat yang berbentuk anorganik dan larut dalam air, sehingga dapat diserap oleh organisme nabati (Lind, 1979 dalam Subarijanti, 1990). Kondisi perairan yang anaerob akan menyebabkan komposisi fosfor yang tersedia menjadi sangat terbatas. Oleh karena itu, pada sedimen dengan konsentrasi oksigen yang cukup cenderung memperlihatkan bahwa konsentrasi fosfor biasanya stabil. Konsentrasi oksigen yang cukup dalam sedimen akan memberikan kesempatan terjadinya pelarutan ion-ion fosfor yang lebih tinggi ke dalam kolom air (Sutiknowati, 2010).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua lokasi. Lokasi pertama berada di kawasan mangrove Kecamatan Gunung Anyar, Surabaya sebagai daerah yang diduga tercemar logam berat Pb karena dekat dengan industri SIER (*Surabaya Industry Estate Rungkut*) dan yang kedua di kawasan mangrove Desa Kedawang, Kecamatan Nguling, Pasuruan yang diduga sebagai daerah yang sedikit tercemar karena jauh dari industri. Analisis logam berat pada sedimen, air, akar dan daun dilakukan di laboratorium MIPA, Universitas Brawijaya, Malang.

3.2 Materi Penelitian

Materi yang dibahas dalam penelitian ini mengenai kandungan logam berat Pb pada akar dan daun *Avicennia alba*, serta logam berat pada perairan dan sedimen. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret – Mei 2013, yang berlokasi di Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan, Jawa Timur.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi sebagai media untuk mendapatkan data yang akan diambil. Adapun, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan yang Digunakan

NO.	Parameter	Alat	Bahan
1.	Suhu	Termometer Hg	Air Sampel
2.	Salinitas	Salinometer	Air sampel
3.	pH air	pH meter	Air sampel
4.	pH tanah	- Botol kocok - Mesin pengocok - pH meter	- Larutan ekstrak - H ₂ O - Sedimen - Larutan buffer pH 7,0 - Larutan bebas ion

Tabel : Lanjutan

NO.	Parameter	Alat	Bahan
5.	DO	DO meter	Air sampel
6.	Tekstur	<ul style="list-style-type: none"> - Paralon - Kantong plastik - Kertas label - Hidrometer - Cawan petris - Selinder sedimentasi 1000 ml saringan termometer - Timbangan 	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimen - Air - Larutan calgon Aquades
7.	Total N	<ul style="list-style-type: none"> - Cetok - Timbangan analitik - Erlenmeyer - Kertas saring - Oven - Pinggan aluminium - Penjepit - Spektrofotometer 	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimen - Larutan KCl 2M - Larutan KNO₃ - Air destilasi - Larutan HCl 1M
8.	Total P	<ul style="list-style-type: none"> - Cetok - Botol polyethylene - Tabung reaksi - Pipet tetes - Spektrofotometer 	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimen - Perekasi Olsen - Larutan Standar 10 ppm - pereaksi fosfat pekat - pereaksi campuran fosfat - asam ascorbic - amonium molybdat - karbon aktif stok SnCl₂
9.	Akumulasi Pb	<ul style="list-style-type: none"> - Oven - <i>Furnace</i> (tanur) - Timbangan analitik - Wadah sampel - Labu takar - Gelas beaker - Cawan porselen - <i>Hot plate</i> - Kertas saring - Erlenmeyer - Spektrofotometer serapan ato 	<ul style="list-style-type: none"> - Mangrove <i>Avicennia alba</i> (akar dan daun) - Air Sampel - Sedimen - Larutan HNO₃ 65% - Larutan HClO₄ - Larutan HCl - Aquadest

3.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei. Menurut Notoatmojo (2010), penelitian survei tidak dilakukan intervensi atau perlakuan terhadap variabel, tetapi sekedar mengamati terhadap fenomena alam atau

sosial, atau mencari hubungan fenomena tersebut dengan variabel-variabel yang lain. Survei dilakukan terhadap sekumpulan objek yang biasanya cukup banyak dalam jangka waktu tertentu, tetapi tidak seluruh objek diteliti, tetapi melalui perwakilan dari seluruh objek tersebut. Perwakilan seluruh objek yang diambil ini disebut sampel. Oleh sebab itu, penelitian survei selalu melakukan pengambilan sampel.

Penelitian survei tersebut dijelaskan secara deskriptif. Penjelasan secara deskriptif yaitu menganalisis dan menyajikan fakta secara sistematis sehingga dapat lebih mudah untuk dipahami dan disimpulkan yang bertujuan untuk menggambarkan secara sistematis dan akurat fakta dan karakteristik mengenai populasi atau mengenai bidang tertentu (Azwar, 2010). Mengetahui hubungan kandungan Pb pada lingkungan yaitu di air dan sedimen dengan kandungan Pb pada pohon *Avicennia alba* dapat diketahui dengan menghitung BCF dan TF (MacFarlane *et al.*, 2007). Untuk menentukan titik stasiun penelitian dapat dihitung dengan menggunakan GPS.

3.4.1 Data Primer

Menurut Suryabrata (1987), data primer yaitu data yang langsung dikumpulkan oleh peneliti (atau petugas – petugasnya) dari sumber pertamanya. Menurut Azwar (2010), data primer, atau data tangan pertama adalah data yang diperoleh langsung dari subjek penelitian dengan mengenakan alat pengukuran atau alat pengambilan data langsung pada subjek sebagai sumber informasi yang dicari.

Data ini dapat diperoleh dengan melakukan pengamatan dan pencatatan dari hasil observasi lapang.

➤ Observasi Lapang

Observasi atau pengamatan langsung adalah pengamatan dan pencatatan secara sistematis terhadap gejala atau fenomena yang diselidiki (Koentjaraningrat, 1999). Observasi adalah mengamati dan mengukur dunia disekitar Anda, termasuk pengamatan dari orang – orang dan aktivitas lainnya yang diukur (Driscoll, 2011).

Pengambilan data secara observasi ini meliputi pengambilan sampel pada air, sedimen, akar akar nafas bagian ujung dan pangkal) dan daun (daun tua, sedang, muda) pada *Avicennia alba* untuk diuji kandungan Pb dan mengukur kualitas air yaitu suhu, pH, DO dan kualitas sedimen yaitu tekstur, pH, nitrat, fosfat sebagai data pendukung pada kedua kawasan mangrove.

3.4.2 Data Sekunder

Menurut Azwar (2010), data sekunder atau data tangan kedua adalah data yang diperoleh lewat pihak lain, tidak langsung diperoleh oleh peneliti dari subjek penelitiannya. Data sekunder biasanya berwujud dokumentasi atau data laporan yang telah tersedia. Data sekunder dalam penelitian ini didapatkan dari jurnal, majalah, internet, buku-buku serta instansi pemerintahan yang terkait guna menunjang keberhasilan penelitian.

3.5 Penentuan Stasiun Pengamatan

Pengambilan sampel diawali dengan penjelajahan untuk mengetahui keadaan lokasi penelitian secara umum. Penentuan stasiun penelitian dan penentuan titik pengambilan sampel didasarkan dari panjang muara mulai dari batas pasang surut sampai dengan muara yang berbatasan dengan laut di kawasan mangrove daerah penelitian pada lokasi penelitian di kawasan mangrove Gunung Anyar dan sejajar garis pantai secara proporsif pada kawasan mangrove Desa Kedawang. Menurut Sugiyono (2007), dimana teknik pengambilan sampel secara proporsif adalah teknik penentuan sampel dengan

pertimbangan tertentu, sampel yang diambil ditentukan oleh peneliti dengan dasar titik pengamatan mewakili suatu daerah (lokasi pengambilan sampel yang dianggap mewakili keadaan kawasan pesisir mangrove desa Kedawang) yaitu daerah yang mewakili setiap bagian dari lokasi pengamatan di sepanjang garis pantai dan memperhatikan mudahnya medan untuk menjangkau lokasi pengambilan sampel.

Berdasarkan lokasi pengamatan yang sudah ditetapkan pada kedua lokasi yaitu kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan, lokasi penelitian dibagi menjadi tiga stasiun, pada masing-masing stasiun dilakukan pengambilan sampel sebanyak dua titik. Jarak antar stasiun ditentukan dengan menggunakan GPS. Menurut Mulyadi *et al.*, (2009), terdiri dari satu transek sepanjang 10 m karena dengan jarak tersebut sudah mewakili naungan pohon yang lebih luas dan tiap stasiun diambil 2 titik. Pengambilan sampel ini dilakukan secara acak. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1 dan 2.

Adapun ketiga stasiun pada kawasan mangrove Gunung Anyar yaitu :

- Stasiun pertama, stasiun ini berada di muara kali Gunung Anyar yang berdekatan dengan laut. Terdiri dari satu transek sepanjang 10 m dan pengambilan sampel dibagi menjadi dua titik, pengambilan sampel ini dilakukan secara acak.

Letak lintang pengambilan sampel :

Stasiun 1a : 7°20'02.39"LS 112°49'42.76"BT

Stasiun 1b : 7°20'01.98"LS 112°49'43.17"BT

- Stasiun kedua, stasiun ini berada di bagian tengah dari kawasan mangrove Gunung Anyar, terdiri dari satu transek sepanjang 10 m dan pengambilan sampel dibagi menjadi dua titik, pengambilan sampel ini dilakukan secara acak.

Letak lintang pengambilan sampel :

Stasiun 2a : 7°19'49.88"LS 112°49'20.28"BT

Stasiun 2b : 7°19'49.06"LS 112°49'20.94"BT

- Stasiun ketiga, ini berada di sungai kali Gunung Anyar yang berdekatan dengan pemukiman. Terdiri dari satu transek sepanjang 10 m dan pengambilan sampel dibagi menjadi dua titik, pengambilan sampel ini dilakukan secara acak.

Letak lintang pengambilan sampel :

Stasiun 3a : 7°19'52.07"LS 112°48'42.29"BT

Stasiun 3b : 7°19'51.52"LS 112°48'42.89"BT

Adapun ketiga stasiun pada Kedawang, Pasuruan yaitu :

- Stasiun pertama, stasiun ini berada di daerah yang berdekatan dengan laut. Terdiri dari satu transek sepanjang 10 m dan pengambilan sampel dibagi menjadi dua titik, pengambilan sampel ini dilakukan secara acak.

Letak lintang pengambilan sampel :

Stasiun 1a : 7°41'49.66"LS 113°04'57.72"BT

Stasiun 1b : 7°41'49.73"LS 113°04'58.03"BT

- Stasiun kedua, stasiun ini berada di bagian tengah dari kawasan mangrove di Kedawang, Pasuruan. Terdiri dari satu transek sepanjang 10 m dan pengambilan sampel dibagi menjadi dua titik, pengambilan sampel ini dilakukan secara acak.

Letak lintang pengambilan sampel :

Stasiun 2a : 7°41'54.13"LS 113°04'58.13"BT

Stasiun 2b : 7°41'54.11"LS 113°04'57.83"BT

- Stasiun ketiga, ini berada di daerah yang berdekatan dengan pemukiman. Terdiri dari satu transek sepanjang 10 m dan pengambilan sampel dibagi menjadi dua titik, pengambilan sampel ini dilakukan secara acak.

Letak lintang pengambilan sampel :

Stasiun 3a : 7°41'56.15"LS 113°05'01.01"BT

Stasiun 3b : 7°41'56.09"LS 113°05'01.35"BT

3.6 Teknik Pengambilan Sampel

3.6.1 Pengambilan Sampel *Avicennia alba*

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yang pertama yaitu tahap pengambilan sampel yang dilaksanakan di lapang dan yang kedua tahap analisis kandungan logam berat Pb di laboratorium MIPA Universitas Brawijata, Malang.

Menurut Mulyadi *et al.*, (2009), pengambilan sampel akar, batang dan daun mangrove dalam penelitian ini menggunakan transek sepanjang 10 m. Pohon yang dijadikan sampel adalah pohon yang berdiameter 15 – 25 cm dan tinggi berkisar 3-5 m, dimana menurut (Little, 1983; Steinke, 1995; Naidoo and Chirkoot, 2004; Naidoo, 2006) dalam Hiralal (2008) pada ketinggian tersebut mangrove mempunyai daya toleran terhadap salinitas yang tinggi. Menurut Raskin *et al.*,(1997) dalam Marques *et al.*,(2009) berpendapat bahwa dengan menggunakan mangrove yang sudah tua, diasumsikan mangrove tersebut sudah dapat dijadikan bioremediasi lingkungannya.

Bagian – bagian yang diambil pada pohon *Avicennia alba* adalah :

1. Akar

Pengambilan sampel akar, akar yang diambil adalah akar nafas atau *pneumatophora* yang diambil pada bagian ujung dan pangkal yang berada di dalam sedimen dengan diameter 0,4–0,6 cm (Arisandy *et al.*, 2011). Dari penjelasan Saenger (2002) dalam Syah (2011), pada akar *Avicennia* spp. berfungsi untuk menyaring garam yang terkandung dalam air, dan menangkap

partikel tanah yang tersuspensi dalam air serta meretensi unsur hara dalam sedimen yang terakumulasi, sehingga diasumsikan pada bagian kedua akar tersebut terdapat kandungan logam berat Pb.

2. Daun

Pengambilan sampel daun, daun yang diambil adalah daun tua, daun sedang dan daun muda. Daun tua yang diambil berwarna hijau yang terletak pada cabang pertama pohon *Avecennia alba* dengan ukuran panjang 9,7 – 13,9 cm, lebar 2,8 – 4,7 cm, dengan jumlah daun sekitar 30 daun (Arisandy *et al.*, 2011). Menurut Amin (2001), daun tua merupakan daun yang berada pada pangkal ranting dan daun muda merupakan daun yang terletak pada ujung ranting.

3.6.2 Pengambilan Sampel Air dan Sedimen

Sebagai data penunjang dilakukan juga perhitungan kandungan Pb pada air permukaan dan sedimen. Selain itu, dihitung kualitas air di daerah penelitian dan dihitung kadar N, P, pH dan tekstur pada sedimen.

Adapun prosedur pengambilan sampel air dan sedimen sebagai berikut :

1. Prosedur Pengambilan Sampel Air

Sampel air diambil secara langsung dan dimasukkan ke dalam botol air mineral yang terlebih dahulu dikalibrasi dengan air sampel dari daerah penelitian. Kemudian sampel air diambil dan dimasukkan ke dalam botol, lalu ditambahkan dengan HNO₃ pekat sebanyak 1 ml, hal ini dilakukan untuk menurunkan pH agar tidak mudah menguap dan sampel awet, kemudian simpan pada suhu -4 °C atau dimasukkan dalam ice box, pada setiap stasiun diambil 2 sampel air laut (Rochmawati, 2007).

2. Prosedur Pengambilan Sampel Sedimen

Sampel sedimen diambil dengan menggunakan grab sampler yang kemudian dimasukkan ke dalam plastic klip sebanyak 250 gram untuk masing-masing titik

pengambilan sampel. Sampel sedimen yang diambil merupakan sedimen pada bagian permukaan dasar perairan yang memiliki ketebalan sekitar 20 cm. Selanjutnya tempat sampel dibungkus dengan kantong dan dimasukkan ke dalam *cool box*, kemudian sampel tersebut di uji kandungan Pb. Sebelum diuji di laboratorium, baiknya sampel sedimen tersebut dikeringanginkan selama 1 hari menggunakan alas alumunium foil yang bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam sedimen (Kusumastuti, 2009). Lorestani *et al.*,(2011) mengemukakan bahwa pada kedalaman 20 cm, sedimen telah terkomposit oleh berbagai macam campuran unsur hara dari lapisan *rhizosphere* tiap tanaman dan diasumsikan sedimen sudah terkontaminasi oleh logam berat.

