

**KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb DAN GAMBARAN HISTOLOGI
PADA JARINGAN AKAR DAN BUAH *Avicennia alba*
DI KAWASAN MANGROVE GUNUNG ANYAR, SURABAYA
DAN KEDAWANG, PASURUAN**

**SKRIPSI
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERIKANAN**

Oleh:
**RONA AJI LESTYANINGRUM
NIM. 0910810069**



**MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

**KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb DAN GAMBARAN HISTOLOGI
PADA JARINGAN AKAR DAN BUAH *Avicennia alba*
DI KAWASAN MANGROVE GUNUNG ANYAR, SURABAYA
DAN KEDAWANG, PASURUAN**

**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 :

**RONA AJI LESTYANINGRUM
NIM. 0910810069**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2013

SKRIPSI

KANDUNGAN LOGAM BERAT Pb DAN GAMBARAN HISTOLOGI
PADA JARINGAN AKAR DAN BUAH *Avicennia alba*
DI KAWASAN MANGROVE GUNUNG ANYAR, SURABAYA
DAN KEDAWANG, PASURUAN

Oleh:

RONA AJI LESTYANINGRUM
NIM. 0910810069

telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal : 1 Agustus 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat
SK Dekan No.:
Tanggal :

Dosen Penguji I

Ir. Putut Widjanarko, MP.
NIP. 19540101 198303 1 006

Dosen Penguji II

Asus Maizar S.H., S.Pi, MS.
NIP. 19720529 200321 1 001

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

Dr. Uun Yanuhar, S.Pi, M.Si.
NIP. 19730404 200212 2 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan MSP

Dr. Ir. Happy Nursyam, MS
NIP. 19600322 198601 1 001

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 Ir. Sukian Wilujeng, MM. 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, 1 Agustus 2013

Mahasiswa,

Rona Aji Lestyningrum

RINGKASAN

RONA AJI LESTYANINGRUM. Skripsi tentang Kandungan Logam Berat Pb dan Gambaran Histologi pada Jaringan Akar dan Buah *Avicennia Alba* di Kawasan Mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan (di bawah bimbingan **Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MS** dan **Dr. Uun Yanuhar, S.Pi, MSi.**)

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. Salah satunya mangrove jenis *Avicennia alba* dapat digunakan sebagai indikator biologis lingkungan yang tercemar logam berat terutama Cu, Pb, dan Zn melalui monitoring berkala.

Tujuan dari penelitian adalah untuk menganalisa kandungan logam berat Pb pada perairan dan sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya serta kawasan mangrove Kedawang, Pasuruan. Juga menganalisa kandungan logam berat Pb di akar dan buah serta mengetahui dampak kandungan logam berat Pb dengan melihat gambaran histologi pada akar dan buah *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya yang tercemar dan kawasan mangrove Kedawang, Pasuruan yang relatif bersih. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret-Mei 2013 di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan Jawa Timur.

Hasil analisa kualitas air pada kawasan mangrove Gunung Anyar untuk parameter suhu berkisar 25-32,6°C, pH 6,71-6,76, salinitas 1-12,3 dan DO 2,1-5,23 mg/l, sedangkan di kawasan mangrove Kedawang untuk parameter suhu berkisar antara 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 di dominasi oleh liat, pH dengan ekstrak H₂O antara 7,5-7,9 dan KCl berkisar antara 7,0-7,4, total N 1,3 - 2 mg/kg dan total P 11,88 - 18,40 mg/kg, sedangkan pada daerah Kedawang yaitu tekstur didominasi oleh pasir, pH dengan ekstrak H₂O antara 7,3-8,1 dan KCl antara 6,6-7,6, total N 0,9-1,4 mg/kg dan total P 38,26-42,45 mg/kg. Kualitas air dan sedimen yang demikian masih bisa mendukung kehidupan mangrove *Avicennia alba*.

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 IADC/CEDA (1997) mengenai kandungan logam yang dapat ditoleransi keberadaannya dalam sedimen untuk logam berat timbal (Pb) yaitu sebesar 85 ppm.

Kadar Pb pada akar *Avicennia alba* di lokasi kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar 3,74-5,45 ppm, dengan hasil reratan 4,70 ppm. Sedangkan di lokasi Kedawang pada akar *Avicennia alba* berkisar 1,85-3,29 ppm, dengan hasil reratan 2,99 ppm. Kadar Pb pada buah *Avicennia alba* di lokasi kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,34-0,55 ppm, dengan hasil reratan 0,43ppm. Sedangkan di lokasi Kedawang kadar Pb pada buah *Avicennia alba* berkisar 0,16-0,34 ppm, dengan hasil reratan 0,25 ppm. Menurut SNI (2009), untuk batas maksimum cemaran logam berat Pb dalam pangan khususnya buah dan hasil olahannya sebesar 0,5 ppm, sedangkan untuk tepung terigu sebesar 1,0 ppm. Hasil tersebut menunjukkan, kandungan Pb pada buah *A. alba* di kedua lokasi penelitian masih di bawah batas maksimum, tetapi kandungan Pb pada buah *A. alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar hampir mendekati batas maksimum untuk baku mutu buah. Setelah mengetahui kandungan Pb pada akar dan buah, tahap selanjutnya dilakukan pengamatan histologi pada kedua jaringan tersebut. Dari hasil pengamatan histologi dengan pewarnaan HE pada kedua lokasi penelitian, yaitu adanya perbedaan struktur jaringan tanaman *A. alba* yang tumbuh di kawasan mangrove Gunung Anyar dengan indikasi telah tercemar logam berat Pb dan tanaman yang tumbuh di kawasan mangrove Kedawang yang relatif bersih dari pencemaran logam berat Pb. Berdasarkan hasil uji T, H_0 ditolak, dengan kata lain H_1 diterima artinya ada pengaruh perbedaan perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb air dan sedimen di kedua lokasi tersebut.

Nilai BCF di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,31-0,46 dengan hasil reratan sebesar 0,41 atau 41%, sedangkan di kawasan mangrove Kedawang berkisar antara 0,89-1,26 dengan hasil reratan sebesar 1,06 atau 106%. Nilai *Transcolation Factor* (TF) pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,06-0,15 dengan hasil reratan 0,10 atau 10% dan daerah Kedawang berkisar antara 0,07-0,09 dengan hasil reratan 0,24 atau 24%. Berdasarkan hasil nilai BCF dan TF pada kedua lokasi penelitian menunjukkan hasil yang lebih tinggi berada di kawasan mangrove Kedawang, hal itu disebabkan kandungan Pb pada kawasan tersebut rendah, yang didukung oleh tekstur yang berpasir.

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 buah. Berdasarkan nilai BCF dan TF mangrove *Avicennia alba* dapat dijadikan fitoremediasi karena dapat beradaptasi terhadap logam berat. Saran yang dapat diberikan ialah diperlukan penelitian lanjutan dengan pengambilan sampling secara periodik, serta untuk pengamatan histologi perlu dilakukan pewarnaan yang dapat menunjukkan penyebaran Pb pada suatu jaringan tanaman.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan ridho-Nya, Laporan Skripsi dengan judul “Kandungan Logam Berat Pb dan Gambaran Histologi pada Jaringan Akar dan Buah *Avicennia Alba* di Kawasan Mangrove Gunung Anyar, Surabaya Dan Kedawang, Pasuruan” ini dapat diselesaikan. Laporan 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 yaitu bapak Sumaji, S.Pd dan Dra. Anik Lestyaningsih yang selalu memberikan dukungan moril maupun materil.
2. Adik Rachmania Tatsa Lestyaji yang selalu belajar, mengerjakan PR sehingga tidak bisa diminta tolong, terima kasih
3. Bapak Dr. Ir. Mohammad Mahmudi, MS dan ibu Dr. Uun Yanuhar, S.Pi., MSi. selaku dosen pembimbing, yang selama ini telah memberikan nasehat serta bimbingannya.
4. Bapak Ir. Putut Widjanarko, MP dan bapak Asus Maizar S.H., S.Pi., MS. selaku dosen penguji Skripsi.
5. Ibu Ir. Sukian Wilujeng, MM yang mengikutsertakan kami dalam penelitian disertasinya.
6. Sahabat ONAH dan teman-teman MSP 2009 yang membantu dalam pelaksanaan Skripsi.

Dalam penyusunan laporan ini saya menyadari adanya 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, 1 Agustus 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
LEMBAR ORISINALITAS	iii
RINGKASAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Kegunaan.....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Ekosistem Mangrove	6
2.1.1 Pengertian dan Habitat	6
2.1.2 Struktur dan Zonasi Hutan Mangrove	7
2.1.3 Adaptasi Tanaman Mangrove	9
2.2 <i>Avicennia alba</i>	12
2.2.1 Morfologi dan Klasifikasi	12
2.2.2 <i>Avicennia alba</i> sebagai Biomonitoring penyerap dan Pencemar Logam Berat.....	15
2.3 Pencemaran Logam Berat Timbal	17
2.3.1 Pengertian Pencemaranl	17
2.3.2 Logam Berat	20
2.3.3 Kandungan Logam Berat dalam Sedimen	21
2.3.4 Kandungan Logam Berat dalam Perairan	24
2.3.5 Logam Berat Pb.....	25
2.3.6 Mekanisme Penyerapan Logam Berat Pb.....	27
2.4 Histologi <i>Avicennia alba</i>	31
2.4.1 Akar	31
2.4.2 Buah	34
2.5 Parameter Kualitas Pendukung	36
2.5.1 Parameter Fisika.....	36
2.5.2 Parameter Kimia	39
3. METODE PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian.....	43
3.2 Ruang Lingkup Penelitian.....	43

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian.....	44
3.4 Variabel Penelitian	44
3.5 Alat dan Bahan Penelitian	45
3.6 Teknik Pengambilan Sampel.....	46
3.6.1 Penetapan Stasiun Pengambilan Sampel	46
3.6.2 Teknik Pengambilan Sampel <i>Avicennia alba</i>	47
3.6.3 Pengambilan Sampel Air dan Sedimen.....	48
3.7 Analisis Pb Total Logam Berat	49
3.7.1 Analisis Pb Total pada Sampel Akar dan Buah.....	49
3.7.2 Analisis Pb Total pada Sampel Air.....	50
3.7.3 Analisis Pb Total pada Sampel Sedimen	50
3.8 Teknik Pengamatan Jaringan <i>Avicennia alba</i>	51
3.9 Prosedur Parameter Pendukung	52
3.8.1 Parameter Fisika.....	52
3.8.2 Parameter Kimia.....	54
3.10 Prinsip Kerja <i>Atomic Absorption Spectrofotometer</i>	56
3.11 Analisa Data.....	57
3.11.1 Faktor Biokonsentrasi (BCF).....	57
3.11.2 Faktor Translokasi (TF).....	57
3.11.3 Analisis Deskriptif	58
3.11.4 Pengaruh Kadar Pb Air dan Sedimen pada Kedua Lokasi	58
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian	60
4.2 Parameter Kualitas Air	61
4.2.1 Suhu	62
4.2.2 Salinitas	63
4.2.3 Derajat Keasaman	64
4.2.4 Oksigen Terlarut	65
4.2.5 Konsentrasi Timbal (Pb) pada Air	66
4.3 Parameter Kualitas Sedimen.....	69
4.3.1 Tekstur.....	69
4.3.2 Derajat Keasaman Sedimen	72
4.3.3 Total N Sedimen.....	73
4.3.4 Total P Sedimen	75
4.3.5 Kandungan Logam Berat Pb Sedimen.....	76
4.3.6 Pengaruh Kadar Pb Air dan Sedimen pada Kedua Lokasi	80
4.4 Kandungan Logam Berat Pb pada Akar dan Buah <i>Avicennia alba</i>	81
4.5 <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) dan <i>Translocation Factor</i> (TF).....	85
4.6 Histologi Jaringan <i>Avicennia alba</i>	91
4.6.1 Akar	92
4.6.2 Buah.....	104
5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	111
5.2 Saran	112
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN	130

DAFTAR TABEL

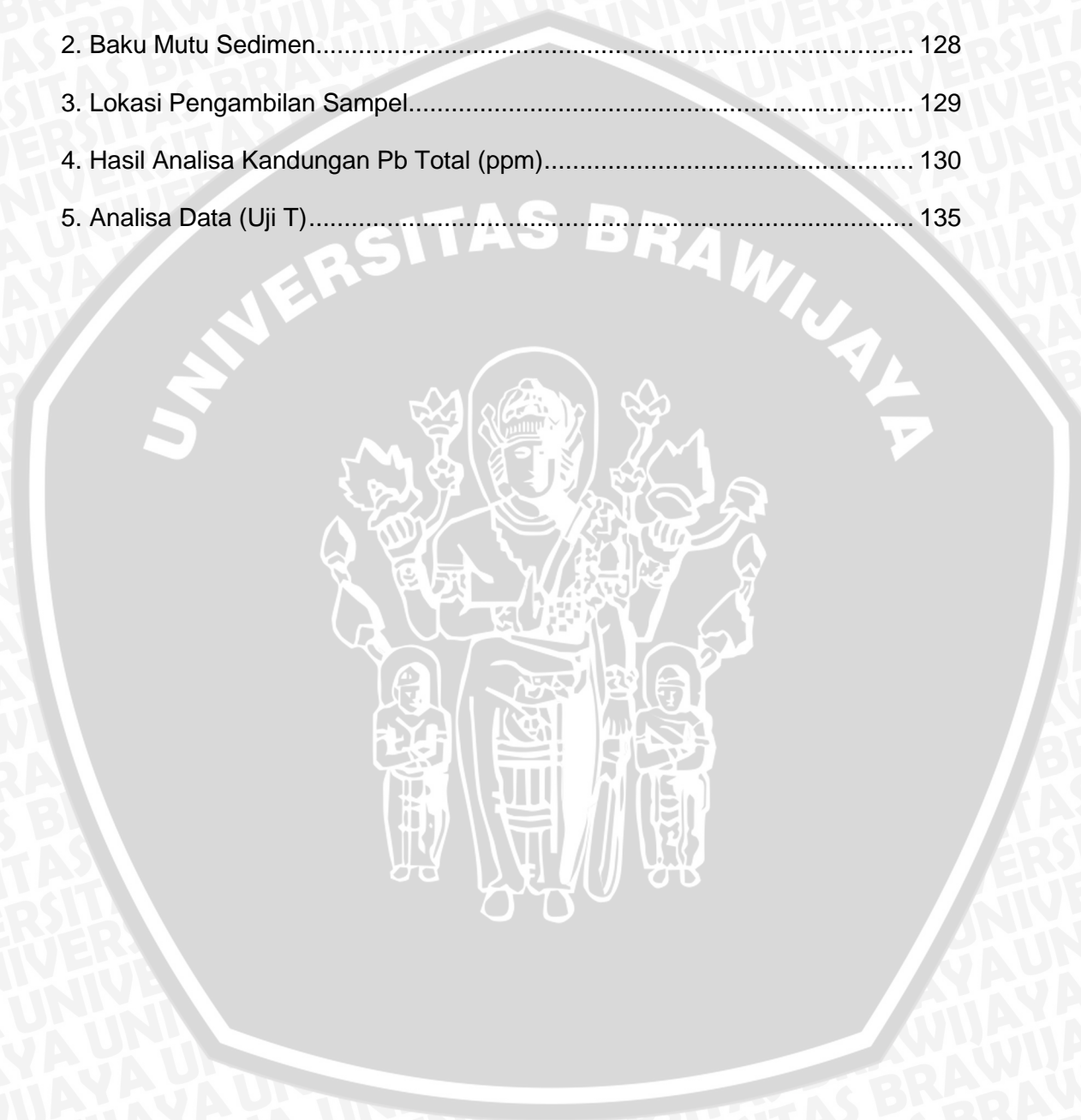
Tabel	Halaman
1. Variabel Penelitian.....	44
2. Alat dan Bahan yang digunakan.....	45
3. Hasil Parameter Fisika Kimia Air.....	61
4. Hasil Rerata Kandungan Pb pada Air.....	67
5. Hasil Pengukuran Tekstur Tanah.....	69
6. Hasil Pengukuran pH Tanah.....	72
7. Hasil Pengukuran Total N sedimen.....	74
8. Hasil Pengukuran Total P sedimen.....	75
9. Hasil Rerata Kandungan Pb pada Sedimen.....	77
10. Hasil Rerata Kandungan Pb pada Akar dan Buah.....	81
11. Nilai <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF).....	86
12. Nilai <i>Tranlocation Factor</i> (TF).....	89
13. Perhitungan Uji T (Air).....	135
14. Perhitungan Uji T (Sedimen).....	138

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pola Zonasi Mangrove	8
2. <i>Avicennia alba</i>	14
3. Skema Proses Alami yang Terjadi Jika Polutan Logam Berat Masuk ke Lingkungan laut	19
4. Penampang Akar Dikotil	32
5. Penampang Melintang Jaringan Akar <i>Avicennia marina</i>	33
6. Penampang Melintang Buah <i>Avicennia marina</i>	34
7. Penampang Melintang Jaringan Buah <i>Avicennia marina</i>	35
8. Grafik Kadar Pb di Air	68
9. Komposisi Tekstur Tanah di Gunung Anyar	70
10. Komposisi Tekstur Tanah di Kedawang	70
11. Grafik Kadar Pb di Sedimen.....	78
12. Penampang Melintang Jaringan Akar <i>Avicennia alba</i>	92
13. Jaringan Epidermis Akar <i>Avicennia alba</i>	93
14. Jaringan Korteks Akar <i>Avicennia alba</i>	95
15. Jaringan Kambium Akar Vasikuler <i>Avicennia alba</i>	97
16. Jaringan Endodermis Akar <i>Avicennia alba</i>	98
17. Jaringan Floem Akar <i>Avicennia alba</i>	100
18. Jaringan Xilem Akar <i>Avicennia alba</i>	102
19. Penampang Melintang Jaringan Buah <i>Avicennia alba</i>	104
20. Jaringan Kotiledon Buah <i>Avicennia alba</i>	105
21. Jaringan Embrio Buah <i>Avicennia alba</i>	105

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut.....	126
2. Baku Mutu Sedimen.....	128
3. Lokasi Pengambilan Sampel.....	129
4. Hasil Analisa Kandungan Pb Total (ppm).....	130
5. Analisa Data (Uji T).....	135



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, secara garis besar sumber pencemaran perairan pesisir dan lautan dapat dikelompokkan menjadi tujuh kelas yaitu limbah industri, limbah cair pemukiman (*sewage*), limbah cair perkotaan (*urban storm water*), pertambangan, pelayaran (*shipping*), pertanian dan perikanan budidaya. Sedangkan bahan pencemar utama yang terkandung dalam buangan limbah dari ketujuh sumber tersebut berupa sediment, unsur hara (*nutrient*), logam beracun (*toxic metal*), pestisida, organisme eksotik, organisme patogen, sampah dan *oxygen depleting substance* (bahan yang menyebabkan oksigen terlarut dalam air berkurang) (Dahuri, 1998). Bilamana limbah tersebut dilepaskan ke perairan bebas, akan terjadi perubahan nilai dari perairan itu sendiri baik kualitas maupun kuantitas sehingga perairan dapat dianggap tercemar (Rochyatun dan Rozak, 2007).

Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemudian diserap oleh organisme yang hidup di perairan tersebut (Bryan, 1976 dalam Ali dan Rina, 2010). 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 (Kusumastuti, 2009). Biota air yang hidup dalam perairan tercemar logam berat,

sebagian dapat mengakumulasi logam berat tersebut dalam jaringan tubuhnya. Makin tinggi kandungan logam dalam perairan akan semakin tinggi pula kandungan logam berat yang terakumulasi dalam tubuh organisme tersebut (Rai *et al.*, 1981).

Mangrove merupakan individu jenis tumbuhan atau komunitas tumbuhan yang tumbuh di daerah pasang surut, terendam pada saat pasang dan bebas dari genangan pada saat surut (Kathiresan and Bingham, 2001). Mangrove yang tumbuh di muara sungai merupakan tempat penampungan bagi limbah-limbah yang terbawa aliran sungai. Mangrove memiliki kemampuan menyerap bahan-bahan organik dan non organik dari lingkungannya ke dalam tubuh melalui membran sel. Proses ini merupakan bentuk adaptasi mangrove terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim (Mastaller, 1996).

Saenger *et al.*, (1983) dalam Soemodihardjo dan Soeroyo (1994), melaporkan hasil penelitian di Puerto Rico tentang dampak yang ditimbulkan oleh pembuangan limbah cair langsung ketegakan mangrove secara perlahan-lahan, mangrove mengalami defoliasi dan akhirnya mati. Dalam kasus ini dampak negatif air limbah diperkuat oleh kondisi perairan yang sirkulasinya kurang baik, BOD-nya tinggi dan banyak mengandung khlor. Pembauran air melalui gerakan pasang surut juga terbatas. Tetapi pada penelitian Tam (1998) di Australia menunjukkan bahwa pohon mangrove memiliki kemampuan tinggi untuk beradaptasi dengan pencemaran limbah tanpa mengalami kerusakan pada pertumbuhan mereka. Mangrove memiliki kemampuan besar untuk menahan nutrient, sehingga menguntungkan bagi sistem apabila mampu menstimulasi produksi biomassa dan formasi tanah yang ada.

Perairan estuari Pantai Timur Surabaya merupakan muara dari 7 buah sungai besar salah satunya sungai Wonokromo. Sungai-sungai tersebut membawa limbah padat dan cair yang berasal dari kawasan 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 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. Supriharyono (2000) mengemukakan bahwa, industri yang tidak dilengkapi oleh sistem pengelolaan limbah akan menghasilkan limbah yang mengandung raksa (Hg), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), kromium (Cr), dan nikel (Ni) yang dapat menimbulkan penurunan kualitas perairan.

Menurut Arisandi (1996) dalam Mulyadi *et al.*, (2009) melaporkan bahwa Pantai Timur Surabaya ditumbuhi vegetasi mangrove yang didominasi oleh jenis *Avicennia alba* dan *Sonneratia* spp. Berdasarkan hasil studi pendahuluan Wilujeng (2013) dalam penelitian disertasi yang dilakukan pada tanggal 11 November 2012, telah dilakukan analisa sampel air dan sedimen pada kawasan mangrove Gunung Anyar. Diperoleh kandungan logam berat Pb pada air sebesar 0,3619 ppm, sedangkan pada sampel sedimen 11,1941 ppm. Dari hasil yang ada jelas telah melewati baku mutu yang telah ditetapkan. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.51 tahun 2004 mengenai baku mutu air laut untuk biota laut, untuk kandungan Pb sebesar 0,008 mg/l. 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. Sedangkan untuk baku mutu di dalam sedimen menurut IADC/CEDA (1997) mengenai kandungan logam yang dapat ditoleransi keberadaannya dalam sedimen berdasarkan standar kualitas Belanda untuk logam berat Pb masih dalam keadaan normal dengan batas minimum 85 mg/kg,

sehingga substansi yang ada pada sedimen tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan.

Di Kabupaten Pasuruan, Kecamatan Nguling merupakan suatu kawasan yang banyak ditumbuhi tanaman mangrove, menurut Pemerintah Kabupaten Pasuruan (2012) terutama jenis *Avicennia* spp. Dan *Rhizophora mucronata*. Berdasarkan hasil studi pendahuluan Wilujeng (2013) dalam penelitian disertasi yang dilakukan pada tanggal 2 Desember 2012, telah dilakukan analisa sampel sedimen. Pada sampel sedimen didapat 3,8380 ppm. Dari hasil studi tersebut, maka kawasan hutan Mangrove di Kabupaten Pasuruan, Kecamatan Nguling dapat dijadikan sebagai daerah kontrol. Karena kondisi kawasan tersebut jauh dari pemukiman serta industri, sehingga perairan ini relatif bersih dari pencemaran. Berdasarkan uraian di atas diperlukan upaya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kandungan logam berat timbal (Pb) pada tanaman mangrove jenis *Avicennia alba* serta gambaran histologi pada akar dan buah *A. alba* yang tumbuh pada perairan tercemar dan perairan yang relatif bersih dari pencemaran logam berat Timbal (Pb).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut :

- Berapa kandungan logam berat Pb pada perairan dan sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan kawasan mangrove di desa Kedawang, Pasuruan ?
- Berapa kadungan logam berat Pb di akar dan buah serta bagaimana pengaruh logam berat Pb terhadap gambaran histologi di bagian akar dan buah pada tanaman mangrove jenis *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan kawasan mangrove di desa Kedawang, Pasuruan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

- Menganalisa kandungan logam berat Pb pada perairan dan sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya dan kawasan mangrove Kedawang, Pasuruan.
- Menganalisa kandungan logam berat Pb di akar dan buah serta mengetahui dampak kandungan logam berat Pb dengan melihat gambaran histology pada akar dan buah *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya yang tercemar dan kawasan mangrove Kedawang, Pasuruan yang relatif bersih.

1.4 Manfaat Penelitian

- Dengan diketahuinya tingkat pencemaran logam berat yang terjadi dapat memberikan informasi dan rujukan kepada pemerintah dalam menentukan kebijakan terhadap pengelolaan sumberdaya pesisir kawasan hutan mangrove secara terpadu untuk membatasi perkembangan pembangunan di sekitar wilayah tersebut.
- Mahasiswa dapat mempelajari, mengetahui, dan menambah pengetahuan atau wawasan mengenai pencemaran kandungan logam berat Pb pada *Avicennia alba*, sehingga dapat dijadikan sebagai bioakumulator terhadap lingkungan sekitar dan dapat dijadikan bahan kajian untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Mangrove

2.1.1 Pengertian dan Habitat

Menurut Adiwijaya (2009), mangrove adalah suatu komunitas tumbuhan atau suatu individu jenis tumbuhan yang membentuk komunitas tersebut di daerah pasang surut. Hutan mangrove adalah tipe hutan yang secara alami dipengaruhi oleh pasang surut air laut, tergenang pada saat pasang naik dan bebas dari genangan pada saat pasang rendah. Ekosistem mangrove adalah suatu sistem yang terdiri atas lingkungan biotik dan abiotik yang saling berinteraksi. Sedangkan menurut Duke (1992) dalam Hiralal (2008), mangrove merupakan hutan atau kumpulan tanaman yang meliputi pohon jenis tropik, semak atau palem dimana tanaman tersebut ditengah-tengah laut dan di daratan dekat pantai. Jenis-jenis dari mangrove adalah jenis tanaman yang mampu beradaptasi dalam salinitas tertentu dengan sedimen yang masih menggenang oleh air alut .

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang hidup di kawasan basa intertidal atau daerah estuari, dimana daerah estuari merupakan daerah mangrove. Mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang mempunyai peranan penting di daerah estuari. Ekosistem mangrove memiliki tingkat produktivitas paling tinggi dibandingkan dengan ekosistem pesisir lainnya. Mangrove juga merupakan tempat untuk mencari makan, memijah dan berkembang biak bagi udang dan ikan, kerang dan kepiting. Ekosistem mangrove bagi manusia juga bermanfaat baik secara langsung dan tidak langsung terhadap sosio-ekonomi penduduk sekitar. Selain itu, ekosistem mangrove juga berfungsi sebagai perangkap sedimen dan mencegah erosi serta penstabil bentuk daratan di daerah estuari (Harty, 1997).

2.1.2 Struktur dan Zonasi Hutan mangrove

Keragaman jenis hutan mangrove secara umum relatif rendah jika dibandingkan dengan hutan alam tipe lainnya, hal ini disebabkan oleh kondisi lahan hutan mangrove yang senantiasa atau secara periodik digenangi oleh air laut, sehingga mempunyai salinitas yang tinggi dan berpengaruh terhadap keberadaan jenisnya. Jenis yang dapat tumbuh pada ekosistem mangrove adalah jenis halofit, yaitu jenis-jenis tegakan yang mampu bertahan pada tanah yang mengandung garam dari genangan air laut (Talib, 2008). Penjelasan tersebut diperkuat dengan pendapat Bengen dan Dutton (2004) bahwa zonasi mangrove dipengaruhi oleh salinitas, toleransi terhadap ombak dan angin, toleransi terhadap lumpur (keadaan tanah), frekuensi tergenang oleh air laut. Zonasi yang menggambarkan tahapan suksesi yang sejalan dengan perubahan tempat tumbuh. Perubahan tempat tumbuh sangat bersifat dinamis yang disebabkan oleh laju pengendapan atau pengikisan. Daya adaptasi tiap jenis akan menentukan komposisi jenis tiap zonasi.

Zonasi hutan mangrove yang masih alami menurut Arief (2003) pada umumnya membentuk zonasi mulai dari arah laut ke daratan berturut-turut, sebagai berikut :

1. Zona *Avicennia*, terletak pada lapisan paling luar dari hutan mangrove. Pada zona ini, tanah berlumpur lembek dan berkadar garam tinggi. Jenis *Avicennia* banyak ditemui berasosiasi dengan *Sonneratia* spp. Karena tumbuh di bibir laut, jenis-jenis ini memiliki perakaran yang sangat kuat yang dapat bertahan dari hempasan ombak laut. Zona ini juga merupakan zona perintis atau pioner, karena terjadinya penimbunan sedimen tanah akibat cengkaman perakaran tumbuhan jenis ini.

2. Zona *Rhizophora*, terletak di belakang zona *Avicennia* dan *Sonneratia*. Pada zona ini, tanah berlumpur lembek dengan kadar garam lebih rendah. Perakaran tanaman tetap terendam selama air laut pasang.
3. Zona *Bruguiera*, terletak di belakang Zona *Rhizophora*. Pada zona ini, tanah berlumpur agak keras. Perakaran tanaman lebih peka serta hanya terendam pasang naik dua kali sebulan.
4. Zona *Nypa*, yaitu zona pembatas antara daratan dan lautan, namun zona ini sebenarnya tidak harus ada, kecuali jika terdapat air tawar yang mengalir (sungai) ke laut.



Gambar 1. Pola Zonasi Mangrove (Adiwijaya, 2009)

Kitamura dkk. (2003) mengatakan terdapat 32 jenis spesies mangrove sejati dan 20 asosiasi mangrove tumbuh subur di Indonesia Jenis-jenis mangrove tersebut antara lain: *Avicennia alba*, *Rhizophora apiculata*, *Bruguiera parviflora*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Nypa fruticans*, *Xylocarpus granatum*, *Excoecaria agallocha*, *Pandanus furentus*, *Bruguiera cylindrica*, *Sonneratia alba*, *Xylocarpus moluccensis*, *Camptostemon schultzii*, *Myristica hollrungii*, *Heritiera littoralis*, *Manilkara fasciculata*, *Inocarpus fagiferus*, *Pandanus tectorius*, *Aegiceras corniculatum*, *Lumnitzera littorea* dan *Pemphis acidul*.

Pada sebagian besar hutan mangrove yang sudah dipengaruhi kegiatan manusia (antropogenik) pada umumnya zonasi sulit ditentukan, selain itu zonasi mangrove juga bisa dipengaruhi tingginya sedimentasi dan perubahan habitat. Dalam hal ini ketersediaan propagul diduga lebih berpengaruh dalam proses

reproduksi mangrove akan bereproduksi apabila kondisi lingkungan cocok atau sesuai. Hal ini berkaitan dengan daya adaptasi mangrove terhadap kondisi yang ekstrim dimana beting lumpur baru akan didominasi tumbuhan yang propagulnya paling banyak sampai di tempat tersebut (Djohan, 2001 dalam Setyawan, 2008).

2.1.3 Adaptasi Tanaman Mangrove

Agar dapat hidup pada daerah yang ekstrim, tanaman mangrove memiliki cara adaptasi terhadap sifat-sifat lingkungannya. Milantara (2006) menjelaskan bahwa tumbuhan mangrove memiliki beberapa perbedaan bagian tubuh dibandingkan dengan tumbuhan lainnya. Berikut cara adaptasi mangrove terhadap lingkungannya :

a. Adaptasi flora mangrove terhadap kadar oksigen rendah

Tanaman mangrove berbeda dengan kebanyakan tumbuhan non mangrove yang memperoleh oksigen untuk jaringan akarnya dari tanah, tumbuhan mangrove harus memperoleh oksigen untuk jaringan akar di bawah tanah langsung dari udara karena tanah sekitarnya tidak mengandung oksigen (Odum dan Johannes, 1975 dalam Soemodihardjo dan Soeroyo, 1994).

Marga *Rhizophora* mengatasi kebutuhan itu melalui pengembangan akar tunjang (*still root*) yang berkembang mulai dari atas tanah, tidak jarang dari ketinggian sampai lebih dari dua meter. Akar ini mempunyai banyak pori-pori atau lentisel yang berfungsi sebagai pintu-pintu pertukaran gas. Selain itu akar tunjang juga dilapisi sel lilin yang dapat dilewati oksigen tapi tidak tertembus air. Pada marga *Avicennia* dan *Sonneratia* mengatasi kekurangan oksigen dengan memiliki bentuk akar nafas yang berpangkal dari bagian akar kabel di bawah tanah dan tumbuh mencuat sampai 20-30 cm di atas substrat (Murdiyanto, 2004). Mangrove jenis ini, memiliki struktur anatomi yang khusus pada akar, yaitu memiliki jaringan aerenkim pada akar yang berada dibawah permukaan air

(bagian akar yang terendam lumpur) (Tomlinson, 1986; Schweingruber *et al.*, 2006). Lawton *et al.*, (1981) dalam Rodtassana dan Pounparn (2012), melaporkan bahwa pada struktur akar *Avicennia marina* (*pneumatophore*) hanya berisi udara pada bagian kortek.