3.7 Prosedur Pengamatan Logam Berat

3.7.1 Pengamatan Logam Berat pada Akar dan Daun

Preparasi akar dan daun, sampel di potong-potong kecil sebelum dihaluskan kemudian sampel akar dan buah masing-masing ditimbang sebanyak 5 gr. Setelah itu dimasukkan dalam tanur pada suhu 600-650°C (pengabuan) selama 3-4 jam. Setelah selesai proses pengabuan sampel akar dan buah tersebut dilarutkan dengan menambahkan 20 ml HNO₃ pekat dan 10 ml HClO₄. Kemudian ditambahkan aquadest sampai volume menjadi 50 ml.

Larutan tersebut dipanaskan pada *hot plate* sampai mendidih dan volume berkurang 30 ml. Bila belum terjadi kabut ulangi penambahan HNO₃ sebanyak 20 ml dan HClO₄ sebanyak 10 ml pada larutan tersebut, kemudian dipanaskan kembali hingga terjadi kabut. Setelah terjadi kabut, tambahkan kembali larutan dengan aquadest sehingga volume sampel menjadi 50 ml, lalu diendapkan. Larutan yang telah diendapkan disaring fasa airnya dengan kertas saring. Larutan yang diperoleh siap untuk dianalisis dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) (Basset, 1994).

3.7.2 Pengamatan Logam Berat pada Air

Sampel air laut diambil 100 ml, lalu ditambahkan 10 ml HNO₃ pekat. Panaskan dalam *hot plate* sampai volumenya berkurang 30 ml. Tambahkan kembali larutan dengan aquadest sampai volume menjadi 100 ml, kemudian diendapkan. Larutan yang telah diendapkan disaring fasa airnya dengan kertas saring. Larutan yang diperoleh siap untuk dianalisis dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*).

3.7.3 Pengamatan Logam Berat pada Sedimen

Sedimen dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 12 jam untuk menghilangkan kadar airnya dan diperoleh berat konstan. Sampel sedimen ditimbang sebanyak 5 gr kemudian dimasukkan dalam tanur pada suhu 600-650°C (pengabuan) selama 3-4 jam. Setelah selesai proses pengabuan sampel sedimen tersebut dilarutkan dengan menambahkan 20 ml HNO₃ pekat dan 10 ml HClO₄. Kemudian ditambahkan aquadest sampai volume menjadi 50 ml. Larutan tersebut dipanaskan pada *hot plate* sampai mendidih dan volume berkurang 30 ml. Bila belum terjadi kabut ulangi penambahan HNO₃ sebanyak 20 ml dan HClO₄ sebanyak 10 ml pada larutan tersebut, kemudian dipanaskan kembali hingga terjadi kabut. Setelah terjadi kabut, tambahkan kembali larutan dengan aquadest sehingga volume sampel menjadi 50 ml, lalu diendapkan. Larutan yang telah diendapkan disaring fasa airnya dengan kertas saring. Larutan yang diperoleh siap untuk dianalisis dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) (Basset, 1994).

3.8 Prosedur Kerja Pengukuran Parameter

3.8.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Menurut Standar Nasional Indonesia (1989), pengukuran suhu dengan menggunakan alat yaitu Thermometer Hg. Pengukuran suhu dilakukan dengan cara :

1. Mengkalibrasi Thermometer Hg.
2. Melakukan pemeriksaan terhadap suhu udara di daerah lokasi pengambilan sampel dengan cara menempatkan Thermometer Hg sedemikian rupa, sehingga tidak terjadi kontak langsung dengan cahaya matahari yang biasanya dilindungi dengan bayangan badan.
3. Menunggu sampai skala suhu pada Thermometer Hg menunjukkan angka yang stabil.
4. Mencatat suhu udara yang tertera.
5. Mencilupkan Thermometer ke dalam air sampai batas skala terbaca.
6. Menunggu selama 2-5 menit sampai skala suhu pada Thermometer Hg menunjukkan angka yang stabil.
7. Membaca skala Thermometer Hg harus dilakukan tanpa mengangkat lebih dahulu Thermometer Hg dari badan air.

b. Tekstur

Prosedur kerja yang dilakukan dalam analisis tekstur tanah adalah sebagai berikut :

1. Menimbang 20 gram tanah kering udara, butir-butir tanah ini berukuran kurang dari 2 mm.
2. Memasukkan tanah ke dalam erlenmeyer atau botol tekstur dan ditambahkan 10 mL larutan Calgon 0,05 % dan aquadest secukupnya.
3. Mengocok tanah dengan mesin pengocok selama kurang lebih 10 menit.

4. Menuangkan secara kualitatif semua isinya ke dalam silinder sedimentasi 1000 mL yang di atasnya dipasang saringan dengan diameter lubang 0,05 mm dan dibersihkan botol tekstur dengan bantuan botol semprot.
5. Menyemprot dengan spayer sambil diaduk-aduk semua suspensi yang masih tinggal pada saringan sehingga semua partikel debu dan liat telah turun (air saringan telah jernih).
6. Memindahkan pasir yang tertinggal ke dalam cawan dengan pertolongan botol semprot kemudian masukkan ke dalam oven bersuhu 105°C selama 2 x 24 jam, selanjutnya masukkan dalam desikator dan timbang hingga berat pasir diketahui (catat sebagai C gram)
7. Mencukupkan larutan suspensi dalam tabung sedimentasi dengan aquadest hingga 1000 mL.
8. Mengangkat silinder sedimentasi, sumbat bolak-balik dengan karet lalu kocok dengan membolak-balik tegak lurus 180° sebanyak 20x atau dapat juga dilakukan dengan memasukkan pengocok ke dalam silinder sedimentasi lalu aduk naik turun selama 1 menit.
9. Masukkan hidrometer kedalam suspensi dengan sangat hati-hati agar suspensi tidak banyak terganggu.
10. Setelah beberapa detik, membaca dan mencatat (H_1) pada hidrometer beserta suhunya (t_1), dengan hati-hati hidrometer dikeluarkan dari suspensi.
11. Setelah menjelang 8 jam, memasukkan hidrometer kembali untuk pembacaan H_2 dan t_2 .
12. Menghitung berat debu dan liat dengan menggunakan rumus :

Berat debu dan liat : $\frac{H_1 + 0,3(t_1 - 19,8)}{2} - 0,5$ (a)

Berat liat : $\frac{H_2 + 0,3(t_2 - 19,8)}{2} - 0,5$ (b)

Berat debu : Berat (debu + liat) - Berat liat.....(a + b)

13. Menghitung persentase pasir, debu dan liat dengan persamaan :

$$\% \text{ pasir} : \frac{c}{a+c} \times 100\%$$

$$\% \text{ debu} : \frac{a-b}{a+c} \times 100\%$$

$$\% \text{ liat} : \frac{b}{a+c} \times 100\%$$

3.8.2 Parameter Kimia

a. pH Air

Pengukuran pH pada air menggunakan alat pH meter. Cara pengukuran adalah sebagai berikut :

1. Mencuci pH tester dicuci dengan air suling dan distandarisasi dengan larutan standar yang telah disediakan
2. Menekan tombol ON/OFF untuk menghidupkan pH tester
3. Memasukkan ujung sensor pH tester ke dalam air sekitar 2/3 cm pada larutan yang akan diuji
4. Menekan tombol hold/ent untuk menetapkan hasil nilai pH dan pH tester akan menunjukkan angka/nilai pH terukur
5. Menekan tombol ON/OFF untuk mematikan pH tester, jika tidak segera mematikan pH tester, maka dalam waktu 8,5 menit pH tester secara otomatis akan mati dengan sendirinya.

b. pH Sedimen

Menurut Hamzah dan Setiawan (2010), pH sedimen diukur dengan menggunakan ekstrak H₂O dan KCl dimana pH yang diekstrak dengan air merupakan kemasaman aktif (aktual) dan ekstrak KCl 0.01 M merupakan kemasaman potensial (cadangan).

c. DO

Pengukuran DO dengan menggunakan alat yaitu DO meter. Pengukuran DO dilakukan dengan cara :

1. Mengkalibrasi secara ganda yaitu standarisasi dengan udara bebas (20,8 – 21 ppm) dan pada kondisi jenuh (100 ppm).
2. Mengambil air sampel dengan menggunakan botol sampel
3. Mencilupkan elektroda ke dalam air sampai batas yang telah ditentukan
4. Menunggu hingga angka digit tidak berubah lagi
5. Membaca angka atau skala yang ditunjukkan jarum

d. Salinitas

Pengukuran salinitas dengan menggunakan alat salinometer ATAGO *Pocket Refractometer* dilakukan dengan cara :

1. Mengkalibrasi lapisan prisma dengan menggunakan aquades dan keringkan dengan menggunakan tisu
2. Mengambil 0,3 ml larutan sampel, kemudian teteskan di atas lapisan prisma
3. Menekan tombol start, maka *Pocket Refractometer* akan menunjukkan hasil larutan uji pada layar setelah muncul tanda panah tiga kali
4. Setelah muncul tanda panah tiga kali, tunggu selama 2 menit maka kadar salinitas larutan uji sudah terbaca
5. Matikan *Pocket Refractometer* dengan menekan tombol start selama 2 detik
6. Membersihkan lapisan prisma dengan menggunakan aquades kembali dan keringkan dengan menggunakan tissue

e. Total N Sedimen

Pengukuran data nitrat (NO_3) dilakukan dengan menggunakan metode Brucine yaitu dengan cara:

Pereaksi :

- Brucin 2 % dalam amilum asetat dengan pH 4,8
- H_2SO_4 (p)
- Amilum asetat

- Pengekstrak Morgan-Wolf

Prosedur Kerja :

Sebanyak 5 gr sampel ditambahkan 50 ml amilum asetat dengan pH 4.8. Kocok selama 30 menit kemudian disaring. 5 ml hasil ekstraksi dipipet ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan dengan 0.5 ml brucin dan kemudian ditambahkan dengan 5 ml H_2SO_4 (p). Dikocok dengan pengocok tabung sampai homogen dan dibiarkan selama 30 menit. Dimasukkan kedalam spektrofotometer dengan panjang gelombang 432 nm. Kemudian diamati.

f. Total P Sedimen

Pengukuran fosfat sedimen dilakukan di laboratorium Kimia Ilmu Tanah dengan keadaan substrat yang masih basah. Sebanyak 5 gr sampel sedimen dimasukkan ke dalam botol polyethylene ditambahkan 2 gr karbon aktif. Larutkan dengan 2 ml pengekstrak olsen dan dikocok selama 30 menit lalu disaring ke dalam tabung reaksi. 5 ml larutan jernih dari tabung reaksi dipipet dan ditambah 5 ml pereaksi fosfat. Membuat larutan standar dengan kepekatan 0 – 10 ppm P_2O_5 dengan cara memipet : 1,0 ; 2,0 ; 4,0 ; 8,0 ; 10,0 ml larutan standar P_2O_5 10 ppm kemudian diencerkan dengan pengekstrak olsen menjadi 2 ml. Sampel dan larutan standar masing-masing ditambahkan 5 ml pereaksi fosfat, kemudian dikocok dan dibiarkan selama 30 menit. Sampel kemudian diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 693 nm.

3.9 Prinsip Kerja Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS)

Alat AAS diset terlebih dahulu sesuai dengan instruksi dalam manual alat tersebut. Kemudian dikalibrasikan dengan kurva standar dari logam Pb dengan konsentrasi 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 ppm. Diukur absorbansi atau konsentrasi masing-masing sampel.

3.10 Analisis Data

3.10.1 Faktor Biokonsentrasi (BCF) dan Faktor Translokasi (TF)

Mengetahui terjadi akumulasi logam berat Pb pada *A.alba* dilakukan dengan cara menghitung konsentrasi logam pada sedimen, akar dan daun. Perbandingan antara konsentrasi logam di akar/daun dengan konsentrasi di sedimen dikenal dengan *bio-concentration factor* (BCF). Menurut Yoon *et al.*, (2006) dalam Lorestani *et al.*, (2011) dengan rumus :

$$BCF \text{ Pb} = \frac{(\text{Logam berat Pb}) \text{ Akar}}{(\text{Logam berat Pb}) \text{ Sedimen}}$$

BCF pada akar dihitung untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi logam berat Pb pada akar yang berasal dari lingkungan (MacFarlane *et al.*, 2007).

Setelah nilai BCF diketahui, maka perlu menghitung TF untuk menentukan kemampuan tanaman *A.alba* dalam mengakumulasi logam berat Pb sehingga dapat dikatakan sebagai *hyperaccumulator* logam berat menurut Yoon *et al.*, (2006) dalam Lorestani *et al.*, (2011) dengan rumus :

$$TF \text{ Pb} = \frac{(\text{Logam berat Pb}) \text{ Daun}}{(\text{Logam berat Pb}) \text{ Akar}}$$

Nilai TF dihitung untuk mengetahui perpindahan akumulasi logam dari akar ke tunas (MacFarlane *et al.*, 2007). Kemudian menghitung nilai FTD (fitoremediasi) untuk mengetahui dasar suatu tanaman dapat dijadikan sebagai fitoremediasi perairan.

Kemampuan tumbuhan untuk mentolerasi dan mengakumulasi logam berat dengan menggunakan faktor tersebut, dapat digunakan untuk menentukan status tumbuhan sebagai fitoekstraksi dan fitostabilisasi. Dimana jika :

TF dan BCF > 1 = dapat digunakan sebagai fitoekstraksi

TF < 1 dan BCF > 1 = dapat digunakan sebagai fitostabilisasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Lokasi Umum Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kawasan Mangrove Gunung Anyar, Kecamatan Rungkut, Surabaya dan Kedawang, Kecamatan Nguling, Pasuruan Jawa Timur. Kawasan mangrove Gunung Anyar ini terletak di daerah pantai timur Surabaya dan dijadikan daerah wisata mangrove. Kota Surabaya merupakan wilayah bagian Propinsi Jawa Timur, memiliki luas wilayah sebesar 326,36 km². Secara geografis Kabupaten Surabaya terletak di antara 07°12'-07°21' LS dan 112°36'-112°54 BT, merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Topografi Kota Surabaya meliputi : Kota pantai, dataran rendah antara 3-6 m di atas permukaan laut daerah berbukit, di Surabaya bagian selatan 20-30 m di atas permukaan laut. Temperatur Kota Surabaya cukup panas, yaitu rata-rata antara 22,60°-34,1°, dengan tekanan udara rata-rata antara 1005,2-1013,9 milibar dan kelembaban antara 42%-97%. Kecepatan angin rata-rata perjam mencapai 12-23 km, curah hujan rata-rata antara 120-190 mm.

Batas-batas wilayah Kota Surabaya adalah sebagai berikut :

- sebelah utara Selat Madura
- sebelah selatan Kabupaten Sidoarjo
- sebelah timur Selat Madura
- sebelah barat Kabupaten Gresik.

Di perairan estuary (badan air di pantai setengah tertutup (*semi-enclosed*) yang berhubungan bebas dengan laut terbuka dimana di dalamnya terjadi pencampuran antara air laut dan air tawar dari sungai). Namun kondisi perairan saat ini sudah sangat berubah. Adanya pembukaan lahan tambak serta limbah industri memiliki dampak kerusakan lingkungan yang parah. Limbah yang dibuang ke sungai Kebon Agung terutama limbah dari industri, tercatat lima

industri baja : PT. Timur Mega Steel, PT. Maspion Group, PT. Surabaya Wire, PT. Nippon Paint, PT. Ispat Indo dan 4 pabrik kertas : PT. Suparma, PT. Surabaya Mega Box, Surabaya Kertas dan Pulp Tbk, PT. Adiprima Surya Printa (Produsen Kertas Jawa Pos). industri Polime (PT. Wings Surya produsen sabun colek Wings Ekonomi, minuman Segar Dingin) yang belakangan diduga membuang limbah B3 ke anak sungai Surabaya salah satunya sungai Kebon Agung dan 60 lebih industri berpotensi mengandung logam berat pencemar yang membahayakan kesehatan masyarakat.

Lokasi penelitian Kedawang berada di Kabupaten Pasuruan. Pantai di Kedawang memiliki perairan yang relatif bersih karena jauh dari aktivitas perindustrian, sehingga sumber pencemaran tidak banyak yang masuk ke perairan pantai di Kedawang. Sumber pencemaran yang mungkin masuk berasal dari aktivitas manusia dan transportasi kapal nelayan penduduk sekitar. Kondisi muara sungai yang kering menyebabkan populasi mangrove tidak sekuat di kawasan mangrove Gunung Anyar, karena mangrove memiliki pertumbuhan yang optimal pada daerah berlumpur dan salinitas rendah.

4.2 Hasil Analisis Timbal (Pb)

4.2.1 Hasil Analisis Timbal (Pb) pada Air

Pengambilan sampel air diambil dari lokasi yang berbeda yaitu kawasan Mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan sebanyak 3 stasiun dimana sampel yang diambil terdapat di aliran sungai yang menjadi tempat tumbuhnya mangrove. Sampel air dianalisis di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2 dan pada Gambar 6.

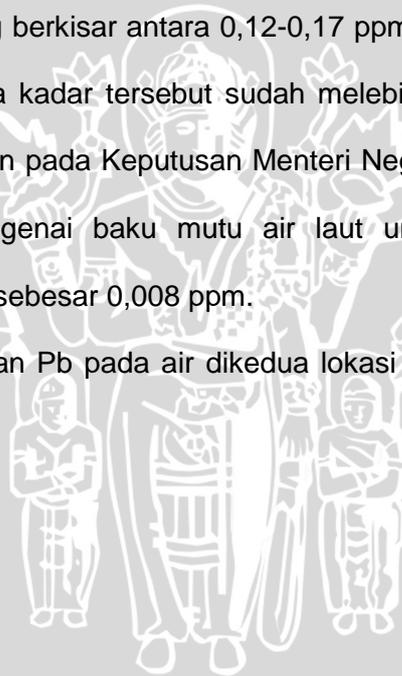
Tabel 2. Rerata Kandungan Pb pada Air

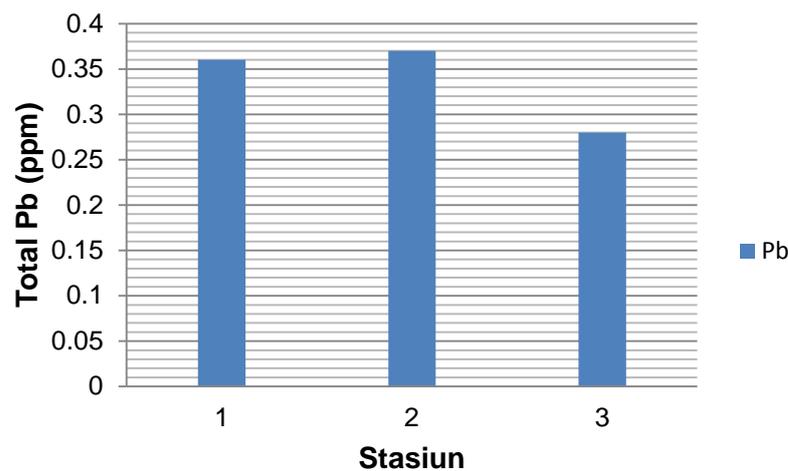
Parameter	Satuan	Gunung Anyar			Kedawang		
		Stasiun			Stasiun		
		1	2	3	1	2	3
Pb	ppm	0,36	0,37	0,28	0,16	0,17	0,12

*Sumber Data : Wilujeng (2013)

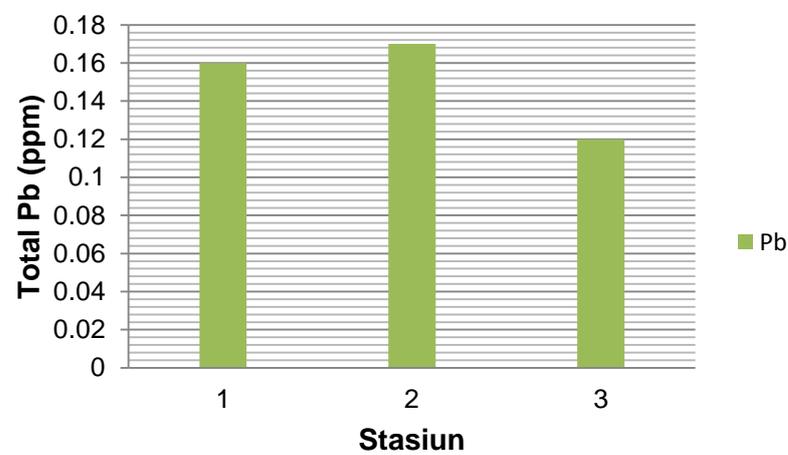
Hasil analisis pada Tabel 2 menyatakan bahwa kadar Pb pada setiap stasiun berbeda. Kadar logam berat timbal ini tergantung dari banyak sedikitnya limbah yang masuk ke dalam perairan. Semakin banyak limbah yang masuk ke dalam perairan maka kandungan logam berat timbal akan semakin tinggi juga. Kadar Pb pada air di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,28-0,37 ppm dan pada lokasi Kedawang berkisar antara 0,12-0,17 ppm. Kadar Pb air dikedua lokasi menunjukkan bahwa kadar tersebut sudah melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Berdasarkan pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 mengenai baku mutu air laut untuk biota laut, batas kandungan untuk Pb yaitu sebesar 0,008 ppm.

Hasil analisis kandungan Pb pada air dikedua lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar Gambar 6.





(a)



(b)

Gambar 6. Grafik Kadar Pb di Air (a) di Gunung Anyar, (b) di Kedawang

Berdasarkan Gambar 6 pada lokasi penelitian Gunung Anyar di stasiun 2 memiliki kandungan Pb paling tinggi yaitu 0,37 ppm dan pada stasiun 3 memiliki kandungan Pb paling sedikit yaitu 0,28 ppm. Dikarenakan pada stasiun 2 terdapat percabangan yang menjadi tempat pertemuan dari sungai afur. Sedangkan, kandungan paling sedikit di stasiun 3 dikarenakan pada saat pengambilan sampel kondisi sedang dalam keadaan pasang yang dapat menyebabkan pengenceran pada air. Pada lokasi penelitian Kedawang di stasiun 2 memiliki kandungan timbal paling tinggi yaitu 0,17 ppm karena letak dari stasiun ini berada di tengah kawasan mangrove yang tidak mendapat pengaruh

langsung dari pasang surut yang dapat menyebabkan pengenceran dan pada stasiun 3 memiliki kandungan timbal paling sedikit yaitu 0,12 ppm karena pada saat pengambilan sampel dilakukan pada saat pasang dan stasiun ini berdekatan dengan garis pantai dan terkena pengaruh langsung dari pasang surut. Selain itu, kandungan Pb yang terdapat pada perairan juga dipengaruhi aktivitas manusia, menurut Hastuti dan Sulistyarsa (2012), logam berat timbal banyak dihasilkan oleh berbagai aktivitas manusia. Aktivitas manusia tersebut adalah aktivitas industri, pelabuhan, perumahan, kendaraan bermotor, perikanan (tambak) dimana dari aktivitas tersebut menyumbang bahan pencemar yang masuk ke perairan dan terbawa arus menuju aliran sungai Kebon Agung.

Stasiun yang berada di dekat laut lepas cenderung mempunyai kandungan Pb total lebih sedikit dari pada daerah yang jauh dari laut. Hal ini bisa terjadi dikarenakan adanya pengenceran di laut lepas. Pernyataan ini sesuai yang diungkapkan oleh Zaman dan Syafrudin (2007), pada stasiun yang lebih menuju laut mempunyai konsentrasi logam berat yang menurun. Hal tersebut disebabkan oleh pengenceran polutan oleh massa air laut dan oleh adanya proses adveksi dan dispersi yang menyebabkan polutan menyebar dan konsentrasinya menurun. Selain dari aktivitas manusia, kemungkinan kondisi pola arus pasang surut yang cukup tenang menyebabkan bahan cemaran yang mengandung logam Pb mengalami proses pengenceran cukup rendah, kemudian akan mengendap didasar laut (Rochayatun *et al.*, 2005).

Kandungan Pb pada tiap daerah juga dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi di perairan. Supriharyono (2002), mengemukakan bahwa logam berat yang dilimpahkan ke dalam perairan, baik sungai maupun lautan akan mengalami paling tidak tiga proses, yaitu pengendapan: apabila konsentrasi logam lebih besar daripada daya larut terendah komponen yang terbentuk antara logam dan anion yang ada di dalam air. Adsorpsi (berikatan dengan unsur lain)

dan absorpsi (penyerapan) oleh organisme-organisme perairan baik langsung maupun tidak langsung melalui rantai makanan.

Kandungan Pb pada air di lokasi penelitian bisa dipengaruhi masukan dari daerah laut lepas maupun dari arah muara sungai. Diliyana (2008) juga mengemukakan bahwa bahan pencemar yang masuk ke dalam ekosistem laut dapat dibagi menjadi dua bila ditinjau dari adanya, yaitu:

1. Berasal dari laut sendiri, misalnya pembuangan sampah dari kapal, lumpur, buangan dari kegiatan pertambangan di laut.
2. Berasal dari kegiatan-kegiatan di daratan. Bahan pencemar dapat masuk ke ekosistem laut melalui udara atau terbawa air sungai.

Logam-logam dalam lingkungan perairan umumnya berada dalam bentuk ion. Ion-ion itu ada yang merupakan ion-ion bebas, pasangan ion organik, ion-ion kompleks dan bentuk-bentuk ion lainnya (Panjaitan, 2009). Kadar Pb pada air lebih kecil daripada sedimen dikarenakan pada air terjadi pemurnian secara alami dari intrusi air laut dan air tawar (Mochdor dan Rachmadiarti, 2005). Faktor fisik dan kimia perairan akan berpengaruh satu sama lain dan akan berpengaruh pada konsentrasi logam berat terlarut di perairan tersebut (Ouyang *et al.*, 2006).

4.2.2 Hasil Analisis Timbal (Pb) pada Sedimen

Sedimen adalah lapisan bawah yang melapisi sungai, muara, danau, waduk, lautan yang terdiri atas bahan organik dan anorganik. Perairan pesisir banyak didominasi oleh substrat lunak seperti lumpur dan butir-butir pasir. Sampel sedimen yang didapat kemudian dianalisis di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan pada Gambar 7.

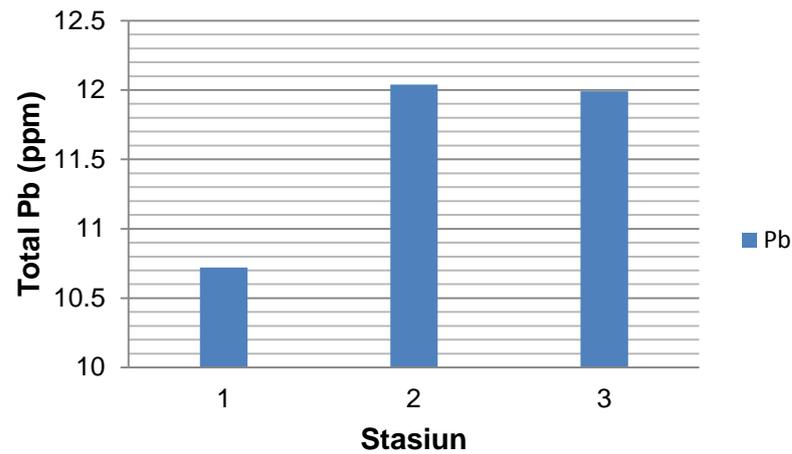
Tabel 3. Rerata Kandungan Pb pada Sedimen

Parameter	Satuan	Gunung Anyar			Kedawang		
		Stasiun			Stasiun		
		1	2	3	1	2	3
Pb	ppm	10,72	12,04	11,99	2,62	2,08	3,73

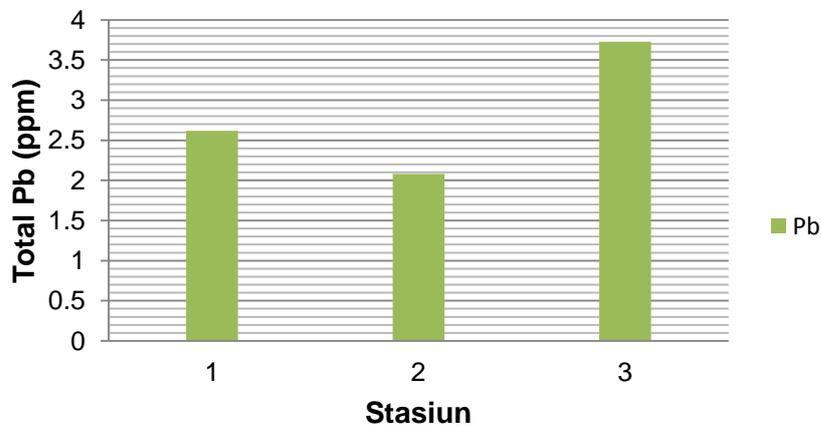
*Sumber Data : Wilujeng (2013)

Hasil analisis pada Tabel 3 menyatakan bahwa kadar Pb pada setiap stasiun berbeda. Kadar logam berat Pb ini tergantung dari banyak sedikitnya limbah yang masuk ke dalam perairan yang kemudian akan diserap oleh sedimen. Semakin banyak limbah yang masuk ke dalam perairan maka kandungan logam berat timbal akan semakin tinggi juga. Kadar Pb pada sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 10,72-12,04 ppm dan pada lokasi Kedawang berkisar antara 2,08-3,73 ppm. Kadar Pb pada sedimen di kedua lokasi menunjukkan bahwa kadar tersebut masih berada di bawah ambang batas menurut nilai baku mutu yang dikeluarkan oleh *International of Dredging Companies/Central Dredging Association* (1997) mengenai kandungan logam yang dapat ditoleransi keberadaannya dalam sedimen untuk logam berat timbal (Pb) yaitu sebesar 85 ppm.