Milantara (2006) juga menjelaskan, bahwa sistem perakaran berupa akar nafas, mempunyai pneumatofora dan lentisel. Selain itu dengan bentuk akar yang sangat ekstensif dan membentuk jaringan horizontal yang lebar dapat membuat tumbuhan-tumbuhan mangrove bertahan pada tanah yang labil. Sedangkan marga *Bruguiera* memiliki bentuk akar lutut dan *Xylocarpus* dilengkapi dengan akar papan yang juga berfungsi sebagai pertukaran gas bagi jaringan akar bawah tanah.

b. Adaptasi flora mangrove terhadap kadar garam

Selain lingkungan yang anerob, tanaman mangrove juga memiliki kemampuan dalam beradaptasi terhadap kondisi perairan dengan kadar garam yang tinggi. Tomlinson (1983) dalam Soemodihardjo dan Soeroyo (1994) menerangkan bahwa tumbuhan mangrove dalam mengatasi masalah tingginya kadar garam di laut ada dua cara. Pada marga *Rhizophora*, *Bruguiera*, dan *Sonneratia* kandungan garam mulai disaring sebelum memasuki jaringan tumbuhan yang bersangkutan. Maka cairan batangnya mempunyai kadar garam yang relatif rendah yaitu $\frac{1}{100}$ dari konsentrasi air laut. Meskipun demikian kadar garam cairan mangrove di atas masih 10 kali lebih pekat daripada cairan tumbuhan non-mangrove. Berbeda halnya dengan keluarga *Avicennia*, *Aegiceras* dan *Aegialitis*. Jenis-jenis tumbuhan dari ketiga marga ini mengeluarkan garam melalui alat khusus yang disebut kelenjar garam (*salt gland*). Alat-alat ini terdapat di permukaan daun kemudian terlepas dari daun. Cairan batang tumbuhan mangrove tipe ini mengandung kadar garam relatif tinggi yaitu 10 % dari kadar

garam air laut. Hal tersebut diperkuat dengan pernyataan Milantara (2006), bahwa daun mangrove memiliki kelenjar garam karena dalam daun tersebut terdapat sel-sel khusus yang berfungsi untuk menyimpan garam. Daun yang cukup tebal dan kuat serta banyak mengandung air untuk keseimbangan garam. Daun tumbuhan mangrove juga memiliki stomata khusus untuk mengurangi penguapan.

Dalam penjelasan Shannon *et al.*, (1994), adaptasi tanaman mangrove terhadap kadar garam yang tinggi mempunyai tiga cara, yaitu :

1. Sekresi garam (*salt extrusion/salt secretion*). Flora mangrove menyerap air dengan kadar garam tinggi kemudian mengekskresikan garam dengan kelenjar garam yang terdapat pada daun. Mekanisme ini biasanya dilakukan oleh *Avicennia*, *Sonneratia*, *Aegiceras*, *Aegialitis*, *Acanthus*, *Laguncularia* dan *Rhizophora* (melalui unsur-unsur gabus pada daun),
2. Mencegah masuknya garam (*salt exclusion*). Flora mangrove menyerap air tetapi mencegah masuknya garam melalui saringan / ultra filter yang terdapat pada akar. Mekanisme ini dilakukan oleh *Rhizophora*, *Ceriops*, *Sonneratia*, *Avicennia*, *Osbornia*, *Bruguiera*, *Excoecaria*, *Aegiceras*, *Aegialitis* dan *Acrostichum*,
3. Akumulasi garam (*salt accumulation*). Flora mangrove sering menyimpan natrium dan klorida pada bagian kulit kayu, akar dan daun yang sudah tua. Daun penyimpan garam umumnya sukulen dan pengguguran daun sukulen ini diperkirakan merupakan mekanisme pengeluaran kelebihan garam yang dapat menghambat pertumbuhan dan pembentukan buah. Mekanisme ini dilakukan oleh *Excoecaria*, *Lumnitzera*, *Avicennia*, *Osbornia*, *Rhizophora*, *Sonneratia* dan *Xylocarpus*

2.2 *Avicennia alba*

2.2.1 Morfologi dan Klasifikasi

Avicennia alba “Blume” merupakan tumbuhan pioner yang biasanya mendominasi di daerah terbuka yaitu seperti tepi sungai atau daerah berlumpur. Dimana daerah tersebut merupakan daerah yang sangat mendukung bagi pertumbuhan tanaman mangrove, sehingga hal tersebut mempengaruhi hubungan geomorfologi dengan erosi pantai (Bird, 1986; Rodtassana dan Pounparn, 2012). Menurut Tomlinson (1996) dalam Mulyadi *et al.*, (2009), pohon *Avicennia alba* 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.

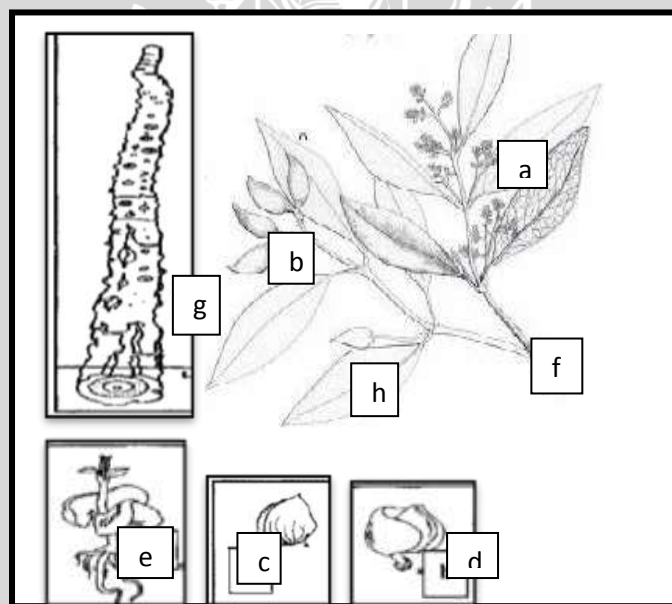
Mangrove jenis *A. alba* merupakan spesies mangrove yang berkayu, berbiji dan merupakan tanaman yang banyak ditemui di sepanjang garis pantai atau daerah intertidal termasuk daerah estuari dan laguna (Kamaruzzaman, 2011). Menurut Khazali (1999), ciri-ciri *A. alba* yang tua berwarna coklat kekuningan dengan batang bercabang yang sumbu vegetatifnya semua ekuivalen dan ortotrof. Batang pohon ini termasuk dalam model Leeuwenberg. Karena batang berupa simpodium, namun setiap kaulomer menghasilkan lebih dari satu kaulomer anak di ujungnya, yang menempati ruang yang ada. Perbungaannya terminal dan kaulomer bersifat monokarp. Jenis ini memiliki cara adaptasi yang unik yaitu dapat berkembang biak di lingkungan yang tanaman lain tidak bisa tumbuh (Kamaruzzaman, 2011). *Avicennia* spp. memiliki sistem perakaran yang unik dan berfungsi sebagai habitat organisme yang hidup di daerah mangrove, selain itu akar dari *Avicennia* spp. juga berfungsi sebagai *nursery ground* untuk juvenil-juvenil ikan dan udang. Oleh sebab itu *Avicennia alba* mempunyai peranan penting baik secara langsung maupun tidak langsung dari segi sosio-

ekonomi. *Avicennia alba* juga menyediakan mitigasi erosi dan stabilisasi untuk bentang alam pesisir yang berdekatan (Harty, 1997 dalam Kumar *et al.*, 2011).

Berjak *et al.*, (1977) mengemukakan bahwa cara adaptasi yang tinggi terhadap habitat yang luas dari *Avicennia marina* dan *Avicennia alba* dengan sistem perakaran yang dangkal yaitu berbentuk cakar ayam dan tidak mempunyai pusat. Tetapi memiliki sederet cabang akar berbentuk pensil yang tumbuh tegak lurus ke permukaan substrat secara horizontal yang keluar dari pangkal batang di kedalaman 200-500 mm di bawah permukaan tanah dan juga berfungsi sebagai jangkar pohon pada substrat yang lembek. Karakteristik dari cabang akar ini disebut *pneumatophores* dengan rata-rata ketinggian 10-15 cm dan berdiameter 6 mm (Odum *et al.*, 1982; Little, 1983; Steinke, 1995; Hiralal, 2008). Amaliyah (2008) menjelaskan dalam penelitiannya, bahwa tanaman mangrove jenis *Avicennia alba* memiliki akar napas (*pneumatophor*) yang berperan dalam sistem aerial. Penonjolan *pneumatophor* yang tumbuh secara horizontal dari akar kawat menyebabkan rawan terjadi kerusakan.

Pneumatophores memiliki karakteristik yang lembut dan *corky* dan terdapat lubang-lubang kecil pada permukaan akar yang disebut *lentisel*, berfungsi sebagai pertukaran oksigen dan karbon dioksida pada saat surut (Berjak *et al.*, 1977). Akar *pneumatophores* memiliki gerak geotropisme negatif dan tumbuh ke atas keluar dari lumpur dan melawan gravitasi (Muzaiyyinah, 2008). Selain itu pada *pneumatophores* memiliki bulu-bulu halus di bawah permukaan tanah yang berfungsi untuk menyerap nutrisi dari dalam tanah (Berjak *et al.*, 1977). *Pneumatophores* berperan dalam sistem aerial, penonjolan *pneumatophores* yang tumbuh secara horizontal dari akar kawat menyebabkan rawan terjadi kerusakan (Amaliyah, 2008). Akar dari jenis *Avicennia* spp. juga dapat mencegah masuknya garam, melalui saringan (*ultra filter*) (Hutching dan Saenger, 1987 dalam Syah, 2011).

Reproduksi mangrove 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 (Arisandi, 2001). Ciri-ciri umum lainnya yaitu bentuk daun yang bermacam-macam, meskipun dalam satu cabang yang sama. Diantaranya berbentuk ellips, ada juga yang berbentuk seperti telur, tombak atau ellips dengan ujung runcing seperti mata pisau. Daun berwarna hijau tua pada permukaan atas dan berwarna hijau muda pada permukaan bawah yang terdapat lapisan lilin. Bunga *Avicennia alba* berbentuk menyilang pada setiap tangkai, kelopak bunga berwarna kuning dengan lebar 4 mm (Peter dan Sivasothi, 1999). Bagian tanaman *Avicennia alba* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Avicennia alba*, a.Bunga, b.Buah, c.Kotiledon, d.Kotiledon mengelilingi bakal buah, e.Pohon muda, f.Batang, g.Akar nafas, dan h. Daun

Klasifikasi *Avicennia alba* menurut Zipcodezoo (2013):

Domain	: Eukaryota
Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Viridaeplantae
Filum	: Tracheophyta
Subfilum	: Euphyllophytina
Kelas	: Spermatopsida
Subkelas	: Asteridae
Ordo	: Lamiales
Famili	: Acanthaceae
Genus	: <i>Avicennia</i>
Species	: <i>Avicennia alba</i>

2.2.2 *Avicennia alba* sebagai Biomonitoring Pencemaran dan Penyerap Logam Berat

Selain dapat berfungsi secara ekologis dan ekomis, mangrove juga dapat berfungsi sebagai biomonitoring lingkungan (air dan sedimen) yang terakumulasi oleh zat kimia sehingga dapat diketahui status polusi logam berat di lingkungan tersebut (Gupta dan Singh, 2010). Pengertian biomonitoring itu sendiri berasal dari Biological Monitoring adalah upaya melakukan pemantauan kualitas lingkungan dengan menggunakan organisme yang hidup di dalam ekosistem itu sebagai indikator. Organisme yang hidup di dalam perairan dapat menjadi indikator di dalam menentukan kesehatan ekosistem perairan. Setiap cekaman terhadap ekosistem perairan dapat bermanifestasi pada organisme yang hidup di dalam ekosistem itu seperti tanaman mangrove khususnya *Avicennia alba* (Hedianto *et al.*, 2003). Sedangkan menurut pendapat Zhou *et al.*, (2008) biomonitoring merupakan teknik pemantauan lingkungan secara ilmiah dan alami yang dilakukan oleh manusia dari sintesis kimia berdasarkan sampel dan analisa suatu individu organisme baik berupa jaringan ataupun cairan. Hasil dari biomonitoring menunjukkan data potensi dan tingkat toksisitas yang mencerminkan tingkat pencemar dalam lingkungan tersebut. Biomonitoring meliputi analisis terhadap bioakumulasi, biotoksisitas, dan biomarker.

Perkembangan penelitian dalam bidang ekotoksikologi telah memunculkan pendekatan baru dalam mendeteksi keberadaan logam berat di perairan yaitu biomarker. Pendekatan biomarker memanfaatkan sistem biomolekuler yaitu sistem di bawah organisasi individu berupa molekul-molekul yang berupa enzim maupun protein yang disekresikan oleh organisme perairan sebagai respons terhadap keberadaan logam berat (Ayeni *et al.*, 2010). Hal tersebut didasarkan pada asumsi bahwa ketika terjadi akumulasi logam berat di dalam sel maka sistem biomolekuler akan merespons dengan melakukan detoksifikasi atau asimilasi yang memungkinkan untuk proses homeostasis. Selain itu, respons yang timbul pada organisasi seluler memang diperlukan untuk memastikan keberadaan logam berat di lingkungan (Schoettger, 1996 *dalam* Rumahlatu, 2012).

Biomonitoring menurut Gupta dan Singh (2010) dapat dibedakan menjadi 2 pendekatan, yaitu: (1) Biomonitoring aktif, merupakan monitoring respon populasi buatan; pola tingkah laku specimen; pola makan, respirasi, reproduksi dan koordinasi saraf serta seluler dan subseluler yang telah dipengaruhi oleh zat beracun, (2) Biomonitoring pasif, merupakan monitoring degradasi suatu ekosistem, pengurangan spesies yang sensitif dan pengurangan keanekaragaman hayati dengan tingkat konsekuensi yang merugikan polusi di tingkat populasi, sementara itu pada tingkat individu specimen, akumulasi zat beracun dalam organ dan jaringan dapat dijadikan indikasi bahwa lingkungan tersebut tercemar.

Fungsi lain dari tumbuhan mangrove dalam mengurangi pencemaran adalah kapasitasnya sebagai pendukung kehidupan mikroorganisme pengurai limbah. Banyaknya organisme mikro yang hidup dalam lahan basah akan meningkatkan kinerja pembersihan secara menyeluruh, dikarenakan organism mikro tersebut mencerna bahan pencemar dalam rangka memperoleh energi (Kusumastuti

et al., 2011). Apabila ada suatu bahan buangan yang tidak dapat di degradasi oleh mikroorganisme (bersifat nonbiodegradable), maka buangan tersebut akan dapat mengalami *biological magnification* melalui organisme yang ada di alamini. Arisandi (1996) dalam Mulyadi et al.,(2009) melaporkan bahwa ekosistem mangrove di Pantai Timur Surabaya berpotensi sebagai bioakumulator logam berat. Hal tersebut dibuktikan dari penelitian Sari et al., (2004) bahwa *Avicennia alba* dapat menyerap logam berat Pb, dengan konsentrasi penyerapan tertinggi pada bagian akar yaitu sebesar 8 kali lebih besar daripada di daun. Karena di bagian daun terdapat kelenjar garam yang mampu mengurangi kadar Pb, sehingga kadar Pb di daun lebih rendah daripada di akar.

Menurut Mukhtasar (2007) mengatakan bahwa api-api (*Avicennia alba*) dapat digunakan sebagai monitoring biologis lingkungan yang tercemar logam berat terutama logam berat Cu, Pb, dan Zn melalui monitoring berkala. Mekanisme yang terjadi pada *Avicennia alba* untuk mengurangi toksisitas logam berat dengan menyimpan banyak air, sehingga dapat mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuhnya.

2.3 Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb)

2.3.1 Pengertian Pencemaran

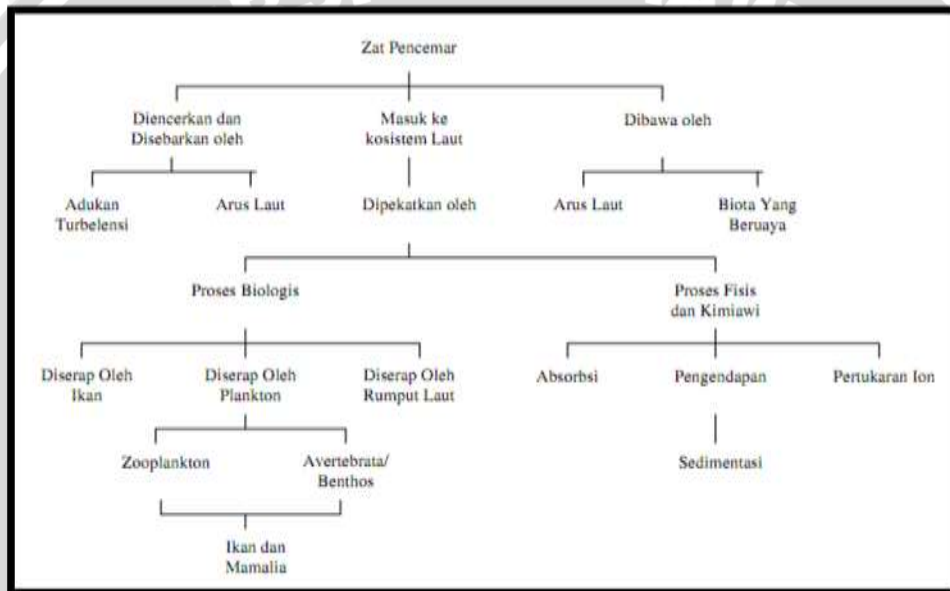
Meythree (2012) menjelaskan bahwa penyebab terjadinya pencemaran dapat berupa masuknya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam air sehingga menyebabkan kualitas air tercemar. Masukan tersebut sering disebut dengan istilah *unsur pencemar*, yang pada prakteknya masukan tersebut berupa buangan yang bersifat rutin, misalnya buangan limbah cair. Aspek pelaku/penyebab dapat yang disebabkan oleh alam, atau oleh manusia. Pencemaran yang disebabkan oleh alam tidak dapat berimplikasi hukum, tetapi Pemerintah tetap harus menanggulangi pencemaran tersebut. Sedangkan

aspek akibat dapat dilihat berdasarkan penurunan kualitas air sampai ke *tingkat tertentu*. Pengertian tingkat tertentu dalam definisi tersebut adalah tingkat kualitas air yang menjadi batas antara *tingkat tak-cemar* (tingkat kualitas air belum sampai batas) dan *tingkat cemar* (kualitas air yang telah sampai ke batas atau melewati batas).

Sumber pencemaran perairan pesisir dan laut biasa terdiri dari limbah industry, limbah cair permukiman (*sewage*), limbah cair perkotaan (*urban stormwater*), pelayaran (*shipping*), pertanian, dan perikanan budidaya. Bahan pencemar utama yang terkandung dalam buangan limbah tersebut berupa: sedimen, unsur hara (*nutrients*), logam beracun (*toxic metals*), pestisida, organisme patogen, sampah dan oxygen depleting substances (bahan-bahan yang menyebabkan oksigen terlarut dalam air berkurang) (Waluya, 2012). Salah satu jenis pencemar yang banyak menimbulkan kekhawatiran di lingkungan perairan adalah logam berat (Palar, 2004). Pencemaran logam berat merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan aktivitas manusia yang menggunakan logam tersebut, misalnya pertambangan batu bara, pemurnian minyak, pembangkit tenaga listrik dengan energi minyak, pengecoran logam serta pelayaran, banyak mengeluarkan limbah pencemaran terutama pada logam-logam yang relatif mudah menguap dan larut dalam air (Darmono, 1995).

Walaupun pada konsentrasi yang sedemikian rendah, efek ion logam berat masih dapat berpengaruh langsung hingga terakumulasi pada rantai makanan. Seperti halnya sumber-sumber polusi lingkungan lainnya, logam berat tersebut dapat ditransfer dalam jangkauan yang sangat jauh di lingkungan, selanjutnya berpotensi mengganggu kehidupan biota lingkungan dan akhirnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia walaupun dalam jangka waktu yang lama dan jauh dari sumber polusi utamanya (Pararaja, 2008).

Unsur-unsur logam berat tersebut biasanya erat kaitannya dengan masalah pencemaran dan toksisitas. Pencemaran yang dapat menghancurkan tatanan lingkungan hidup, biasanya berasal dari limbah-limbah yang sangat berbahaya dalam arti memiliki daya racun (toksisitas) yang tinggi. Limbah industri merupakan salah satu sumber pencemaran logam berat yang potensial bagi perairan. Pembuangan limbah industri secara terus menerus tidak hanya mencemari lingkungan perairan tetapi menyebabkan terkumpulnya logam berat dalam sedimen dan biota perairan, seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema proses alami yang terjadi jika polutan (logam berat) masuk ke lingkungan laut (EPA, 1973).

Tanaman mangrove merupakan organisme hidup yang memiliki kapasitas untuk bertindak sebagai bioakumulator atau *buffer* dan menghapus atau melumpuhkan logam berat sebelum mereka mencapai ekosistem perairan di dekatnya (MacFarlane dan Burchett, 2001). Mangrove toleran terhadap polusi logam berat yang relatif tinggi (Peters *et al.*, 1997).

2.3.2 Logam Berat

Logam berat menurut Connell dan Miller (1995) dalam Wibowo (2010), merupakan suatu logam dengan berat jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 dan mempunyai nilai atom lebih besar dari 21 dan terletak di bagian tengah daftar periodik. Memiliki karakter yang lunak, berkilau, daya hantar panas dan listrik yang tinggi, bersifat kimiawi, yaitu sebagai dasar pembentukan reaksi dengan asam. Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria - kriteria yang sama dengan logam-logam yang lain. Perbedaan terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini masuk atau diberikan ke dalam tubuh organisme hidup (Heryanto, 2004). Logam berat banyak ditemukan di daerah zona intertidal yang berasal dari transportasi *fluvial*, deposisi atmosfer dan buangan air limbah (Feng *et al.*, 2004).

Secara umum, logam berat untuk pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dibagi menjadi dua yaitu logam esensial dan non esensial (Hamzah dan Setiawan, 2010). Secara umum, sumber utama *anthropic* logam berat (termasuk yang ada di alam) berasal dari aktivitas yang berkaitan dengan residu (terutama Cr, Cu, Pb, Zn, Mn, dan Ni), bahan bakar fosil (Cu, Ni, Pb), pengolahan industri besi dan baja (Cr dan Zn), pupuk (Cu, Fe, Mn, Ni, dan Zn) dan buangan limbah (Zn, Mn dan Pb) (Ribeiro *et al.*, 2006).

Logam berat seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (As), cadmium (Cd), kromium (Cr), seng (Zn), dan nikel (Ni), merupakan salah satu bentuk materi anorganik yang sering menimbulkan berbagai permasalahan yang cukup serius pada perairan. Penyebab terjadinya pencemaran logam berat pada perairan biasanya berasal dari masukan air yang terkontaminasi oleh limbah buangan industri dan pertambangan (Anonim, 2010 dalam Ali dan Rina 2010). Urutan tingkat toksisitas logam berat tersebut berturut-turut adalah Hg, Cd, Pb, As, Cu, dan Zn (Anon, 1985 dalam Fajri, 2001).

Logam berat tidak dapat terbiodegradabel dan akan mengendap di dalam sedimen dalam jangka waktu yang lama (MacFarlene and Burchett, 2001). Faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar menurut Darmono (1995), karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diabsorpsi. Babich dan Stotzky (1978) dalam Darmono (1995) mengemukakan bahwa berbagai faktor lingkungan berpengaruh terhadap logam berat yaitu keasaman tanah, bahan organik, suhu, tekstur, mineral liat, dan unsur lain. pH merupakan faktor penting yang menentukan transformasi logam. Penurunan pH secara umum dapat meningkatkan ketersediaan logam berat kecuali Mo dan Se (Klein dan Trayer, 1995 dalam Darmono, 1995).

Organisme yang pertama terpengaruh akibat penambahan polutan logam berat ke tanah atau habitat lainnya adalah organisme dan tanaman yang tumbuh di tanah atau habitat tersebut. Dalam ekosistem alam terdapat interaksi antar organisme baik interaksi positif maupun negatif yang menggambarkan bentuk transfer energi antar populasi dalam komunitas tersebut. Dengan demikian pengaruh logam berat tersebut pada akhirnya akan sampai pada hirarki rantai makanan tertinggi yaitu manusia (Saeni, 1997).

2.3.3 Kandungan Logam Berat dalam Sedimen

Sedimen merupakan sumber nutrient untuk pertumbuhan suatu tanaman, selain itu sedimen juga berperan sebagai akumulasi bahan limbah yang berasal dari industri dan pertanian (Bolan *et al.*, 2003; Basta *et al.*, 2005). Sifat fisik, kimia dan biologi sedimen dipengaruhi oleh keberadaan logam berat yang berada pada tingkat toksik, hal tersebut berasal dari aktivitas pertambangan yang menyebabkan *phytotoxicity* dan kemungkinan besar menyebabkan perubahan tanaman di daerah tersebut (Gimmler *et al.*, 2002). Logam berat yang semula

terlarut dalam air sungai diadsorpsi oleh partikel halus (*suspended solid*) dan oleh aliran air sungai dibawa ke muara. Air sungai bertemu dengan arus pasang di muara sungai, sehingga partikel halus tersebut mengendap di muara sungai. Hal inilah yang menyebabkan kadar logam berat dalam sedimen muara lebih tinggi dari laut lepas. Pada umumnya muara sungai mengalami proses sedimentasi, dimana logam yang sukar larut mengalami proses pengenceran yang berada di kolom air lama kelamaan akan turun ke dasar dan mengendap dalam sedimen. Kadar logam yang cukup tinggi dapat dilihat dari nilai pH yang relatif bersifat basa ($\text{pH} = 7,40\text{-}8,59$ ‰) (Rochayatun *et al.*, 2006).

Hal tersebut diperkuat dengan penjelasan dari APHA (2000), bahwa logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air. Kandungan logam berat pada sedimen umumnya rendah pada musim kemarau dan tinggi pada musim penghujan. Penyebab tingginya kadar logam berat dalam sedimen pada musim penghujan kemungkinan disebabkan oleh tingginya laju erosi pada permukaan tanah yang terbawa ke dalam badan sungai, sehingga sedimen dalam sungai yang diduga mengandung logam berat akan terbawa oleh arus sungai menuju muara dan pada akhirnya terjadi proses sedimentasi (Bryan, 1976).

Kandungan logam berat dalam sedimen dipengaruhi oleh tipe sedimen, dengan kategori kandungan logam berat dalam lumpur > lumpur berpasir > berpasir (Korzeniewski & Neugabieuer *dalam* Amin, 2002). Menurut Bernhard (1981) 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, 1991). Baku mutu logam berat dalam lumpur atau sedimen di Indonesia sendiri belum ditetapkan. Sedimen mangrove adalah media pencuci yang sangat penting bagi bahan pencemar yang berasal dari tanah, terutama untuk logam berat. Logam akan terperangkap oleh sedimen, dalam proses sedimentasi partikel suspended dan berbagai proses retensi berasosiasi dengan sedimen organik permukaan dan bahan anorganik. Sedimen di daerah yang memiliki kadar garam dan air yang tinggi mempunyai kapasitas yang tinggi untuk menampung logam berat yang berasal dari air pasang surut, air tawar dari sungai, dan limpasan badai air. Sedimen mangrove bersifat anaerobik dan dapat mengurangi kadar logam berat, serta kaya akan kandungan sulfida dan bahan organik. Oleh karena itu sedimen dapat mendukung dalam penyimpanan logam berat yang berasal dari air (Tam, 1998).

Logam berat dalam sedimen yang berasal dari proses pengendapan (yang semula berada dalam kolom air) berlangsung lambat, sehingga kenaikan kadar logam berat dalam sedimen baru terdeteksi setelah proses pengendapan berlangsung lama sekali (Rochayatun, 1997). Mengendapnya logam berat bersama-sama dengan padatan tersuspensi akan mempengaruhi kualitas sedimen di dasar perairan dan juga perairan sekitarnya. Jika kapasitas angkut sedimen cukup besar, maka sedimen di dasar perairan akan terangkat dan berpindahkan. Sesuai teori gravitasi, apabila partikulat memiliki massa jenis lebih besar dari massa jenis air maka partikulat akan mengendap di dasar atau terjadi proses sedimentasi (Hutagalung, 1991). Sedimen yang merupakan media tumbuh mangrove, telah terbukti memiliki kapasitas yang tinggi dalam mengakumulasi berbagai material yang sifatnya cepat habis untuk daerah *nearshore* laut (Harbison, 1986 dalam Qiu et al., 2011).

2.3.4 Kandungan Logam Berat dalam Perairan

Salah satu jenis unsur kimia yang bisa menyebabkan terjadi kerusakan ekosistem perairan adalah unsur logam berat. Sebagaimana diketahui unsur logam berat yang masuk keperairan berasal dari alam dan berbagai aktifitas manusia yang memanfaatkan perairan baik secara langsung maupun tidak langsung. Salah satu kegiatan manusia yang memanfaatkan perairan adalah kegiatan industri. Sebagaimana diketahui secara umum bahwa hasil buangan akhir dari sebuah pabrik atau kegiatan industri bermuara ke perairan disekitarnya, meskipun perusahaan atau pabrik tersebut telah memiliki IPAL (instalasi pengolahan air limbah). Air buangan yang telah diolah tidak terlepas akan sisa atau residu yang mengandung bahan berbahaya bagi kehidupan perairan baik dalam kadar yang banyak atau sedikit. Selain bersumber dari alam sendiri. Untuk itu sangat diperlukan suatu kajian yang melihat seberapa besar pengaruh unsur-unsur logam berat tersebut bisa mempengaruhi ekosistem perairan terutama yang berhubungan langsung dengan kualitas air yang mendukung kehidupan berbagai organisme maka diperlukan suatu pengontrolan dari berbagai kegiatan industri (Erlangga, 2007).

Logam berat biasanya sangat sedikit dalam air secara ilmiah kurang dari 1 g/l. Kelarutan dari unsur-unsur logam dan logam berat dalam badan air dikontrol oleh : (1) pH badan air, (2) jenis dan konsentrasi logam dan khelat (3) keadaan komponen mineral teroksida dan system berlingkungan redoks (Palar, 2004). Logam berat yang dilimpahkan ke perairan, baik di sungai ataupun laut akan dipindahkan dari badan airnya melalui beberapa proses yaitu: pengendapan, adsorpsi dan absorbsi oleh organism perairan. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air (Harahap, 1991).

Rochyatun (1997) menyatakan walaupun terjadi peningkatan sumber logam berat, namun konsentrasinya dalam air dapat berubah setiap saat. Hal ini terkait dengan berbagai macam proses yang dialami oleh senyawa tersebut selama. Dalam kolom air. Parameter yang mempengaruhi konsentrasi logam berat di Perairan adalah suhu, salinitas, arus, pH dan padatan tersuspensi total atau seston (Nanty, 1999). Dengan sendirinya interaksi dari faktor-faktor tersebut akan. Berpengaruh terhadap fluktuasi konsentrasi logam berat dalam air, karena sebagian logam berat tersebut akan masuk ke dalam sedimen.

2.3.5 Logam berat Pb

Timbal termasuk golongan unsur transisi (IVA) terletak pada periode keenam dengan nomor atom 82 dan bobot atom 207,19 g/mol. Timbal biasanya terdapat dalam bentuk senyawa-senyawa *galena* (PbS), *anglesite* (PbSO₄), *minim* (Pb₃O₄), dan *cerrusite* (PbCO₃). Timbal tidak pernah ditemukan dalam bentuk logam murninya (Palar 2004). Timbal (Pb) adalah logam lunak berwarna kelabu keperakan yang lazim terdapat dalam kandungan endapan sulfite yang tercampur mineral-mineral lain, terutama seng (Zn) dan tembaga (Cu). Penggunaan timbal terbesar adalah dalam industri baterai dan kendaraan bermotor. Selain itu timbal (Pb) juga banyak digunakan sebagai bahan aditif yang sering dimanfaatkan untuk meningkatkan mutu bensin (Fardiaz, 1992; Bahri, 2003; Nurhayati, 2004).

Pb merupakan logam non esensial bagi tumbuhan (Baker dan Walker, 1990 *dalam* MacFarlane and Burchett, 2002). Pb merupakan logam yang sangat rendah daya larutnya karena bersifat pasif, dan mempunyai daya translokasi yang rendah mulai dari akar sampai organ tumbuhan lainnya. Pb juga memiliki toksisitas yang tertinggi dan menyebabkan racun bagi beberapa spesies (Wozny dan Kzreslowka, 1993 *dalam* MacFarlane and Burchett, 2002). Timbal pada

perairan ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Timbal relatif dapat larut dalam air dengan $\text{pH} < 5$ dimana air yang bersentuhan dengan timah hitam dalam suatu periode waktu dapat mengandung $> 1 \mu\text{g Pb/l}$, sedangkan batas kandungan dalam air minum adalah $50 \mu\text{g Pb/l}$. Kadar dan toksisitas timbal diperairan dipengaruhi oleh kesadahan, pH , alkalinitas, dan kadar oksigen (Effendi, 2003).

Perairan tawar alami biasanya memiliki kadar timbal 0.05 mg/liter . Pada perairan laut kadar timbal sekitar $0,025 \text{ mg/liter}$ (Moore dalam Effendi, 2003). Putra (2002) menambahkan, secara alamiah, Pb dapat masuk ke dalam badan perairan melalui pengkristalan diudara dengan bantuan air hujan, melalui proses modifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin. Pb yang masuk ke dalam badan perairan merupakan dampak dari aktivitas kehidupan manusia. Diantaranya adalah air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan Pb (Supriyaningrum, 2006). Industri yang dalam produksinya menghasilkan Pb yaitu industry 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, 2005). Timbal juga digunakan sebagai pigmen timbal dalam cat (Lu, 2006). Perairan yang mengandung logam berat Pb dalam jangka waktu yang lama akan mengakibatkan akumulasi dan menurunkan daya dukung perairan. Akumulasi logam Pb yang berkelanjutan akan mengakibatkan terganggu dan rusaknya ekosistem perairan dan lingkungan sekitarnya (Supriyaningrum, 2006).

Logam berat timbal berbahaya karena bersifat biogmanifikasi, yaitu dapat terakumulasi dan tinggal di jaringan tubuh organisme dalam jangka waktu lama sebagai racun yang terakumulasi. Logam-logam yang dapat menyebabkan keracunan biasanya terkait dengan protein sebagai metalotionin (Darmono, 1995; Murtini *et al.*, 2003a; Siregar dan Murtini, 2008). Unsur logam dasar Pb

dalam sedimen aluvial umumnya merupakan senyawa mineral sulfida yang dimulai dari pembentukan Galena (PbS) secara hidrotermal (Whitten, & Brooks, 1982 dalam Setyanto dan Setiady, 2008). Kemudian dalam perkembangan berikutnya pada tahap alterasi terjadi oksidasi dan replacement terhadap zona endapan timah hitam. Oksidasi sangat mungkin terjadi di daerah telitian yang beriklim tropis dengan intensitas sinar matahari sepanjang tahun yang cukup tinggi. Pada tahap ini dapat terbentuk Serusit (PbCO_3) atau Piriromorfit ($(\text{PbCl})\text{Pb}_4(\text{PO}_4)_3$) atau Wulfenit (PbMoO_4) (Setyanto dan Setiady, 2008).

2.3.6 Mekanisme Penyerapan Logam Berat Pb dan Pengaruhnya pada Tumbuhan Mangrove

Logam berat yang masuk ke dalam tubuh tumbuhan akan mengalami berbagai proses sebagai respon tumbuhan untuk menanggulangi materi toksis di dalam tubuhnya. Mekanisme penanggulangan yang mungkin terjadi adalah lokalisasi, ekskresi, dilusi untuk melemahkan efek toksik logam berat melalui pengenceran dan inaktivasi secara kimia (Handayani, 2006). 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 (Kabata-Pendias dan Pendias, 1997; Nazli dan

Hashim, 2010). Pada saat ion logam berat tersebar pada permukaan sel, ion akan mengikat pada bagian permukaan sel berdasarkan kemampuan daya afinitas kimia yang dimilikinya. Kemampuan mengikat ion logam berat tersebut melibatkan dua mekanisme yaitu transpor aktif dan transpor pasif (Suhendrayatna, 2001). Mekanisme kedua penyerapan tersebut diuraikan oleh Suhendrayatna (2001) sebagai berikut:

Transpor aktif dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme atau/dan akumulasi intraselular ion logam tersebut. Kemudian logam berat diendapkan pada proses metabolisme dan ekresi. Proses ini tergantung dari energi yang terkandung di sel dan parameter-parameter lingkungan seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya dan lain-lain.

Transpor pasif dikenal dengan istilah proses biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat diikat dinding sel mikroba dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion seperti ion monovalen dan divalen seperti Na, Mg, dan Ca yang ada pada dinding sel oleh ion-ion logam berat, dan kedua yaitu formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus-gugus fungsional seperti *carbonyl*, *amino*, *thiol*, *hydroxy*, *phosphate*, dan *hydroxy-carboxyl* yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak balik dan cepat. Proses bolak balik ikatan ion logam berat di permukaan sel ini dapat terjadi pada sel mati dan sel hidup dari suatu biomassa. Proses biosorpsi dapat lebih efektif dengan adanya pH dan ion-ion lainnya, di mana logam berat dapat terendapkan sebagai garam yang tidak terlarut. Secara umum, biosorpsi ion logam berat berlangsung cepat, bolak balik dan tidak tergantung terhadap faktor kinetik bioremoval bila dikaitkan dengan penyebaran sel (*dispersed cell*) (Gadd, 1988 dalam Suhendrayatna, 2001).

Walaupun masukan sumber pencemar sangat banyak, mangrove memiliki toleransi yang tinggi terhadap logam berat (Macfarlane dan Burchett, 2001), hal tersebut diperkuat dengan pendapat Peters *et al.*, (1997) dalam Pahalawattaarachchi *et al.*, (2008) mengatakan bahwa mangrove mempunyai sistem kapasitas pertahanan dan dapat menghilangkan atau menghambat logam berat sebelum mencapai ekosistem perairan terdekatnya. Oleh karena itu kondisi pada habitat sekitar mangrove mempunyai karakteristik tersendiri, yaitu kandungan bahan organik yang banyak, pH rendah, sedimen berlumpur yang dapat mengikat logam secara efektif sehingga menyebabkan kondisi pada sedimen cenderung anaerob. Dari penjelesan tersebut menunjukkan bahwa mangrove secara aktif menghindari masukan logam berat yang berlebih dan berfungsi sebagai penyaring dan memiliki daya treatment khas secara alami melalui organ akar (Clark *et al.*, 1998 dalam Kammaruzaman *et al.*, 2008). Kemudian dibawa ke jaringan lainnya dan proses ini bisa membatasi masuknya udara ke dalam jaringan tersebut (Silva *et al.*, 1990; Chiu dan Chou, 1991 dalam MacFarlane *et al.*, 2003). Jika logam berat memasuki jaringan tersebut, terdapat mekanisme pelepasan senyawa kelat, yang disebut Fitokhelatin. Fitokhelatin adalah suatu protein dan glukosida yang mampu mengikat logam yang tersusun dari beberapa asam amino seperti sistein dan glisin (Priyanto dan Prayitno, 2009) yang berfungsi mengikat logam dan dikumpulkan ke jaringan tubuh kemudian ditransportasikan ke batang, daun dan bagian lainnya, sedangkan ekskresinya terjadi melalui transpirasi (Anonim, 2009; Ali dan Rina, 2010).

Mulyadi *et al.*, (2009) juga mengemukakan ekskresi juga merupakan upaya yang mungkin terjadi dalam penyerapan logam berat, 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 Darmono (1995), proses ini dibantu dengan aktivitas enzim yang mengatur dan mempercepat jalannya proses tersebut. Hasil-hasil penelitian pada vegetasi mangrove dikatakan bahwa mangrove cenderung mengakumulasi logam-logam berat yang terdapat pada ekosistem yang bersangkutan. Hal ini tidak lepas dari peranan mikrob-mikrob tanah yang membantu tumbuhan untuk mengakumulasi logam berat tersebut, baik mikrob yang mengkonsumsi logam berat itu sendiri ataupun mikrob yang bersatu dengan jenis tanaman tertentu untuk mengakumulasi logam berat. Sebagian besar logam berat ini merupakan deposit di dinding sel-sel perakaran dan daun (Merian, 1994 dalam Panjaitan, 2009).

Berdasarkan penelitian Mulyadi *et al.*, (2009) diduga pohon api-api (*Avicennia alba*) memiliki upaya penanggulangan toksik lain diantaranya dengan melemahkan efek racun melalui pengenceran (dilusi), yaitu dengan menyimpan banyak air untuk mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuhnya sehingga mengurangi toksisitas logam tersebut. Pengenceran dengan penyimpanan air di dalam jaringan biasanya terjadi pada daun dan diikuti dengan terjadinya penebalan daun (sukulensi). Tanaman akan mengambil elemen dari dalam tanah, meskipun dengan konsentrasi yang sangat rendah. Namun jumlah yang ada di dalam tanah dapat dikendalikan oleh penambahan bahan yang bersifat *adsorptive* (Olayinka dan Olusola, 2009). Mobilitas timbal di tanah dan tumbuhan cenderung lambat dengan kadar normalnya pada tumbuhan berkisar 0.5-3 ppm (Fairbridge and Finkl Jnr, 2007 dalam Suhendrayatna, 2001).

2.4 Histologi *Avicennia alba*

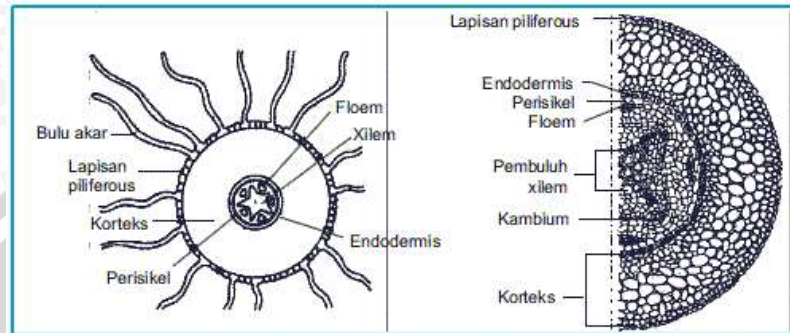
Histologi adalah ilmu yang mempelajari tentang struktur jaringan secara detail menggunakan mikroskop pada sediaan jaringan yang dipotong tipis. Histologi juga dapat disebut sebagai ilmu anatomi mikroskopis (Snell, 1992). Dengan melihat jaringan histologis pada tumbuhan kita bisa mendapatkan informasi yang tidak didapat melalui pemeriksaan secara visual. Banyak penelitian baik yang dilakukan secara *in vitro* maupun *in vivo* bisa dipelajari lebih lanjut karena adanya penelitian secara histologi. Sebagai contoh, somatik embrio dapat diproduksi di permukaan daun, tetapi mungkin morfologi yang menyimpang tidak akan diketahui. Menggunakan metode histologi dan pemeriksaan anatomi dengan cermat para peneliti akan dapat melihat karakteristik somatik embrio. Contoh lain dari teknik histology digunakan untuk melihat struktur spesifik asli dari tumbuhan. Perkembangan histologi dapat dipelajari dari waktu ke waktu secara teratur dengan melihat jaringan sampel atau langsung dilihat pada jaringan dewasa (Trigiano *et al.*, 2005). *Avicennia alba* termasuk tumbuhan dikotil, secara umum tanaman *A. alba* memiliki struktur jaringan yang hampir sama dengan tanaman dikotil lainnya. Struktur jaringan tanaman yang diamati terdiri dari :

2.4.1 Akar

Akar mempunyai anatomi yang lebih sederhana daripada anatomi batang dan mempunyai keragaman yang rendah dibandingkan batang. Hal ini sebagai akibat dari adanya lingkungan yang relatif seragam di dalam tanah. Mangrove jenis *Avicennia* spp. merupakan akar tumbuhan *dicotyledoneae* dan *monocotyledoneae*. Karakteristik anatomi yang penting dari akar tumbuhan *dicotyledoneae* adalah menurut Nugroho *et al.*, (2006) :

- Berkas xylem bervariasi dari *diarch* sampai *hexarch*

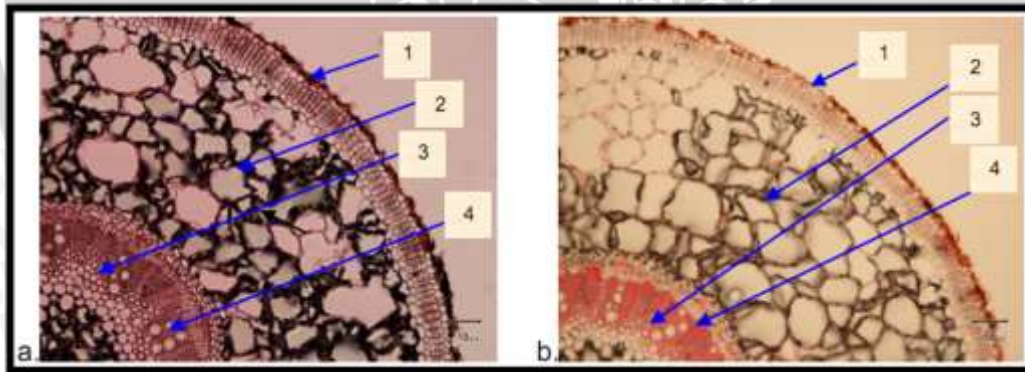
- Perisikel mengadakan aktivitas membentuk cabang akar dan meristem sekunder (kambium dan felogen)
- Kambium akan muncul sebagai meristem sekunder
- Tidak dijumpai adanya parenkim sentral



Gambar 4. Penampang Akar Dikotil (Campbell, 2005)

Pada dasarnya secara anatomi seluruh organ pada tumbuhan disusun oleh tiga jaringan utama (sistem jaringan dasar, jaringan dermal, dan jaringan pembuluh). Demikian halnya dengan akar secara umum, pada irisan melintang, disusun oleh: epidermis; korteks akar, umumnya terdiri atas sel-sel parenkim; endodermis, lapisan terdalam dari korteks; dan sistem jaringan pengangkut (Alberts *et al.*, 1989). Jaringan epidermis pada akar biasa dikenal dengan *rhizodermis* dan letaknya paling luar dari jaringan. Epidermis pada akar biasanya ber dinding tipis dan tidak ber kutikula, namun pada akar yang sudah tua sering terjadi penebalan dinding sel dan mengandung lignin. Setelah epidermis terdapat korteks yang sebagian besar terbentuk dari jaringan parenkim. Setelah korteks terdapat endodermis yang terdiri dari selapis sel yang membentuk cincin dan terdapat pada semua tumbuhan berpembuluh. Endodermis memiliki bentuk sel seperti parenkim dengan penebalan-penebalan khusus. Penebalan tersebut berbentuk seperti pita dan biasa disebut dengan *pita caspary*. *Pita caspary* ini sering kali terdiri dari zat lignin (Sutrian, 1992).

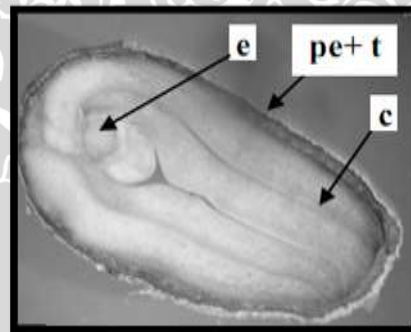
Di pusat akar merupakan letak silinder vaskuler, bagian utama dari silinder vaskuler ini adalah floem dan xilem. Pada pembuluh akar letak berkas floem selalu terpisah dan berada di tepian silinder pembuluh, dan berkas xilem juga merupakan satuan yang terpisah dan dapat berada di tepi silinder pembuluh atau bisa juga meluas sampai ke pusat akar. Floem merupakan pembuluh yang mengangkut hasil fotosintesis dari daun ke bagian organ lainnya. Xilem meliputi *rakea* (pembuluh kapiler) dan unsur lainnya seperti sel parenkim, dan elemen penguat yang berfungsi mengangkut bahan mineral dan air dari akar sampai daun. Sel parenkim pada xilem dianggap sebagai tempat menyimpan cadangan makanan berupa zat tepung dan lemak. Zat-zat tepung biasanya tertimbun sampai pada saat giatnya pertumbuhan. Selain zat-zat tepung terdapat pula zat tannin, kristal-kristal, atau zat-zat lainnya. Saluran pengangkut pada xilem memiliki bentuk yang (Sutrian 1992). Hasil pengamatan histologi jaringan akar *A. Marina* pada penelitian Arisandy *et al.*, (2011) dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Penampang melintang jaringan akar *A. marina* pada pembesaran 100x. a. perairan tercemar, b. perairan relatif bersih. ; 1. epidermis, 2. korteks, 3. floem, 4. xilem, 5. endodermis.

2.4.2 Buah

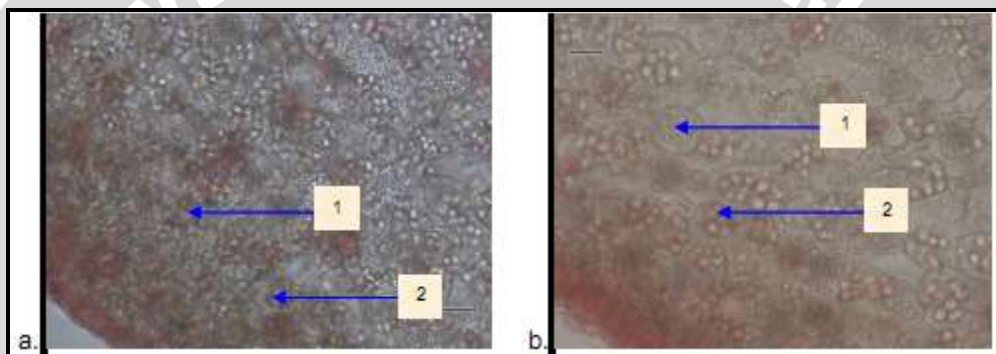
Menurut Kitamura *et al.*, (1997b) dalam Rahadyan (2003), semua jenis mangrove dapat menghasilkan buah yang penyebarannya dilakukan oleh arus. Menurut Anonymous (2013), pengelompokan buah berdasarkan histologi dinding buah ada dua, yaitu buah kering dan buah berdaging. Dinding buah, yang berasal dari perkembangan dinding bakal buah pada bunga, dikenal sebagai pericarp (*pericarpium*). Pericarp ini sering berkembang lebih jauh, sehingga dapat dibedakan atas dua lapisan atau lebih. Di bagian luar disebut dinding luar, eksokarp (*exocarpium*), atau epikarp (*epicarpium*); yang di dalam disebut dinding dalam atau endokarp (*endocarpium*); serta lapisan tengah (bisa beberapa lapis) yang disebut dinding tengah atau mesokarp (*mesocarpium*). Bagian-bagian buah *A. alba* dapat dilihat pada Gambar 6 yang diwakili oleh buah *A. marina*.



Gambar 6. Penampang melintang buah *A. marina* yang terdiri atas (e) embrio, (pe+t) pericarp dan testa, (c) kotiledon (Halimursyadah, 2010)

Buah *Avicennia* pada umumnya berbentuk kapsul asimetris, bulat telur, dan meruncing ke atas dengan struktur buah kering sampai batas eksokarp sampai keping buah (Moldenke, 1960 dalam Borg dan Schöenberger, 2011). Priyono (2010) mengemukakan tipe buah mangrove ada dua buah, yaitu vivipari dan kriptovivipari. Vivipari adalah biji yang telah berkecambah ketika masih melekat pada pohon induknya dan kecambah telah keluar dari buah. Sedangkan kriptovivipari adalah biji yang telah berkecambah, ketika

masih melekat pada pohon induknya, tetapi masih tertutup oleh kulit biji. Bentuk-bentuk buah tersebut antara lain berbentuk bola, biji buncis, dan silinder atau tongkat. *Avicennia alba* memiliki bentuk buah seperti biji buncis. *A. alba* tergolong tanaman kriptovivipari, dimana buah tersebut akan pecah tetapi lapisan dinding buah propagul (perikarp) tetap menempel pada pohon induknya (Hutchings and Saenger, 1987 dalam Clark, 1993), oleh sebab itu jika buah yang matang jatuh dari pohon dan tersangkut di lumpur, maka biji ini dapat segera tumbuh (Kartawinata, 1979). Hasil pengamatan histologi pada buah *A. marina* pada penelitian Arisandy *et al.*, (2011) dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Penampang melintang jaringan buah *A. marina* pada pembesaran 400x. a. perairan tercemar, b. perairan relatif bersih.; 1. floem, 2. xilem.

Pada penelitian Pammenter dan Berjak (2000) tentang fisiologi benih rekalsitran *Avicennia marina*, menyatakan bahwa *A. marina* adalah spesies yang sangat sensitif dengan ukuran vakuola yang besar dan berisi cadangan makanan sebagai gula terlarut, sedangkan pada spesies toleran desikasi vakuola berisi cadangan makanan tidak dapat larut. Ini yang menyebabkan vakuola pada benih *A. marina* mudah mengalami penyusutan yang ditandai dengan penurunan ukuran sel dan peningkatan kerapatan sel akibat desikasi pada laju pengeringan cepat, sedang dan lambat. Menurut Halimursyadah (2010), faktor lain yang diduga mempengaruhi penurunan ukuran sel adalah *A. marina* digolongkan ke

dalam benih dengan tingkat hidrasi IV-V dengan kadar air tinggi dengan kandungan air bebas yang tinggi pula. Penghilangan air bebas juga ikut mempengaruhi penurunan ukuran sel dan peningkatan kerapatan sel.

Berjak dan Pammenter (2000) menambahkan bahwa benih rekalsitran yang tidak mengalami pengeringan kematangan, akan mengandung banyak air dan peka terhadap proses pengeringan. Penelitian tentang respon benih rekalsitran *A. marina* terhadap laju pengeringan menunjukkan bahwa membran sel, sitoskeleton dan nukleoskeleton merupakan sel yang berfungsi sebagai pencegah kerusakan pada saat pengeringan dan proses perkecambahan setelah jatuh dari pohon induk.

2.5 Parameter Kualitar Air dan Sedimen Pendukung

2.5.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Suhu penting dalam proses fisiologis, seperti fotosintesis dan respirasi. Suhu suatu badan air di ekosistem mangrove dipengaruhi oleh sirkulasi udara, aliran air, kedalaman badan air serta tutupan vegetasi mangrove (Effendi, 2003). Kolehmainen *et al.*, (1973) dalam Supriharyono (2002) menyatakan bahwa suhu yang baik untuk kehidupan mangrove tidak kurang dari 20°C, sedangkan kisaran musiman suhu tidak melebihi 5°C. Suhu yang tinggi (>40°C) cenderung tidak mempengaruhi pertumbuhan dan kehidupan tumbuhan mangrove.

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51(2004) menetapkan suhu yang baik untuk pertumbuhan mangrove antara 28,0-32,0°C. Hutching dan Saenger (1987) mendapatkan kisaran suhu optimum untuk pertumbuhan beberapa jenis tumbuhan mangrove, yaitu *Avicennia marina* tumbuh baik pada suhu 18-20°C, *R. stylosa*, *Ceriops* spp., *Excoecaria agallocha* dan *Lumnitzera racemosa* pertumbuhan daun segar tertinggi dicapai pada suhu 26-28°C, suhu

optimum *Bruguiera* spp. 27°C, *Xylocarpus* spp. berkisar antara 21-26°C dan *X. granatum* 28°C.

b. Substrat

Karakteristik substrat merupakan faktor pembatas terhadap pertumbuhan mangrove. Tekstur dan konsentrasi ion serta kandungan bahan organik pada substrat sedimen mempunyai susunan jenis dan kerapatan tegakan misalnya jika komposisi substrat lebih banyak liat (*clay*) dan lanau (*silt*) maka tegakan menjadi lebih rapat (Nybakken, 1992; Darmadi *et al.*, 2012). Tanah mangrove tersusun atas pasir (*sand*), lumpur/debu (*silt*) dan tanah liat (*clay*) dengan komposisi berbeda-beda. Topsoil tanah mangrove biasanya bertipe pasir lempung. Topsoil pasir berwarna lebih terang, porous, dapat dilewati air pada saat pasang dan mengalami aerasi pada saat surut. Sedangkan topsoil lempung berwarna lebih gelap, kurang porous dan tidak teraerasi dengan baik. Tanah subsoil selalu jenuh air dan hanya teraerasi sedikit, sangat kaya bahan organik namun terurai sangat lambat. Tanah ini berwarna abu-abu gelap atau hitam (*gleying*), bersifat asam dan berbau menyengat seperti telur busuk, hal itu menunjukkan adanya Hydrogen Sulfide (H₂S) (Ng dan Sivasothi, 2001; Setyawan, 2005).

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 berkumpul 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).

Tanah mangrove umumnya kaya akan ion Na. Kandungan Ca dan Mg lebih tinggi daripada N, disebabkan oleh arah gradient yang diciptakan oleh faktor-faktor edafik (*edaphic*), yakni faktor yang dipengaruhi oleh kondisi tanah atau subsrat dan pembanjiran pasang surut. Selain kaya akan ion Na, tanah mangrove juga bersifat asam karena adanya kegiatan bakteri belerang (*Sulphur bacteria*) (Romimohtarto dan Juwana, 1982). Selain zat organik yang telah disebutkan di atas, tanah mangrove juga tersusun atas sedimen-sedimen halus atau partikel-partikel pasir, material kasar seperti potongan-potongan batu dankoral, pecahan kulit kerang, telur dan siput. Biasanya tanah-tanah mangrove membentuk lumpur berlempung dan warnanya bervariasi dari abu-abu muda sampai hitam. Tanah tersebut terbentuk oleh pengendapan sedimen-sedimen yang terbawa oleh aliran sungai ditambah oleh material-material yang dibawa dari laut pada waktu air pasang. Sedimen-sedimen halus dan material suspensi lain terbawa oleh aliran sungai dapat mengendap di daerah mangrove yang disebabkan oleh berkurangnya aliran air (Soeroyo dan Suyarso, 1990).

Penelitian Whitten *et al.*, (1999) dalam Bani (2012), menyatakan hanya satu pohon mangrove yang ditemukan pada lapisan bawah yang berpasir sepenuhnya yaitu *Rhizophorastylosa*, meskipun *Sonneratia* spp. kadang-kadang dapat ditemukan tumbuh pada pasir yang tertutup karang-karang mati. Sedangkan untuk jenis *Avicennia* spp. ditemukan pada lumpur lunak. Kint (1934) dalam Rusila *et al.*, (1999) menambahkan bahwa di Indonesia, substrat berlumpur sangat baik untuk tegakan *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina*. Menurut Davies dan Alloway (1990) dalam Irfanto (2010), menyatakan untuk jenis-jenis tanah dan kandungan Pb di dalam tanah memiliki kadar tertentu, yaitu untuk jenis tanah liat memiliki kadar Pb 20-23 ppm, jenis pasir memiliki kadar 10-12 ppm.

2.5.2 Parameter Kimia

a. Salinitas

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, 2005). Umumnya mangrove tumbuh pada daerah air asin atau payau. Lingkungan asin (bergaram) diperlukan untuk kestabilan ekosistem mangrove, pada umumnya banyak jenis mangrove yang kurang bersaing pada kondisi air tawar (Lugo, 1980). 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).

Salinitas yang sangat tinggi (*hypersalinity*) misalnya, ketika salinitas air permukaan melebihi salinitas yang umum di laut (± 35 ppt) dapat berpengaruh buruk pada vegetasi mangrove, karena dampak dari tekanan osmotik yang negatif. Akibatnya tajuk mangrove semakin jauh dari tepian perairan secara umum menjadi kerdil dan berkurang komposisi jenisnya (Haan, 1935 dalam Steniis 1958). Meskipun demikian, beberapa spesies dapat tumbuh di daerah dengan salinitas sangat tinggi, seperti yang dilaporkan oleh Wells (1982) dalam Aksornkoe (1993), bahwa di Australia *Avicennia marina* dan *Excoecaria agallocha* dapat tumbuh di daerah dengan salinitas maksimum 63 ppt, *Ceriops* spp. 72 ppt., *Sonneratia* spp. 44 ppt., *Rhizophora apiculata* 65 ppt dan *Rhizophora stylosa* 74 ppt. Hal tersebut juga dijelaskan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.51 (2004) bahwa nilai ambang batas salinitas untuk mangrove sampai dengan 34 ppt ($\pm < 5$ variasi alami).

b. Derajat Keasaman (pH) air

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 $\text{pH} < 5$, 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).

c. Derajat Keasaman (pH) tanah

Derajat keasaman tanah dapat mempengaruhi transportasi dan keberadaan nutrient yang diperlukan tanaman mangrove (Murdiyanto, 2004). Nilai pH tanah di kawasan mangrove menurut Arief (2003) berbeda-beda, tergantung pada tingkat kerapatan vegetasi yang tumbuh di kawasan tersebut. Jika kerapatan vegetasi rendah, tanah akan mempunyai nilai pH yang tinggi. Nilai pH juga dipengaruhi oleh factor fisik sedimen dimana semakin kecil ukuran butiran sedimen, pH cenderung menjadi lebih rendah (asam), demikian juga sebaliknya (Alongi, 1998; Setiabudi, 2007). Secara umum, berdasarkan pengamatan terhadap kawasan-kawasan mangrove, nilai pH tidak banyak berbeda yaitu antara 4,6 – 6,5 di bawah tegakan jenis *Rhizophora* spp., sedangkan kadar salinitasnya berkisar antara 32‰ - 36 ‰, pada saat keadaan air laut tidak pasang/surut.

d. Oksigen Terlarut

Oksigen terlarut merupakan faktor pembatas bagi kehidupan organisme. Perubahan konsentrasi oksigen terlarut dapat menimbulkan efek langsung yang berakibat pada kematian organisme perairan, sedangkan pengaruh yang tidak

langsung adalah meningkatkan toksisitas bahan pencemar yang pada akhirnya dapat membahayakan organisme itu sendiri. Hal ini disebabkan karena oksigen terlarut dipergunakan untuk proses metabolisme dalam tubuh dan berkembang biak (Rahayu, 1991). Kadar oksigen yang terlarut di dalam massa air nilainya adalah relatif, biasanya berkisar antara 6,0-14,0 ppm (4,28-10 ml/L) dan batas minimal kandungan oksigen terlarut untuk pertumbuhan normal dan perkembangbiakan sebesar 5,0 ppm (Connel dan Miller, 1995). Menurut Romimohtarto dan Thayib (1982) kadar oksigen di permukaan laut yang normal berkisar antara 5,7-8,5 ppm (4,0-6,0 ml/L). NAB kadar oksigen terlarut untuk biota laut dan pariwisata bahari adalah $> 5,0$ ppm (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51, 2004).

e. Total N sedimen

Pada ekosistem mangrove, fiksasi nitrogen ditemukan terjadi pada sedimen meskipun hanya beberapa sentimeter pada bagian atas lapisan sedimen (Carpenter dan Capone, 1983). Robert dan Howart (2006) dalam Setiabudi (2007) menyatakan bahwa ada kaitan yang erat antara konsentrasi nitrogen dan tingkat asimilasinya oleh mikroorganisme di sedimen. Nitrogen di perairan terdapat dalam bentuk anorganik yaitu ammonia (NH_3), ammonium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrat (NO_3) dan molekul nitrogen (N_2) dalam bentuk gas. Menurut Potts (1984) bahwa fiksasi nitrogen pada sedimen dengan vegetasi mangrove di atasnya lebih tinggi daripada sedimen tanpa tumbuhan yang ada di atasnya, hal ini karena perbedaan kandungan detritus yang ada dalam tanah. Fungsi nitrogen dalam tanah bagi tumbuhan adalah berperan dalam pembentukan protein, selain itu juga dapat memperbaiki pertumbuhan vegetatif. Tumbuhan dengan kandungan N yang cukup daunnya akan berwarna lebih hijau (Hardjowigeno, 1992).

f. **Total P sedimen**

Pembentukan senyawa fosfor bergantung pada komposisi mikroorganisme yang ada. 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 (Risandi *et al.*, 2008). Fosfat merupakan unsur esensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan algae sehingga dapat menjadi faktor pembatas bagi tumbuhan dan algae akuatik sehingga dapat mempengaruhi tingkat produktivitas perairan (Bahri, 2010). Kandungan fosfat umumnya semakin menurun semakin jauh ke arah laut (offshore). Sedangkan di perairan pesisir dan paparan benua, sungai merupakan media pembawa hanyutan-hanyutan sampah maupun sumber fosfat yang berasal dari daratan sehingga mengakibatkan konsentrasi di muara lebih besar dari sekitarnya (Mughtar dan Simanjuntak, 2008).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah survey. Menurut Notoatmojo (2010), penelitian survey tidak dilakukan intervensi atau perlakuan terhadap variable, tetapi sekedar mengamati terhadap fenomena alam atau sosial, atau mencari hubungan fenomena tersebut dengan variabel-variabel yang lain. Penelitian survei tersebut dijelaskan secara deskriptif.

Dalam penelitian ini, juga didukung dengan data primer dan data sekunder, untuk data primer meliputi observasi lapang dengan cara mengambil sampel pada air, sedimen, akar (akar nafas bagian ujung dan pangkal) dan buah untuk diuji kandungan Pb-nya serta melihat gambaran histologi pada jaringan akar dan buah *Avicennia alba*. Sebagai data pendukung dilakukan uji kualitas air dan sedimen di dua kawasan mangrove tersebut. Data sekunder di dapat melalui kajian pustaka diantaranya majalah, buku, dan jurnal ilmiah. Sedangkan untuk mengetahui pola hubungan antara kandungan Pb di lingkungan (air dan sedimen) dengan kandungan Pb yang terdapat pada tanaman mangrove menggunakan rumus BCF dan TF (Gasperz, 1991). Pada penentuan titik lokasi menggunakan alat bantu *Global Positioning System* (GPS).

3.2 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian meliputi kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya yang tercemar logam berat timbal (Pb) dan kawasan mangrove desa Kedawang, Pasuruan yang relatif bersih dari pencemaran untuk mengetahui kandungan logam berat timbal (Pb) pada akar dan buah *A. alba* serta gambaran histologinya.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara representatif di dua stasiun. Stasiun pertama berada di kawasan mangrove Gunung Anyar, Surabaya sebagai daerah yang diduga tercemar logam berat Pb karena dekat dengan kawasan SIER (*Surabaya Industry Estate Rungkut*) dan kawasan mangrove desa Kedawang, Pasuruan yang diduga sebagai daerah tidak tercemar (daerah kontrol) karena jauh dari industri.

Analisis logam berat pada sedimen, air, akar dan buah dilakukan di laboratorium MIPA, Universitas Brawijaya, Malang dan untuk melihat gambaran histologi pada jaringan akar dan buah *Avicennia alba* dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.