Hasil analisa kandungan Pb pada sedimen di kedua lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



(a)



(b)

Gambar 7. Grafik Kadar Pb di Sedimen (a) di Gunung Anyar, (b) di Kedawang

Kadar Pb yang diperoleh dari setiap stasiun berbeda. Berdasarkan tabel rerata menunjukkan bahwa kadar Pb pada lokasi penelitian di kawasan mangrove Gunung Anyar lebih tinggi dari pada di lokasi penelitian Kedawang, hal ini disebabkan karena pada kawasan lokasi Gunung Anyar lebih banyak tercemar. Gambar di atas menunjukkan pada lokasi penelitian Gunung Anyar di stasiun 2 memiliki kandungan Pb paling tinggi yaitu 12,03 ppm karena terdapat percabangan yang menjadi tempat pertemuan dari sungai afur dan pada stasiun 1 memiliki kandungan Pb paling sedikit yaitu 10,72 ppm, karena stasiun 1 merupakan daerah yang berdekatan dengan laut sehingga terkena pengaruh pasang surut yang mempengaruhi proses pengendapan. Sedangkan, pada lokasi

penelitian Kedawang di stasiun 3 memiliki kandungan Pb paling tinggi yaitu 3,73 ppm dan pada stasiun 2 memiliki kandungan Pb paling sedikit yaitu 2,08 ppm.

Kandungan Pb yang tinggi pada sedimen juga dipengaruhi oleh timbal yang terkandung dalam air. Hal ini diduga karena terjadi proses pengendapan atau sedimentasi yang dialami logam berat. Menurut Harahap (1991), logam berat bersifat mengendap dalam perairan. Logam berat mempunyai sifat mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen, maka kadar logam berat dalam sedimen umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan kolom perairan.

Kandungan Pb lebih tinggi pada lokasi penelitian kawasan mangrove Gunung Anyar dari pada di Kedawang juga dipengaruhi oleh substrat yang menjadi tempat tumbuh tanaman *Avicennia alba*. Pada daerah kawasan mangrove Gunung Anyar memiliki substrat liat sedangkan pada daerah Kedawang memiliki substrat pasir. Tekstur tanah liat yang lebih banyak mempunyai kemampuan menyerap lebih besar dalam mengikat logam berat Pb. Menurut Hutabarat dan Evans (1984), menyatakan bahwa kandungan logam berat dalam sedimen berkaitan dengan ukuran butiran sedimen yang memiliki ukuran partikel lebih halus memiliki kandungan logam berat lebih tinggi dibandingkan dengan sedimen kasar.

Ukuran substrat yang memiliki partikel lebih kecil memungkinkan pada kawasan mangrove Gunung Anyar dapat menyerap timbal lebih banyak. Korzeniewski dan Neugabieuer dalam Amin (2002), berpendapat bahwa kandungan logam berat dalam sedimen dipengaruhi oleh tipe sedimen, dengan kategori kandungan logam berat dalam lumpur > lumpur berpasir > berpasir.

4.2.3 Hasil Analisis Timbal (Pb) pada Mangrove *Avicennia alba*

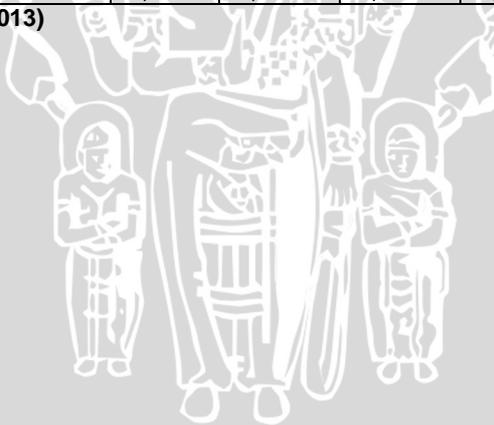
Avicennia alba diambil secara acak kemudian dijadikan satu. Bagian dari *Avicennia alba* yang diambil yaitu akar nafas dan daun. Sampel yang didapat dianalisis di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA.

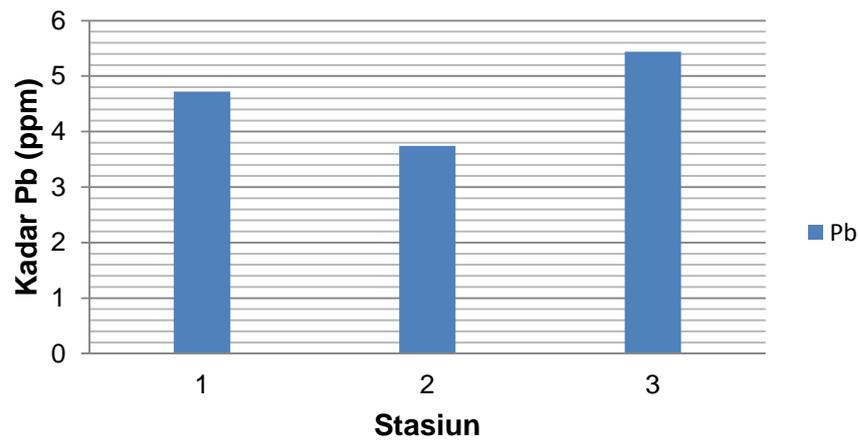
Akar *Avicennia alba* diambil pada bagian akar nafas (*pneumatophore*) yang kemudian dianalisis kandungan timbalnya pada bagian ujung dan pangkalnya. Sampel akar yang didapat kemudian dianalisis di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA yang hasilnya dapat dilihat pada. Tabel 4 dan pada Gambar 8.

Tabel 4. Rerata Kandungan Pb pada Akar *Avicennia alba*

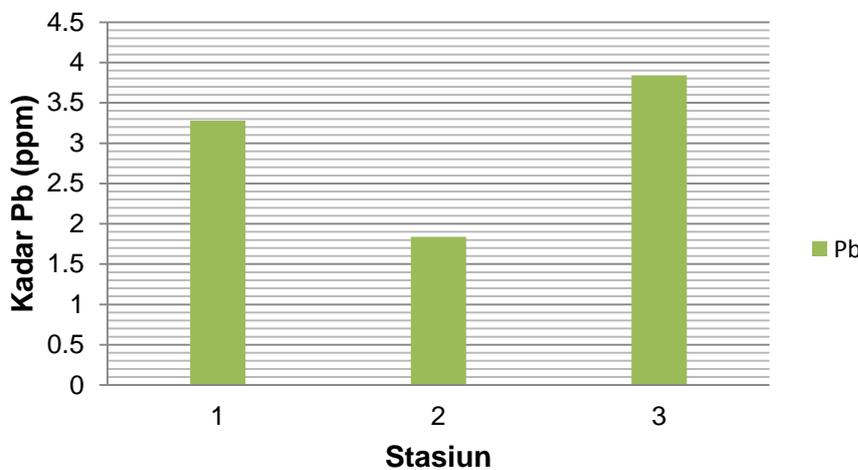
NO	Parameter	Satuan	Gunung Anyar			Kedawang		
			Stasiun			Stasiun		
			1	2	3	1	2	3
1	Akar pangkal	ppm	2,70	2,02	3,09	1,97	1,06	2,22
2	Akar ujung	ppm	2,32	1,72	2,35	1,31	0,78	1,62
	Total akar		4,72	3,74	5,44	3,28	1,84	3,84

*Sumber Data : Wilujeng (2013)





(a)



(b)

Gambar 8. Grafik Kadar Pb di Akar total (a) di Gunung Anyar, (b) di Kedawang

Hasil analisis pengukuran Pb di lokasi kawasan mangrove Gunung Anyar pada akar nafas *Avicennia alba* di bagian pangkal berkisar 2,02-3,09 ppm dan di ujung berkisar antara 1,72-2,35 ppm. Sedangkan di lokasi Kedawang pada akar nafas *Avicennia alba* di bagian pangkal berkisar 1,06-2,22 ppm dan di ujung berkisar antara 0,78-1,62 ppm. Berdasarkan hasil pengukuran timbal pada akar nafas bagian pangkal dan ujung, kandungan timbal lebih banyak di bagian pangkal, hal ini dimungkinkan karena pada akar nafas bagian pangkal menyerap Pb langsung dari sedimen.

.Berdasarkan tabel rerata pada lokasi penelitian Gunung Anyar di stasiun 3 memiliki kandungan timbal paling tinggi yaitu 5,44 ppm dan pada stasiun 2

memiliki kandungan timbal paling sedikit yaitu 3,74 ppm. Sedangkan, pada lokasi penelitian Kedawang di stasiun 3 memiliki kandungan timbal paling tinggi yaitu 3,84 ppm dan pada stasiun 2 memiliki kandungan timbal paling sedikit yaitu 1,84 ppm. Berdasarkan tabel rerata menunjukkan bahwa akumulasi logam Timbal (Pb) pada akar *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar mempunyai kandungan yang lebih tinggi dibandingkan di Kedawang, Pasuruan. Hal ini disebabkan oleh pencemaran yang terjadi di kawasan mangrove Gunung Anyar lebih besar dibandingkan dengan Kedawang, Pasuruan, karena pada aliran sungai di kawasan mangrove Gunung Anyar terkena oleh limbah buangan dari kawasan SIER.

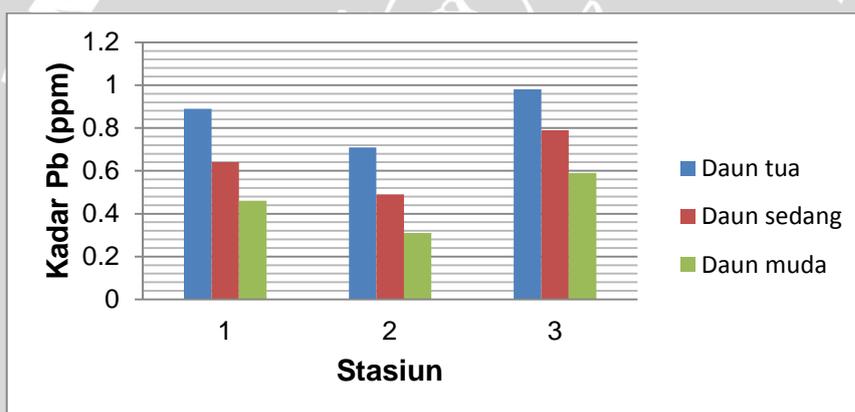
Hasil pengukuran kandungan logam berat timbal (Pb) pada bagian tumbuhan *Avicennia alba* menunjukkan bahwa penyerapan tertinggi terdapat pada bagian akar di kawasan mangrove Gunung Anyar. Hal ini disebabkan karena proses penyerapan logam berat timbal (Pb) pertama kali terjadi di akar. Menurut Priyanto dan Prayitno (2009), logam berat Pb yang diserap oleh akar akan ditranslokasikan ke bagian tumbuhan lainnya. Sedangkan pada akar memiliki nilai yang tinggi karena akar merupakan bagian yang kontak langsung dengan sedimen yang tercemar, kemudian ditranslokasikan ke bagian lain.

Akar merupakan organ yang kontak secara langsung dengan lingkungannya, oleh karena itu akar merupakan suatu struktur dan berfungsi mengatur pengambilan dan transpor ion. Akar merupakan *barrier* utama terhadap pergerakan larutan ke dalam tumbuhan dan sebagai hasilnya konsentrasi ion yang diantarkan ke tunas sangat berbeda dari konsentrasi ion pada medium eksternal (Shannon *et al.*, 1994). Hal ini diduga menjadi penyebab kandungan Pb paling banyak berada pada akar. Pb yang diserap oleh akar diakumulasi pada semua bagian akar yang kemudian ditranspor ke bagian tumbuhan lainnya melalui jaringan akar seperti halnya nutrisi yang dibutuhkan oleh tumbuhan.

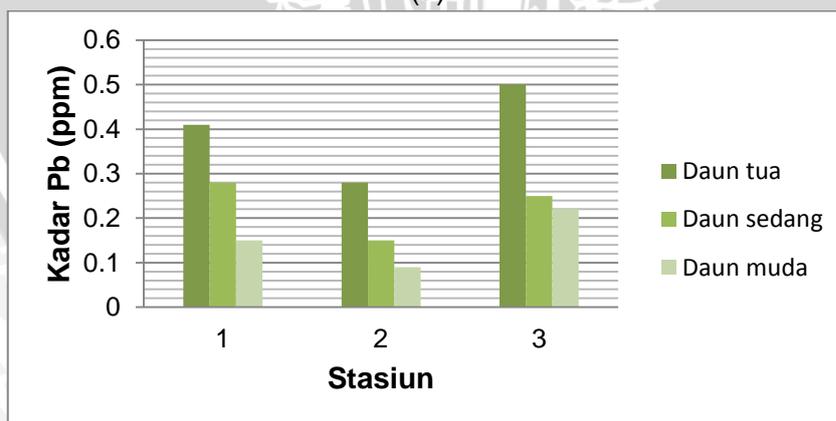
Daun *Avicennia alba* diambil secara acak, daun yang diambil yaitu daun tua, daun sedang dan daun muda. Sampel daun yang didapat kemudian dianalisis di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5. dan pada Gambar 9.

Tabel 5. Rerata Kandungan Pb pada Daun *Avicennia alba*

N O	Parameter	Satuan	Gunung Anyar			Kedawang		
			Stasiun			Stasiun		
			1	2	3	1	2	3
1	Daun tua	ppm	0,89	0,71	0,98	0,41	0,28	0,5
2	Daun sedang	ppm	0,64	0,49	0,79	0,28	0,15	0,25
3	Daun muda	ppm	0,46	0,31	0,59	0,15	0,09	0,22
	Rata-rata	ppm	0,66	0,50	0,78	0,28	0,18	0,32



(a)



(b)

Gambar 9. Grafik Kadar Pb di Daun total (a) di Gunung Anyar, (b) di Kedawang

Berdasarkan tabel reratan hasil analisis pengukuran timbal di lokasi kawasan mangrove Gunung Anyar pada daun tua *Avicennia alba* berkisar 0,71-0,98 ppm, pada daun sedang berkisar antara 0,49-0,79 ppm dan pada daun muda berkisar antara 0,31-0,59 ppm. Sedangkan di lokasi Kedawang pada daun tua *Avicennia alba* berkisar 0,50-0,28 ppm, pada daun sedang berkisar 0,15-0,28 ppm dan pada daun muda berkisar antara 0,09-0,22 ppm. Hasil tersebut menunjukkan semakin tua daun maka kandungan logam berat Pb juga semakin tinggi karena pada daun tua mempunyai kemampuan menyerap lebih tinggi dan menyimpan logam berat Pb tersebut dalam waktu yang lebih lama.

Berdasarkan gambar di atas lokasi penelitian Gunung Anyar di stasiun 3 memiliki rata-rata kandungan timbal pada daun paling tinggi yaitu 0,78 ppm dan pada stasiun 2 memiliki rata-rata kandungan timbal paling sedikit yaitu 0,50 ppm. Sedangkan, pada lokasi penelitian Kedawang di stasiun 3 memiliki rata-rata kandungan timbal pada daun paling tinggi yaitu 0,32 ppm dan pada stasiun 2 memiliki rata-rata kandungan timbal paling sedikit yaitu 0,18 ppm. Berdasarkan hasil pengukuran kandungan logam berat Timbal (Pb) pada daun di setiap stasiun menunjukkan bahwa akumulasi logam Timbal (Pb) pada daun *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar mempunyai kandungan yang lebih tinggi dibandingkan di Kedawang, Pasuruan. Hal ini disebabkan oleh pencemaran yang terjadi di kawasan mangrove Gunung Anyar lebih besar dibandingkan dengan Kedawang, Pasuruan, karena pada aliran sungai di kawasan mangrove Gunung Anyar terkena oleh limbah buangan dari kawasan SIER.