3.4 Variabel penelitian

Variabel penelitian merupakan pokok-pokok data yang akan dianalisa berdasarkan materi penelitian yang ada. Variabel penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel penelitian

Input	Parameter	Variabel	Jenis Data	Sumber Data
Kualitas air pada tiap-tiap stasiun	Fisika	Suhu	Primer	Pengukuran langsung di lapangan dan analisa laboratorium
	Kimia	- pH - Salinitas - DO	Primer	
	Logam berat	Pb	Primer	
Sedimen pada tiap-tiap stasiun	Fisika	Tekstur	Primer	Pengukuran langsung di lapangan dan analisa laboratorium
	Kimia	- pH - Total N - Total P		
	Logam berat	Pb	Primer	
Tanaman mangrove (akar dan buah)	Logam berat	- Pb - Histologi	Primer	Pengukuran langsung di lapangan dan analisa laboratorium

3.5 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian

No	Parameter	Variabel	Alat	Bahan
1.	Fisika	Suhu	Termometer Hg	Air Sampel
		Tekstur	- Paralon - Kantong plastik - Kertas label - Hidrometer - Cawan petris - Selinder sedimentasi 1000 ml saringan termometer - Timbangan	- Sedimen - Air - Larutan calgon - Aquades
2.	Kimia	Salinitas	Salinometer	Air sampel
		pH air	pH meter	Air sampel
		pH tanah	- Botol kocok - Mesin pengocok - pH meter	- Larutan bebas ion - Larutan CaCl_2 0,01M - Larutan ekstrak H_2O - Sedimen - Larutan buffer pH 7,0
		DO	DO meter	Air sampel
		Total N	- Timbangan analitik - Erlenmeyer - Kertas saring - Oven - Piringan aluminium - Penjepit - Spektrofotometer	- Sedimen - Larutan KCl 2M - Larutan KNO_3 - Air destilasi - Larutan HCl 1M
		Total P	- Botol polyethylene - Tabung reaksi - Pipet tetes - Spektrofotometer	- Sedimen - Pereaksi Olsen - Larutan Standar 10 ppm - pereaksi fosfat pekat - pereaksi campuran fosfat - asam ascorbic - amonium molybdat - karbon aktif - stok SnCl_2
Pb	- Oven - Furnace (tanur) - Timbangan analitik - Wadah sampel - Labu takar - Gelas beaker - Cawan porselen - Hot plate - Kertas saring - Erlenmeyer - AAS	- Larutan HNO_3 65% - Larutan HClO_4 - Larutan HCl - Aquadest - Sampel air laut - Sampel sedimen - Sampel akar <i>A. alba</i> yang terdiri atas akar nafas - Sampel buah <i>A. alba</i> yang terdiri dari kulit dan keping		

3.6 Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel dalam penelitian ini meliputi penetapan stasiun pengambilan sampel dan teknik pengambilan sampel tanaman mangrove, air, dan sedimen. Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap proses, yaitu tahap pengambilan sampel di lapang dan tahap analisis kandungan logam berat Pb di laboratorium MIPA, Universitas Brawijaya, Malang.

3.6.1 Penetapan Stasiun Pengambilan Sampel

Metode yang dilakukan pada penetapan stasiun pengambilan sampel adalah survei. Survei dilakukan pada 2 (dua) lokasi yaitu kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya (perairan tercemar) dan kawasan mangrovedesa Kedawang, Kecamatan Nguling, Pasuruan (perairan yang relatif bersih dari pencemaran). Tujuannya adalah untuk mengetahui vegetasi mangrove yang ada pada perairan yang dijadikan lokasi penelitian dan penentuan titik pengambilan sampel.

Penentuan stasiun penelitian pada kedua lokasi dilakukan dengan mengikuti jalur transek searah aliran muara sungai pada kawasan mangrove Gunung Anyar dan sejajar garis pantai secara proporsif pada kawasan mangrove desa Kedawang. Hal tersebut diperkuat oleh pernyataan 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 mangrove Gunung Anyar dan kawasan mangrovedesa Kedawang).

Pengambilan sampel dan analisis kualitas air dilakukan pada 2 (dua) lokasi (Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan) sebanyak 3 (tiga) stasiun pada masing-masing lokasi dan tiap stasiun diambil 2 (dua) titik pengambilan

sampel. Jarak antar stasiun ditentukan melalui GPS dengan penjabaran sebagai berikut :

- a. Kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya (perairan yang tercemar) :

Stasiun 1a	: 7°20'02.19"LS	112°49'42.72"BT
Stasiun 1b	: 7°20'02.39"LS	112°49'42.76"BT
Stasiun 2a	: 7°19'49.88"LS	112°49'20.28"BT
Stasiun 2b	: 7°19'50.00"LS	112°49'19.41"BT
Stasiun 3a	: 7°19'51.13"LS	112°48'46.99"BT
Stasiun 3b	: 7°19'51.10"LS	112°48'47.37"BT

- b. Kawasan mangrove desa Kedawang, kota Surabaya (perairan yang relatif bersih) :

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 2a	: 7°41'54.13"LS	113°04'58.13"BT
Stasiun 2b	: 7°41'54.11"LS	113°04'57.83"BT
Stasiun 3a	: 7°41'56.15"LS	113°05'01.01"BT
Stasiun 3b	: 7°41'56.09"LS	113°05'01.35"BT

3.6.2 Teknik Pengambilan Sampel Tanaman Mangrove *Avicennia alba*

Pengambilan sampel akar dan buah menurut Hamzah dan Setiawan (2010) diambil dari pohon *A. alba* dengan ukuran diameter batang berkisar 15-20 cm dan tinggi berkisar 3-5 m dimana pada ketinggian tersebut mangrove mempunyai daya toleran terhadap salinitas yang tinggi (Little, 1983; Steinke, 1995; Naidoo and Chirkoot, 2004; Naidoo, 2006). Menurut Raskin *et al.*, (1997) dalam Ana *et al.*, (2009) berpendapat bahwa dengan menggunakan mangrove yang sudah tua, diasumsikan mangrove tersebut sudah dapat dijadikan bioremediasi lingkungannya. Bagian-bagian *A. alba* yang diambil adalah :

a. Akar

Pada pengambilan sampel, akar yang diambil adalah akar nafas (*pneumatophora*) bagian ujung yang berada diluar permukaan sedimen dan bagian pangkal yang terbenam di dalam sedimen dengan diameter 0,4-0,6 cm (Arisandy *et al.*, 2011). Dari penjelasan Saenger (2002) dalam Syah (2011), pada akar *Avicennia alba* 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.

b. Buah

Sampel buah yang diambil adalah buah yang sudah tua, berwarna hijau keperakan dengan panjang 2,1 – 2,8 cm, lebar 1,1 – 2,1 cm dan berat 4 -5 gram (Arisandy *et al.*, 2011). Buah dengan kondisi tersebut diharapkan memiliki kandungan nutrisi yang paling optimal sehingga diasumsikan pada ukuran tersebut sudah dapat dianalisa kandungan logam berat Pb-nya (Kurniawan *et al.*, 2012).

3.6.3 Teknik Pengambilan Sampel Air dan Sedimen

Sebagai data penunjang dilakukan juga pengukuran logam berat pada air permukaan dan sedimen. Sampel sedimen diambil dengan menggunakan *grab sampler* yang kemudian dimasukkan ke dalam plastik klip sebanyak 250 gram untuk masing-masing titik pengambilan sampel. Sampel sedimen yang diambil merupakan sedimen pada bagian permukaan dasar perairan yang memiliki ketebalan ± 20 cm. Selanjutnya sampel dimasukkan kedalam *cool box* untuk dilakukan uji kandungan Pb, pH, total N, total P dan tekstur di laboratorium. Sebelum dibawa ke laboratorium, sampel sedimen dikeringanginkan selama satu hari dengan menggunakan alas aluminium foil, dengan tujuan untuk mengurangi

kadar air dalam sedimen (Cahyani *et al.*, 2012). 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.

Sedangkan pada pengambilan sampel air untuk pengamatan logam berat Pb diambil secara langsung dengan menggunakan botol air mineral yang terlebih dahulu dikalibrasi dengan menggunakan air sampel. Kemudian sampel air ditambahkan dengan HNO₃ pekat 65% sebanyak 1 ml untuk sampel air 50 cc, 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).

3.7 Analisis Pb total

3.7.1 Analisis Pb total pada Sampel Akar dan Buah

Preparasi akar dan buah, 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 Analisis Pb total pada Sampel 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 Analisis Pb total pada Sampel 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 Teknik Pengamatan Jaringan *Avicennia alba*

Metode pembuatan preparat terlebih dahulu dilakukan sebelum mempelajari histologi tanaman. Metode pembuatan preparat dapat dibagi menjadi tiga macam yaitu preparat segar, preparat utuh (*whole mount*) dan preparat yang dilakukan dengan proses penanaman (*embedding*). Pembuatan preparat segar dilakukan dengan pembuatan sayatan tipis melintang dan diletakkan pada gelas objek kemudian diwarnai. Pembuatan preparat utuh merupakan metode pembuatan preparat sampel secara utuh biasanya untuk tanaman dengan ukuran kecil. Tahapan untuk preparat ini terdiri atas fiksasi bertahap, penggunaan silol berseri, pewarnaan, inkubasi, dehidrasi dan perekatan ke gelas preparat kemudian dilakukan penutupan. Proses pembuatan preparat *embedding* terdiri atas *gelatin embedding*, *parafin embedding*, *nitrocellulose embedding*, *double embedding*, dan *embedding* pada plastik (Keirnan, 1990 dalam Kristiono, 2009).

Teknik pengamatan jaringan *A. Alba* secara histologi pada jaringan akar dan buah, dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya kerusakan jaringan terutama pada epidermis, xilem dan floem. Pembuatan preparat histologi menggunakan preparat segar yang dipotong secara melintang dengan menggunakan mikrotom, kemudian diberi HE untuk pewarnaan, selanjutnya diberi gliserin dan ditutup dengan cover glass. Preparat diamati dengan menggunakan mikroskop cahaya untuk mengetahui jaringan secara histologi.

3.9 Prosedur Parameter Kualitas Air

3.9.1 Parameter Fisika

a. Suhu air

Menurut Satino (2000) Pengukuran suhu air dilakukan dengan cara memasukkan thermometer air raksa ke dalam air kurang lebih selama 10 menit kemudian diangkat dan dicatat.

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 2mm.
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. Semprot 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. Pasir yang tertinggal dipindahkan 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. angkat 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 (H₁) pada hidrometer beserta suhunya (t₁), dengan hati-hati hidrometer dikeluarkan dari suspensi.
11. Setelah menjelang 8 jam, hidrometer dimasukkan kembali untuk pembacaan H₂ dan t₂.

12. Menghitung berat debu dan liat dengan menggunakan rumus :

$$\text{Berat debu dan liat} : \frac{H_2 + 0,3(t_2 - 19,8)}{2} - 0,5 \dots\dots\dots(a)$$

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

$$\text{Berat debu} : \text{Berat (debu + liat)} - \text{Berat liat} \dots\dots(a + b)$$

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

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

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

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

3.9.2 Parameter Kimia

a. Salinitas

Kadar salinitas diukur dengan menggunakan ATAGO *Pocket Refractometer* dengan langkah sebagai berikut :

- Kalibrasi lapisan prisma dengan menggunakan aquades dan keringkan dengan menggunakan tisu
- Ambil 0,3 ml larutan sampel, kemudian teteskan di atas lapisan prisma
- Tekan tombol start, maka *Pocket Refractometer* akan menunjukkan hasil larutan uji pada layar setelah muncul tanda panah tiga kali
- Setelah muncul tanda panah tiga kali, tunggu selama 2 menit maka kadar salinitas larutan uji sudah terbaca
- Matikan *Pocket Refractometer* dengan menekan tombol start selama 2 detik
- Bersihkan lapisan prisma dengan menggunakan aquades kembali dan keringkan dengan menggunakan tissue

b. pH air

pH air diukur dengan menggunakan pH tester 30 dengan langkah sebagai berikut :

- Sebelum dipergunakan pH tester dicuci dengan air suling dan distandarisasi dengan larutan standar yang telah disediakan
- Setelah itu, tekan tombol ON/OFF untuk menghidupkan pH tester
- Masukkan ujung sensor pH tester ke dalam air sekitar 2/3 cm pada larutan yang akan diuji
- Kemudian tekan tombol hold/ent untuk menetapkan hasil nilai pH dan pH tester akan menunjukkan angka/nilai pH terukur

- Tekan 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.

c. pH sedimen

Menurut Hamzah dan Setiawan (2010), pH sedimen diukur dengan menggunakan ekstrak H_2O dan $CaCl_2$ dimana pH yang diekstrak dengan air merupakan kemasaman aktif (aktual) dan ekstrak $CaCl_2$ 0.01 M merupakan kemasaman potensial (cadangan).

d. DO

Kadar oksigen terlarut (DO) suatu perairan dapat diukur dengan menggunakan DO meter atau Oxymeter. Pengukuran kadar oksigen terlarut (DO) dengan menggunakan DO meter dilakukan dengan cara:

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

e. Total N sedimen

Pengukuran data nitrat (NO_3) dilakukan dengan menggunakan metode Brucine (Balai Penelitian Tanah, 2005) yaitu :

Pereaksi :

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

- Pengekstrak Morgan-Wolf

Prosedur Kerja :

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 Ilmu Tanah dengan keadaan substrat yang masih basah. Pengukuran fosfat dimulai dengan menimbang 2.500 gr contoh sedimen <2mm. ditambah pengesthak bray dan kurt I sebanyak 25 ml, kemudian dikocok selama 5 menit. Setelah itu larutan tersebut disaring dan bila larutan keruh dikembalikan diatas saringan semula (proses penyaringan maksimum 5 menit). Dipipet 2 ml ekstrak jernih ke dalam tabung reaksi. Contoh dan derat standar masing-masing ditambah pereaksi pewarna fosfat sebanyak 10 ml, dikocok dan dibiarkan 30 menit. Diukur absorbansinya dengan *spectrophotometer* pada panjang gelombang 693 nm.

3.10 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.

3.11 Analisis Data

3.11.1 Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Untuk mengetahui terjadi akumulasi logam berat Pb pada *A.alba* dilakukan dengan cara menghitung konsentrasi logam pada sedimen, air, akar dan buah. Perbandingan antara konsentrasi logam di akar dan buah dengan konsentrasi di sedimen dan air dikenal dengan *bioconcentration factor* (BCF). Menurut Siahaan *et al.*, (2013) dengan rumus :

$$BCF_{Pb} = \frac{\text{Logam Berat Pb pada Akar}}{\text{Logam Berat Pb pada Sedimen}}$$

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

3.11.2 Faktor Translokasi (TF)

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 (L. Q. Ma *et al.*, 2001) menurut Yoon *et al.*, (2006) dalam Lorestani *et al.*, (2011) dengan rumus :

$$TF_{Pb} = \frac{\text{Logam Berat Pb pada Buah}}{\text{Logam Berat Pb pada Akar}}$$

Nilai TF dihitung untuk mengetahui perpindahan akumulasi logam dari akar ke tunas (buah) (MacFarlane *et al.*, 2007). Kemampuan tumbuhan untuk mentoleransi 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

3.11.3 Analisis Deskriptif

Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif untuk melihat kondisi pencemaran logam berat dibandingkan dengan kriteria baku mutu air laut untuk biota laut berdasarkan Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 untuk melihat kondisi pencemaran logam berat timbal (Pb). Kriteria baku mutu air laut dapat dilihat pada Lampiran 1. Sedangkan untuk melihat kondisi pencemaran logam berat di sedimen, digunakan baku mutu yang berasal dari standar kualitas Belanda, yaitu berdasarkan IADC/CEDA Tahun 1997, karena baku mutu logam berat dalam lumpur atau sedimen di Indonesia belum ditetapkan, sehingga sebagai acuan digunakan baku mutu tersebut (disajikan pada Lampiran 2). Begitu juga dengan pengamatan histologi akar dan buah *A. alba* dianalisis secara deskriptif.

3.11.4 Pengaruh Kadar Pb Air dan Sedimen pada Kedua Lokasi Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh kadar pb air dan sedimen pada kedua lokasi penelitian yaitu Gunung Anyar, Surabaya dan Kedawang, Pasuruan dilakukan pengujian keberartian (signifikansi) dengan menggunakan uji T. Uji T digunakan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang signifikan dari 2 variabel dan sampel kurang dari 30.

Hipotesa :

Ho : Tidak ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb air dan sedimen di kedua lokasi tersebut

Hi : Ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb air dan sedimen di kedua lokasi tersebut

Rumus uji T sebagai berikut :

Langkah :

1. Uji Hipotesa

Dengan rumus $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$

2. Menghitung Df

Dengan rumus :

$$Df = \frac{[(s_1^2/n_1) + (s_2^2/n_2)]^2}{\left[\frac{(s_1^2/n_1)^2}{(n_1-1)} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{(n_2-1)} \right]}$$

3. T hitung

Dengan rumus :

$$T \text{ hitung} = \frac{\sum x_1 - \sum x_2}{\sqrt{(s_1^2/n_1) + (s_2^2/n_2)}}$$

Keterangan:

F = uji hipotesa

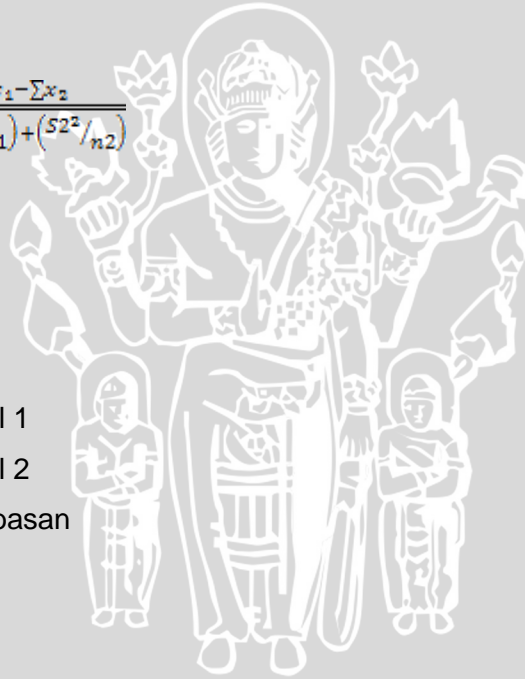
S₁ = sumsquare 1

S₂ = sumsquare 2

n₁ = besar sampel 1

n₂ = besar sampel 2

df = derajat kebebasan



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua lokasi berbeda, yaitu di kawasan mangrove Gunung Anyar, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya dan di kawasan mangrove Kedawang, Kecamatan Nguling, Kota Pasuruan, Jawa Timur. Kawasan mangrove Gunung Anyar merupakan daerah pantai sebelah timur Surabaya. Kawasan ini dijadikan lokasi wisata mangrove, dimana terdapat beberapa jenis mangrove yang tumbuh dengan baik yaitu *Avicennia marina*, *A. alba*, dan *Sonneratia caseolaris*. Saat ini, kawasan mangrove Gunung Anyar mulai memperlihatkan indikasi adanya tekanan yang berlebihan terhadap ekosistemnya, hal tersebut diakibatkan karena pemanfaatan yang tidak mengedepankan konsep keberlanjutan. Kawasan mangrove Gunung Anyar juga telah beralih ke sejumlah fungsi lahan, mulai dari pemukiman, tambak sampai buangan limbah dari kawasan SIER ke sepanjang aliran sungai Kebon Agung yang mengalir ke muara Gunung Anyar. Sungai Kebon Agung merupakan cabang anak sungai Surabaya, dimana sungai Surabaya merupakan salah satu dari tiga sungai yang mengalir di Kota Surabaya. Disinyalir saat ini, terdapat lebih dari 250 industri pada DAS Brantas, yang salah satu subnya adalah sungai Surabaya. Besarnya jumlah industri ini, mengilustrasikan betapa besar tekanan terhadap sungai Surabaya. Sementara itu, tidak banyak industri yang dilengkapi fasilitas pengolahan limbah memadai, sehingga memanfaatkan Kali Surabaya sebagai tempat membuang limbah yang berpotensi mengandung logam berat pencemar yang membahayakan kesehatan masyarakat.

Sedangkan kawasan mangrove Kedawang, Pasuruan memiliki perairan yang relatif bersih karena jauh dari aktivitas industri. Sehingga sumber pencemara

tidak banyak yang masuk ke perairan Kedawang. Sumber pencemaran yang mungkin masuk, berasal dari aktivitas manusia dan kapal sebagai alat transportasi pencari ikan. Kawasan mangrove Kedawang banyak ditumbuhi mangrove terutama jenis *Rhizophora mucronata*, *Avicennia marina*, *A.alba* dan *Sonneratia caseolaris*. 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. Peta kedua lokasi penelitian dapat dilihat pada Lampiran 3.

4.2 Kualitas Air pada Kawasan Mangrove Gunung Anyar dan Kawasan Mangrove Kedawang

Pengambilan data kualitas air dilakukan pada 6 (enam) stasiun yaitu 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya dan 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Kedawang, kota Pasuruan. Masing-masing stasiun diambil 2 titik lokasi untuk pengambilan sampel. Kondisi lingkungan perairan hasil pengukuran secara insitu di lapangan, menunjukkan hasil yang berbeda dari satu stasiun ke stasiun lainnya. Hasil rerata pengukuran parameter fisika kimia air yang diambil pada 6 (enam) stasiun dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil parameter fisika kimia air di kawasan mangrove Gunung Anyar dan Kedawang

NO	Parameter	Satuan	Gunung Anyar				Kedawang				Baku Mutu
			Stasiun			Rata-rata	Stasiun			Rata-rata	
			1	2	3		1	2	3		
1	Suhu	°C	32,6	25,0	26,1	27,9	32,4	32,3	33,2	32,6	28-32
2	Salinitas	ppt	12,3	10	1	7,8	26	26	16	22,7	s/d 34
3	pH	-	6,76	6,71	6,72	6,73	7,76	6,95	6,85	7,19	7–8,5
4	DO	mg/l	5,2	3,3	2,1	3,5	1,8	0,8	1,9	1,5	5,7–8,5

*Sumber data : Wilujeng (2013)

Berdasarkan hasil pengukuran kualitas air yang ditunjukkan pada Tabel 3. menunjukkan bahwa :

4.2.1 Suhu

Suhu air rata-rata pada saat pengambilan sampel di kawasan mangrove Gunung Anyar sebesar 27,9°C, sedangkan suhu air rata-rata di kawasan mangrove Kedawang sebesar 32,6°C. Suhu di permukaan laut yang baik untuk pertumbuhan tanaman mangrove menurut Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004, berkisar antara 28,0-32,0°C. Berdasarkan baku mutu tersebut, untuk kawasan mangrove Gunung Anyar masih berada di bawah baku mutu, sedangkan di kawasan mangrove Kedawang sudah melampaui baku mutu. Perbedaan suhu air pada tiap kawasan dikarenakan adanya perbedaan intensitas cahaya yang mengenai air, maupun akibat perbedaan penutupan permukaan air pada masing-masing kawasan, selain itu suhu juga berpengaruh terhadap penyebaran dan komposisi organisme (Panjaitan, 2009). Selain intensitas cahaya, suhu yang berbeda pada kedua lokasi juga disebabkan karena perbedaan cuaca. Pada saat pengambilan sampel di kawasan mangrove Gunung Anyar terjadi hujan lebat, sehingga suhu air rendah. Sedangkan cuaca di kawasan mangrove Kedawang sangat terik sehingga suhu tinggi. Peningkatan suhu sangat berpengaruh terhadap proses fotosintesis yang hasilnya akan menyumbang dalam kesuburan tanaman mangrove di daerah tersebut.

Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi dan volatilisasi. Peningkatan suhu juga menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air, misal O₂, CO₂, N₂ dan sebagainya (Effendi, 2003). Selain itu, 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 (Erlangga, 2007). Menurut Somero *et al.*, (1977) dalam Hutagalung (1988), mengatakan bahwa kenaikan suhu tidak hanya akan meningkatkan metabolisme biota perairan, namun kelarutan logam dalam

air juga akan meningkat dan reaksi antara ion logam berat dengan protein bersifat "exothermix" (membutuhkan panas)

4.2.2 Salinitas

Hasil reratan salinitas pada lokasi penelitian di kawasan mangrove Gunung Anyar sebesar 7,8 ppt, sedangkan pada daerah kontrol yaitu kawasan mangrove Kedawang sebesar 22,7 ppt. Salinitas perairan di kawasan mangrove Gunung Anyar lebih rendah dibandingkan salinitas perairan di kawasan mangrove Kedawang. Nilai salinitas pada kawasan mangrove Gunung Anyar berdasarkan hasil reratan rendah dengan rentang kisaran nilai yang luas jika dibandingkan dengan kawasan mangrove Kedawang. Hal ini disebabkan kawasan mangrove Gunung Anyar merupakan daerah muara, dimana pada daerah tersebut terjadi pertemuan antara air tawar (sungai) dan air laut (laut lepas) yang mempengaruhi kondisi salinitas di daerah tersebut. Kondisi ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Nybakken (1992) bahwa kondisi perairan daerah estuari dipengaruhi oleh pengaruh daratan dan lautan. Dimana nilai salinitas tinggi terjadi saat pengaruh dari lautan lebih dominan dibandingkan pengaruh dari daratan, yaitu ketika terjadi pasang. Sedangkan nilai salinitas rendah disebabkan oleh pengaruh daratan, yaitu ketika air tawar masuk ke perairan melalui aliran sungai. Hal inilah yang menyebabkan kawasan mangrove Gunung Anyar memiliki kisaran salinitas yang luas, sedangkan pada kawasan mangrove Kedawang cenderung menunjukkan nilai kisaran yang tinggi karena merupakan daerah pantai yang terdapat muara sungai tetapi aliran sungai di daerah tersebut kering sehingga aliran atau pasokan air laut lebih besar daripada pasokan air tawar. Selain itu, perairan di kawasan mangrove Kedawang mengalami penguapan tinggi, sehingga kadar salinitas tinggi, sedangkan untuk kawasan mangrove Gunung

Anyar pada saat pengambilan sampel terjadi curah hujan tinggi, sehingga menyebabkan kadar salinitas rendah.

Kadar salinitas berdasarkan baku mutu air laut untuk biota laut di daerah mangrove masih berada di antara baku mutu menurut Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 dengan batas nilai maksimum 34 ppt. Sedangkan menurut Kusmana *et al.*, (2003), kriteria yang cocok untuk tumbuhan mangrove dapat tumbuh subur dengan salinitas 10-30 ppt.

4.2.3 Derajat Keasaman (pH)

Hasil rata-rata pH perairan dari tiap lokasi penelitian tidak jauh berbeda, di kawasan mangrove Gunung Anyar sebesar 6,73 dan di kawasan mangrove Kedawang hasil reratan pH yaitu sebesar 7,19. 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). Penurunan pH air akan menyebabkan daya racun logam berat semakin besar (Rochyatun dan Rozak, 2007). Namun, secara umum pengukuran nilai derajat keasamannya berdasarkan Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 yang berkisar antara 7,0-8,5, kedua perairan tersebut masih mendukung kehidupan organisme di sekitarnya dengan baku mutu sebesar. Nilai pH berpengaruh terhadap toksisitas suatu senyawa kimia. Toksisitas logam berat memperlihatkan peningkatan pH rendah dan berkurang dengan meningkatnya pH (Effendi, 2003). Hal tersebut didukung oleh pernyataan Novotny dan Olem (1994) dalam Sarjono (2009), bahwa nilai pH perairan memiliki hubungan yang erat dengan sifat kelarutan logam berat. Pada pH alami laut logam berat sukar terurai dan dalam bentuk partikel atau padatan tersuspensi. Pada pH rendah, ion bebas logam berat dilepaskan ke dalam kolom air. Selain hal

tersebut, pH juga mempengaruhi toksisitas suatu senyawa kimia. Secara umum logam berat akan meningkat toksisitasnya pada pH rendah, sedangkan pada pH tinggi logam berat akan mengalami pengendapan. Menurut Hutagalung (1991), penurunan salinitas dan pH serta naiknya suhu menyebabkan tingkat bioakumulasi semakin besar karena ketersediaan logam berat tersebut semakin meningkat.

4.2.4 Oksigen terlarut (DO)

Oksigen terlarut merupakan faktor pembatas bagi kehidupan organisme. Hasil dari penelitian menunjukkan nilai rata-rata DO di kawasan mangrove Gunung Anyar sebesar $3,5^{\text{mg/l}}$ dan di kawasan mangrove Desa Kedawang sebesar $1,5^{\text{mg/l}}$. Dari hasil tersebut menunjukkan kadar oksigen terlarut pada kedua lokasi penelitian berada di bawah baku mutu. Menurut Romimohtarto dan Thayib (1982) kadar oksigen di permukaan laut yang normal berkisar antara 5,7-8,5 ppm (4,0-6,0 ml/L). Diindikasikan penurunan kandungan oksigen terlarut dalam air terjadi pada saat keadaan anoksik dalam air (Rochana, 2011). Clark (1974), menyatakan kadar oksigen terlarut untuk pertumbuhan dan perkembangan biota air $> 6,0$ ppm, tetapi menurut Connel *et al.*, (1995) menyatakan kadar oksigen terlarut sebesar 5,0 ppm merupakan batas minimal yang untuk pertumbuhan normal dan perkembangbiakan. Umumnya hampir semua organisme akuatik menyukai kadar oksigen terlarut $> 5,0$ ppm (Effendi, 2003). Tetapi dari kedua lokasi penelitian, kadar DO terendah berada di kawasan mangrove Kedawang dikarenakan suhu di lokasi tersebut tinggi, sehingga semakin tinggi suhu air semakin rendah tingkat kejenuhan (Fardiaz, 1993; Kusumastuti *et al.*, 2011). Menurut Bryan (1984) dalam Darmono (2001), bahwa keberadaan O_2 dapat mempengaruhi keberadaan dan

toksistas logam berat. Semakin rendah O_2 maka daya racun logam berat umumnya akan semakin tinggi.

4.2.5 Konsentrasi logam berat Pb air

Konsentrasi logam berat Pb yang terlarut dalam air laut sangat tergantung pada keadaan perairan tersebut dimana semakin banyak aktivitas manusia baik di darat maupun di pantai akan mempengaruhi konsentrasi logam berat dalam air laut (Amin *et al.*, 2013). Konsentrasi logam berat Timbal (Pb) pada semua stasiun yang ditunjukkan pada Tabel 4 sudah melampaui ambang batas atau telah tergolong tercemar berat yang disyaratkan menurut Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 untuk biota perairan yang bernilai 0,008 ppm. Sedangkan baku mutu yang dikeluarkan oleh EPA untuk kategori akut bagi organisme perairan yakni 0,14 ppm, maka konsentrasi logam berat Pb di kawasan mangrove Gunung Anyar tergolong akut, sedangkan konsentrasi logam berat Pb di kawasan mangrove Kedawang tergolong tidak menyebabkan keakutan bagi biota perairan.

Tabel 4. Hasil reratan kandungan logam berat pb air di kawasan mangrove Gunung Anyar dan Kedawang

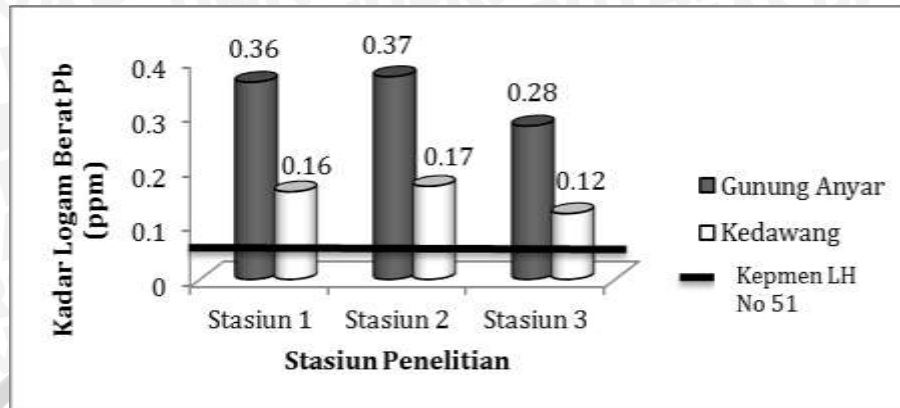
Stasiun	Satuan	Gunung Anyar	Kedawang	Baku Mutu
1	ppm	0,36	0,16	0,008 (Kepmen LH No 51 Th.2004)
2	ppm	0,37	0,17	
3	ppm	0,28	0,12	
Rata-rata		0,34	0,15	

*Sumber data : Wilujeng (2013)

Meskipun sudah melampaui ambang batas, kandungan logam berat Timbal (Pb) tertinggi terdapat di kawasan mangrove Gunung Anyar dengan nilai rata-rata sebesar 0,34 ppm. Sementara hasil rata-rata di kawasan mangrove Desa Kedawang kandungan Pb sebesar 0,15 ppm. Nilai konsentrasi logam berat Pb di kawasan mangrove Gunung Anyar cenderung memiliki konsentrasi yang besar

jika dibandingkan dengan kawasan mangrove Kedawang. Hal tersebut menunjukkan bahwa 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 arusmenuju aliran sungai Kebon Agung. Salah satu industri yang berperan dalam penyumbangan limbah cair ke badan sungai Kebon Agung adalah SIER (*Surabaya Indutry Estate Rungkut*), dimana wilayah SIER merupakan kumpulan beberapa industridengan total 300 industri (Hastuti dan Sulistyarso, 2012). Beberapa industri yang berada di kawasan SIER merupakan industri yang memproduksi baterai dengan penggunaan timbal metalik dan komponen-komponennya. Selain itu penggunaan timbal lainnya adalah untuk produk-produk logam seperti amunisi, pelapis kabel, pipa, solder, bahan kimia dan pewarna (Fardiaz, 2005) serta industri yang memproduksi cat, dimana hasil limbah tersebut juga merupakan penyebab utama peningkatan kadar Pb (Wibowo, 2010). Limbah yang masuk ke badan sungai Kebon Agung akan mengalir sampai ke Kali Jagir yang selanjutnya mengalir menuju muara sungai Gunung Anyar. Sedangkan limbah kendaraan bermotor masuk keperairan sebagian besar melalui air hujan dan aktivitas transportasi laut (Sarjono, 2009). 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). Palar (2004), menjelaskan konsentrasi Pb yang mencapai 188 mg/liter dalam air laut dapat membunuh ikan. Sedangkan logam berat Pb pada kawasan mangrove Desa Kedawang disebabkan adanya aktivitas manusia berupa pemukiman penduduk, tempat

pengasapan ikan, dan tempat pemberhentian kapal-kapal yang digunakan sebagai alat transportasi pencari ikan.