Daun pada *Avicennia alba* juga merupakan salah satu bagian tumbuhan yang dapat mengakumulasi logam berat Pb menurut Arisandy *et al.*, (2011), *Avicennia alba* mempunyai sistem adaptasi fisiologi dalam mengakumulasi logam berat Pb seperti halnya akumulasi garam pada daun, logam berat Pb yang diakumulasi

oleh daun disimpan pada jaringan epidermis bawah daun. Sembiring dan Endah (2006), menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi Pb di daun mengakibatkan penurunan kandungan klorofil, luas permukaan daun dan jumlah stomata. Diperkuat oleh pendapat dari Rahadyan (2003), bahwa ukuran morfometrik daun yang makin membulat (lebar daun yang bertambah atau panjang daun yang berkurang) menunjukkan bahwa daun tidak sehat.

Menurut penelitian Wibowo, (2009), menjelaskan bahwa tanaman *A. marina* memiliki kandungan protein yang cukup banyak, terutama pada daun dan buah yaitu sebesar 5,09 % dan 10,85 %. Adanya protein dalam tanaman tersebut memungkinkan logam berat Pb terikat pada protein yang ada dalam tanaman, sehingga dapat mengakibatkan perubahan struktur protein. Diperkuat dengan pendapat dari Yoon *et al.*, (2006), ada daun, Pb bersifat racun terutama pada saat tumbuhan melakukan fotosintesis, sintesa khlorofil, dan sintesa enzim antioksidan.

Kandungan logam berat Pb pada *Avicennia alba* lebih tinggi pada bagian akar dibandingkan dengan bagian daun, hal ini diduga karena akar dapat menjadi penyaring dalam penyerapan logam berat. Hal ini diperkuat dengan pendapat Baker (1981) dalam MacFarlane *et al.*, (2003) menyatakan bahwa *Avicennia marina* merupakan spesies mangrove yang sangat ketat dalam menyerap logam Pb bahkan sampai tidak menyerap sama sekali. Berdasarkan mekanisme fisiologis, mangrove secara aktif mengurangi penyerapan logam berat ketika konsentrasi logam berat di sedimen tinggi. Penyerapan tetap dilakukan, namun dalam jumlah yang terbatas dan terakumulasi di akar. Selain itu, terdapat sel endodermis pada akar yang menjadi penyaring dalam proses penyerapan logam berat. Dari akar, logam akan di translokasikan ke jaringan lainnya seperti batang

dan daun serta mengalami proses kompleksasi dengan zat yang lain seperti fitokelatin.

Tanaman yang tumbuh pada daerah yang tercemar logam berat dapat mengakumulasi logam berat tersebut. Dalam menghadapi cekaman logam berat pada lingkungannya, jaringan *A. marina* membentuk suatu zat Kelat yang disebut Fitokelatin. Fitokelatin adalah suatu protein yang mampu mengikat logam yang tersusun dari beberapa asam amino seperti sistein dan glisin (Priyanto dan Prayitno, 2009). Kelebihan dari logam berat dapat mengganggu proses transportasi sel dan merangsang produksi radikal bebas dan spesies yang reaktif terhadap oksigen, menyebabkan kerusakan oksidatif (Dietz *et al.*, 1999)

4.3 Bioconcentration Factor (BCF) dan Translocation Factor (TF)

Berdasarkan data pengukuran konsentrasi logam berat Timbal (Pb) pada sedimen, akar dan daun dapat dihitung nilai Bioconcentration Factor (BCF) dan Translocation Factor (TF). Nilai BCF dan TF dapat digunakan untuk mengetahui nilai fitoremediasi (FTD) tanaman *A. alba*, sehingga dapat dijadikan dasar suatu tanaman sebagai fitoremediasi perairan.

Nilai BCF diukur dari perbandingan konsentrasi logam berat Timbal (Pb) pada akar dengan konsentrasi logam berat Timbal (Pb) pada sedimen. Nilai TF diperoleh dari perbandingan konsentrasi logam berat Timbal (Pb) pada daun dan akar. Nilai FTD diperoleh dari selisih antara nilai BCF dan TF. Nilai BCF dan TF *A. alba* setiap stasiun dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. *Bioconcentration Factor* (BCF), *Translocation Factor* (TF) dan *Fitoremediasi* (FTD) Logam Berat Timbal (Pb)

Parameter	Gunung Anyar			Kedawang		
	1	2	3	1	2	3
BCF	0,44	0,31	0,45	1,25	0,88	1,01
TF	0,18	0,19	0,18	0,12	0,15	0,13
FTD	0,26	0,12	0,27	1,13	0,73	0,88

Berdasarkan Tabel 6 nilai *Bioconcentration Factor* (BCF; perbandingan kandungan logam berat dalam akar dengan sedimen) dan *Translocation Factor* (TF; perbandingan logam berat dalam daun dan akar) diketahui nilai BCF lebih tinggi pada daerah penelitian Kedawang, karena kadar sedimen pada daerah Kedawang lebih kecil daripada di kawasan mangrove Gunung Anyar. Nilai BCF pada akar di daerah kawasan Mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,31-0,45 dan di daerah Kedawang berkisar antara 0,88-1,25. Daerah Gunung Anyar mempunyai BCF paling tinggi pada stasiun 3 yaitu 0,45 dan BCF paling rendah ada pada stasiun 2 yaitu 0,31. Daerah Kedawang mempunyai BCF paling tinggi pada stasiun 1 yaitu 1,25 dan BCF paling rendah ada pada stasiun 2 yaitu 0,88. Nilai BCF lebih tinggi pada lokasi penelitian di Kedawang diduga karena kandungan Pb dalam sedimen yang terdapat pada lokasi tersebut lebih kecil. Seperti yang dijelaskan oleh Hamzah dan Setiawan (2010), bahwa tingginya nilai BCF akar untuk semua logam didukung oleh tingginya konsentrasi semua logam pada akar dan rendah pada sedimen sehingga menghasilkan nilai BCF akar yang tinggi.

Nilai *Translocation Factor* (TF) lebih tinggi terdapat pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,18-0,19 dan daerah Kedawang berkisar antara 0,12-0,15. Daerah Gunung Anyar mempunyai TF paling tinggi pada stasiun 2 yaitu 0,19 dan nilai BCF sama pada stasiun 1 dan 3 yaitu 0,18. Daerah Kedawang mempunyai TF paling tinggi pada stasiun 2 yaitu 0,15 dan TF paling rendah ada pada stasiun 1 yaitu 0,12. Nilai TF yang rendah menunjukkan bahwa logam berat Pb tersebut tidak ditranslokasikan ke daun tetapi terakumulasi dalam akar, seperti yang dikatakan oleh Yoon *et al.*, (2006) bahwa terkadang akar juga mempunyai sistem penghentian transpor logam menuju daun terutama logam non esensial, sehingga ada penumpukkan logam di akar. Selain itu, Tam *et al.*, (1989) juga menambahkan bagian mangrove yang paling penting untuk

mencegah masuknya pencemar logam berat ke dalam bagian-bagian penting mangrove adalah akar.

Akar yang ada di dalam tanah melepaskan oksigen yang membentuk kepingan-kepingan besi (*iron plaques*), yang menempel pada permukaan dan mencegah logam dari sedimen memasuki sel-sel akar. Di jaringan akar yang dimasuki oleh logam terjadi mekanisme yang membuat logam tak bisa tersirkulasi secara bebas ke dalam tanaman (Kathiresan dan Bingham, 2001). Akibatnya, jumlah konsentrasi logam berat semakin berkurang dari akar ke daun.

Bila TF pada logam berat itu tinggi menunjukkan bahwa logam berat tersebut banyak ditranslokasikan ke bagian tumbuhan lainnya. Menurut Arisandy *et al.*, (2011), nilai TF yang tinggi menunjukkan bahwa logam berat timbal (Pb) yang diakumulasi akar akan ditranslokasikan ke bagian daun. Tingginya nilai TF logam berat non esensial (Pb) menunjukkan bahwa logam berat tersebut tidak dibutuhkan oleh *A. marina* untuk aktivitas metabolisme dan pertumbuhan.

Rathinasabapathi *et al.*, (2001) menyatakan bahwa fitoremediasi merupakan salah satu solusi yang murah biaya, waktu yang lama, dan hemat tenaga di daerah terkontaminasi. Salah satu aplikasi dari fitoremediasi yaitu fitostabilisasi. Fitostabilisasi merupakan usaha untuk mengurangi kandungan polutan dimana tumbuhan yang digunakan sebagai sarannya dengan tujuan mengurangi tingkat pergerakan logam pada tanah atau sedimen.

Nilai Fitoremediasi (FTD) pada lokasi penelitian kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,12-0,27. Nilai Fitoremediasi pada daerah Kedawang berkisar antara 0,73-1,13. Menurut Arisandy *et al.*, (2011), akar *Avicennia alba* memiliki kemampuan untuk menyaring garam dan logam berat, hal ini ditunjukkan dengan struktur akar *Avicennia Alba* yang terdapat saringan/ultra filter yang mengurangi masuknya garam dan logam berat pada akarnya. Fitoremediasi (FTD) merupakan selisih antara nilai BCF dan TF. FTD akan

maksimal jika BCF tinggi dan TF rendah (Yoon *et al.*, 2006). Hasil FTD di setiap stasiun di kedua lokasi menunjukkan bahwa nilai BCF lebih besar daripada TF yang menunjukkan bahwa mangrove *Avicennia alba* ini termasuk tumbuhan yang bisa dijadikan sebagai fitoremediasi bagi lingkungannya.

Fitoremediasi dan fitostabilisasi bisa digunakan untuk mengurangi pergerakan polutan didalam tanah/sedimen. Proses ini menggunakan kemampuan akar tanaman (mangrove) untuk mengubah kondisi lingkungan tercemar berat menjadi sedang bahkan ringan. Mangrove bisa menghentikan atau mengurangi proses penyerapan dan akumulasi logam berat melalui akar. Proses ini akan mengurangi pergerakan logam dan mengencerkannya serta mengurangi logam masuk kedalam system rantai makanan di daerah estuari (Susarla *et al.*, 2002).

4.4 Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air yang diuji adalah parameter yang mendukung kehidupan mangrove *Avicennia alba*. Kualitas air yang diuji meliputi parameter fisika yaitu suhu dan parameter kimia yaitu salinitas, pH, DO.

4.4.1 Suhu

Menurut Barus (1996), dalam setiap penelitian ekosistem akuatik, pengukuran suhu air merupakan hal yang mutlak dilakukan. Hal ini disebabkan karena kelarutan berbagai jenis gas di air serta semua aktivitas biologis di dalam ekosistem akuatik sangat dipengaruhi oleh suhu. Pola suhu ekosistem akuatik dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti intensitas cahaya matahari, pertukaran panas antara air dengan udara sekelilingnya dan juga oleh faktor kanopi (penutupan oleh vegetasi) dari pepohonan yang tumbuh di tepi. Nilai hasil pengamatan suhu pada kedua lokasi terdapat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Pengukuran Suhu

Parameter	Satuan	Gunung Anyar			Kedawang		
		Stasiun			Stasiun		
		1	2	3	1	2	3
Suhu	°C	32,6	25	26,1	32,4	32,3	33,2

Suhu hasil pengukuran di kedua lokasi penelitian yaitu pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 25-32,6 °C dan pada Kedawang berkisar antara 32,3-33,2 °C. Suhu tertinggi berada di stasiun 3 pada lokasi penelitian Kedawang dan suhu terendah berada di stasiun 2 pada kawasan mangrove Gunung Anyar. Perbedaan suhu tersebut juga dipengaruhi oleh faktor cuaca pada saat pengukuran sampel. Saat pengukuran sampel di kawasan mangrove Gunung Anyar suhu mulai menurun di stasiun 2 karena pada saat pengukuran dalam keadaan hujan, sedangkan saat pengambilan sampel di Kedawang pada kondisi cerah. Nilai suhu berdasarkan baku mutu air laut untuk biota laut di daerah mangrove masih berada di antara baku mutu (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004) yaitu berkisar antara 28-32°C. Ditambahkan oleh Purnobasuki dan Suzuki (2005), suhu optimal untuk kehidupan mangrove berkisar antara 26-30°C.

Adanya sinar matahari yang tidak tertutup awan dan intensitas cahaya matahari akan mempengaruhi besarnya suhu pada perairan. Menurut Haslam (1995) berpendapat bahwa suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang, ketinggian dari permukaan laut, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman dari badan air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi di badan air. Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia dan evaporasi. Selain itu, peningkatan suhu badan air mengakibatkan penurunan kelarutan gas dalam air seperti O₂, CO₂, N₂ dan CH₄. Selain itu Erlangga (2007) juga berpendapat kenaikan suhu di atas kisaran toleransi organisme dapat meningkatkan laju metabolisme, seperti

pertumbuhan, reproduksi dan aktifitas organisme. Kenaikan laju metabolisme dan aktifitas ini berbeda untuk spesies, proses dan level atau kisaran suhu.

4.4.2 pH

Pengukuran pH air dapat dilakukan dengan cara kalorimeter, dengan kertas pH, dan dengan pH meter. Nilai pH air yang normal adalah netral, yaitu antara 6 sampai 8, sedangkan pH air yang tercemar, misalnya oleh limbah cair berbeda-beda nilainya tergantung jenis limbahnya dan pengolahannya sebelum dibuang (Kristanto, 2002). Nilai hasil pengamatan pH pada kedua lokasi terdapat pada

Tabel 8.

Tabel 8. Data Pengukuran pH

Parameter	Satuan	Gunung Anyar			Kedawang		
		Stasiun			Stasiun		
		1	2	3	1	2	3
pH	-	6,76	6,71	6,72	7,76	6,95	6,85

Nilai pH hasil pengukuran di kedua lokasi penelitian yaitu pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 6,71-6,76 dan pada Kedawang berkisar antara 6,85-7,76. pH tertinggi berada di stasiun 1 pada lokasi penelitian Kedawang dan pH terendah berada di stasiun 2 pada kawasan mangrove Gunung Anyar. Nilai pH berdasarkan baku mutu air laut untuk biota laut didaerah mangrove masih berada di antara baku mutu (Keputusan Kementerian LH No. 51 tahun 2004) yaitu berkisar antara 7-8,5. Nilai pH pada kedua lokasi penelitian menunjukkan bahwa kedua perairan tersebut cenderung bersifat asam. Hal ini disebabkan semakin ke muara sungai, semakin banyak daerah rawa yang dilewati sedimennya sehingga nilai pH asam (Panjaitan, 2009).

Nilai pH selama pengamatan yang demikian masih bisa ditolelir oleh mangrove. Menurut Barus (2001), organisme akuatik dapat hidup dalam suatu perairan yang mempunyai pH netral dengan kisaran toleransi antara asam lemah

sampai basa lemah. pH yang ideal bagi kehidupan organisme akuatik pada umumnya umumnya 6-8,5. Kondisi perairan yang bersifat asam maupun basa akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan menyebabkan gangguan metabolisme dan respirasi. Disamping itu pH yang sangat rendah akan menyebabkan mobilitas berbagai senyawa logam berat yang bersifat toksik semakin tinggi yang tentunya akan mengancam kelangsungan hidup organisme akuatik. Ditambahkan oleh Bahri (2007), kondisi pH di perairan mangrove biasanya bersifat asam karena banyaknya bahan organik di kawasan tersebut.