Gambar 8. Kandungan logam berat timbal (Pb) pada air di kawasan mangrove Gunung Anyar dan Kedawang

Logam-logam dalam lingkungan perairan umumnya berada dalam bentuk ion-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 *et al.*, 2005). Timah hitam pada perairan ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Kelarutan timbal dalam air cukup tinggi sehingga kadarnya relatif sedikit (Rangkuti, 2009). 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). Konsentrasi logam Pb pada air laut di setiap stasiun pada kedua lokasi penelitian menunjukkan nilai yang hampir sama, hal tersebut disebabkan karena adanya pergerakan air yang dipengaruhi oleh angin, gelombang dan arus perairan sehingga senantiasa terjadi pengadukan dan perpindahan massa air berikut bahan-bahan yang terkandung di dalamnya (Amin *et al.*, 2011).

4.3 Kualitas Sedimen pada Kawasan Mangrove Gunung Anyar dan Kawasan Mangrove Kedawang

4.3.1 Tekstur

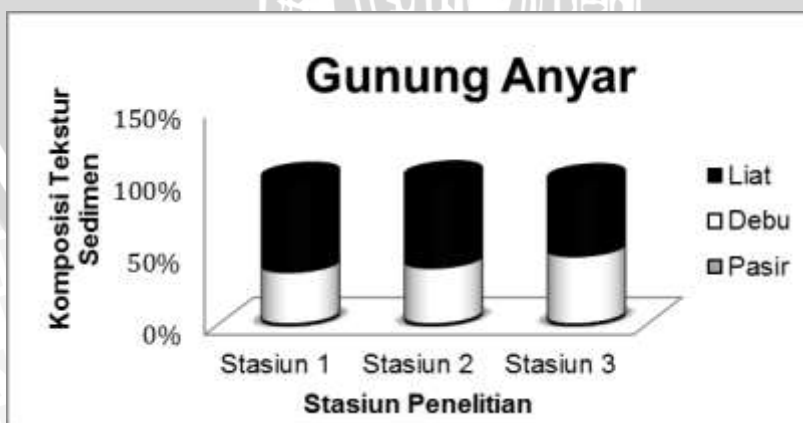
Pengambilan data kualitas sedimen untuk pengamatan tekstur tanah dilakukan pada 6 (enam) stasiun yaitu 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya dan 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Kedawang, kota Pasuruan. Hasil analisa laboratorium untuk pengamatan tekstur tanah pada masing-masing stasiun di kedua lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengukuran tekstur tanah di kawasan mangrove Gunung Anyar dan Kedawang

Parameter		Gunung Anyar			Kedawang		
		Stasiun			Stasiun		
		I	II	III	I	II	III
Komposisi (%)	Liat	63	61	51	6	9	6
	Debu	36	39	47	14	30	6
	Pasir	1	1	1	80	61	88
Tekstur		Liat	Liat	Liat berdebu	Pasir berlempung	Lempung berpasir	Pasir berlempung

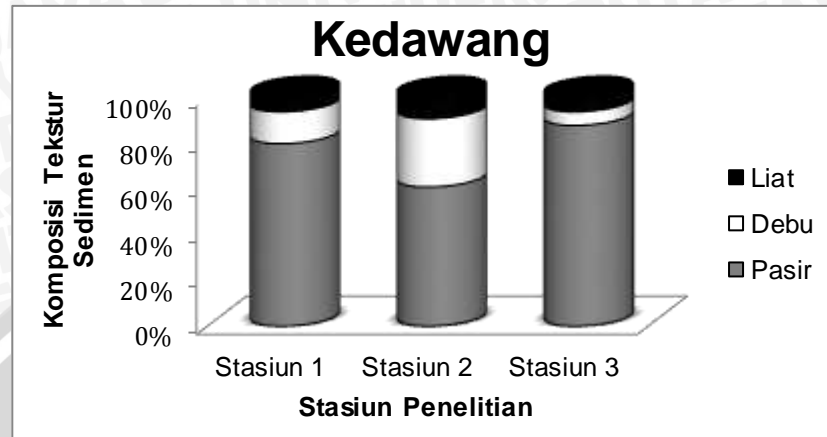
*Sumber data : Wilujeng (2013)

Komposisi tekstur tanah setiap stasiun pada lokasi penelitian di kawasan Gunung Anyar, Surabaya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Komposisi tekstur tanah di kawasan mangrove Gunung Anyar

Sedangkan komposisi tekstur tanah setiap stasiun pada lokasi penelitian di kawasan Kedawang, Pasuruan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Komposisi tekstur tanah di kawasan mangrove Kedawang

Berdasarkan hasil pengukuran parameter kualitas sedimen di stasiun penelitian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa :

Tekstur tanah di kawasan mangrove Gunung Anyar berbeda jauh jika dibandingkan dengan di kawasan mangrove Kedawang. Komposisi sedimen dilakukan dengan mengidentifikasi fraksi-fraksi pembentuknya yaitu pasir, debu, dan liat. Berdasarkan hasil analisa laboratorium yang ditunjukkan pada Tabel 5, komposisi sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar didominasi oleh liat, sedangkan di kawasan mangrove Kedawang didominasi oleh pasir. Hal ini disebabkan karena di kawasan mangrove Gunung Anyar merupakan daerah muara, sehingga tanah tersebut mengalami pengendapan sedimen-sedimen yang terbawa oleh aliran sungai ditambah oleh material-material yang dibawa dari laut pada waktu air pasang (Soeroyo dan Suyarso, 1990), oleh sebab itu banyak terdapat endapan lumpur. Sedangkan di kawasan mangrove Kedawang merupakan daerah pantai yang terdapat muara sungai tetapi dalam keadaan kering, sehingga tanahnya berpasir dengan sedikit lumpur. Sedimen ini

merupakan hasil abrasi oleh gelombang saat pecah di garis pantai (Sulistiyowati, 2012).

Menurut Kusumahadi (2008), keadaan tekstur yang terlihat seperti di kawasan mangrove Gunung Anyar ini tidak menguntungkan bagi pengembangan struktur tanah, tanah mudah melumpur waktu basah dan memampat atau mengeras waktu kering. Pelumpuran dan pemampatan lapisan permukaan (dibantu hujan, pembasahan, pengeringan bergantian) akan memberikan pengaruh mekanika buruk terhadap akar dan menghambat/ menghentikan pertukaran gas dan udara antara tanah dan atmosfer, selain itu juga mengganggu peredaran kelembaban tanah sehingga menggagalkan perkecambahan biji. Pendapat tersebut bertolak belakang dengan Bengen (2004), justru substrat yang sesuai untuk pertumbuhan *Avicennia alba* adalah substrat yang agak berpasir dan berlumpur, sehingga dari hasil analisis tersebut kedua lokasi penelitian sudah cocok untuk pertumbuhan *A. alba*.

4.3.2 Derajat Keasaman (pH) tanah

Pengambilan data kualitas sedimen untuk pengamatan pH tanah dilakukan pada 6 (enam) stasiun yaitu 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya dan 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Kedawang, kota Pasuruan. Hasil analisa laboratorium untuk pengamatan pH tanah pada masing-masing stasiun di kedua lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran pH tanah di kawasan mangrove Gunung Anyar dan Kedawang

Stasiun	Gunung Anyar		Kedawang	
	pH (H ₂ O)	pH (KCl 1N)	pH (H ₂ O)	pH (KCl 1N)
1	7,9	7,4	7,3	6,6
2	7,9	7,0	7,8	7,4
3	7,5	7,0	8,1	7,6
Rata-rata	7,8	7,1	7,7	7,2

*Sumber data : Wilujeng (2013)

Derajat keasaman (pH) tanah diukur dengan menggunakan ekstrak H₂O dan KCl 1N. Hasil analisa pH tanah di laboratorium secara umum pada kedua lokasi penelitian tidak jauh berbeda. Hasil pH tanah rata-rata dengan ekstrak H₂O di kawasan mangrove Gunung Anyar sebesar 7,8 dan KCl sebesar 7,1. Sedangkan pH tanah rata-rata di kawasan mangrove Kedawang dengan ekstrak H₂O sebesar 7,7 dan KCl 1N sebesar 7,2. Hasil reratan pH dengan menggunakan ekstrak H₂O dan KCl 1N pada kedua lokasi tidak jauh berbeda, yaitu pH tertinggi dengan menggunakan ekstrak H₂O ditemukan di kawasan mangrove Gunung Anyar sebesar 7,8. Sedangkan pH tertinggi dengan menggunakan ekstrak KCl 1 N terdapat pada kawasan mangrove Kedawang yaitu sebesar 7,2. Pengukuran pH dengan menggunakan ekstraksi H₂O akan mendapatkan hasil lebih besar dibandingkan dengan menggunakan ekstraksi KCl 1N, karena ekstrak KCl 1N merupakan kemasaman cadangan sehingga nilainya selalu lebih kecil dari ekstrak air (Arisandy *et al.*, 2011). Hal tersebut diperkuat oleh pernyataan Hernawati (1993), bahwa potensi muatan tanah didominasi oleh muatan negatif. Menurut Widjik (1978) kation K⁺ yang ditambahkan ke dalam larutan tanah akan mendesak ion H⁺ dari permukaan muatan partikel tanah, sehingga konsentrasi ion hydrogen dalam larutan tanah meningkat. Kemasaman tanah pada zona mangrove umumnya tinggi (pH>7) (Hernawati, 1993).

Tingginya nilai pH tanah diduga berkaitan dengan sifat keragaman tanah. Bila air tanah cukup, basa-basa akan terhidrolisa menghasilkan ion OH⁻ yang dapat meningkatkan pH tanah (Sanches, 1976; Soepardi, 1983). Dilaporkan oleh Murdiyanto (2004), bahwa pH tanah mempengaruhi transportasi dan keberadaan nutrien yang diperlukan tanaman, umumnya tanah mangrove ber pH antara 6-7. Derajat keasaman 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. Secara keseluruhan pada lapisan atas, pH-nya lebih rendah dibanding lapisan bawah. Hal ini disebabkan bahan organik yang lebih banyak berada di lapisan atas daripada lapisan bawah. Sedangkan pada pH rendah akan mempengaruhi pengendapan mineral yang menjadi sumber kontaminasi pada saat pelepasan ion logam (Fitter dan Hay, 1991).

4.3.3 Total N sedimen

Pengambilan data kualitas sedimen untuk pengamatan total N sedimen dilakukan pada 6 (enam) stasiun yaitu 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya dan 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Kedawang, kota Pasuruan. Hasil analisa laboratorium untuk pengamatan total N sedimen pada masing-masing stasiun di kedua lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengukuran total N sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar dan Kedawang

Stasiun	Total N		Satuan
	Gunung Anyar	Kedawang	
1	1,3	1,1	mg/kg
2	1,3	0,9	mg/kg
3	2,0	1,4	mg/kg
Rata-rata	1,5	1,1	mg/kg

*Sumber data : Wilujeng (2013)

Total N sedimen yang terdapat di kawasan mangrove Gunung Anyar lebih besar dengan hasil reratan 1,5 mg/kg daripada di kawasan mangrove Kedawang dengan hasil reratan 1,1 mg/kg. Bila hasil tersebut dibandingkan terhadap kriteria menurut PPT (1983) maka Zona *Avicennia* dengan kandungan N di atas 1,0 tergolong sedang. Pada kawasan mangrove Gunung Anyar kandungan N lebih tinggi disebabkan karena daerah tersebut merupakan daerah muara yang memperoleh suplai bahan organik dari sungai sehingga mempengaruhi

kandungan N pada sedimen. Menurut Soepardi (1983), bahan organik merupakan sumber utama N dalam tanah. Walaupun demikian, proporsi peningkatan bahan organik yang tinggi di Zona *Rhizophora* pada penelitian Hernawati (1993) tidak diikuti oleh pelonjakan N tanah yang tinggi pula. Sifat ini menunjukkan bahwa bahan organik yang berasal dari vegetasi mangrove memiliki cadangan N yang rendah (Notohadiprawiro, 1978). Jika N₂ yang tersedia dalam tanah berlebih, maka daun-daun tanaman menjadi tebal berwarna hijau tua, sedangkan pada batang tampak agak lemah, meskipun pertumbuhannya subur. Jika tumbuhan tersebut kekurangan nitrogen mengakibatkan daun tidak tampak hijau segar, melainkan agak kekuning-kuningan. Jika kekurangan unsur nitrogen banyak dan terus-menerus, daun yang di bawah menjadi kuning dan akhirnya daun akan berguguran (Dwidjoseputro, 1989).

4.3.4 Total P sedimen

Pengambilan data kualitas sedimen untuk pengamatan total P sedimen dilakukan pada 6 (enam) stasiun yaitu 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya dan 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Kedawang, kota Pasuruan. Hasil analisa laboratorium untuk pengamatan total P sedimen pada masing-masing stasiun di kedua lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengukuran total P sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar dan Kedawang

Stasiun	Total P		Satuan
	Gunung Anyar	Kedawang	
1	11,88	40,70	mg/kg
2	19,67	38,26	mg/kg
3	18,40	29,69	mg/kg
Rata-rata	16,65	35,22	mg/kg

*Sumber data : Wilujeng (2013)

Fosfor merupakan unsur yang rumit dengan sifat kimianya dalam tanah, baik dalam bentuk organik maupun anorganik. Pada tanah anorganik, ketersediaan aluminium, besi, dan kalsium dapat mengganggu ketersediaan P dengan cara memfiksasinya (Hernawati, 1993). Hasil analisis laboratorium rata-rata P tanah yang tersedia dalam tanah di kawasan mangrove Gunung Anyar sebesar 16,65 mg/kg sedangkan hasil reratan P tanah di kawasan mangrove Kedawang lebih tinggi yaitu sebesar 36,22 mg/kg. Kandungan P pada daerah Gunung Anyar rendah kemungkinan disebabkan karena sifat alkalin (Na dan K) dan kandungan Ca yang tinggi (Hernawati, 1993). Hasil tersebut sangat bertolak belakang dari pernyataan 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. Tetapi dari hasil tersebut sudah memenuhi baku mutu, menurut PPT (1983), kandungan minimum fosfor tanah yang tersedia untuk seluruh zona mangrove sebesar 10 ppm.

Pospor pada umumnya diambil oleh tanaman dalam bentuk H_2PO_4 . Elemen ini diperlukan untuk pembentukan pospolida, nucleoprotein. Jika pospat yang tersedia dalam tanah tidak cukup banyak, maka nitrogen yang tersedia dalam tanah berupa zat organik, misalnya urea. Jika kandungan pospor dalam tanah banyak, maka tanaman akan cepat dewasa. Gejala-gejala tumbuhan jika kekurangan pospor menyebabkan pertumbuhan terhambat, daun menjadi hijau tua, kadang-kadang tampak juga pertumbuhan antosianin secara mewah. Pada lembaran dan tangkai daun tampak bagian-bagian yang mati dan akhirnya daun mengalami kerontokan (Dwidjoseputro, 1989).

4.3.5 Kandungan Logam Berat Pb Sedimen

Pengambilan data kualitas sedimen dilakukan pada 6 (enam) stasiun yaitu 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya dan 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Kedawang, kota Pasuruan. Masing-masing stasiun diambil 2 titik lokasi untuk pengambilan sampel. Hasil rerata pengukuran kadar Pb pada sedimen yang diambil pada dua lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 9.

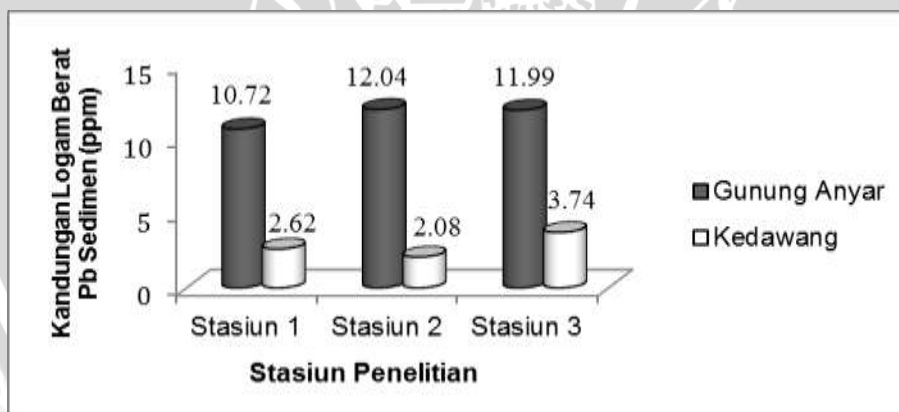
Tabel 9. Hasil reratan kandungan logam berat Pb sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar dan Kedawang

Stasiun	Satuan	Gunung Anyar	Kedawang	Baku Mutu
1	ppm	10,72	2,62	85 (Level target) 530 (Level limit) (IADC/CEDA,1997)
2	ppm	12,04	2,08	
3	ppm	11,99	3,74	
Rata-rata		11,58	2,81	

*Sumber data : Wilujeng (2013)

Kandungan logam berat Timbal (Pb) di sedimen, tertinggi terdapat di kawasan mangrove Gunung Anyar yaitu berkisar antara 10,72-12,04 dengan rerata 11,58 ppm, sedangkan kandungan logam berat Timbal (Pb) di kawasan mangrove Kedawang berkisar antara 2,08-3,74 dengan rerata 2,81 ppm (Gambar 11).. Kandungan Pb pada semua stasiun masih menunjukkan berada dibawah ambang batas menurut baku mutu yang dikeluarkan oleh NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), US Departement of Commerce (Pb < 30,240 ppm) dan IADC/CEDA (1997) masih jauh dibawah level limit (<530,00 ppm), bahkan jauh dibawah level target yaitu 85,00 ppm. Tetapi jika hasil analisis Pb dibandingkan dengan kadar alamiah dari *Reseau National'd Observation* (RNO, 1981), menunjukkan sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar telah diluar kisaran normal (10,00 ppm). Begitu juga dengan kisaran alamiah dari EPA (1990), kawasan mangrove Gunung Anyar telah melewati

batas yang ditetapkan (<5,00 ppm). Kandungan logam berat Pb pada kedua lokasi tersebut berbeda-beda tergantung pada ukuran partikel sedimen, kandungan bahan organik, dan pH tanah. Permukaan partikel yang halus/kecil (liat) akan memiliki luas permukaan yang besar sehingga mengakibatkan semakin efektif proses adsorpsi logam berat oleh sedimen. Ukuran dari partikel sedimen juga akan mempengaruhi tingkat kelarutan oksigen dalam sedimen (Sanusi, 2006). Pernyataan tersebut menguatkan hasil analisis tekstur tanah, karena pada kawasan mangrove Gunung Anyar dominan liat, sedangkan di kawasan mangrove Kedawang dominan pasir. Berdasarkan Korzeniewski dan Neugabieuer (1991) dalam Amin (2002), mengemukakan bahwa kandungan logam berat dalam sedimen dipengaruhi oleh tipe sedimen, dengan kategori kandungan logam berat dalam lumpur > lumpur berpasir > berpasir (Grafik konsentrasi logam berat Pb pada sedimen setiap stasiun pengamatan dapat dilihat pada Gambar 11).



Gambar 11. Kandungan logam berat timbal (pb) pada sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar dan Kedawang

Ditinjau dari tekstur tanah, tanah bertekstur liat mempunyai kemampuan mengikat logam berat lebih tinggi dibandingkan tanah yang bertekstur pasir. 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. Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar kandungan logam berat Pb-nya. Ini disebabkan karena partikel sedimen yang halus memiliki luas permukaan yang besar dengan kerapatan ion yang lebih stabil untuk mengikat Pb dari pada partikel sedimen yang lebih besar (Munir, 1994 *dalam* Sahara, 2009). Secara alami, ukuran butiran dan sumber logam dalam sedimen dipengaruhi oleh dua faktor yaitu antropogenik dan masuknya logam secara alami (Birch *et al.*, 2001). Pada umumnya kandungan logam berat tertinggi akan terakumulasi pada partikel sedimen yang lebih kecil, sedangkan kandungan logam berat terendah akan terakumulasi pada partikel yang berukuran lebih besar (Siaka *et al.*, 2000).

Kondisi nilai kandungan logam berat Pb di dalam sedimen selama pengamatan, nilainya jauh lebih besar jika dibandingkan dengan kandungan Pb di kolom perairan. Hal ini diduga karena adanya laju proses pengendapan atau sedimentasi yang dialami logam berat. Dalam hal ini logam berat yang terdapat pada kolom air akan mengalami proses penggabungan dengan senyawa-senyawa lain, baik yang berupa bahan organik maupun bahan anorganik, sehingga berat jenisnya menjadi lebih besar yang akan mempengaruhi laju proses pengendapan atau sedimentasi. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen merupakan tempat proses akumulasi logam berat di sekitar perairan laut (Apriadi, 2005). Tanah juga berfungsi sebagai penadah "a sink" untuk sumber-sumber anthropogenic Pb, kemudian Pb diakumulasi pada lapisan tanah atas yaitu 2 - 5 cm. Umumnya, Pb terikat kuat pada partikel-partikel tanah dan menunjukkan

fraksi logam-tanah yang cukup besar dalam bentuk insoluble dan tidak tersedia bagi proses fitoremediasi atau penyerapan tanaman (Miller *et al.*,2008).

4.3.6 Pengaruh Kadar Pb Air dan Sedimen pada Kedua Lokasi Penelitian

Pada analisa data (Lampiran 4) untuk kandungan Pb di air yang dihitung dengan uji T dengan hipotesa ; H_0 : Tidak ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb air di kedua lokasi tersebut; H_1 : Ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb air di kedua lokasi tersebut. Di dapat hasil T hitung sebesar 218.87 sedangkan T tabel dengan selang kepercayaan 95 % dan $n = 6$ yaitu 2.44691. Sehingga didapat kesimpulan : H_0 ditolak, dengan kata lain H_1 diterima artinya ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb air di kedua lokasi tersebut.

Sedangkan pada analisa data untuk kandungan Pb di sedimen yang dihitung dengan uji T dengan hipotesa ; H_0 : Tidak ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb sedimen di kedua lokasi tersebut; H_1 : Ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb sedimen di kedua lokasi tersebut. Di dapat hasil T hitung sebesar 1.185 sedangkan T tabel dengan selang kepercayaan 95 % dan $n = 6$ yaitu 2.44691. Sehingga di dapat kesimpulan : H_0 ditolak, dengan kata lain H_1 diterima artinya ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb sedimen di kedua lokasi tersebut

Dari data analisa diatas dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb air dan sedimen di kedua lokasi tersebut.

4.4 Kandungan Timbal (Pb) pada Akar dan Buah *Avicennia alba*

Pengukuran kandungan Timbal (Pb) pada akar dan buah *Avicennia alba* dilakukan pada 6 (enam) stasiun yaitu 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya dan 3 (tiga) stasiun di kawasan mangrove Kedawang, kota Pasuruan. Masing-masing stasiun diambil 2 titik lokasi untuk pengambilan sampel akardan buahA. *Alba*. Hasil analisa laboratorium pengukuran kandungan logam berat Timbal (Pb) pada masing-masing stasiun dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil rerata kandungan logam berat timbal (Pb) pada akar dan buah *Avicennia alba* yang tumbuh di kawasan mangrove Gunung Anyar dan Kedawang

Stasiun	Satuan	Gunung Anyar		Kedawang	
		Akar	Buah	Akar	Buah
1	ppm	4,90	0,40	3,29	0,24
2	ppm	3,74	0,55	1,85	0,16
3	ppm	5,45	0,34	3,85	0,34
Rata-rata		4,70	0,43	2,99	0,25

***Sumber data : Wilujeng (2013)**

Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemudian diserap oleh organisme yang hidup di perairan tersebut (Defew *et al.*, 2004). Berdasarkan hasil pengukuran kandungan logam berat Timbal (Pb) pada setiap stasiun menunjukkan bahwa kandungan logam Timbal (Pb) pada akar dan buah di kawasan mangrove Gunung Anyar lebih besar dibandingkan di kawasan mangrove Kedawang. Hal ini disebabkan karena aktivitas kehidupan manusia

yang terjadi di kawasan mangrove Gunung Anyar sangat tinggi dibandingkan dengan kawasan mangrove Kedawang. Proses industrialisasi khususnya kawasan SIER tidak dapat lepas dari pengaruh negatif yang ditimbulkannya, diantaranya dihasilkan bahan sisa industri yang berbentuk padat maupun cair. Beberapa industri yang berada di kawasan SIER merupakan industri yang memproduksi baterai dengan penggunaan timbal metalik dan komponen-komponennya (Fardiaz, 2005), serta industri yang memproduksi cat, dimana hasil limbah tersebut merupakan penyebab utama peningkatan kadar Pb dalam perairan (Wibowo, 2010). Kawasan mangrove Gunung Anyar merupakan kawasan yang dialiri sungai Kebon Agung, dimana sungai tersebut mengalir melewati kawasan pemukiman penduduk, kawasan industri dan tambak. Karena melewati kawasan-kawasan tersebut maka sungai Kebon Agung menerima berbagai pembuangan limbah, baik limbah domestik (rumah tangga) yaitu dari perkampungan, rumah sakit dan sebagainya, serta limbah non domestik yaitu pabrik, perikanan (tambak), transportasi dan lain-lain, sehingga sungai yang terdapat di daerah ini tercemar sehingga mengakibatkan keseimbangan ekosistem di daerah Gunung Anyar terganggu (Kuspriyana, 2005).

Pencemaran yang terjadi di kawasan mangrove Gunung Anyar disumbang oleh beberapa aktivitas manusia, yaitu aktivitas manusia di bidang industri yang berada di kawasan SIER dimana aktivitas tersebut menghasilkan limbah yang dibuang di sepanjang aliran sungai Kebon Agung. Selain itu, kawasan tersebut dekat dengan aktivitas tambak, sehingga limbah dari pakan, kotoran turut menyumbang hasil logam berat Pb yang kemudian diserap oleh akar *A. alba*. Hal tersebut didukung dengan hasil kandungan Pb pada air dan sedimen dikawasan mangrove Gunung Anyar mempunyai kandungan Pb lebih tinggi dibandingkan dengan kawasan mangrove Kedawang. Hasil pengukuran kandungan logam berat Pb pada jaringan *Avicennia alba* menunjukkan bahwa kandungan Pb

tertinggi terdapat pada bagian akardi semua lokasi penelitian dengan hasil reratan sebesar 4,70 ppm di kawasan mangrove Gunung Anyar dan 1,50 ppm di kawasan mangrove Kedawang (kontrol). Sedangkan kandungan Pb pada bagian buah di kawasan mangrove Gunung Anyar diperoleh hasil reratan sebesar 0,43 ppm dan 0,25 ppm di kawasan mangrove Kedawang (kontrol). Sedangkan di kawasan mangrove Desa Kedawang terdapat kandungan Pb disebabkan adanya aktivitas manusia berupa banyaknya pemukiman penduduk yang berada dekat di kawasan tersebut, juga terdapat tempat pengasapan ikan dan tempat pemberhentian kapal-kapal yang digunakan sebagai alat transportasi pencari ikan.

Pemanfaatan buah mangrove sebagai bahan makanan sudah menjadi kebiasaan masyarakat pesisir sejak lama. Buah *A. alba* juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan alternatif karena tepung buah mangrove mempunyai kandungan karbohidrat lebih tinggi dari pada beras, sehingga dapat diolah menjadi keripik (Haryono, 2004). Berdasarkan hasil reratan kandungan logam berat Pb pada buah *A. alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar sebesar 0,43 ppm dan kawasan mangrove Kedawang sebesar 0,25 ppm, menurut Standar Nasional Indonesia tahun 2009 untuk batas maksimum cemaran logam berat Pb dalam pangan khususnya buah dan hasil olahannya sebesar 0,5 ppm, sedangkan untuk tepung terigu sebesar 1,0 ppm. Hasil tersebut menunjukkan, kandungan Pb pada buah *A. alba* di kedua lokasi penelitian masih di bawah batas maksimum, tetapi kandungan Pb pada buah *A. alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar hampir mendekati batas maksimum untuk baku mutu buah.

Secara alami sumber Pb berasal dari akibat erosi batuan mineral, partikel di udara yang dibawa hujan dan secara non alami akibat aktivitas manusia seperti limbah industri (Panjaitan, 2009). Umumnya tumbuhan akan menyerap unsur-

unsur hara yang larut dalam air maupun dari tanah melalui akarnya. Akar tanaman di dalam tanah akan mengabsorpsi ion dari media yang kompleks berupa ion hara esensial, selain itu akar tanaman juga akan mengabsorpsi ion non-esensial (Pb) dan senyawa organik (Fitter dan Hay, 1991). Besarnya kandungan logam berat di bagian akar diduga karena lebih banyak variasi dan interaksi dengan sedimen yang banyak mengandung logam berat karena proses pengendapan (MacFarlane *et al.*, 2003). Hal ini sesuai dengan pendapat Lakitan (2001), dimana unsur hara (logam berat Pb) dapat berhubungan dengan permukaan akar melalui 3 cara, yakni secara difusi dalam larutan tanah, secara pasif terbawa aliran air tanah dan arena akar berhubungan langsung dengan unsur hara di dalam matrik tanah. Jika logam berat yang berasal dalam tanah 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 glukosida yang berfungsi mengikat logam dan dikumpulkan ke jaringan tubuh kemudian ditransportasikan ke batang, daun dan bagian lainnya, sedangkan ekskresinya terjadi melalui transpirasi (Ali dan Rina, 2010). Pernyataan tersebut dibuktikan dari hasil riset Miller *et al.*, (2008) yang menunjukkan bahwa bahan pembenah khelate dapat memacu ketersediaan Pb dalam tanah dan meningkatkan penyerapannya oleh tanaman ke dalam akar dan batangnya.

Jenis logam sangat mempengaruhi kemampuan tanaman untuk melakukan lokalisasi. Kemampuan tanaman melokalisasikan logam ini menjadi hal yang sangat penting, karena hal ini menggambarkan kemampuan tanaman untuk dapat mentoleransi dan melakukan detoksifikasi terhadap daya racun logam berat. Semakin terhambatnya translokasi logam dari akar ke dalam jaringan tanaman, maka semakin mudah tanaman melakukan detoksifikasi. Kemampuan toleransi dan detoksifikasi yang dimiliki oleh *A. alba* dilakukan dengan

mengakumulasi sebagian besar logam berat di dalam akar (Hall, 2002). 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 (Baker dan Walker, 1990 dalam MacFarlane *et al.*, 2003). Pernyataan tersebut diperjelas oleh Mochdor *et al.*, (2005), dimana logam akan terakumulasi pada tumbuhan setelah membentuk kompleks dengan unsur atau senyawa lain, salah satunya fitokhelatin yang tersusun dari beberapa asam amino seperti sistein dan glisin. Fitokhelatin berfungsi membentuk kompleks dengan logam berat dalam tumbuhan dan berfungsi sebagai detoksifikasi terhadap tumbuhan dari logam berat, jika tumbuhan tidak bias mensintesis fitokhelatin menyebabkan terhambatnya pertumbuhan dan berujung pada kematian. Berdasarkan hasil pengukuran kandungan Pb pada akar *Avicennia alba*, maka dapat dijadikan sebagai bioindikator logam berat Pb sehingga dapat dijadikan acuan level pencemaran lingkungan (MacFarlane *et al.*, 2003).

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

Berdasarkan data pengukuran konsentrasi logam berat Timbal (Pb) pada sedimen, akar dan buah dapat dihitung nilai faktor biokonsentrasi (BCF) dan faktor translokasi (TF). Faktor biokonsentrasi (BCF) adalah perbandingan antara konsentrasi logam di akar dan buah dengan konsentrasi di sedimen dikenal dengan *Bioconcentration Factor* (BCF). Sedangkan nilai TF diperoleh dari perbandingan konsentrasi logam berat Pb pada buah dan akar. Melalui hasil

analisis kandungan logam berat Pb pada masing-masing lokasi, baik di kawasan mangrove Gunung Anyar maupun di kawasan mangrove Kedawang dapat dihitung biokonsentrasinya untuk melihat sejauh mana *Avicennia alba* dalam menyerap logam berat tersebut. Kemampuan tumbuhan untuk mentoleransi dan mengakumulasi logam berat dengan menggunakan faktor tersebut, dapat digunakan untuk menentukan status tumbuhan sebagai fitoekstraksi dan fitostabilisasi (Lorestani *et al.*, 2011). Tabel 11 dibawah ini menyajikan nilai faktor biokonsentrasi Pb dari sedimen ke akar *Avicennia alba* di kedua lokasi penelitian, yaitu kawasan mangrove Gunung Anyar (tercemar) dan kawasan mangrove Kedawang (kontrol).

Tabel 11. Nilai Faktor Biokonsentrasi Pb dari Sedimen ke Akar *Avicennia alba*.

Stasiun	Gunung Anyar			Kedawang		BCF
	Konsentrasi Pb pada Akar (ppm)	KonsentrasiPb pada Sedimen (ppm)	BCF	Konsentrasi Pb pada Akar (ppm)	KonsentrasiPb pada Sedimen (ppm)	
1	4,90	10,72	0,46	3,29	2,62	1,26
2	3,74	12,04	0,31	1,85	2,08	0,89
3	5,45	11,99	0,45	3,85	3,74	1,03
Rata-rata	4,70	11,58	0,41	2,99	2,81	1,06

Perhitungan faktor biokonsentrasi dilakukan untuk mengetahui di bagian mana yang terdapat kandungan timbal (Pb) apakah di jaringan tanaman atau di media. Berdasarkan hasil perhitungan BCF tanaman *A. alba* di akar pada kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,16-0,23 atau berkisar antara 16-23% dengan hasil reratan 0,20 atau 20%, sedangkan nilai BCF di akar pada kawasan mangrove Kedawang lebih tinggi dibandingkan dengan kawasan mangrove Gunung Anyar, yaitu berkisar antara 0,45-0,63 atau berkisar antara 45-63% dengan hasil reratan 0,53 atau 53%. Hal ini diduga pada kawasan mangrove Kedawang, zonasi mangrove lebih rapat serta adanya variasi spesies mangrove, jika dibandingkan dengan kawasan mangrove Gunung Anyar

sehingga daya serap *A. alba* dalam menyerap logam berat Pb lebih rendah. Selain itu, tingginya nilai BCF pada kawasan mangrove Kedawang disebabkan kadar Pb di sedimennya rendah, jika dibandingkan dengan kadar Pb sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar. Dari data faktor biokonsentrasi tersebut menunjukkan bahwa *A. alba* mempunyai kecenderungan untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat yang terdapat dalam ekosistem habitatnya. Perbedaan konsentrasi logam berat pada organ tumbuhan tertentu berkaitan dengan proses fisiologis tumbuhan tersebut (Panjaitan, 2009).

Logam berat pada umumnya ditempatkan dalam akar serta daun, dan mekanisme toleransi ataupun akumulasi logam berat pada beberapa tanaman melibatkan proses pengikatan logam berat potensial pada dinding sel akar atau daun, atau menyimpannya di dalam vakuola sel (Memon, 2001). Thomas dan Eong (1984) dalam Siahaan *et al.*, (2013) berpendapat, bahwa mangrove secara umum memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam berat dan memiliki sistem toleransi tertentu terhadap tingginya konsentrasi logam berat tersebut di lingkungan, namun hanya sedikit yang diketahui tentang mekanisme bioakumulasi dan efek khusus yang ditimbulkan logam berat pada mangrove. Logam berat termasuk timbal yang ada dalam tanah tidak baik untuk pertumbuhan tanaman. Pada kondisi tercemar, secara umum logam berat yang diangkut terbatas hanya sampai pada akar tanaman. Kemungkinan hal ini terjadi karena beberapa mekanisme tidak dikenal yang mencegah pemuatan logam ke dalam xylem secara berlebihan, yaitu mekanisme dari pengikat logam spesifik di dalam akar untuk melindungi tanaman dari konsentrasi logam yang tinggi. (Liao *et al.*, 2000 dalam Reichman, 2000).

Selain BCF, penghitungan nilai Faktor Translokasi (*Translocation Factor/TF*) juga dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanaman untuk mentranslokasi logam dari akar ke seluruh bagian tumbuhan (Mellem *et al.*, 2012). Hasil

perhitungan nilai faktor translokasi di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,12 – 0,29 dengan hasil reratan 0,18. Sedangkan nilai faktor translokasi di kawasan mangrove Kedawang berkisar antara 0,14 – 0,18 dengan hasil reratan 0,17. Dari hasil reratan tersebut menunjukkan nilai TF di kawasan mangrove Gunung Anyar lebih tinggi 0,01 dibandingkan dengan nilai TF di kawasan mangrove Kedawang. Hasil tersebut menunjukkan bahwa logam berat yang terserap di akar baik daerah yang tercemar maupun yang tidak tercemar tidak ada bedanya, karena akar mempunyai sistem penyaringan dalam jaringannya. Nilai FT <1 mengindikasikan bahwa translokasi internal merkuri lebih besar ke bagian akar tanaman dibandingkan dengan bagian pucuk tanaman yaitu buah dan sebaliknya (Mardekawati *et al.*, 2013).

Hal ini membuktikan bahwa tanaman *Avicennia alba* dapat digunakan sebagai tanaman fitoremediasi khususnya pada proses rizofiltrasi yaitu proses pengendapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel di akar, dan proses fitostabilisasi yaitu penempelan zat kontaminan pada akar yang tidak mungkin diserap ke dalam batang tumbuhan. Zat – zat tersebut menempel erat pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media (Khan , 2005). Sedangkan dalam proses fitoekstraksi dimana logam berat diserap oleh akar tanaman dari media sehingga berakumulasi disekitar akar tumbuhan. Mekanisme ini terjadi ketika akar tumbuhan mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar, yang selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan melalui pembuluh xylem. Proses ini cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik seperti logam-logam berat (Erakhrumen & Agbontalor, 2007).

Hasil tersebut berbanding terbalik dengan nilai BCF yang lebih tinggi di kawasan mangrove Kedawang, dikarenakan kadar Pb pada sedimen di kawasan mangrove Kedawang lebih rendah dibandingkan dengan kadar Pb sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar, sehingga hasil BCF di kawasan mangrove

Kedawang tinggi. Kemampuan *A. alba* dalam mentolerasi dan mengakumulasi logam berat dengan menggunakan kedua faktor tersebut dapat dijadikan sebagai fitoekstraksi dan fitostabilisasi tumbuhan. Tetapi dari hasil kedua faktor tersebut belum bisa dijadikan sebagai fitoekstraksi, karena nilai TF dan BCF <1 . Tetapi jika nilai TF <1 dan BCF >1 dapat digunakan sebagai fitostabilisasi (Fitz dan Wenzel, 2002). Dimana fitostabilisasi dapat digunakan sebagai pengurangan perpindahan logam berat ke dalam sedimen melalui proses penyerapan oleh akar tanaman. Tanaman dapat menghentikan daya absorpsi dan akumulasi logam berat melalui akar, atau presipitasi sampai *rhizosphere*. Proses ini akan mengurangi pergerakan logam dan melepaskannya sampai permukaan air, dan juga dapat mengurangi bioavailabilitas logam dalam rantai makanan. Keuntungan yang diperoleh dari penggunaan strategi fitoekstraksi adalah pembuangan muatan logam dari suatu tanaman tidak diperlukan lagi (Susarla *et al.*, 2002). Nilai faktor translokasi (*Translocation Factor*) pada kedua lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai Faktor Translokasi dari akar ke buah *Avicennia alba*.

Stasiun	Gunung Anyar		TF	Kedawang		TF
	Konsentrasi Pb pada Buah (ppm)	Konsentrasi Pb pada Akar (ppm)		Konsentrasi Pb pada Buah (ppm)	Konsentrasi Pb pada Akar (ppm)	
1	0,40	4,90	0,08	0,24	3,29	0,07
2	0,55	3,74	0,15	0,16	1,85	0,08
3	0,34	5,45	0,06	0,34	3,85	0,09
Rata-rata	0,43	4,70	0,10	0,25	2,99	0,24

Menurut Yoon *et al.*, (2006), beberapa tanaman dalam pertumbuhannya akan selalu mengakumulasi logam berat di dalam akar karena akar merupakan organ yang langsung berhubungan dengan tanah, akan tetapi beberapa tanaman akan menghasilkan nilai TF dan BCF yang rendah. Hal itu menunjukkan bahwa tanaman tersebut mempunyai kemampuan yang terbatas dalam

mengakumulasi logam berat dan translokasi dari tanaman itu sendiri. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tanaman *A. alba* mempunyai daya akumulasi logam berat yang terbatas.

Kim *et al.*, (2003) berpendapat bahwa nilai TF rendah dikarenakan rendahnya translokasi logam berat Pb dalam tanaman, diindikasikan bahwa tanaman tersebut khususnya *A. alba* tidak banyak mentransfer Pb dari akar ke bagian yang lain karena sifat Pb yang toksik. Pendapat tersebut diperjelas dari pernyataan Kathiresan dan Bingham (2001), bahwa akar yang ada di dalam tanah akan 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. Akibatnya, jumlah konsentrasi logam berat semakin berkurang dari akar ke buah.

Timbal dapat meracuni proses fotosintesis, sintesis klorofil dan enzim antioksidan. Hal tersebut diperkuat dengan penelitian Hamzah dan Setiawan (2010) yang menyatakan bahwa logam berat Pb merupakan logam yang memiliki daya translokasi rendah. Hasil ini juga menunjukkan bahwa *A. alba* bukanlah tumbuhan hiperakumulator, sebab untuk menjadi tumbuhan hiperakumulator, besar faktor translokasi harus lebih dari satu ($TF > 1$) (Lorestani *et al.*, 2011). Dimana tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang dapat mengakumulasi logam dengan konsentrasi yang sangat tinggi pada jaringan permukaan (aboveground) di habitat alamiahnya (Baker dan Brooks, 1984 dalam Siahaan *et al.*, 2013). Fitter dan Hay (1991), mengemukakan bahwa selain memiliki kemampuan mengakumulasi logam berat di lingkungan pada bagian-bagian tubuhnya, *Avicennia* sp. juga dapat melakukan alokasi dan menurunkan kadar toksisitas logam berat, diantaranya dengan melemahkan efek racun

melalui pengenceran (dilusi), yaitu dengan menyimpan banyak air untuk mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tumbuhan tersebut. Ekskresi juga merupakan upaya yang mungkin terjadi dengan menyimpan materi toksik logam berat di dalam jaringan tubuh yang sudah tua. Logam berat yang masuk ke dalam jaringan akan mengalami pengikatan dan penurunan daya racun karena diolah menjadi persenyawaan yang lebih sederhana.

4.5 Histologi Jaringan *Avicennia alba*

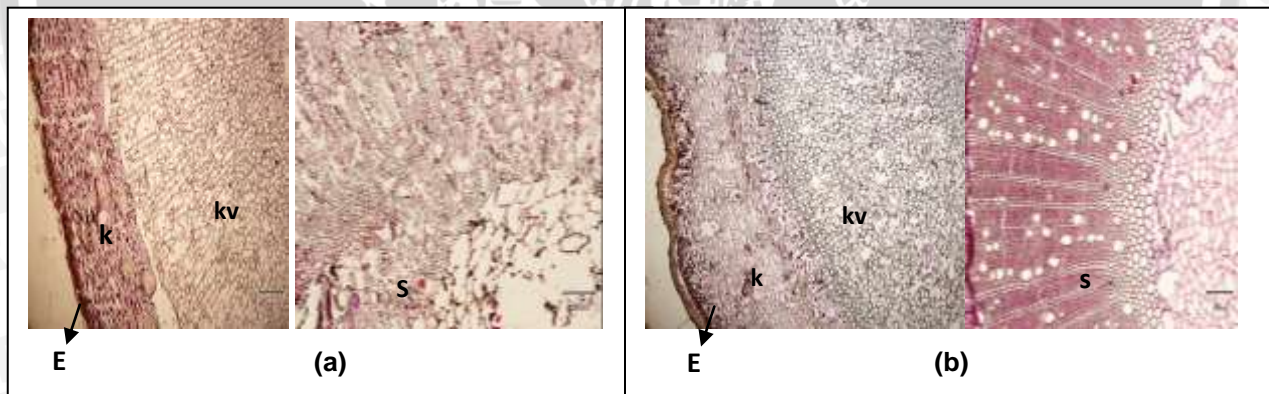
Pengamatan histologi jaringan *A. Alba* dilakukan pada 2 (dua) lokasi yang berbeda, yaitu tanaman *A. alba* yang ada di kawasan mangrove Gunung Anyar, kota Surabaya dan kawasan mangrove Kedawang, kota Pasuruan. Pengamatan histologi dilakukan pada jaringan akar dan buah *A. alba*.

Mangrove memiliki toleransi yang tinggi terhadap logam berat (MacFarlane dan Burchett, 2001) tetapi kontaminasi logam berat secara ekstrim dapat menyebabkan reaksi metabolik yang dapat mengakibatkan kerusakan pada tingkat jaringan selular atau menyebabkan tanggapan *phytotoxic* lebih besar (Vangronsveld dan Clijsters, 1994). Dari hasil reratan kandungan logam berat Pb pada sedimen di kawasan mangrove Gunung Anyar yang diduga sebagai daerah tercemar sebesar 11,58 ppm, nilai ini menurut keterangan di atas masih belum mengakibatkan gangguan keracunan maupun efek biologis, tetapi dapat diduga sudah menimbulkan gejala kerusakan pada beberapa jaringan *A. alba*. Secara fisiologis efek logam seperti Al, Pb, Cd dalam konsentrasi tinggi bagi tumbuhan, memaksa tumbuhan tersebut toleransi dengan membentuk kompleks dengan ion logam itu dan mencegah reaksinya dengan bahan protoplasma yang peka seperti enzim. Sekresi atau penyimpanan logam itu dalam vakuola-vakuola juga dapat menurunkan efek beracunnya. Hal ini bertujuan untuk mengurangi

efek toksisitasnya terhadap pertumbuhan sel, jaringan dan organ-organnya (morfogenesis) (Haryanti *et al.*, 2006).

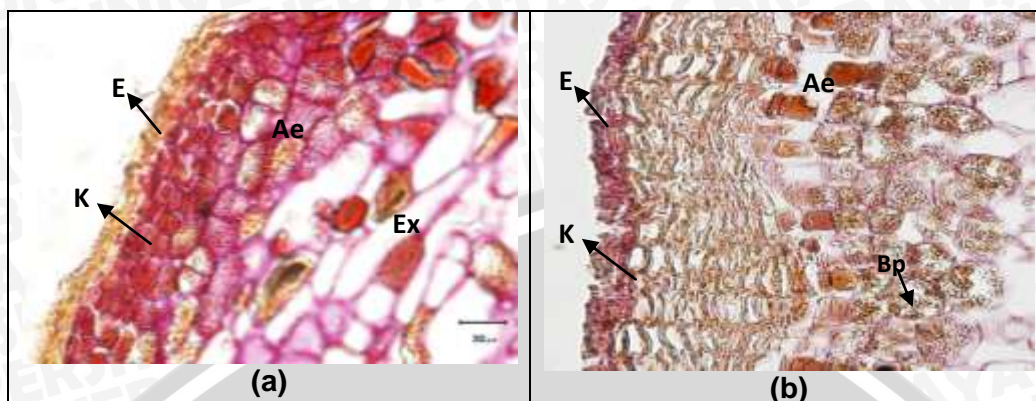
4.5.1 Akar

Bagian mangrove yang paling penting untuk mencegah masuknya pencemar logam berat ke dalam bagian-bagian penting mangrove adalah akar (Tam *et al.*, 1998). Hasil pengamatan histologi pada jaringan akar menunjukkan bahwa struktur dalam akar tersusun atas jaringan-jaringan yang membentuk empat lapisan secara berurutan dari lapisan terluar sampai lapisan paling dalam yaitu epidermis, korteks, endodermis, dan silinder pusat (stele). Selain itu, terlihat bahwa ada perbedaan anatomi akar di kawasan mangrove Gunung Anyar dengan di kawasan mangrove Kedawang. Anatomi akar di kawasan mangrove Gunung Anyar mengalami pelebaran sel jika dibandingkan anatomi akar di kawasan mangrove Kedawang.



Gambar 12. Penampang melintang jaringan akar *A. alba* pada pembesaran 40x. a. perairan tercemar (Gunung Anyar), b. perairan relatif bersih (Kedawang).; E: epidermis, k: korteks, kv: cambium vasikuler, S: stele

a. Epidermis



Gambar 13. Jaringan epidermis *A. alba* pada pembesaran 400x. a. perairan tercemar (Gunung Anyar), b. perairan relatif bersih (Kedawang); E: epidermis, Ex: exodermis, Ae: aerenchyma, Bp: butir pati, K: kolenkim

Jaringan epidermis juga dikenal sebagai epiblem/ lapisan piliferous/ rhizodermis, merupakan lapisan terluar dari akar, umumnya terdiri dari selapis sel hidup dan tersusun rapat, berbentuk pipih, kubus, prisma, atau berlekuk- lekuk. Jaringan ini berfungsi melindungi jaringan yang terletak di dalamnya dari kerusakan fisik atau infeksi patogen. Pada organ yang mengalami pertumbuhan sekunder fungsi perlindungan digantikan oleh jaringan gabus, yang terbentuk kemudian (Wisnuwati, 2011). Dinding sel epidermis tipis dan mudah dilalui oleh air karena tersusun atas selulosa dan pectin. Sel-sel epidermis akan bermodifikasi membentuk rambut-rambut akar (kbg.fpv.ukf.sk, 2013).

Sel-sel epidermis akar berdinding tipis dan biasanya tidak mengandung kutikula, walau kadang dinding luarnya mengalami kutinisasi. Epidermis akar biasanya dijumpai saat akar masih muda. Apabila akar sudah dewasa, epidermisnya telah mengalami kerusakan dan fungsinya digantikan oleh lapisan terluar dari korteks yang disebut eksodermis (Tomayahu, 2012). Pada akar dan batang yang telah mengalami penebalan sekunder, fungsi epidermis diambil alih oleh jaringan di bawahnya yaitu periderm atau jaringan gabus. Epidermis

spermatophyta biasanya hanya terdiri 1 lapis sel. Tetapi pada beberapa tumbuhan tertentu terdapat beberapa lapisan sel epidermis, yang secara morfologi dan fisiologi berbeda dengan jaringan dasar bagian dalam. Lapisan ini secara ontogeni berkembang dari 2 jaringan meristem yang berbeda yaitu lapisan epidermis dari protoderm (1 lapisan terluar) dan lapisan hipodermis/hidrodermis, dari meristem dasar yang terdiri dari beberapa lapisan (Feliscis, 2010). Pendapat tersebut sesuai dengan hasil pengamatan, dimana lapisan epidermis pada kawasan mangrove Gunung Anyar hanya terdiri satu lapisan, sedangkan pada kawasan mangrove Kedawang terdiri dari beberapa lapisan.

Adapun ciri-ciri jaringan epidermis menurut Hidayat (1995) adalah:

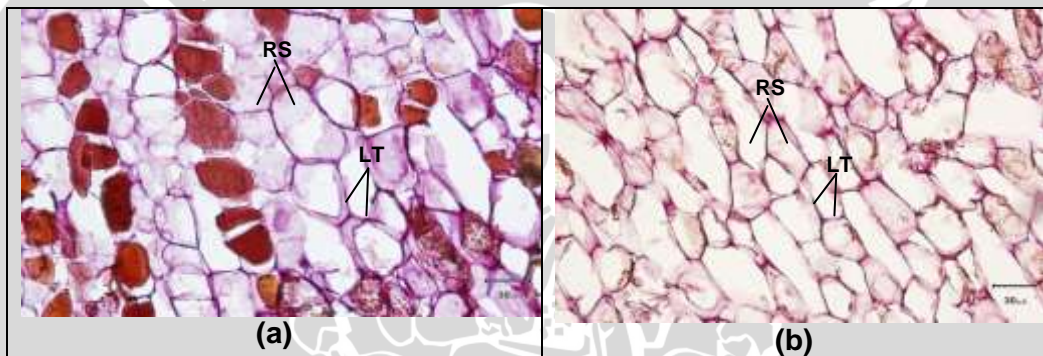
- Tersusun dari sel-sel hidup.
- Terdiri atas satu lapis sel tunggal.
- Beragam bentuk, ukuran dan susunannya, tetapi biasanya tersusun rapat tidak ada ruang antar sel.
- Tidak memiliki klorofil.
- Dinding sel jaringan epidermis bagian luar yang berbatasan dengan udara mengalami penebalan, sedangkan dinding sel jaringan epidermis bagian dalam yang berbatasan dengan jaringan lain dinding selnya tetap tipis.
- Mengalami modifikasi membentuk derivat jaringan epidermis, misal stomata, trikomata (rambut-rambut), spina (duri), filamen, sel kipas, sel kersik (sel silika).

Adapun fungsi epidermis secara umum menurut Hidayat (1995) dapat dijabarkan sebagai berikut,

- Sebagai pelindung terhadap hilangnya air karena adanya penguapan
- Sebagai pelindung terhadap kerusakan mekanik

- Sebagai pelindung terhadap perubahan temperature
- Sebagai pelindung terhadap hilangnya zat- zat makanan
- Pelindung, tidak dapat ditembus air dari luar, kecuali akar yang muda.
- Peresap air dan mineral pada akar yang muda. Oleh karena itu akar yang muda epidermisnya diperluas dengan tonjolan bulu akar.
- Untuk penguapan air yang berlebihan. Bisa melalui evaporasi atau gutasi.
- Tempat difusi O₂ dan CO₂ sewaktu respirasi, terjadi pada epidermis yang permukaannya bergabus

b. Korteks

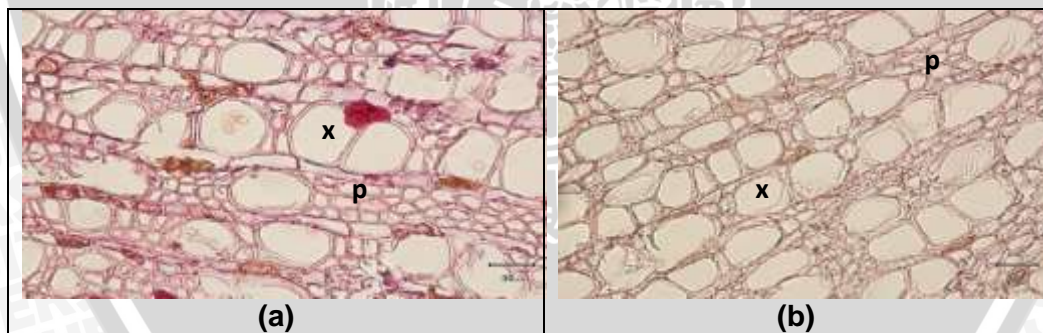


Gambar 14. Jaringan korteks *A. alba* pada pembesaran 400x. a. perairan tercemar (Gunung Anyar), b. perairan relatif bersih (Kedawang). RS : ruang antar sel, LT : lamela tengah

Lapisan sel korteks letaknya langsung di bawah epidermis, sel-selnya tidak tersusun rapat sehingga banyak memiliki ruang antar sel. Lapisan ini berkembang di dalam endodermis yang mengelilingi stele. Biasanya lapisan sel korteks terluar, berdinding tipis dan membentuk rongga yang sangat berguna untuk pertukaran gas ke arah longitudinal. Namun demikian pada beberapa spesies, lapisan luar korteks ini berdinding tebal sehingga jumlah ruang interseluler berkurang. Struktur semacam ini disebut *hypodermis* atau *eksodermis* yang dinding selnya mengandung suberin dan lignin (Handayanto dan Hairiah, 2007). Korteks akar pada umumnya tersusun dari sel-sel parenkim yang kadang-kadang mengandung karbohidrat dan kadang juga mengandung

kristal, dimana sel-sel parenkim berfungsi sebagai jaringan dasar, di daerah perifer kadang dijumpai kolenkim yang berkelompok atau membentuk lingkaran tertutup. Jaringan sklerenkim dapat berupa serabut yang berkelompok dan sklereida yang soliter. Dijumpai pula adanya berbagai macam idioblast, pada beberapa tumbuhan parenkim korteks bagian tepi mengandung kloroplas sehingga mampu mengadakan proses fotosintesis, parenkim ini disebut klorenkim. Bagian korteks yang paling dalam disebut floetherma. Pada batang dikotil muda biasanya lapisan floetherma berisis butir-butir pati sehingga sering disebut sarung tepung. Pada beberapa tumbuhan dikotil adapula yang floethermanya mengalami penebalan membentuk pita Caspary sehingga lapisan ini disebut endodermis. Lapisan terluar dari korteks kadang berdiferensiasi menjadi lapisan eksodermis yang dinding selnya mengalami penebalan dengan zat suberin, sedangkan lapisan terdalam dari korteks biasanya berdiferensiasi menjadi endodermis (Tomayahu, 2012).

c. Kambium vasikuler



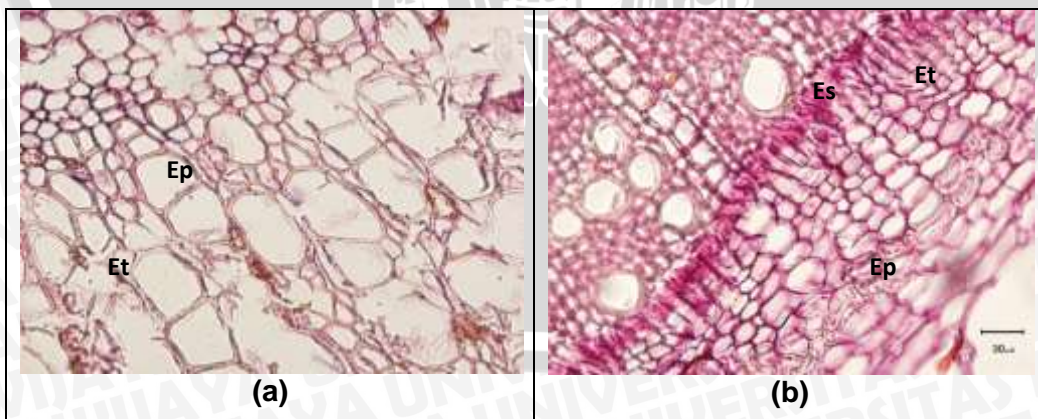
Gambar 15. Jaringan kambium vasikuler *A. alba* pada pembesaran 400x. a. perairan tercemar (Gunung Anyar), b. perairan relatif bersih (Kedawang), x: xylem, p: floem

Untuk semua akar jenis tumbuhan perennial yang sudah tumbuh bertahun-tahun akan menunjukkan peningkatan diameter pada akar tersebut yang terdapat di lapisan kambium. Lapisan kambium terbentuk ditandai dengan membentuk untaian jaringan floem di dalam dan jaringan xylem di luar pada akar muda.

Lapisan kambium akan menghasilkan xilem kedua di dalam permukaan dan floem kedua di luar permukaan yang masih dalam lingkaran stele. Pembentukan jaringan kedua di cambium akar biasanya akan berlangsung cepat pada lapisan cambium dalam menuju untaian *primary phloem*. Karena perbedaan pertumbuhan tersebut, lapisan cambium di akar secara cepat akan membentuk lingkaran sejati mengelilingi stele (Meyer *et al.*, 1960)

Pada tumbuhan dikotil di antara xilem dan floem, terdapat kambium vasikuler, sebuah jaringan meristematik. Kambium tumbuh ke arah luar membentuk floem sekunder, sedangkan ke arah dalam membentuk xilem sekunder. Akibat pertumbuhan tersebut, akar akan tumbuh membesar dan melebar di dalam tanah. Permukaan luar akar yang dewasa menebal dengan lapisan kambium kayu berada di bagian luar. Lapisan tersebut menggantikan fungsi epidermis dalam melindungi jaringan di bawahnya. Kambium kayu berasal dari lapisan perisikel. Perbedaan lain antara akar dikotil dan akar monokil, yaitu akar dikotil tidak memiliki empulur, serta xilemnya terletak di pusat akar, berselang-seling dengan floem (Budiyanto, 2013).

d. Endodermis



Gambar 16. Jaringan endodermis *A. alba* pada pembesaran 400x. a. perairan tercemar (Gunung Anyar), b. perairan relatif bersih (Kedawang), Ep: Endodermis primer, Es: Endodermis sekunder, Et: Endodermis tersier

Jaringan ini merupakan satu lapisan sel yang mengelilingi jaringan *vascular*. Sel muda lapisan endodermis yang berdekatan dengan *apical* meristem mengandung banyak *cytoplasmic*. Sebagai ciri pertama bahwa perkembangan selnya terdapat pembentukan lingkaran *casparian* yang mengelilingi dinding sel dan masih ada kemungkinan untuk berkembang sampai kurang lebih sepertiga dari total luasannya. Lingkaran *casparian* ini lebih banyak mengandung lignin dan suberin daripada dinding sel, isi sel sangat kuat terikat dalam sel dan biasanya tidak dapat digantikan oleh adanya plasmolysis. Dengan demikian endodermis dapat menghambat difusi baik air ataupun larutan dari *free space* ke *stele*. Selanjutnya penimbunan suberin terjadi pada dinding (bagian dalam) sel endodermis. Setelah itu penebalan masif tersier terjadi terutama pada dinding sel ke arah tangensial ((Handayanto dan Hairiah, 2007).

Menurut (Tomayahu, 2012), endodermis tersusun oleh satu lapis sel yang berbeda secara fisiologi, struktur dan fungsi dengan lapisan sel disekitarnya. Berdasarkan perkembangan dinding selnya, endodermis dapat dibedakan menjadi :

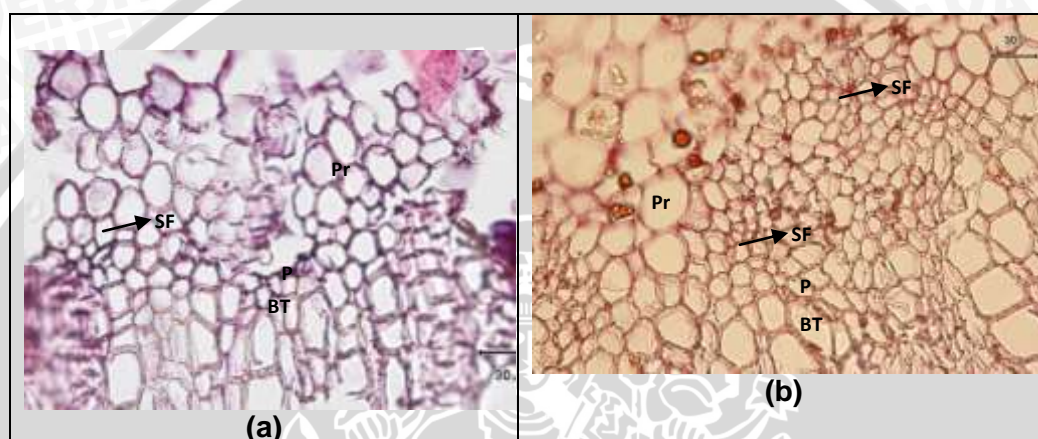
- endodermis primer, yang mengalami penebalan berupa titik-titik Caspary dari suberin dan kutin
- endodermis sekunder, apabila penebalan berupa pita Caspary dari zat lignin
- endodermis tersier, apabila penebalan membentuk huruf U yang mengandung lapisan suberin dan selulosa pada dinding radial dan tangensial bagian dalam. Di antara sel-sel endodermis terdapat beberapa sel yang tidak mengalami penebalan dinding, yaitu sel-sel yang terletak berhadapan dengan protoxilem. Sel-sel ini disebut sel peresap.

Jaringan gabus (periderm) terdiri atas sel-sel gabus yang dihasilkan oleh kambium gabus (felogen), berfungsi menutupi akar, batang dan cabang

dari gangguan fisik, menggantikan fungsi epidermis sebagai pelindung. Jaringan gabus terdapat pada tumbuhan dikotil (Wisnuwati, 2011).

e. Floem

Pada daerah di mana sel-sel memanjang, jaringan akar mulai mengalami diferensiasi membentuk korteks, mengelilingi stele bagian dalam, yang mengandung jaringan konduktif yaitu *xylem* dan *phloem* (Yulipriyanto, 2010).



Gambar 17. Jaringan floem *A. alba* pada pembesaran 400x. a. perairan tercemar (Gunung Anyar), b. perairan relatif bersih (Kedawang), BT: sel buluh tapis, P: sel pengiring, Pr: Parenkim, SF: serabut floem

Jaringan floem termasuk jaringan kompleks dan berfungsi sebagai jaringan pengangkut atau jaringan yang menjadi saluran untuk mengantarkan gula dan produk organik lainnya dari pucuk ke akar tanaman (Yulipriyanto, 2010). Berbeda dengan xilem, zat yang diangkut umumnya senyawa organik hasil fotosintesis yang terjadi di daun. Floem terdiri dari pembuluh tapis, sel tapis, parenkim, serat dan sel pengirim. Komponen pembuluh tersusun dari sel-sel panjang yang ujung-ujungnya menyatu sehingga membentuk pembuluh. Dinding batas kedua sel berlubang-lubang seperti tapisan, melalui lubang-lubang tersebut protoplasma kedua sel dapat berhubungan secara langsung. Komponen pembuluh tapis (floem) merupakan sel-sel yang hidup. Suatu keistimewaan dari bagian tersebut adalah bahwa nukleusnya hilang setelah sel dewasa sehingga sel-sel komponen pembuluh tapis berhubungan dengan satu atau beberapa sel

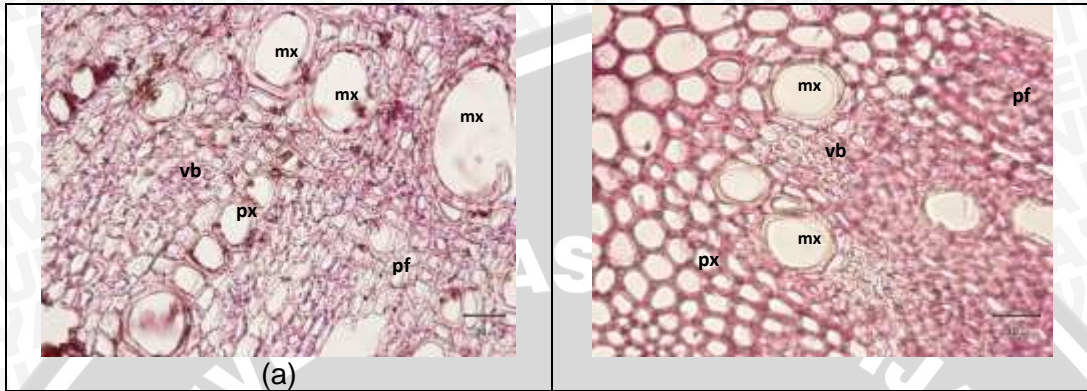
pengiring, di antara keduanya dihubungkan oleh sejumlah plasmodesmata. Sel pengiring sangat erat hubungannya dengan pembuluh tapis, apabila pembuluh tapis mati, maka sel pengiring akan mati. Hal itu terjadi karena keduanya terbentuk dari sel induk yang sama. Jaringan xilem dan floem membentuk satu kesatuan fisiologis. Pada umumnya, xilem dan floem berdekatan letaknya dan dapat dengan mudah dibedakan dari bagian yang lain. Kedua jaringan kompleks tersebut membentuk jaringan pengangkut (Wisnuwati, 2011).