4.4.3 Salinitas

Menurut Kurniawan *et al.* (2006), salinitas merupakan jumlah dari seluruh garam-garaman dalam gram pada setiap kilogram air laut. Secara praktis susah untuk mengukur salinitas di laut, maka penentuan harga salinitas dilakukan dengan meninjau komponen yang terpenting saja yaitu klorida (Cl). Kandungan klorida ditentukan tahun 1902 sebagai jumlah dalam gram ion klorida pada satu kilogram air laut. Nilai hasil pengamatan pH pada kedua lokasi terdapat pada Tabel 9.

Tabel 9. Data Pengukuran Salinitas

Parameter	Satuan	Gunung Anyar			Kedawang		
		Stasiun			Stasiun		
		1	2	3	1	2	3
Salinitas	ppt	12,3	10	1	26	26	16

Nilai salinitas hasil pengukuran di kedua lokasi penelitian yaitu pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 1-12,3 ppt dan pada Kedawang berkisar antara 16-26 ppt. Salinitas tertinggi berada di stasiun 1 dan 2 pada lokasi penelitian Kedawang dan salinitas terendah berada di stasiun 1 pada kawasan mangrove Gunung Anyar. Nilai salinitas tinggi pada lokasi penelitian Kedawang tinggi dikarenakan pada saat pengukuran sampel berada di

sepanjang pantai yang tidak terkena pengaruh dari air tawar, sedangkan pada kawasan mangrove Gunung Anyar salinitas air semakin menurun karena pengambilan sampel berada di sepanjang muara sungai dan pada stasiun 3 sampel air sudah tidak terkena pengaruh air laut. Salinitas di laut sangat dipengaruhi oleh penguapan, curah hujan dan adanya masukan air tawar dari sungai.

Faktor lingkungan yang tak kalah penting antara lain salinitas yang nilainya berfluktuasi kepada masukan air dari sungai-sungai, juga bergantung pada genangan pasang surut dan intensitas penguapan yang terjadi di laut. Kebanyakan organisme intertidal menunjukkan toleransi yang terbatas terhadap turunnya salinitas sehingga penurunan salinitas yang melewati batas toleransi akan menyebabkan kematian (Niswari, 2004). Mangrove biasanya ada dan tumbuh di estuary yang mempunyai kisaran salinitas air antara 10-30 ppt (Aksornkoe, 1993).

4.4.4 DO

Oksigen merupakan salah satu faktor terpenting dalam setiap sistem perairan yang diperlukan organisme untuk melakukan respirasi. Sumber utama oksigen terlarut berasal dari atmosfer dan proses fotosintesis dari tumbuhan air lainnya. Oksigen dari udara diserap dengan difusi langsung ke permukaan air oleh angin dan arus. Kelarutan oksigen dalam air akan meningkat apabila temperature air menurun dan begitu juga sebaliknya (Michael, 1994). Nilai hasil pengamatan pH pada kedua lokasi terdapat pada Tabel 10.

Tabel 10. Data Pengukuran DO

Parameter	Satuan	Gunung Anyar			Kedawang		
		Stasiun			Stasiun		
		1	2	3	1	2	3
DO	mg/l	5,23	3,3	2,1	1,8	0,8	1,85

Nilai DO hasil pengukuran di kedua lokasi penelitian yaitu pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 2,1-5,23 mg/l dan pada Kedawang berkisar antara 0,8-1,85 mg/l . DO tertinggi berada di stasiun 1 pada lokasi penelitian kawasan mangrove Gunung Anyar yaitu 5,23 mg/l dan DO terendah berada di stasiun 2 pada lokasi penelitian Kedawang yaitu 0,8 mg/l .

Oksigen terlarut sangat dibutuhkan dalam proses respirasi dan fotosintesis, dan proses dekomposisi serasah daun mangrove (Aksornkoe, 1993). Oksigen merupakan salah satu gas yang ditemukan terlarut dalam perairan, kadarnya tergantung dari suhu, salinitas, turbulensi air, aktivitas fotosintesis dan respirasi, adanya limbah, serta tekanan atmosfer (Effendi, 2003).

4.5 Parameter Kualitas Sedimen

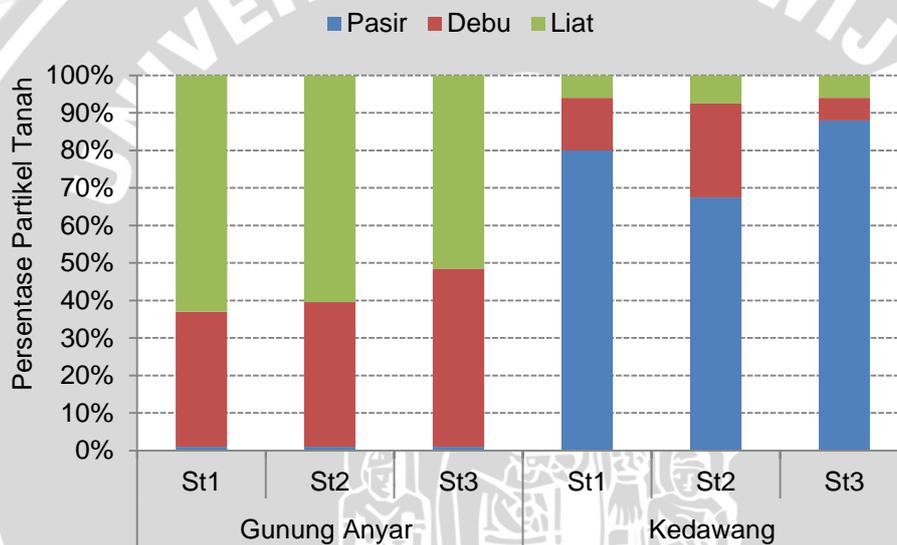
Kualitas sedimen yang diuji meliputi parameter fisika yaitu tekstur dan parameter kimia yaitu pH, total N dan total P.

4.5.1 Tekstur

Pengambilan data kualitas sedimen dilakukan di 2 lokasi dengan masing-masing lokasi diambil di 3 stasiun yaitu 3 stasiun di kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya dan 3 stasiun di Kedawang, Pasuruan. Hasil analisa tekstur yang diambil pada kedua lokasi pengamatan dapat dilihat pada Tabel 11 dan Gambar 10.

Tabel 11. Hasil Analisis Tekstur

Lokasi	Stasiun	Pasir	Debu	Liat	Klas Tekstur
		%			
Gunung Anyar	1	1	36	63	Liat
	2	1	39	61	Liat
	3	1	47	51	Liat berdebu
Kedawang	1	80	14	6	Pasir berlempung
	2	61	30	9	Lempung berpasir
	3	88	6	6	Pasir berlempung



Gambar 10. Grafik Analisis Tekstur

Berdasarkan hasil pengukuran tekstur tanah di kedua lokasi pengamatan pada Tabel 11. dan Gambar 10. menunjukkan bahwa tekstur yang berada di kawasan mangrove Gunung Anyar berbeda dengan di Kedawang. Komposisi sedimen dilakukan dengan mengidentifikasi fraksi-fraksi pembentuknya yaitu liat, debu dan pasir. Berdasarkan hasil analisis, komposisi sedimen yang berada di kawasan mangrove Gunung anyar didominasi oleh liat, stasiun 1 (pasir 1%, debu 36%, liat 63%), stasiun 2 (pasir 1%, debu 39%, liat 61%), stasiun 3 (pasir 1%, debu 47%, liat 51%), sedangkan di lokasi Kedawang didominasi oleh pasir,

stasiun 1 (pasir 80%, debu 14%, liat 6%), stasiun 2 (pasir 61%, debu 30%, liat 9%), stasiun 3 (pasir 88%, debu 6%, liat 6%). Hal ini dikarenakan pengambilan sampel tanah di kawasan mangrove Gunung Anyar berada di sepanjang muara sungai sehingga banyak terdapat endapan lumpur sebagai media pertumbuhan bagi mangrove. Pengambilan sampel tanah di Kedawang di sepanjang pantai yang tidak terdapat muara sungai, sehingga tanahnya berpasir.

Tanah bertekstur liat mempunyai kemampuan mengikat logam berat lebih tinggi dibandingkan tanah yang bertekstur pasir. Ditinjau dari tekstur tanah, tanah bertekstur liat mempunyai luas permukaan yang lebih besar sehingga mampu menahan air dan menyediakan unsur hara yang tinggi. Menurut Wilson (1988) dalam Arisandi (2001), bahwa logam berat yang terlarut dalam air akan berpindah ke dalam sedimen jika berikatan dengan materi organik bebas atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen, dan penyerapan langsung oleh permukaan partikel sedimen. 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.

Substrat yang berlumpur merupakan media yang baik bagi pertumbuhan mangrove. Menurut Soenardjo (1999) ekosistem mangrove dapat berkembang dengan baik di daerah pantai berlumpur dengan air yang tenang dan terlindung dari pengaruh ombak yang besar serta eksistensinya tergantung pada adanya aliran air tawar dan air laut.

4.5.2 pH Sedimen

Menurut Murdiyanto (2004), derajat keasaman tanah mempengaruhi transportasi dan keberadaan nutrisi yang diperlukan tanaman, umumnya tanah mangrove ber pH antara 6-7. pH tanah menentukan mudah tidaknya unsur-

unsur hara diserap tanaman, pada umumnya unsur hara mudah diserap tanaman pada pH tanah sekitar netral karena pada pH tersebut kebanyakan unsur hara mudah larut dalam air.

Pengambilan data kualitas sedimen dilakukan di 2 lokasi dengan masing-masing lokasi diambil di 3 stasiun yaitu 3 stasiun di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan 3 stasiun di Kedawang, Pasuruan. Hasil analisa pH pada sedimen yang diambil pada kedua lokasi pengamatan dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Analisis pH

NO	Parameter	Satuan	Gunung Anyar			Kedawang		
			Stasiun			Stasiun		
			1	2	3	1	2	3
1	pH	-	7,9	7,9	7,5	7,3	7,8	8,1

pH sedimen diukur dengan menggunakan ekstrak H_2O . Nilai pH pada sedimen hasil pengukuran di kedua lokasi penelitian yaitu pada kawasan mangrove Gunung Anyar pH berkisar antara 7,5-7,9 dan pada Kedawang pH berkisar antara 7,3-8,1. pH tertinggi berada di stasiun 3 pada lokasi penelitian Kedawang dan pH terendah berada di stasiun 1 pada lokasi penelitian Kedawang. Menurut Murdiyanto (2004), derajat keasaman tanah mempengaruhi transportasi dan keberadaan nutrisi yang diperlukan tanaman, umumnya tanah mangrove ber pH antara 6-7. pH tanah menentukan mudah tidaknya unsur-unsur hara diserap tanaman, pada umumnya unsur hara mudah diserap tanaman pada pH tanah sekitar netral karena pada pH tersebut kebanyakan unsur hara mudah larut dalam air.

Murdiyanto (2003), mengungkapkan bahwa pH tanah mempengaruhi transportasi dan keberadaan nutrisi yang diperlukan tanaman. Umumnya pH

tanah pada daerah mangrove berkisar antara 6-7, sedangkan menurut Arief (2003), pH tanah pada kawasan mangrove berkisar antara 4,6-6,5.

4.5.3 Total N dan P Sedimen

Pengambilan data kualitas sedimen dilakukan di 2 lokasi dengan masing-masing lokasi diambil di 3 stasiun yaitu 3 stasiun di kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya dan 3 stasiun di Kedawang, Pasuruan. Hasil analisa total N dan P pada sedimen yang diambil pada kedua lokasi pengamatan dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Analisis Total N dan Total P

Parameter	Satuan	Gunung Anyar			Kedawang		
		Stasiun			Stasiun		
		1	2	3	1	2	3
Total N	mg kg ⁻¹	1,3	1,3	2	1,1	0,9	1,4
Total P	mg kg ⁻¹	11,88	19,67	18,40	40,70	38,26	42,45

Nilai total N pada sedimen hasil pengukuran di kedua lokasi penelitian yaitu pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 1,3-2 mg kg⁻¹ dan pada Kedawang berkisar antara 0,9-1,4 mg kg⁻¹. Total N tertinggi berada di stasiun 3 pada lokasi penelitian kawasan mangrove Gunung Anyar dan total N terendah berada di stasiun 2 pada lokasi penelitian Kedawang.

Nilai total P pada sedimen hasil pengukuran di kedua lokasi penelitian yaitu pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 11,88-18,40 mg kg⁻¹ dan pada Kedawang berkisar antara 38,26-42,45 mg kg⁻¹. Total P tertinggi berada di stasiun 3 pada lokasi penelitian Kedawang dan total P terendah berada di stasiun 1 pada lokasi penelitian kawasan mangrove Gunung Anyar.

Hasil analisis menunjukkan bahwa total P pada sedimen lebih tinggi daripada total N, hal tersebut menunjukkan bahwa lingkungan tersebut sudah tercemar karena mendapat masukan bahan organik atau limbah yang tinggi. Menurut Hendrawati *et al.*, (2012), konsentrasi fosfat besar dapat terjadi karena suatu

proses ekresi oleh ikan dalam bentuk feces atau limbah, sehingga fosfor dalam bentuk ini dapat mengendap di dasar perairan dan terakumulasi di sedimen. Keberadaan fosfat yang tinggi disebabkan oleh masuknya limbah domestik, pertanian, industri dan perikanan yang mengandung fosfat.

Kondisi perairan yang anaerob akan menyebabkan komposisi fosfor yang tersedia menjadi sangat terbatas. Oleh karena itu, pada sedimen dengan konsentrasi oksigen yang cukup cenderung memperlihatkan bahwa konsentrasi fosfor biasanya stabil. Konsentrasi oksigen yang cukup dalam sedimen akan memberikan kesempatan terjadinya pelarutan ion-ion fosfor yang lebih tinggi ke dalam kolom air (Sutiknowati, 2010). Ditambah pendapat dari Muchtar dan Simanjuntak (2008), bahwa kandungan fosfat di muara lebih besar jika dibandingkan dengan daerah sekitarnya, dikarenakan sungai merupakan media pembawa hanyutan-hanyutan sampah maupun sumber fosfat yang berasal dari daratan.