Menurut Mohr dan Schopfer (1995), jaringan floem berfungsi mengangkut hasil fotosintesis berupa karbohidrat ke seluruh bagian tumbuhan. Seperti halnya jaringan xilem, terdapat dua jenis floem berdasarkan asal pertumbuhannya yaitu floem primer dan floem sekunder. Dalam jaringan floem, terdapat beberapa jenis sel, di antaranya sebagai berikut.

- Sel buluh tapis. Sel buluh tipis merupakan adalah sel-sel yang berbentuk tabung dengan bagian ujung-ujung yang bertemu sehingga membentuk sebuah saluran. Pada bagian ujung yang bertemu tersebut, terdapat lubanglubang. Bentuknya yang menyerupai saluran panjang dengan lubang-lubang tersebutlah yang membuat sel-sel ini disebut buluh tapis.
- Sel pengiring. Sel pengiring merupakan sel hidup berbentuk silinder yang berada di dekat buluh tapis. Sel tersebut memiliki protoplas yang pekat. Sel buluh tapis adalah sel hidup yang sudah berdiferensiasi sehingga berspesialisasi menjadi sel pembuluh. Sel buluh tapis hidup tanpa inti sel. Sel pengiring dan sel buluh tapis membentuk satu kesatuan fisiologis sehingga jika sel buluh tapis tidak berfungsi, sel pengiringnya pun akan mati.
- Serabut floem. Seperti pada serabut xilem, serabut floem juga berfungsi menopang floem. Serabut floem terdiri atas sel-sel yang memanjang dan tersusun rapat. Serabut floem memiliki dinding sel yang menebal.

- Parenkim. Parenkim merupakan sel-sel hidup dengan vakuola yang melebar berisi makanan cadangan atau bahan-bahan sekresi.

f. Xilem



Gambar 18. Jaringan xilem *A. alba* pada pembesaran 400x. a. perairan tercemar (Gunung Anyar), b. perairan relatif bersih (Kedawang); mx: metaxilem, px: protoxilem, vb; vascular bundle, pf: floem fibra

Xilem merupakan jaringan kompleks yang berfungsi sebagai jaringan pengangkut air dan garam mineral dari akar ke daun. Sel-sel jaringan tersebut panjang-panjang menyerupai serat. Berdasarkan sifat hubungan sel-selnya, dikenal dua macam xilem, yaitu trakea dan trakeid. Dikatakan trakea, jika dinding batas di antara sel-sel penyusunnya telah hilang dan yang lain terdapat lempeng perforasi. Dikatakan trakeid, jika batas di antara sel – sel penyusunnya tampak berlubang– lubang yang disebut noktah (pit). Pada umumnya, dinding–dinding samping juga bernoktah (Wisnuwati, 2011).

Menurut Mohr dan Schopfer (1995), Jaringan xilem adalah jaringan pembuluh yang mengangkut mineral dan air dari dalam tanah ke daun untuk diolah menjadi bahan makanan melalui proses fotosintesis. Pada tumbuhan, terdapat dua jenis xilem, yaitu xilem primer dan xilem sekunder. Xilem primer dibentuk pada pertumbuhan awal oleh jaringan meristem primer (prokambium). Sementara itu, xilem sekunder terbentuk dari hasil pertumbuhan kambium (meristem sekunder). Dalam jaringan xilem, terdapat beberapa jenis sel, di antaranya sebagai berikut.

- Sel-sel yang terdapat di dalam sistem trakea. Sel-sel pada sistem trakea berbentuk tabung yang disebut sel trakea. Satu sel tabung dengan sel tabung berikutnya terhubung di bagian ujungnya. Dinding sel di bagian ujung tersebut hilang sehingga keseluruhan sel berbentuk seperti tong

Selain sel trakea, terdapat sel yang lebih pendek dan runcing di ujungujungnya yang disebut sel trakeid. Dinding sel trakeid berlubang-lubang. Lubang-lubang tersebut disebut noktah. Dinding dalam sel-sel sistem trakea memiliki lignin atau zat kayu sehingga strukturnya kokoh.

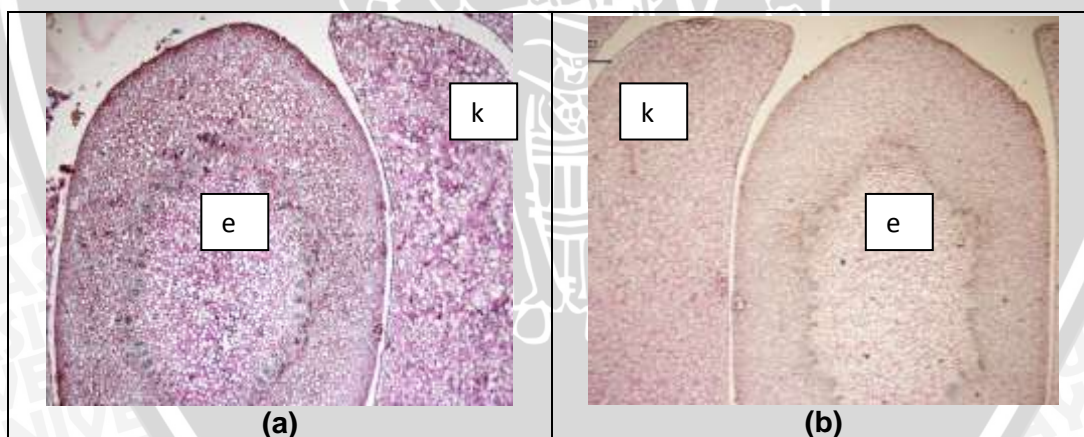
- Serabut xilem. Serabut xilem merupakan sel-sel panjang dengan ujung yang runcing. Dinding sel serabut xilem juga mengandung lignin dan noktah-noktah yang lebih sempit dibandingkan dengan trakeid.
- Parenkim. Sel-sel parenkim yang berada di xilem memiliki vakuola yang besar dan berisi makanan cadangan, tanin, getah, dan kristal.

Pembuluh angkut xylem dan floem merupakan bagian dari jaringan akar yang paling menjadi titik perhatian, ini karena keduanya terlibat dalam proses pengangkutan unsur hara dari sedimen ke seluruh bagian tumbuhan dan mengangkut hasil fotosintesis (Siahaan *et al.*, 2013). Berdasarkan Gambar 12, menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan struktur jaringan tanaman *A. alba* yang tumbuh di kawasan mangrove Gunung Anyar yang tercemar logam berat Pb dengan tanaman yang tumbuh di kawasan mangrove Kedawang yang relatif bersih dari pencemaran logam berat Pb. Pada jaringan epidermis mempunyai bentuk yang sama, jaringan korteks, endodermis serta stele tidak ada perubahan bentuk, sehingga tidak ada kerusakan yang terjadi pada jaringan akar. Sehingga diasumsikan akumulasi logam berat Pb yang terdapat pada akar masih belum berpengaruh terhadap kerusakan jaringan akar *A. alba*. Dimana logam berat Pb yang diserap oleh akar, kemudian langsung ditranslokasikan ke jaringan tumbuhan lainnya sehingga tidak mengendap terlalu lama di akar. Menurut

Sasmitamihardja dan Siregar (1996), bahwa ada tiga jalan yang dapat ditempuh oleh air dan ion-ion yang terlarut bergerak menuju sel-sel xylem dalam akar, yaitu (1) melalui dinding sel (apoplas) epidermis dan sel-sel korteks, (2) melalui system sitoplasma (simplas) yang bergerak dari sel ke sel, dan (3) melalui sel hidup pada akar, dimana sitosol dari setiap sel membentuk suatu jalur.

4.5.2 Buah

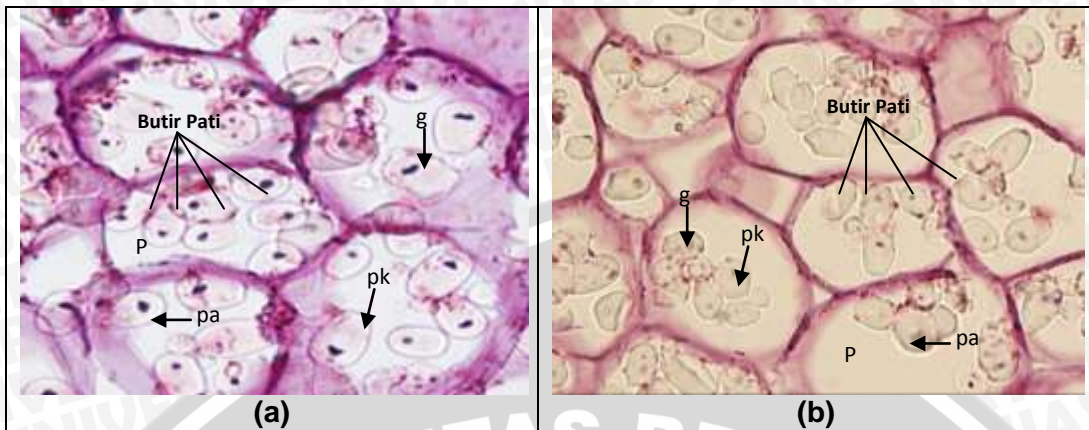
Menurut Global.britannica (2013), pengelompokan buah berdasarkan histologi dinding buah ada dua, yaitu buah kering dan buah berdaging. Dinding buah, yang berasal dari perkembangan dinding bakal buah pada bunga, dikenal sebagai pericarp (*pericarpium*). Perikarp ini sering berkembang lebih jauh, sehingga dapat dibedakan atas dua lapisan atau lebih. Di bagian luar disebut dinding luar, eksokarp (*exocarpium*), atau epikarp (*epicarpium*); yang di dalam disebut dinding dalam atau endokarp (*endocarpium*); serta lapisan tengah (bisa beberapa lapis) yang disebut dinding tengah atau mesokarp (*mesocarpium*).



Gambar 19. Penampang melintang jaringan buah *A. alba* pada pembesaran 40x. a. perairan tercemar(Gunung Anyar), b. perairan relatif bersih (Kedawang); k. kotiledon, e. embrio

Berikut hasil pengamatan histologi dari bagian-bagian buah *Avicennia alba* terutama pada bagian kotiledon dan embrio :

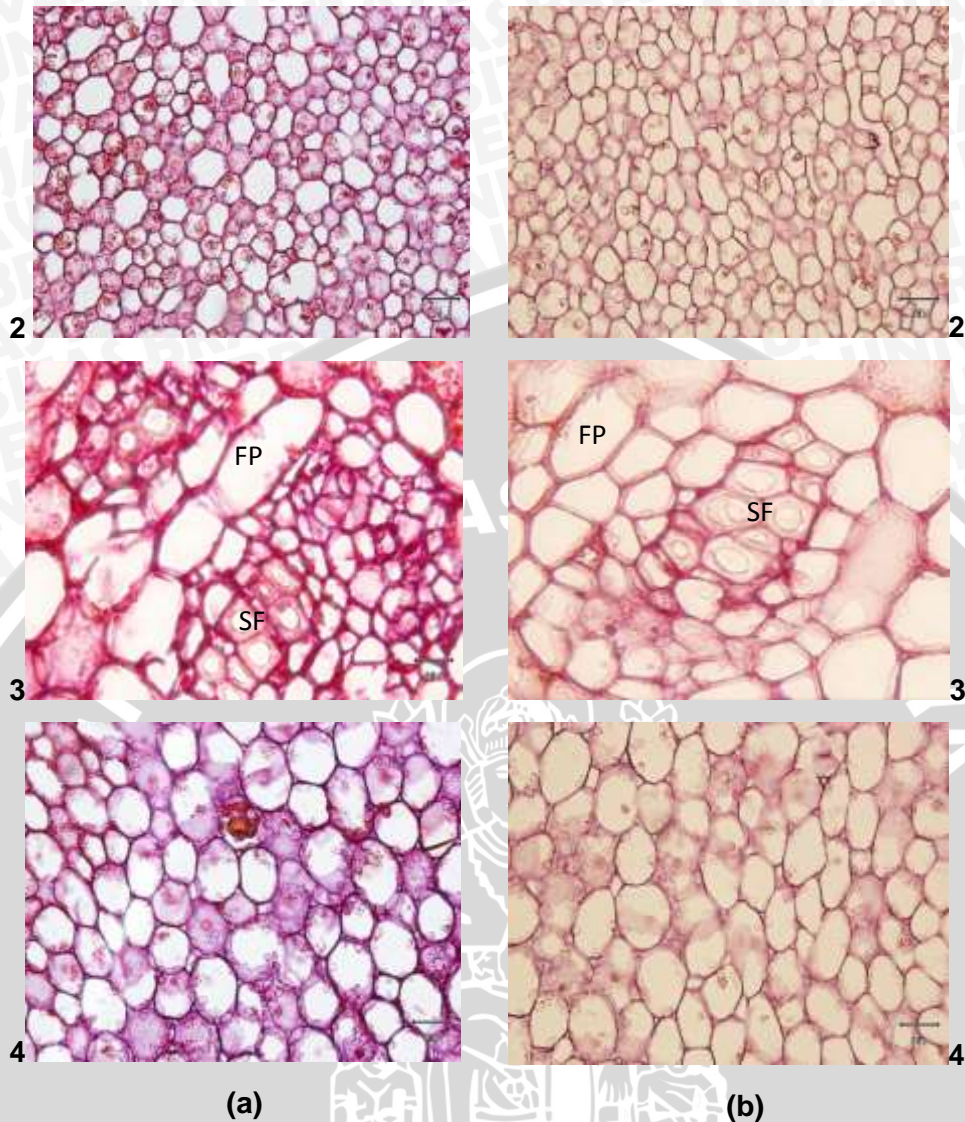
a. Kotiledon



Gambar 20. Penampang melintang jaringan kotiledon buah *A. alba* pada pembesaran 400x. a. perairan tercemar (Gunung Anyar), b. perairan relatif bersih (Kedawang); P: sel parenkim, pa: protein amorf, pk: protein Kristal, g: globoid

b. Embrio





Gambar 21. Penampang melintang jaringan embrio buah *A. alba* pada pembesaran 400x (1, 2 dan 4) dan pembesaran 1000x (3), a. perairan tercemar (Gunung Anyar), b. perairan relatif bersih (Kedawang); 1: Inner Epidermis (IE), 2 dan 4: sel parenkim, 3: serat floem (SF) dan floem parenkim (FP),

Di dalam sel buah *A. alba* terdapat benda-benda nonprotoplasmik (tak hidup) atau disebut benda ergastik. Benda-benda ini terdiri dari substansi yang bersifat cair maupun padat dan merupakan hasil dari metabolisme sel. Adapun benda ergastik yang bersifat padat adalah amilum (pati), aleuron, kristal Ca-oksalat, kristal kersik, sistolit, dll. Sedang benda ergastik yang bersifat cair atau lendir dari hasil tambahan metabolisme yang bersifat organik atau anorganik

terdapat di dalam cairan sel berupa zat-zat yang larut di dalamnya, antara lain asam organik, karbohidrat, protein, lemak, gum, lateks tanin, antosian alkaloid, minyak eteris atau minyak atsiri dan hars, yang ditemukan dalam sitoplasma atau dalam vakuola (Purnobasuki, 2011).

Pada pengamatan anatomi buah *A. alba* terdapat butiran pati di dalamnya. Jumlah butir pati di kawasan mangrove Gunung Anyar lebih sedikit jika dibandingkan dengan kawasan mangrove Kedawang. Jika diamati dengan perbesaran 1000x nampak butir-butir pati di kawasan mangrove Gunung Anyar yang diindikasikan sebagai daerah tercemar mengalami pelebaran sel dan ukurannya selnya lebih besar, jika dibandingkan dengan kawasan mangrove Kedawang yang dijadikan sebagai daerah kontrol. Pati itu sendiri merupakan zat ergastik yang paling umum. Pati juga menjadi bahan utama yang dihasilkan oleh tumbuhan untuk menyimpan kelebihan glukosa (sebagai produk fotosintesis) dalam jangka panjang (Share.pdfonline, 2013). Lebih lanjut Purnobasuki (2011) akan menjelaskan mengenai zat ergastik yang bersifat padat yaitu :

1. Amilum

Amilum (pati) merupakan butir-butir tepung yang dapat disimpan sebagai cadangan makanan. Pada setiap jenis tumbuhan, butir amilum mempunyai bentuk dan susunan tertentu, namun pada umumnya berbentuk bundar atau lonjong. Adanya perbedaan bentuk dan susunan butir amilum ini karena adanya hilus (titik permulaan terbentuknya butir tepung) di setiap butir tepung. Berdasarkan letak hilus, butir amilum dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: (a) amilum yang *konsentris* (hilus terletak di tengah); (b) *eksentris* (hilus terletak di tepi). Sedang berdasarkan jumlah hilus dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu: (a) *monadelph* (hilus hanya satu); (b) *diadelph* atau setengah majemuk (hilus berjumlah dua yang masing-masing dikelilingi oleh lamela); dan (c)

poliadelph/majemuk (hilus berjumlah banyak dan tiap hilus dikelilingi oleh lamela) (Gambar 14). Bila jumlahnya sampai berdesakan dalam sel, maka sisi-sisinya membentuk sudut. Pada beberapa tumbuhan seperti jagung dan padi, butir amilum majemuk. Ukuran butir amilum bervariasi. Pada pati kentang misalnya garis tengahnya antara 70-100 mm, pada jagung 12-18 mm.

Dalam amilum terdapat lamela-lamela yang mengelilingi hilus. Adanya lamela-lamela ini disebabkan karena waktu pembentukan amilum, tiap lapisan berbeda kadar airnya sehingga indeks pembiasannya berbeda. Lamela-lamela ini akan hilang apabila dibubuhi alkohol keras, sebab air akan diserap oleh alkohol sehingga indeks pembiasannya menjadi sama. Dibagian tengah amilum kadang-kadang tampak seperti terkerat, peristiwa ini disebut korosi. Hal ini biasa terjadi pada butir-butir amilum dalam biji yang sedang berkecambah. Sedang peristiwa retak di bagian tengah butir amilum dikarenakan kepekatan di bagian tengah butir amilum berkurang.

2. Aleuron dan kristal protein

Di tempat penyimpanan makanan cadangan (misalnya biji) selain amilum terdapat juga protein. Pada waktu biji masih muda, terdapat vakuola berukuran kecil dan berjumlah banyak. Menjelang biji menjadi tua, vakuola menjadi dan besar. Setelah biji mengering, air dalam vakuola menjadi semakin sedikit sehingga konsentrasi zat-zat terlarut di dalamnya (protein, garam dan lemak) semakin besar. Karena peristiwa pengeringan ini maka vakuola pecah menjadi beberapa vakuola kecil-kecil yang berisi protein, garam dan lemak. Kemudian zat-zat tersebut akan mengkristal. Vakuola yang berisi kristal ini disebut aleuron

Sebuah aleuron berisi sebuah atau lebih kristaloid putih telur dan sebuah atau beberapa globoid yaitu bulatan kecil yang tersusun oleh zat fitin (garam Ca- dan Mg- dari asam meseinesit hexafosfor). Butir aleuron dalam endosperm biji

jarak (*Ricinus communis*) mengandung globoid yang terdiri atas garam magnesium dan kalsium dari asam inositol fosfat serta kristaloid. Disamping itu masih terdapat zat putih telur yang amorf (yang bila ditetesi larutan Jodium berwarna kuning coklat).

Pada biji padi dan jagung, butir-butir aleuron terdapat di dalam sel-sel jaringan endosperm yang letaknya paling luar. Lapisan ini disebut lapisan aleuron. Lapisan ini biasanya akan terbuang bila mencuci beras terlalu bersih sebelum dimasak. Pada biji jarak, butir aleuron letaknya tersebar dan berukuran besar.

3. Kristal Ca-oksalat

Kristal merupakan hasil tambahan yang terjadi pada berbagai proses metabolisme. Yang paling sering ditemukan adalah kristal garam kalsium, terutama Ca-oksalat (kalsium oksalat). Kristal Ca-oksalat merupakan hasil akhir atau hasil sekresi dari suatu pertukaran zat yang terjadi di dalam sitoplasma. Ada yang menduga bahwa asam oksalat bebas merupakan racun bagi tumbuhan karenanya diendapkan berupa garam Ca-oksalat. Kristal ini terdapat di dalam plasma atau vakuola sel dan larut dalam asam kuat (HCl dan H₂SO₄). Bentuk dari kristal Ca-oksalat bermacam-macam, ada yang berupa kristal panjang, jika padat serta ditemukan sendiri-sendiri disebut *stiloid*; kristal tunggal besar (daun *Citrus* sp); kecil berbentuk prisma kecil seperti pasir (tangkai daun *Amaranthus*); jarum/*rafida* (daun *Ananas comosus*, daun *Mirabilis jalapa*, batang dan akar *Alöe* sp); bintang/roset (= majemuk) terdapat pada daun *Datura metel*, sisik, pyramid; kristal majemuk dan terhimpun dalam kelompok bulat disebut *drus*; dan sebagainya (Gambar 15 dan 17). Kristal dapat ditemukan dalam sel yang sama rupanya dengan sel sekelilingnya, atau terdapat dalam sel yang khusus, berbeda dari sel lainnya dan disebut *idioblas*.

4. Lainnya

Minyak dan lemak termasuk lipida serta senyawa lain yang bersifat lemak seperti malam, suberin dan kutin juga merupakan zat ergastik. Zat-zat itu langsung dibentuk oleh sitoplasma dan elaioplas. Pada biji, embrio dan sel meristematik umum terdapat bahan cadangan seperti minyak dan lemak.

Seperti yang telah dijelaskan oleh Purnobasuki (2011) buah *A. alba* memiliki zat ergastik yang bersifat cair atau lendir salah satunya adalah protein. Menurut Sutrian (1992) protein tersebut terbagi menjadi dua yaitu protein aktif dan protein pasif. Yang dimaksud dengan protein aktif adalah protein yang membentuk protoplasma, sedangkan protein pasif adalah protein makanan cadangan yang merupakan benda non protoplasmik yang ditemukan dalam vakuola-vakuola sebagai protein amorf ataupun sebagai Kristal, kedua-duanya musti ada sebagai butiran aleuron yang merupakan benda-benda mati yang terdapat di dalam endosperma, perisperma atau embrio dari biji-bijian. Aleuron merupakan protein yang termasuk dalam golongan globulin. Protein amorf yaitu protein yang tidak berbentuk, sedangkan protein kristal memiliki bentuk yang beraturan. Sedangkan protein globoid adalah protein yang banyak mengandung zat phytin, yaitu garam dengan kandungan Ca dan Mg dengan suatu asam. Butir-butir protein selain terdapat dalam vakuola, kadang-kadang terdapat dalam : sitoplasma, plastisida, inti sel (nucleus).

BAB 5

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 yaitu 0,008 ppm, sedangkan untuk kandungan logam berat Pb pada sedimen masih dalam batas yang diijinkan 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 Pb pada buah *Avicennia alba* di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 0,34-0,55 ppm dan di daerah Kedawang berkisar antara 0,16-0,34 ppm.
4. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 31-46% dan di daerah Kedawang berkisar antara 89-126%. Nilai *Translocation Factor* (TF) di kawasan mangrove Gunung Anyar berkisar antara 6-15% dan di daerah Kedawang berkisar antara 7-9%. Berdasarkan hasil tersebut mangrove *Avicennia alba* dapat dijadikan fitoremediasi karena dapat beradaptasi terhadap logam berat.
5. Hasil pengamatan histology pada jaringan akar dan buah dengan pewarnaan HE di kedua lokasi penelitian, terdapat adanya perbedaan struktur jaringan tanaman *A. alba* yang tumbuh di kawasan mangrove Gunung Any: bagai

kawasan tercemar logam berat Pb dengan tanaman yang tumbuh di kawasan mangrove Kedawang yang relatif bersih dari pencemaran logam berat Pb.

6. Pencemaran pada kawasan Gunung Anyar dan Kedawang belum merusak lingkungan karena Pb yang bersifat *mobile*

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini yaitu :

1. Diperlukan penelitian lanjutan dengan pengambilan sampling secara periodik
2. Diperlukan analisa Pb^{2+} agar lebih spesifik
3. Pengamatan histologi perlu dikaji dengan metode pewarnaan yang dapat menunjukkan penyebaran Pb pada suatu jaringan tanaman.



DAFTAR PUSTAKA

- Alberts, B., D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts and J.D. Watson. 1989. *Molecular Biology of the Cell 2nd*, Garland Publ., Inc., New York.
- Adiwijaya, H. 2009. Kondisi Mangrove Pantai Timur Surabaya dan Dampaknya Terhadap Lingkungan Hidup. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.1 Edisi Khusus*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.
- Ali, M dan Rina. 2010. Kemampuan Tanaman Mangrove Untuk Menyerap Logam Berat Merkuri (Hg) Dan Timbal (Pb). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.2 No. 2*
- Amaliyah, S. 2008. Studi Adaptasi Morfologi Pneumatophor *Avicennia Alba* di Kawasan Wonorejo-Surabaya. *Theses Summary*. ITS. Surabaya.
- Amin, B. 1999. Akumulasi dan Distribusi Logam Berat Pb dan Cu Pada Mangrove (*Avicennia marina*) di Perairan Pantai Dumai, Riau. *Jurnal Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro*. 85.
- _____. 2001. Akumulasi dan Distribusi Logam Berat Pb Dan Cu Pada Mangrove (*Avicennia Marina*) Di Perairan Pantai Dumai, Riau. *Laboratorium Kimia Laut, Faperika, Universitas Riau*
- _____. 2002. Distribusi Logam Berat Pb, Cu dan Zn Pada Sedimen Di Perairan Telaga Tujuh Karimun Kepulauan Riau. *Jurnal Natur Indonesia 5(1): 9-16 (2002)ISSN 1410-9379*. *Laboratorium Kimia Laut, Faperika, Universitas Riau*
- Amin, B., A. Ismail, M.S. Kamarudin, A. Arshad, and C.K. Yap. 2005. Heavy Metals (Cd, Cu, Pb and Zn) Concentrations in Telescopium telescopium from Dumai Coastal Waters, Indonesia [ABSTRACT AVAILABLE IN INDONESIAN] *Pertanika Journal. Trop. Agric. Sci.* 28(1): 33 -39 (2005)
- Amin, B.E., M.A. Afriyani, dan Saputra. 2011. Distribusi Spasial Logam Pb dan Cu pada Sedimen dan Air Laut Permukaan di Perairan Tanjung Buton Kabupaten Siak Provinsi Riau. *Jurnal Teknobiologi*, II(1) 2011: 1 – 8 . ISSN : 2087 – 5428
- Amin, B; I. Nurrachmi dan M. Manalu. 2013. Kandungan Logam Berat Pada Air Laut dan Sedimen di Perairan Pantai Sekitar Kawasan Industri Perminyakan. *Laboratorium Kimia Laut Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau*
- Ana, P.G.C., Marques, António O. S. S. Rangel ,and Paula M. L. Castro. 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, 20th Copyright © Taylor & Francis Group, LLC. ISSN: 1064-3389 pri 1547-6537 online. DOI: 10.1080/10643380701798272

- Anggarini, D (2007) Analysis of heavy metal Pb, Cd, Cu and Zn in seawater, sediment and *Geloina coxans* in coastal Dumai Riau
- APHA. 2005. *Standart Methods For The Examination Of Water And Wastewater*, 21th Edition, American Public Health Association 1015 Fifteenth Street, NW Washington DC.
- Apriadi, D. 2005. Kandungan Logam Berat Hg, Pb dan Cr pada Air, Sedimen dan Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. Skripsi. IPB. Bogor
- Aprianti, D. 2010. Fungsi Mangrove Sebagai Pengendali Pencemar Logam Berat. Skripsi. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim Surabaya.
- Arief, A. 2003. Hutan Mangrove, Fungsi dan Manfaatnya. Kanisius. Yogyakarta.
- Arisandi. 2001. Mangrove Jenis Api-api (*Avicennia marina*) Alternatif Pengendalian Logam Berat Pesisir. URL: <http://www.terranet.com/>. Diakses pada tanggal 2 Desember 2012
- Arisandy, K.R., E.Y. Herawati, E. Suprayitno. 2011. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Gambaran Histologi Pada Jaringan *Avicennia marina* (forsk.) Vierh di Perairan Pantai Jawa Timur. Thesis. Tidak dipublikasikan. *Faculty of Fisheries and Marine Science*, University of Brawijaya, Malang
- Ayeni, O.O., P.A. Ndakidemi, R.G. Snyman, and J.P. Odendaal 2010. Chemical, Biological and Physiological Indicators of Metal Pollution in wetlands. Review. *Scientific Research and Essays*. Vol 5 (15): 1938-1949, August, 2010.
- Bahri, A.F. 2010. Analisis Kandungan Nitrat dan Fosfat Pada Sedimen Mangrove yang Termanfaatkan di Kecamatan Mallusetasi Kabupaten Barru. IPB. Bogor
- Bani, I.S. 2012. Vegetasi Mangrove di Pulau Sempu Desa Tambakrejo Kecamatan Sumbermanjing Kabupaten Malang, Jawa Timur. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Bandaranayake, W.M. 1999. Economic, traditional and medicinal uses of mangroves. *Australian Institut of Marine Science* (28).
- Basset, J., R.C. Denney, G.H. Jeffery dan J. Mendham. 1994. Buku Ajat Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik (Edisi keempat). Terjemahan Handyana Pudjaatmaka. Jakarta: EGC
- Basta, N.T., J.A. Ryan, and R.L. Chaney. 2005. Trace Element Chemistry In Residual Treated Soil: Key Concepts And Metal Bioavailability. *Journal of Environmental. Quality* 34:49-63.

- Bengen. D.G. dan I.M. Dutton 2004. Interaction: mangroves, fisheries and forestry management in Indonesia. H. 632-653. Dalam Northcote. T. G. dan Hartman (Ed), Worldwide watershed interaction and management. Blackwell science.. Oxford. UK
- Bengen, D. G. 2004^a. Pedoman teknis: Pengenalan dan pengelolaan ekosistem mangrove. PKSPL-IPB. Bogor.
- _____.2004^b. Sinopsis : Ekosistem dan Sumberdaya Pesisir dan Laut Serta Prinsip Pengelolaannya. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan .Institut Pertanian Bogor.
- Berjak, P., G.K. Campbell, B.I. Hockett and N.W. Pammenter. 1977. In the mangroves of southern Africa. A wildlife handbook Natal branch of the wildlife society of southern Africa, p. 73
- Berjak, P and N.W. Pammenter. 2000. What Ultrastructure Has Told Us About Recalcitrant Seeds.R.Bras.Fisiol.Veg., 12 (Edição Especial):22-55, 2000
- Birch, G.F., M. Siaka, and C.M. Owens. 2001, The Source of Anthropogenic Heavy Metals In Fluvial Sediments of A Rural Catchment : Coxs River, Australia, Water, Air & Soil Pollution, 126.
- Borg, A.J. and Schönenberger, J. 2011. Floral structure and development in Avicennia.Department of Botany, Stockholm University, S-106 91 Stockholm, Sweden.
- Budiyanto. 2013. Struktur dan Fungsi Organ Akar pada Tumbuhan. <http://budisma.web.id/struktur-dan-fungsi-organ-akar-pada-tumbuhan.html>. Diakses pada tanggal 30 Juli 2013
- Bunyaphatsara, N., A. Jutiviboonsuk, P. Sornlek, W. Therathanathorn. 2003. Pharmacological studies of plants in the mangrove forest Thai Journal of Phytopharmacy Vol.10(2) Dec. 2003 No. 25
- Campbell, N.A dan J.B. Reece. 2004. Biology Edition 6.Pearson Education.
- _____. 2005. Biology Edition 7. Pearson Education.
- Clark, J. 1974. Coastal Ecosystems, Ecological Considerations for Management of The Coastal Zone, The Conservation Foundation, Washington D.C., p.178.
- Clarke, P.J. 1993. Dispersal of Grey Mangrove (*Avicennia marina*) Propagules in Southeastern Australia.Aquatic Botany, 45 (1993) 195-204. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- Connel, W.D. dan G.J. Miller. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran, Penerbit Universitas Indonesia, 1995, 520 hal.