Tam *et al* (1998), menyatakan bahwa sifat fisika dan kimia yang dimiliki sedimen mangrove adalah kemampuannya untuk mengakumulasi material di lingkungan tepian pantai. Meskipun begitu, konsentrasi absolut logam berat di sedimen tidak secara signifikan mengindikasikan tingkat kontaminasi logam dari sumber yang alami. Selain mendapat masukan dari perairan, bahan organik sedimen mangrove juga berasal dari dekomposisi serasah mangrove.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Kandungan logam berat Pb pada air di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,28-0,37 ppm dan di daerah Kedawang berkisar antara 0,12-0,16 ppm. Kandungan logam berat Pb pada sedimen berkisar antara 10,72-12,04 dan di daerah kedawang berkisar antara 2,08-3,73 ppm.
2. Kandungan logam berat Pb pada air sudah melebihi ambang batas yang diijinkan oleh Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup NO. 51 tahun 2004 mengenai baku mutu air laut untuk biota laut yaitu 0,008 ppm, sedangkan untuk kandungan logam berat Pb pada sedimen masih dalam batas yang diijinkan menurut *International of Dredging Companies/Central Dredging Association* (1997) mengenai kandungan logam yang dapat ditoleransi keberadaanya dalam sedimen untuk logam berat timbal (Pb) yaitu 85 ppm.
3. Kandungan logam berat Pb pada akar *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 3,74-5,44 ppm dan di daerah Kedawang berkisar antara 1,84-3,84 ppm. Kandungan daun *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,71-0,98 ppm dan di daerah Kedawang berkisar antara 0,28-0,50 ppm.
4. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,31-0,45 dan di daerah Kedawang berkisar antara 0,88-1,25. Nilai *Translocation Factor* (TF) di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,18-0,19 dan di daerah Kedawang berkisar antara 0,12-0,15. Nilai *Fitoremediasi* (FTD) di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,12-0,27 dan di daerah Kedawang berkisar antara 0,73-1,13. Berdasarkan

hasil tersebut mangrove *Avicennia alba* dapat dijadikan fitoremediasi karena dapat beradaptasi terhadap logam berat.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ialah :

- a. Perlu adanya penelitian tentang kandungan logam berat Pb pada bagian tumbuhan mangrove lainnya, seperti batang dan buah.
- b. Perlu adanya penelitian tentang kandungan logam berat Pb pada mangrove jenis lainnya.
- c. Perlu dilakukan kegiatan penyuluhan kepada masyarakat di wilayah Kota Surabaya dan Pasuruan tentang pencemaran sungai yang diakibatkan oleh aktivitas pemukiman maupun industri.
- d. Perlu dilakukan kegiatan penyuluhan di industri-industri di wilayah Surabaya tentang pengelolaan limbah.
- e. Perlu dilakukan kegiatan sosialisasi kepada masyarakat di Surabaya dan Pasuruan terkait pentingnya kebersihan lingkungan dan sungai sehingga diharapkan menumbuhkan kesadaran masyarakat untuk menjaga keberlanjutan kelangsungan sumber daya perikanan sungai.
- f. Pembangunan Instalansi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) di industri-industri besar.
- g. Perlu adanya kebijakan mengenai pengelolaan dan konservasi hutan mangrove secara terpadu dan berkelanjutan pada kawasan mangrove Gunung Anyar dan kawasan mangrove daerah Kedawang.
- h. Perlu adanya kerjasama dari semua stakeholder agar wilayah tersebut yang merupakan habitat dari berbagai biota tetap terjaga dan tidak semakin tercemar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad F. 2009. Tingkat Pencemaran Logam Berat Dalam Air Laut dan Sedimen di Perairan Pulau Muna. Kanabaena dan Buton Sulawesi Tenggara. Jurnal MAKARA. SAINS. VOI 13 no 2 nov 2009 117-124. <http://journal.ui.ac.id/science/article/viewFile/428/424>. Diakses tanggal 12 Januari 2013.
- Aksornkoe, S. 1993. Ecology and Management of Mangroves. The International Union of Nature and Natural Resources (IUCN) Wetlands Programme. Bangkok, Thailand.
- Ali, M. dan Rina. 2012. Kemampuan Tanaman Mangrove untuk Menyerap Logam Berat Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb). Universitas Pembangunan Nasional. Jawa Timur.
- Amin, B. 2001. Akumulasi dan Distribusi Logam Berat Pb dan Cu pada Mangrove (*Avicennia marina*) di Perairan Pantai Dumai, Riau.
- Arfiati, D. 2001. Limnologi. Sub Bahasan Kimia Air. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya Malang.
- Arief, A. 2003. Hutan mangrove fungsi dan manfaat. Kanisius. Yogyakarta.
- Arisandi, P. 2001. Mangrove Jenis Api-api (*Avicennia* spp.) Alternatif Pengendalian Logam Berat Pesisir. Lembaga Kajian Ekologi dan Konservasi lahan Basah.
- Arisandy, K.R., E.Y. Herawati dan E. Suprayitno. 2011. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Gambaran Histologi Pada Jaringan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh di Perairan Pantai Jawa Timur.
- Azwar, S. 2010. Metode Penelitian. Cetakan Ketiga. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Bahri, A.F. 2007. Analisis Kandungan Nitrat dan Fosfat pada Sedimen Mangrove yang Termanfaatkan di Kecamatan Mallusetasi Kabupaten Barru.
- Balai Pengelolaan DAS Brantas. 2001. Statistik Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Brantas. Departemen Kehutanan. Surabaya.
- Barus, T.A. 1996. Metode Ekologis Untuk Menilai Kualitas suatu Perairan Lotik. Cetakan Pertama. Fakultas MIPA USU. Medan.
- _____. 2001. Pengantar Limnologi Studi Tentang Ekosistem Sungai dan Danau. Cetakan Ketiga. Fakultas MIPA USU. Medan.
- _____. 2004. Pengantar Limnologi Studi Tentang Ekosistem Air Daratan. Cetakan Ketiga. USU Press. Medan.

- Bassett, B. 1994. Quantitative Inorganic Analysis Including Elementary Instrumental Analysis. Fourth Edition is Published Longman Group UK. London.
- Basta, N.T., J.A. Ryan, dan R.L. Chaney. 2005. Trace Element Chemistry in Residual-Treated Soil: Key Concepts and Metal Bioavailability. Published in J. Environ. Qual. 34:49–63 (2005). <http://naldc.nal.usda.gov/download/7169/PDF>. Diakses tanggal 07 Februari 2013.
- Bengen, D. 2000. G. Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Cetakan ke 2. IPB. Bogor.
- Campbell, N. A dan Reece, J.B. 2005. Biology Edition 7. Pearson Education.
- Chapman, V.J. 1997. Mangrove Vegetation. Strauss and Cramer GmbH, German.
- Cornell, W.D., G.J. Miller dan Koestoer. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. UI press. Jakarta.
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- _____. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam. UI Press. Jakarta.
- Dewi, I.R. 2008. Peranan dan Fungsi Fitohormon bagi Pertumbuhan Tanaman. Fakultas Pertanian Universitas Padjajaran, Bandung.
- Dietz, K-J., M. Baier, and U. Kramer. 1999. Free Radicals and Reactive Oxygen Species as Mediators of Heavy Metal Toxicity in Plants. In: Prasad, M.N.V, Hagemeyer, J. (Eds.), Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems. Berlin. Springer-Verlag, 73-97. <http://pub.uni-bielefeld.de/publication/1866431>. Diakses tanggal 07 Februari 2013.
- Diliyana, Y.D. 2008. Studi Kandungan Merkuri (Hg) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) di Tambak Sekitar Perairan Rejoso Kabupaten Pasuruan. SRIPSI. Universitas Islam Negeri (UIN). Malang.
- Driscoll, D.L. 2011. Introduction to Primary Research : Observations, Surveys, and Interviews. Volume 2.
- Effendi H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Erlangga, 2007. Efek Pencemaran Perairan Sungai Kampar Di Provinsi Riau Terhadap Ikan Baung (*Hemibagrus nemurus*). Bogor.

- Fardiaz S. 1992. Polusi Air dan Udara. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi IPB. Bogor.
- Fitriana, I. 2006. Kondisi Ekosistem Mangrove Berdasarkan Indeks Kualitas Lingkungan, Morfometrik Daun, dan Kepadatan Makrozoobentos di Kabupaten Sampang-Madura, Jawa Timur.
- Hardjowigeno, S. 1989. Klasifikasi Tanah dan Lahan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hamzah, F. dan A. Setiawan. 2010. Akumulasi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn di Hutan Mangrove Muara Angke, Jakarta Utara. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, Vol. 2, No. 2, Hal. 41-52, Desember 2010. http://www.itk.fpiik.ipb.ac.id/ej_itkt22/jurnal. Diakses tanggal 11 Januari 2013.
- Handayani, T. Bioakumulasi Logam Berat dalam Mangrove *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina* di Muara Angke Jakarta. J.Tek.Ling Vol.7, No.3, Hal.266-270, Jakarta, Sept.2006, ISSN 1441-318X. Institut Pertanian Bogor. <http://ejurnal.bppt.go.id>. Diakses pada tanggal 04 Februari 2013.
- Harahap, S. 1991. Tingkat Pencemaran Air Kali Cakung Ditinjau dari Sifat Fisika Kimia Khususnya Logam Berat dan Keanekaragaman Jenis Hewan Benthos Makro. TESIS. Institut Pertanian Bogor.
- Hariono B. 1998. Berbagai Masalah Pencemaran Logam Berat di Lingkungan Kita. Jurnal Manusia dan Lingkungan. No 15 V hal 37 – 46. <http://i-lib.ugm.ac.id/jurnal/detail.php?dataId=3714>. Diakses pada tanggal 14 Januari 2013.
- Hariyadi,S. Suryadiputra. dan B.Widigdo. 1992. Limnologi Metode Kualitas Air. Fakultas Perikanan Institut Pertanian. Bogor.
- Haslam, S. M. 1995. River Pollution, an Ecological Perspective. Belhaven Press. London.
- Hastuti, I. dan H. Sulistyarso. 2012. Penyediaan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Nilai Emisi CO₂ di Kawasan Industri Surabaya. Jurnal Teknik ITS Vol. 1, (Sept, 2012) ISSN: 2301-9271. <http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/>. Diakses pada tanggal 23 Maret 2013.
- Hendrawati., T.H. Pribadi dan N.N. Rohmah. 2012. Analisis Kadar Fosfat dan N-Nitrogen (Amonia, Nitrat, Nitrit) pada Tambak Air Payau akibat Rembesan Lumpur Lapindo di Sidoarjo, Jawa Timur. UIN. Jakarta.

- Hiralal, T. 2008. Responses of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh to Contamination by Selected Heavy Metals. School of Biological and Conservation Sciences. Westville.
- Hutabarat,S dan S.M. Evans. 1984. Pengantar Oseanografi. UI Press. Jakarta
- Hutagalung, H.P., Setiapermana. dan Riyono. 1997. Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota. LIPI. Jakarta.
- Hutchings, P. and. P. Saenger. 1987. Ecology of Mangroves. University of Queensland Press, London.
<http://books.google.com/books?id=KNwKAQAAIAAJ>. Diakses pada tanggal 15 Januari 2013.
- International of Dredging Companies/Central Dredging Association. 1997. Environmental Aspects of Dredging-Conventions, Codes and Conditions:Marine Disposal. International Association of Dredging Companies (IADC), & Central Dredging Association (CEDA), Netherlands, 1-71.
- Irmanika, G. 2007. Pengaruh Ukuran dan Berat Vegetasi lamun (*Cymodocea rotundata*) Terhadap Kadar Logam Berat di Desa Sedayu Lawas Kecamatan Brondong Kabupaten Lamongan Jawa Timur. Skripsi. Fakultas Perikanan. UB. Malang. Tidak diterbitkan.
- Iyabu, H. 2008. Analisis Kadar Merkuri (Hg) pada Sungai Taladuyunu Kecamatan Marisa, Kabupaten Pohuwato. Jurnal Penelitian dan Pendidikan. Vol 5 No 2. <http://journal.uny.ac.id/index.php/jpk/article/>. Diakses pada tanggal 07 Juni 2013.
- Kamaruzzaman, B.Y. 2011. Accumulation and Distribution of Lead and Cooper in *Avicennia marina* and *Rhizophora apiculata* from Balok Mangrove Forest, Pahang, Malaysia. Sains Malaysiana 40(6)(2011);555-560.
http://www.ukm.my/jsm/english_journals/vol40num6_2011/vol40num6_2011pg555-560.html. Diakses pada tanggal 23 Februari 2013.
- Kathiresan, K. dan L. Bingham. 2001. Biology of Mangroves dan Mangrove Ecosystems. Advances In Marine Biology. Vol. 40: 81-251.
www.sciencedirect.com/science/bookseries/00652881/40. Diakses pada tanggal 14 Januari 2013.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.51. 2004. Tentang Penetapan Baku Mutu Air Laut.
- Koentjaraningrat. 1999. Metode Penelitian Masyarakat. Cetakan Pertama. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Kristanto, P. 2002. Ekologi Industry. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Kurniawan, A., M.A.Z. Fuad, D. Yona., dan Mulyanto. 2006. Pengantar Oceanografi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Kusmana, C. 1997. Metode Survei Vegetasi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Kusmana, C., Onrizal, dan Sudarmadji. 2003. Jenis-jenis Pohon Mangrove di Teluk Bintuni, Papua. IPB dan PT Bintuni Utama Murni. Bogor.
- Kusumastuti, W. 2009. Evaluasi Lahan Basah Bervegetasi Mangrove dalam Pencemaran Lingkungan (Studi Kasus di Desa Kepetingan Kabupaten Sidoarjo. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Lakitan, B. 2001. Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Lorestani, B., M. Cheraghi, and N. Yousefi. 2011. Accymulation of Pb, Fe, Cu and Zn In Plants And Choice Of Hyperaccumulator Plant In The Industrial Town Of Vian, Iran. Arch. Biol. Sci., Belgrade, 63 (3), 739-745, 2011. www.doiserbia.nb.rs/ft.aspx?id=0354-46641103739L. Diakses pada tanggal 12 Janurai 2013.
- MacFarlane, G.R. and M.D. Burchett. 2002. Toxicity, Growth and Accumulation Relationships of Copper, Lead and Zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. *Marine Environ-mental Research*, 54: 65–84. www.sciencedirect.com/science/journal/01411136. Diakses pada tanggal 08 Maret 2013.
- MacFarlane, G.R., Pulkownik, and M.D., Burchett. 2003. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk) Vierh. *Environmental Pollution*, 123:139-151. www.sciencedirect.com/science/journal/02697491/123/1. Diakses pada tanggal 08 Maret 2013.
- MacFarlane, G.R., E.C. Koller, and S.P. Blomberg. 2007. Accumulation and Partitioning of Heavy Metals in Mangrove: A Synthesis of Field-based Studies. *Chemosphere*. 1454-1464. <http://www.researchgate.net/publication/223465594>. Diakses pada tanggal 08 Maret 2013.
- Macnae, W. 1986. A. General Account of the Fauna and Flora of Mangrove Swamps and Forests in The Indowest-Pasific Region. *Adv. Mar. Biol.* 6:73-270. www.ink.springer.com/article/10.1007%2FBF0234051. Diakses pada tanggal 18 Februari 2013.
- Marques, A.P., O.S. Antonio and M.L.C. Paula. 2009. Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils : Phytoremediation as a Potentially Promising Clean-Up Technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39:622-654, 2009. www.esb.ucp.pt/sites/default/files/files/pgcmarquesrcaastro.pdf. Diakses pada tanggal 03 Maret 2013.
- Michael, P. 1994. Metode Ekologi untuk Penyelidikan Lapangan dan Laboratorium. UI Press. Jakarta.
- Mills, W.B. 1995. Water Quality Assessment: A Screening Procedure for Toxic and Conventional Pollutants in Surface and Ground Water – Part 1. US EPA, Georgia.

- Mochdor, F.H. dan Rachmadiarti. 2005. Analisis Kadar Kadmium (Cd) pada Akar Pohon Api-api (*Avicennia marina*) di Pantai Utara Kawasan Kalianak Surabaya. Jurusan Biologi FMIPA UNESA.
- Muchtar, M dan Simanjuntak. 2008. Karakteristik dan Fluktuasi Zat Hara Fosfat, Nitrat dan Derajat Keasaman (pH) di Estuari Cisadane pada Musim yang Berbeda, dalam Ekosistem Estuari Cisadane. LIPI: 139-148. <http://jpsmipaunsri.files.wordpress.com/2010/04/jpsmipaunsri-v13-no1-09-d-zia.pdf>. Diakses pada tanggal 03 Mei 2013.
- Mukhtasar. 2007. Pencemaran Lingkungan dan Alam. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Mulyadi, E., R. Laksmono, dan D. Aprianti. 2009. Fungsi Mangrove sebagai Pengendali Pencemar Logam Berat. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.1 Edisi Khusus. <http://eprints.upnjatim.ac.id/1265/2/edimulyadi%26okik.pdf>. Diakses pada tanggal 12 Januari 2013.
- Murdiyanto, B. 2003. Mengenal, Memelihara dan Melestarikan Ekosistem Hutan Bakau. Direktorat Jendral Perikanan Tangkap Departemen Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- _____. 2004. Mengenal, Memelihara dan Melestarikan Ekosistem Bakau. Proyek Pembangunan Masyarakat Pantai dan Pengelolaan Sumberdaya Perikanan. Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap. Departemen Kelautan dan Perikanan. Jakarta. Hal 1-40.
- Muzaiyyinah. 2008. Terminologi Tumbuhan. UNS Press. Surakarta, Jawa Tengah.
- Niswari. A.P. 2004. Studi Morfometrik Kerang Hijau (*Perna viridis* L) di Perairan Cilincing, Jakarta Utara.
- Noor, Y.R., M. Khazali, dan . I.N.N Suryadiputra. 1999. Penduan Pengenalan Mangrove di Indonesia. PKAWI-IF. Bogor
- Notoatmojo, S. 2010. Metodologi Penelitian Kesehatan. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta.
- Nugroho, P. Hartanto, dan I. Sumardi. 2006. Struktur dan Perkembangan Pertumbuhan. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Nybakken, J.W. 1992. Biologi Laut. Gramedia Pustaka. Jakarta.
- Ouyang, Y.J., J. Higman, J. Thompson, T. O'Toole and D. Campbell. 2006. Characterization and Spatial Distribution of Heavy Metals in Sediments from Cedar and Ortega Rivers Sub basin. Journal of Contaminant Hydrology 54: 19-35. www.sciencedirect.com/science/journal/01697722/54/1-2. Diakses pada tanggal 05 Mei 2013.

- Palar, H. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- . 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. PT. Rineka Cipta. Jakarta. 90 hlm.
- Panjaitan, G.Y. 2009. Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon *Avicennia marina* di Hutan Mangrove. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Pemerintah Kabupaten Pasuruan. 2012. Mangrove. <http://www.pasuruankab.go.id/kategori-potensi-5-perikanan.html>. 2 Desember 2012. Diakses pada tanggal 18 Januari 2013.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82. 2001. Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Permana, R.S. 2006. Studi Kandungan Logam Berat Pb Pada Lamun (*Enhalus acoroides*) di Pesisir Desa Banjarwati Kecamatan Paciran Kabupaten Lamongan Jawa Timur. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang. (Tidak Diterbitkan).
- Prajitno, A. 2010. Biologi Laut. Universitas Brawijaya. Malang.
- Praseno, O., H. Kriswanto., S. Agus., dan A. Suhud. 2010. Uji Ketahanan Salinitas Beberapa Ikan Mas yang Dipelihara di Akuarium. Pusat Riset Perikanan Budidaya. Jakarta.
- Priyanto, B dan J. Prayitno. 2009. Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat.
- Purnobasuki, H. dan M. Suzuki. 2005. Functional Anatomy of Air Conducting Network on the Pneumatophores of a Mangrove Plant, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Asian Journal of Plant Sciences 4(4): 334-347, 2005. <http://www.researchgate.net/publication/26564102>. Diakses pada tanggal 22 Januari 2013.
- Purnobasuki, H. 2011. Structure of Lenticels on the Pneumatophores of *Avicennia marina* : as Aerating Device Oxygen in Mangrove's Root. Biota Vol. 16(2) : 309-315, Juni 2011. <http://jurnal.uajy.ac.id/biota/files/2012/10/2011-2-20.pdf>. Diakses pada tanggal 22 Januari 2013.
- Purnomo, T. dan Muchyiddin. 2007. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik. Surabaya: Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya.
- Rahadyan, A. 2003. Kondisi Ekosistem Mangrove Berdasarkan Indikator Kualitas Lingkungan dan Ukuran Morfometrik Daun di Sebelah Utara dan Selatan Sungai Kembang Kuning, Cilacap, Jawa Tengah. IPB. Bogor.

- Rathinasabapathi, B., Q.M. Lena. dan S. Mritunjai. 2001. Arsenic Hyperaccumulating Ferns and their Application to Phytoremediation of Arsenic Contaminated Sites.
- Renou, S., J.G. Givaudan, S. Poulain, F. Dirassouyan, and P. Moulin. 2008. Landfill Leachate Treatment : Review and Opportunity, Journal of Hazardous Materials.
- Rochayatun, E., Lestari dan A. Rozak. 2005. Kualitas Lingkungan Perairan Banten dan Sekitarnya Ditinjau dari Kondisi Logam Berat. Oseanologi dan Limnologi di Indonesia 2005. No. 38 : 23 – 46. ISSN 0125 – 9830. www.oseanografi.lipi.go.id/sites/.../oldi_38_23-46.pdf. Diakses pada tanggal 23 April 2013.
- Rochyatun, E., M.T. Kaisupy dan A. Rozak. 2006. Distribusi Logam Berat dalam Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. Makara, Sains, Vol. 10, No. 1, April 2006:35-40. <http://repository.ui.ac.id/contents/koleksi/2/97bf2c344cea9387ebce56120b39aa916dfa71b1.pdf>. Diakses pada tanggal 23 April 2013.
- Rochyatun, E. dan A. Rozak. 2007. Pemantauan Kadar Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta. Makara, Sains, Vol. 11, No. 1, April 2007:28-36. <http://repository.ui.ac.id/contents/koleksi/2.pdf>. Diakses pada tanggal 23 April 2013.
- Rofik, S. dan Rita D. R. 2012. Ekstrak Daun Api-api (*Avicennia marina*) untuk Pembuatan *Bioformalin* sebagai Antibakteri Ikan Segar. Unwas. Semarang.
- Romimohtarto, K dan Juwana S. 2001. Biologi Laut Ilmu Pengetahuan tentang Biota Laut. Djambatan. Jakarta.
- Sanusi. H.M. 2006. Kimia Laut Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan. Institut Pertanian Bogor. Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Sembiring, E. dan S. Endah . 2006. Akumulasi Pb dan Pengaruhnya pada Kondisi daun *Swietenia macrophylla* King. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Setyawan, A.D., S. Ari, dan Sutarno. 2002. Biodiversitas Genetik, Spesies, dan Ekosistem Mangrove di Jawa.
- Shannon, M.C., C.M. Grieve, dan L.E. Francois. 1994. Whole plant response to salinity. In. Wilkinson, R.E. (Ed.). *Plant environment integeraction*. Marcel Dracker, Inc., New York. pp. 199 – 228.
- Soemirat, J. 2003. Toksikologi Lingkungan. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Soenardjo, N. 1999. Produksi dan Laju Dekomposisi Serasah Mangrove dan Hubungannya dengan Struktur Komunitas Mangrove di Kaliuntu Kab. Rembang Jawa Tengah. Tesis Pascasarjana. ITB. Bogor.

Standar Nasional Indonesia. 1989. Kumpulan SNI Bidang Pekerjaan Umum Mengenai Kualitas Air Edisi Akhir 1990. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

Subarijanti, H. U. 1990. Pengantar Praktikum Limnologi. Universitas Brawijaya. Malang.

_____. 2000. Pemupukan dan Kesuburan Perairan. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang.

Sudarmadji, A. M dan S. Lana, 2007. Pengaruh Ukuran Perusahaan, Profitabilitas, leverage, dan Tipe Kepemilikan Perusahaan Terhadap Luas Voluntary Disclosure Laporan Keuangan Tahunan, Proceeding PESAT, Volume 2. <http://peni.staff.gunadarma.ac.id/Publications>. Diakses pada tanggal 19 Mei 2013.

Sudarwin. 2008. Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang. Universitas Diponegoro. Semarang.

Sugiyono. 2007. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Cetakan kedua puluh satu. Alfabeta. Bandung.

Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan (Heavy Metal Bioremoval by Microorganisms: A Literature Study). Sinergy Forum - PPI Tokyo Institute of Technology.

Susarla, S., V.F. Medina, and S.C. McCutcheon .2002. Phytoremediation, an Ecological Solution to Organic Contamination. *Ecol Eng*, 18:647–58. <http://lqma.ifas.ufl.edu/PUBLICATION/yoon-06.pdf>. Diakses pada tanggal 05 Juni 2013.

Sunu, P. 2001. Melindungi Lingkungan Dengan Menetapkan ISO 140001. Gramedia Widayarsana Indonesia. Jakarta.

Supriharyono. 2002. Pelestarian dan Pengelolaan Sumberdaya Air di Wilayah Pesisir Tropis. PT Gramedia Pustaka. Jakarta.

Supriyanto, C., Samin., Z. Kurniawan. 2007. Analisis Cemar Logam Berat Pb, Cu dan Cd Pada Ikan Air Tawar dengan Metode Spektrometri Nyala Serapan Atom (SSA). Pusat Teknologi Akselelator dan Pusat Bahan. Yogyakarta.

Suryabrata, S. 1987. Metode Penelitian. Cetakan Pertama. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta.

Susanto, R. D. 2004. Pemantauan dan Evaluasi Kinerja : Tips Memilih Indikator Kerja. Direktorat Pemantauan dan Evaluasi Pendanaan Pembangunan Bappenas

- Sutiknowati, L. I. 2010. Kelimpahan Bakteri Fosfat di Padang Lamun Teluk Banten. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* (2010) 36(1): 21-35.
- Syah, C. 2011. Pertumbuhan Tanaman Bakau (*Rhizophora mucronata*) pada Lahan Restorasi Mangrove di Hutan Lindung Angke Kapuk Provinsi DKI Jakarta. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Tam, N.E.Y., Y.S Wong, C.Y Lan, dan L.N Wang. 1998. Litter Production and Decomposition in a Subtropical Mangrove Swamp Receiving Wastewater. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 226(1):1-18. www.sciencedirect.com/science/journal/00220981/226/1. Diakses pada tanggal 07 Juni 2013.
- Tjitrosoepomo, G. 2005. Morfologi Tumbuhan. Cetakan ke-15. Gadjah Mada University. Yogyakarta.
- Undang Undang No. 23 Tahun 1997 Tentang : Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Wibowo, C., C. Kusmana , A. Suryani, Y. Hartati, dan P. Oktadiyani. 2009. Pemanfaatan Pohon Mangrove Api-api (*Avicennia* spp.) Sebagai Bahan Pangan dan Obat. Prosiding Seminar Hasil-hasil Penelitian IPB.
- Wibowo, Y.A. 2010. Ancaman Dan Pengendalian Pencemaran Logam Berat Di Kawasan Estuaria. Program Studi Oseanografi Universitas Hang Tuah Surabaya.
- Widowati. W., A Sastiono, dan R. Jusuf. 2008. Efek Toksik Logam : Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Penerbit Kanisius. Yogyakarta
- Wilujeng, S. 2012. Akumulasi Logam Berat pada Tumbuhan Mangrove *Avicennia* spp. dan *Sonneratia* spp. di kawasan Pantai Timur Surabaya dan Pasuruan.
- Yoon, J., C. Xinde, Z. Qixing, and L.Q. Ma. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *Science of the Total Environment*: 456-464. <http://lqma.ifas.ufl.edu/PUBLICATION/yoon-06.pdf>. Diakses pada tanggal 05 Juni 2013.
- Yuhernita dan Juniarti. 2011. Analisis Senyawa Metabolit Sekunder dari Ekstrak Metanol Daun Surian yang Berpotensi Sebagai Antioksidan. *Makara, Sains*, Vol. 15, NO. 1, April 2011 : 48-52. <http://journal.ui.ac.id/science/article/viewFile/877/836>. Diakses pada tanggal 15 April 2013.
- Yusuf, S. 2010. Isolasi dan Penentuan Struktur Molekul Senyawa Triterpenoid dari Kulit Batang Kayu Api-api Betina (*Avicennia Marina* Nessh). *Jurnal Penelitian Sains*, 13 (2) (C) 13205. <http://jpsmipaunsri.files.wordpress.com/2010/>. Diakses pada tanggal 08 Juni 2013.

repository.ub.ac.id

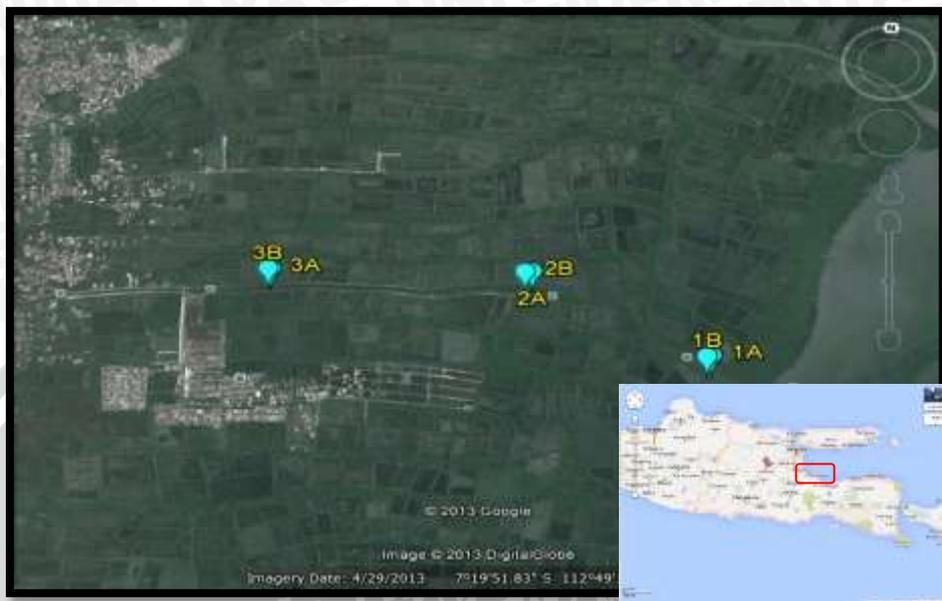
Yuwanti, R., Erman dan Nurhayati. 2012. Keseimbangan Adsorpsi Pb (II) pada Lempung Alam Desa Talanai Kabupaten Kampar.

Zaman, B dan Syafrudin. 2007. Model Numerik 2-D (Lateral & Longitudinal) Sebaran Polutan Cadmium (Cd) di Muara Sungai (Studi Kasus: Muara Sungai Babon, Semarang). Jurnal Presipitasi Vol. 3 No. 2. <http://eprints.undip.ac.id/>. Diakses pada tanggal 22 Maret 2013.

Zipcodezoo. 2013. *Avicennia alba*. <http://www.zipcodezoo.org/> Diakses tanggal 26 April 2013.



Lampiran 1. Lokasi Pengambilan Sampel Gunung Anyar, Surabaya



Skala 1 : 11.000

Kawasan Mangrove Gunung Anyar, Surabaya Timur, Jawa Timur

Lampiran 2. Lokasi Pengambilan Sampel Kedawang, Pasuruan



Skala 1 : 9.800

Kawasan Mangrove Kedawang, Pasuruan, Jawa Timur