- Dahuri, R. 1998. Pengaruh Pencemaran Limbah Industri Terhadap Potensi Sumberdaya Laut. Makalah Pada Seminar Teknologi Pengolahan Limbah Industri Dan Pencemaran Laut. Agustus 1998. SPPT Jakarta.
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. UI-Press. Jakarta.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran; Hubungan dengan Toksikologi Logam Berat. UI-Press. Jakarta.
- Davari, A., A. Danehkar, N. Khorasani and H. Poorbagher. 2010. Heavy Metal Contamination Of Sediments In Mangrove Forests Of The Persian Gulf. Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.8 (3&4): 1280-1284. 2010 . www.world-food.net
- Defew, L.H., M.M. James, and M.G. Hector. 2004. An Assessment of Metal Contamination in Mangrove Sediments and Leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. Marine Pollution Bulletin. 50: 547-552.
- Dojlido, J.R. and G.A. Best. 1993. Chemistry Of Water Water Pollution, Ellis Horwood Series In Water And Waste Water Technology, England.
- Dwidjoseputro, D. 1989. Pengantar Fisiologi Tumbuhan. PT Gramedia. Jakarta
- EPA-Ohio. 2001, Sediment Sampling Guide and Methodologies 2nd edition, Environmental Protection Agency, state of Ohio.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber daya dan Lingkungan. Kanisius. Yogyakarta
- Erakhrumen dan A. Agbontalor. 2007. Phytoremediation: An Environmentally Sound Technology for Pollution Prevention, Control and Remediation in Developing Countries, Educational Research and Review, (Online), Vol. 2 (7), (diakses 11 Desember 2012).
- Erlangga. 2007. Efek Pencemaran Perairan Sungai Kampar di Provinsi Riau Terhadap Ikan Baung (*Hemibagrus nemurus*). Thesis. IPB. Bogor
- Hidayat, E.B. 1995. Anatomi Tumbuhan Berbiji. Bandung : Penerbit ITB
- Fajri, N.E. 2001. Analisis Kandungan Logam Berat Hg, Cd, dan Pb dalam Air Laut, Sedimen dan Tiram (*Carassostrea cucullatta*) di Perairan Pesisir Kecamatan Pedes, Kabupaten Karawang, Jawa Barat. Thesis. Pasca Sarjana. IPB. Bogor. 62 pp.
- Fardiaz, S. 2005. Polusi Air dan Udara. Kanisius. Yogyakarta
- Feliscis. 2010. Epidermis dan Derivatnya (<http://www.scribd.com/doc/37554924/Epidermis-Dan-Derivat>)
- Feng, H., X. Han, W. Zhang and L. Yu. 2004. A Preliminary Study Of Heavy Metal Contamination In Yangtze River Intertidal Zone Due To Urbanization. Marine Pollution Bulletin 49:910-915.

- Fitter, A.H dan R.K.M. Hay. 1991. Environmental Physiology of Plants. Academic Press, Inc., (London) Ltd.
- Fitz, W.J. and W.W. Wenzel. 2002. Arsenic Transformation in The Soil–Rhizosphere-Plant System, Fundamentals And Potential Application of Phytoremediation. J Biotechnol 2002;99:259–78.
- Gaspersz, V. 1991. Metode Perancangan Percobaan. CV. Amico, Bandung
- Ghosh, D. 2011. Mangroves The Most Fragile Forest Ecosystem. General Article. Resonance January 2011
- Gimmler, H., J. Carandang, A. Boots, E. Reisberg, and M. Voitke. 2002. Heavy metal content and distribution within a woody plant during and after seven years continuous growth on municipal solid waste (MSW) bottom slag rich in heavy metals. Journal of Applied Botany-Angewandte Botanik 76:203-217.
- Global.britannica.com. 2013. Pericarp. <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/451673/pericarp>. Diakses pada tanggal 23 April 2013.
- Gupta, S.K and J. Singh. 2010. Evaluation of Mollusc as Sensitive Indicator of Heavy Metal Pollution in Aquatic System: A Review. The IIOAB Journal Special Issue On Environmental Management For Sustainable Development. ISSN: 0976-3104
- Halimursyadah. 2010. Perubahan Anatomi dan Kandungan Oligosakarida pada Benih Rekalsitran *Avicennia marina* Akibat Perbedaan Laju Pengeringan. J. Floratek 5: 11 – 22.
- Hall, J.I. 2002. Cellular Mechanism For Heavy Metals Detoxification And Tolerance. J. Experimental Botany 53 (366): 1-11.
- 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. Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia dan Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB.
- Handayanto, E dan K. Hairiah. 2007. Biologi Tanah Landasan Pengelolaan Tanah Sehat. Penerbit Pustaka Adipura. Karangrajan, Yogyakarta.
- Handayani, T. 2006. Bioakumulasi Logam Berat dalam Mangrove *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina* di Muara Angke Jakarta. Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 7 No. 3 Hal. 266-270 Jakarta, September, 2006 ISSN 1441-318x
- Harty, C. 1997. Mangroves in New South Wales and Victoria. Vista Publications, Melbourne, 47 pp.

- Haryanti, S., R.B. Hastuti, E.D. Hastuti, dan Y. Nurchayati. 2006. Adaptasi Morfologi Fisiologi dan Anatomi Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solm) di Berbagai Perairan Tercemar. FMIPA UNDIP. N, 39-46.
- Haryono, T. 2004. Keripik Buah Mangrove, Upaya Melestarikan Hutan. Kompas, Selasa 5 Oktober 2004.
- Hasan, I. 2002. Analisis Data Penelitian Dengan Statistik. PT. Bumi Aksara, Jakarta.
- Hastuti, I. dan H. Sulistyarso. 2012. Penyediaan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Nilai Emisi CO di Kawasan Industri Surabaya. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, (Sept, 2012) ISSN: 2301-9271
- Hedianto, Y.E., E. Lisyastuti dan E. Najmiyati. 2003. Konsep Biomonitoring dan Ekotoksikologik : Upaya Pelestarian Sumberdaya Alam Secara Swadaya dari dan Untuk Masyarakat. Prosiding Seminar Teknologi untuk Negeri 2003, Vol. I, hal. 447 - 451 /HUMAS-BPPT/ANY. <http://www.iptek.net.id/ind/?mnu=8&ch=jsti&id=128>. Diakses tanggal 14 Agustus 2013.
- Hernawati. 1993. Keragaan Sifat Kimia Tanah di Bawah Vegetasi mangrove dan Hubungannya dengan Air Tanah Serta Perkembangan Akar dari Beberapa Zona Hutan Mangrove Banyuwedang Kabupaten Buleleng, Bali. Skripsi. IPB. Bogor.
- Heryanto, P. 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat, CV. Rineka Cipta, Jakarta,
- Hsuan Keng, S.C. Chin and H. T. W. Tan. 1990, *The Concise Flora of Singapore: Gymnosperms and Dicotyledons*. Singapore University Press.222 pp.
- Hiralal, T. 2008. Responses Of *Avicennia Marina* (Forssk.) Vierh. To Contamination By Selected Heavy Metals. School of Biological and Conservation Sciences University of KwaZulu-Natal (Westville). 142 pp
- Hutagalung, H.P. 1984. Logam Berat dalam Lingkungan Laut. *Pewarta Oceana*. IX No. 1
- _____. 1988. Pengaruh Suhu Air Terhadap Kehidupan Organisme Laut.Oseana, Volume XIII, Nomor 4 : 153 – 164, 1988. ISSN 0216–1877
- _____. 1991. Pencemaran Laut oleh Logam Berat dan Petunjuk Praktek Logam Berat.Jakarta : Erlangga
- Hutagalung, H.P, D. Setiapermana, dan S.H. Riyono. 1997. Metode Analisis Air laut, Sedimen dan Biota (Buku Kedua). P3O LIPI. Jakarta.

- IADC/CEDA. 1997. Convention, Codes, and Conditions: Marine Disposal. Environmental Aspects of Dredging 2a.71 hal.
- Idrus, Agil Al. 2008. Aberasi Kromosom *Avicennia Marina* (Forsk.) Vierh sebagai Bioindikator untuk Menentukan Pencemaran Lingkungan Kandungan Fe. Forum Penelitian Tahun 20, Nomor 1, Juni 2008.
- Irfanto. 2010. Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) dalam Limbah Cair PT. Ekamas Fortuna pada Sungai Lesti dengan Bioindikator Kangkung (*Ipomea aquatica*) di Kabupaten Malang. Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Jamili, S., I.Q. Dede, Ibnu, dan E. Guhardja. 2009. Struktur dan Komposisi Mangrove di Pulau Kaledupa Taman Nasional Wakatobi, Sulawesi Tenggara
- Kamaruzzaman, B.Y., M.Z.R. Sharlinda, B.A. John & A.S. Waznah. 2011. Accumulation and Distribution of Lead and Copper in *Avicennia marina* and *Rhizophora apiculata* from Balok Mangrove Forest, Pahang, Malaysia. Sains Malaysiana 40(6)(2011): 555–560.
- Kartawinata, K. 1979. Status pengetahuan hutan bakau di Indonesia. *Prosiding Seminar Ekosistem Hutan Mangrove*. Jakarta: MAP LON LIPI
- Kathiresan, K dan B.L. Bingham. 2001. Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems *Advances In Marine Biology*. Vol 40: 81-251 (2001)
- Kbg.fpv.ukf.sk. 2013. Epidermis. http://www.kbg.fpv.ukf.sk/studium_materialy/epidermis.htm
- Khan, A.G. 2005. Rule of Soil Microbes in the Rhizospheres of Plants Growing on Trace Metal Contaminated Soils in Phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*.
- Khazali, M. 1999. Panduan Teknis : Penanaman Mangrove Bersama Masyarakat. Wetlands International-Indonesia Programme. Bogor.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor . 51. 2004. Pedoman Penetapan Baku Mutu Air Laut. Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. Sekretariat Negara, Jakarta, 2004.
- Kim IS, Kang H.K, Johnson-Green P, Lee E.J. 2003. Investigation of Heavy Metal Accumulation In *Polygonum thunbergii* for Phytoextraction. *Environ Pollut*;126:235–43.
- Kitamura S., C. Anwar, A. Chaniogo dan S. Baba. 2003. Buku Panduan Mangrove di Indonesia. Bali dan Lombok. Proyek Pengembangan Manajemen Mangrove Berkelanjutan. Departemen Kehutanan Republik Indonesia dan Japan International Cooperation Agency. Jakarta. 119 hlm.

Kristiono, S.S 2009. Analisis Mikroskopis dan Fitokimia Semanggi Air *Marsilea crenata* Presl (Marsileaceae). *Skripsi*.IPB. Bogor.

Kusmana, C. 1997. Metode Survei Vegetasi. Penerbit Institut Pertanian Bogor. Bogor. 173 hlm

Kusmana, C., Wilarso, S., Hilwan, I., Pamoengkas, P., Wibowo, C., Tiryana, T., Triswanto, A., Yunasfi, Hamzah. 2003. Teknik Rehabilitasi Mangrove. Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.

Kuspriyana, A. 2005. Analisis Kadar Merkuri (Hg) dalam Udang Putih (*Penaeus marguiesis*) di Pantai Utara Kawasan Kalianak Surabaya. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surabaya; Universitas Negeri Surabaya.

Kusumahadi, K.S. 2008. Watak dan Sifat Tanah Areal Rehabilitasi Mangrove Tanjung Pasir, Tangerang. *VIS VITALIS*, Vol. 01 No.1, tahun 2008. Fakultas Biologi Universitas Nasional, Jakarta.

Kusumastuti, W. 2009. Evaluasi Lahan Basah Bervegetasi Mangrove Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan (Studi Kasus di Desa Kepetingan Kabupaten Sidoarjo). Tesis. Universitas Diponegoro. Semarang

Kusumastuti, W., B. Hendrarto, dan D. Sutrisnanto. 2011. Evaluasi Lahan Basah Buatan Vegetasi Mangrove dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan (Studi Kasus di Desa Kepetingan Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Volume 9, Issue 2: 69-74 (2011). ISSN 1829-8907

Lakitan, B. 2001. Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan. Raja Grafindo Persada. Jakarta.

Lorestani, B; M. Cheraghi; dan N. Yousefi. 2011. Phytoremediation Potential of Native Plants Growing on a Heavy Metals Contaminated Soil of Copper mine in Iran. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 53 2011.

Ma, L.Q.; K. M. Komar, C. Tu, W; Zhang, Y. Cai, and E. D. Kennelley. 2001. A Fern That Hyperaccumulates Arsenic," *Nature*.J., vol. 409, pp, 579, 2001.

MacFarlane, G.R. and M.D. Burchett. 2001. Photosynthetic pigments and Peroxides activity as indicators of Heavy Metal stress in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. *Marine Pollution Bulletin*, 42: 233-240

_____. 2002. Toxicity, Growth and Accumulation Relationships of Copper, Lead and Zinc in The Grey. Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. *Marine Environmental Research* 54, 65-84.

- MacFarlane G.R., C.E. Koller, S.P. Blomberg. 2007. Accumulation and Partitioning of Heavy Metals in Mangroves: A Synthesis of Field-Based Studies. *Chemosphere*. 2007 Nov;69(9):1454-64. Epub 2007 Jun 8. School of Environmental and Life Sciences, University of Newcastle, Callaghan, NSW, Australia
- MacFarlane, G.R., Pulkownik and M.D. Burchett. 2003. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk) Vierh: Biological indication potential. *Environmental Pollution*, 123: 139-151
- Mastaller, M. 1996. Destruction of Mangrove Wetlands – Causes and Consequences. A. Biannual Collection Titled Natural Resources and Development Focus; Mangrove Forest. Institute for Scientific Cooperation. Tobingen
- Memon, A.R., D. Aktoprakligül, A. Zdemür, dan A. Vertii. 2001. Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plants. *Tur. J. Bot.* Vol. 25 : 111 - 121.
- Mardekawati, L., I.D. Burhanudin. 2013. Kemampuan Empat Jenis Tanaman dalam Menyerap Cemar Merkuri di Media Tailing. Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura
- Meyer, B., D.B. Anderson, R.H. Bohning. 1960. Introduction to Plant Physiology. D. Van Nostrand Company, INC. London
- Meythree, A. 2012. Dampak Pencemaran Air. <http://m.pantonanews.com/berita-1249-dampak-pencemaran-air.html>. Diakses pada tanggal 23 April 2013.
- Milantara, N. 2006. Tumbuhan Mangrove. Diakses dari http://www.freewebs.com/arl_ipb_2006/deskripsi/hidrofitamangrove.pdf. Pada tanggal 10 Juni 2013. Jam 10.56 WIB.
- Miller, G., G. Begonia; M. Begonia and J. Ntoni. 2008. Bioavailability and Uptake of Lead by Coffeeweed (*Sesbania exaltata* Raf.). *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2008, 5(5), 436-440.
- 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 F. Rachmadiarti. 2005. Analisis Kadar Kadmium (Cd) pada Akar Pohon Api-api (*Avicennia marina*) di Pantai Utara Kawasan Kalianak Surabaya. Jurusan Biologi FMIPA UNESA
- Mohr, H. and P. Schopfer. 1995. Plant Physiology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- Muchtar, M dan Simanjuntak. 2008. Karakteristik dan Fluktuasi Zat Hara Fosfat, Nitrat dan Derajat Keasaman (pH) di estuary Cisadane pada Musim yang Berbeda, dalam : ekosistem Estuari Cisadane (Editor: Ruyitno,

A.Syahailatua, M. Muchtar, Pramudji, Sulistijo dan T. Susana, LIPI: 139-148.

Mukhtasar. 2007. Pencemaran Lingkungan dan Alam. Pradnya Paramita. Jakarta.

Mulyadi, E., R. Laksmono, D. Aprianti. 2009. Fungsi Mangrove Sebagai Pengendali Pencemar Logam Berat. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.1 Edisi Khusus. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UPN "Veteran" Jawa Timur.

Murdiyanto, B. 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.

Naidoo, G. and Y. Naidoo. 2005. Coal Dust Pollution Effects On Wetland Tree Species in Richards Bay, South Africa. Wetlands Ecology and Management 13, 509-515.

National Oceanic and Atmospheric Administration. 2010. U.S. Department of Commerce/. <http://www.noaa.gov/>

Nazli, M.F. and N.R. Hashim. 2010. Heavy Metal Concentrations in an Important Mangrove Species, *Sonneratia caseolaris*, in Peninsular Malaysia. Available online at www.tshe.org/EA. EnvironmentAsia 3(special issue) (2010) 50-55.

Nirmal, K.I.J., P.R. Sajish, K.R. Nirmal, G. Basil, V. Shailendra. 2011. An Assessment of the Accumulation Potential of Pb, Zn and Cd by *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. in Vamleshwar Mangroves, Gujarat, India. Print ISSN 2067-3205; Electronic 2067-3264. Not Sci Biol, 2011, 3(1):36-40. Available online at www.notulaebiologicae.ro

Nontji. A dan A. Djamali (Ed.). 1980. Sebaran Normal Parameter Hidrologi di Teluk Jakarta, Buku Teluk Jakarta, Pengkajian Fisika, Kimia, Biologi & Geologi, LON-LIPI, Jakarta, 1980, 48 hal.

Notoatmojo, S. 2010. Metodologi Penelitian Kesehatan. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta.

Notohadiprawiro, RMT. 1978. Lahan Sumberdaya Alam Serba Gatra dan Lingkungan Hidup Manusia, Jurusan Ilmu Tanah F. Pertanian UGM, Yogyakarta.

Nugroho, H.; Purnomo; dan I. Sumardi. 2006. Struktur dan Perkembangan Tumbuhan. Penebar Swadaya. Jakarta.

- Nurhasyima. 2009. BAB 4 METODE PENELITIAN
<http://www.damandiri.or.id/file/nurhasyimadunairbab4.pdf>. 2
Desember 2012. Diakses pada tanggal 18 Januari 2013.
- Nur, D.M. 2012. Air Laut. [http : // file . upi . edu / Direktori / FPIPS / JUR. _
PEND._GEOGRAFI / 194902051978031DJAKARTA_M_NUR/AIR_](http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._GEOGRAFI/194902051978031DJAKARTA_M_NUR/AIR_LAUT.pdf)
LAUT . pdf. Diakses pada tanggal 6 Juni 2013.
- Nurhayati, P.W. 2004. Keragaman Genus Fungi pada Tanah Hutan Mangrove tercemar Logam Berat di Muara Angke DKI Jakarta. Skripsi. IPB. Bogor
- Nybakken, J.W. 1988. Biologi Laut. Suatu Pendekatan Ekologis. Gramedia, Jakarta. Penerjemah : Eidman dkk. 459 Hal.
- 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.
- Pahalawattaarachchi, V; C.S. Purushothaman; and A. Vennila. 2008. Metal Phytoremediation Potential of *Rhizophora mucronata* (Lam.). Indian Journal of Marine Sciences Vol. 38(2), June 2009, pp. 178-183.
- Pammenter ,N.W., and P. Berjak. 2000. Aspect of Recalcitrant Seed Physiology. R Brass Fisiol Veg 12 : 56 - 69.
- Palar, H. 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: Rineka Cipta
- Panjaitan, G.Y. 2009. Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) Pada Pohon *Avicennia marina* di Hutan Mangrove. Skripsi. Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Parvaresh , H; Z. Abedi; P. Farshchi; M. Karami; N. Khorasani & A. Karbassi. 2010. Bioavailability and Concentration of Heavy Metals in the Sediments and Leaves of Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh, in Sirik Azini Creek, Iran. Biol Trace Elem Res, DOI 10.1007/s12011-010-8891-y.
- 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 No. 82. 2001. Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peters, E.C., N.J. Gassman, J.C. Firman, R.H. Richmond and E.A. Power. 1997. Ecotoxicology of Tropical Marine Ecosystem. Environ. Tox. Chem. 16(1). 12-40

- Peter K.L.Ng and N. Sivasothi. 1999. A guide to the mangroves of Singapore I: The Ecosystem and plant diversity. Singapore Science Centre, 160p.
- Praveena, S. M., A.Z. Aris and M. Radojevic . 2010. Heavy Metals Dyanamics and Source In Intertidal Mangrove Sediment of Sabah, Borneo Island. Available online at www.tshe.org/EA. EnvironmentAsia 3(special issue) (2010) 79-83
- Purnobasuki, H. 2005. Tinjauan Perspektif Hutan Mangrove. Airlangga University Press. Surabaya.
- Purnobasuki, H. 2011. Inklusi Sel (Zat Ergastik). http://avicennia.guru-indonesia.net/artikel_detail-242.html. Diakses pada tanggal 15 Agustus 2013.
- Pusat Penelitian Tanah. 1983. Jenis dan Macam Tanah di Indonesia Untuk Keperluan Survey dan Pemetaan Tanah Daerah Transmigrasi. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Putra, K.G.D., 2002. Petunjuk Teknis Pemantauan Kualitas Air. Undayana University Press. Denpasar, 275 hal.
- Qiu, Y.W., K.F. Yua, G. Zhang, and W.X. Wang. 2011. Accumulation And Partitioning Of Seven Trace Metals In Mangroves And Sediment Cores From Three Estuarine Wetlands Of Hainan Island, China. Journal of Hazardous Materials 190 (2011) 631–638
- Rai, L.L., J. Gaur and H.D. Kumar. 1981. *Phycology and Heavy Metal Pollution. In Biological Review of The Phycology Society*. Cambridge University Press London.
- Rangkuti, A.M. 2009. Analisis Kandungan Logam Berat Hg, Cd, dan Pb Pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Panggang-Pramuka Kepulauan Seribu, Jakarta. Skripsi. IPB. Bogor
- Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin. 1981. Pollutions Marines. <http://www.acronymfinder.com/>.
- Reichman, S.M. 2002 . The Responses of Plants to Metal Toxicity: A Review Focusing on Copper, Manganese and Zinc. The Australian Minerals Energy Environment Foundation Published as Orcasional Paper No.14
- Ribeiro, T.S.; M.G. Almeida; K.C. Oliveira; C.M.M. Souza; R.A. Azevedo; C.E. Rezende; A.P. Vitoria. 2006. Metais Pesados em Sedimentos dos Rios Imbé (RJ) e Alto, Médio e Baixo Paraíba do Sul (RJ/SP).
- Rochayatun, E. 1997. Pemantauan Kadar Logam Berat (Pb, Cd, dan Cr) dalam Sedimen di Muara Sungai Dadap (Teluk Jakarta), dalam Inventarisasi dan Evaluasi Potensi Laut Pesisir ii. Puslitbang Oseanologi. LIPI. Jakarta. P. 25-30.

- 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
- 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.
- 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.
- Rumahlatu, D. 2012. Biomonitoring: Sebagai Alat Asesmen Kualitas Perairan Akibat Logam Berat Kadmium Pada Invertebrata Perairan. Universitas Pattimura
- Rodtassana, C. and S. Pounparn. 2012. Quantitative Analysis Of The Root System Of *Avicennia Alba* Based On The Pipe Model Theory. ScienceAsia 38 (2012): 414–418. Short Report. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2012.38.414
- Romimohtarto, K. dan S.S. Thayib. 1982. Kondisi Lingkungan dan Laut di Indonesia, LON-LIPI, Jakarta., 246 hal.
- Saeni. 1997. Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat Dengan Analisis Rambut. Orasi Ilmiah. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB. Bogor.
- Sahara, E. 2009. Distribusi Pb dan Cu pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen di Pelabuhan Benoa. JURNAL KIMIA 3 (2), JULI 2009 : 75-80. ISSN 1907-9850.
- Sanusi, H. S. 2006. Kimia Laut. Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan. Prartono T, Supriyono E, editor. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor. 188 hlm.
- Sarjono, A. 2009. Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb, dan Hg Pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara, Jakarta Utara. Skripsi. IPB. Bogor.
- Sasmitamihardja, D. dan A. Siregar. 1996. Fisiologi Tumbuhan. Bandung; ITB Press
- Schweingruber F.H., A. Borner, E.D. Schulze. 2006. Atlas of Woody Plant Stems: Evolution, Structure, and Environmental Modifications, Springer, Berlin.
- Setyanto, A dan Setiady, D. 2008. Kandungan Logam Dasar di Dalam Endapan Letakan Pantai dan Lepas Pantai Perairan Pameungpeuk, Garut, Jawa Barat, Indikasi Adanya Mineralisasi Hidrotermal di Darat. BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI, Vol. 3 No. 3 Desember 2008

Setyawan, A. D. 2008. Biodiversitas ekosistem mangrove di Jawa; tinjauan pesisir utara dan selatan Jawa Tengah. Pusat Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Biodiversitas, LPPM. Jurusan Biologi FMIPA UNS. Surakarta.

Shanoon, M. C., C.M. Grieve and L.E. Francois. 1994. Whole-Plants Response to Salinity. In Wilkinson. R. E (ed). Plant environment integration. Marcel Dracker, Inc., New York. pp. 199-228.

Share.pdfonline. 2013. Zat Ergastik. <http://share.pdfonline.com/251906a98dee4cafa198e6e5f5a0a627/ZAT%20ERGASTIK2.htm>. Diakses pada tanggal 17 Agustus 2013

Siahaan, M.T.A., Ambariyanto, dan B. Yulianto. 2013. Pengaruh Pemberian Timbal (Pb) dengan Konsentrasi Berbeda Terhadap Klorofil, Kandungan Timbal pada Akar dan Daun, Serta Struktur Histologi Jaringan Akar Anakan Mangrove *Rhizophora mucronata*. Journal Of Marine Research. Volume 2, Nomor 2, Tahun 2013, Halaman 111-119. Online di: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jmr>

Siaka, M., C.M. Owens, and G.F. Birch, 2000, Distribution of Heavy Metals Between Grain Size, Review Kimia, Vol. 3 (2).

Siregar, T.H dan J.T. Murtini. 2008. Kandungan Logam Berat Pada Beberapa Lokasi Perairan Indonesia Pada Tahun 2001 Sampai Dengan 2005. Squalen Vol. 3 No.i, Juni 2008.

Soemirat, J. 2003. Toksikologi Lingkungan. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Soemodihardjo, S dan Soeroyo. 1994. Dampak Pencemaran Terhadap Komunitas Mangrove. Seminar Pemantauan Pencemaran Laut. Jakarta, 07-09 Februari 1994. Puslitbang Oseanologi- LIPI.

Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Departemen Ilmu-ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Soeroyo dan Suyarso. 1990. Sifat-sifat Kimia Tanah Mangrove. Jurnal Analisa Tanah Mangrove, Yogyakarta, 4(2): 15.

Standar Nasional Indonesia. 2009. Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan. SNI 7387: 2009. Badan Standarisasi nasional. ICS 67.220.20.

Sudarwin. 2008. Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) Pada Sedimen Aliran Sungai Dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang.

Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Microorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan (*Heavy Metal Bioremoval by Microorganisms: A Literature Study*). Disampaikan

pada Seminar on-Air Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21 1-14 Februari 2001. Sinergy Forum - PPI Tokyo Institute of Technology

Sulistiyowati, H. 2012. Analisis Suksesi Tumbuhan di Pantai Mayangan Kota Probolinggo. Dosen Jurusan Biologi FMIPA-UNEJ.

Supriharyono. 2000. Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Supriyaningrum, E. 2006. Fluktuasi Logam Berat Timbal Dan Kadmium Dalam Air Dan Sedimen Di Perairan Teluk Jakarta (Tanjung Priuk, Marina, Dan Sunda Kelapa). Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. IPB. Bogor.

Susanto, A. H; T. Soedarti; dan H. Purnobasuki. 2010. Struktur Komunitas Mangrove Di Sekitar Jembatan Suramadu Sisi Surabaya. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga

Susarla, S., V.F. Medina, S.C. McCutcheon. 2002. Phytoremediation, an Ecological Solution to Organic Contamination. *Ecol Eng* 2002;18:647-58.

Syah, C. 2011. Pertumbuhan Tanaman Bakau (*Rhizophora mucronata*) Pada Lahan Restorasi Mangrove di Hutan Lindung Angke Kapuk Provinsi DKI Jakarta. Thesis. Institut Pertanian Bogor. Bogor

Talib, M.F. 2008. Struktur Dan Pola Zonasi (Sebaran) Mangrove Serta Makrozoobenthos Yang Berkoeksistensi, Di Desa Tanah Merah Dan Oebelo Kecil Kabupaten Kupang. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.

Tam, N.F.Y. 1998. Normalisation And Heavy Metal Contamination In Mangrove Sediment. *The Science of The Total Environment Vol 216* : 33-39.

Tjitrosoepomo, G. 1993. Taksonomi tumbuhan (Spermatophyta). Gajah Mada University Press: Yogyakarta. 477 hlm

Trigiano, R.N., K.R. Malueg, K.A. Pickens, Z. Cheng, E.T. Graham. 2005. Histological Techniques. Di dalam : Trigiano RN, Gray DJ, editor. *Plant Development and Biotechnology*. London: CRC Press.

Tomayahu, E. 2012. Anatomi Dan Morfologi Tanaman. <http://employee.nusantara.ac.id/evawani/matkul/ILMU%20TANAMA N/MATERI%20IV.pptx>

Vangronsveld, J. and H. Clijsters. 1994. Toxic effects of metals. In: Farago, M.E. (Ed.), *Plants and the chemical elements: biochemistry, uptake, tolerance and toxicity*. VCH, New York, pp. 149-177.

Waluya, B. 2012. Permasalahan Lingkungan Pesisir dan Laut. http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._GEOGRAFI/197210242001121BAGJA_WALUYA/Pengelolaan_Lingkungan_Hidup_untu

k_Tk_SMA/Bab_11_Permasalahan_Lingkungan_Laut_%26_Pesisir.pdf. Diakses pada tanggal 23 April

Wardhana, W.A. 2001. Dampak Pencemaran Lingkungan (Edisi Revisi). Andi.Yogyakarta.

Wibowo, Y.A. 2010.Ancaman Dan Pengendalian Pencemaran Logam Berat Di Kawasan Estuaria. Program Studi Oseanografi Universitas Hang Tuah Surabaya

Wijayanti, E.D. 2008. Pengaruh Pemberian Ekstrak Daun Api-api (*Avicennia marina*) Terhadap Resorpsi Embrio, Berat Badan dan Panjang Badan Janin Mencit (*Mus Musculus*).Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Airlangga. Vol. 1 – No. 1 / January-2008

Wilujeng, Sukian. 2013.

Wisnuwati. 2011. Aplikasi Sel dan Jaringan Tumbuhan dan Hewan dalam Bidang Pertanian. Departemen Sains Terapan dan Lingkungan. KODE : BIOTER.1 PJJ

Yulipriyanto, H. 2010. Biologi Tanah dan Strategi Pengelolaannya. Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta

Zhou, Q., J. Zhang, J. Fu, J. Shi,, and G. Jiang. 2008. Biomonitoring: An Appealing Tool for Assessment of Metal Pollution in the Aquatic Ecosystem. Review. Elsevier. (online). www.elsevier.com. Diakses 10 September 2010.

Zipcodezoo. 2013. *Avicennia alba*. Diakses dari http://zipcodezoo.com/plants/a/avicennia_alba/. Pada tanggal 15 April 2013.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004

No.	Parameter	Satuan	Baku mutu
FISIKA			
1.	Kecerahan ^a	m	coral: >5 mangrove: - lamun: >3
2.	Kebauan	-	alami ³
3.	Kekeruhan ^a	NTU	<5
4.	Padatan tersuspensi total ^b	mg/l	coral: 20 mangrove: 80 lamun: 20
5.	Sampah	-	nihil ¹⁽⁴⁾
6.	Suhu ^c	°C	alami ^{3(c)} coral: 28-30 ^(c) mangrove: 28-32 ^(c) lamun: 28-30 ^(c)
7.	Lapisan minyak ⁵	-	nihil ¹⁽⁵⁾
KIMIA			
1.	pH ^d	-	7 - 8,5 ^(d)
2.	Salinitas ^e	‰	alami ^{3(e)} coral: 33-34 ^(e) mangrove: s/d 34 ^(e) lamun: 33-34 ^(e)
3.	Oksigen terlarut (DO)	mg/l	>5
4.	BOD ₅	mg/l	20
5.	Ammonia total (NH ₃ -N)	mg/l	0,3
6.	Fosfat (PO ₄ -P)	mg/l	0,015
7.	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/l	0,008
8.	Sianida (CN ⁻)	mg/l	0,5
9.	Sulfida (H ₂ S)	mg/l	0,01
10.	PAH (Poliaromatik hidrokarbon)	mg/l	0,003
11.	Senyawa Fenol total	mg/l	0,002
12.	PCB total (poliklor bifenil)	µg/l	0,01
13.	Surfaktan (deterjen)	mg/l MBAS	1
14.	Minyak & lemak	mg/l	1
15.	Pestisida ^f	µg/l	0,01
16.	TBT (tributil tin) ⁷	µg/l	0,01
Logam terlarut:			
20.	Kadmium (Cd)	mg/l	0,001
21.	Tembaga (Cu)	mg/l	0,008
22.	Timbal (Pb)	mg/l	0,008
23.	Seng (Zn)	mg/l	0,05
24.	Nikel (Ni)	mg/l	0,05
BIOLOGI			
1.	Coliform (total) ^g	MPN/100 ml	1000 ^(g)
2.	Patogen	sel/100 ml	nihil ¹
3.	Plankton	sel/100 ml	tidak bloom ⁵
RADIO NUKLIDA			
1.	Komposisi yang tidak diketahui	Bq/l	4

Catatan:

1. Nihil adalah tidak terdeteksi dengan batas deteksi alat yang digunakan (sesuai dengan metode yang digunakan)
2. Metode analisa mengacu pada metode analisa untuk air laut yang telah ada, baik internasional maupun nasional.
3. Alami adalah kondisi normal suatu lingkungan, bervariasi setiap saat (siang, malam dan musim).
4. Pengamatan oleh manusia (visual).
5. Pengamatan oleh manusia (visual). Lapisan minyak yang diacu adalah lapisan tipis (thin layer) dengan ketebalan 0,01mm
6. Tidak bloom adalah tidak terjadi pertumbuhan yang berlebihan yang dapat menyebabkan eutrofikasi. Pertumbuhan plankton yang berlebihan dipengaruhi oleh nutrisi, cahaya, suhu, kecepatan arus, dan kestabilan plankton itu sendiri.
7. TBT adalah zat antifouling yang biasanya terdapat pada cat kapal
 - a. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% kedalaman euphotic
 - b. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% konsentrasi rata-rata musiman
 - c. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <2°C dari suhu alami
 - d. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <0,2 satuan pH
 - e. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <5% salinitas rata-rata musiman
 - f. Berbagai jenis pestisida seperti: DDT, Endrin, Endosulfan dan Heptachlor
 - g. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% konsentrasi rata-rata musiman

Menteri Negara Lingkungan Hidup,
ttt

Nabiel Makarim, MPA., MSM.

Salinan sesuai dengan aslinya

Deputi MENLH Bidang Kebijakan dan Kelembagaan Lingkungan Hidup,

Hoetomo, MPA.

Lampiran 2. Baku Mutu Sedimen

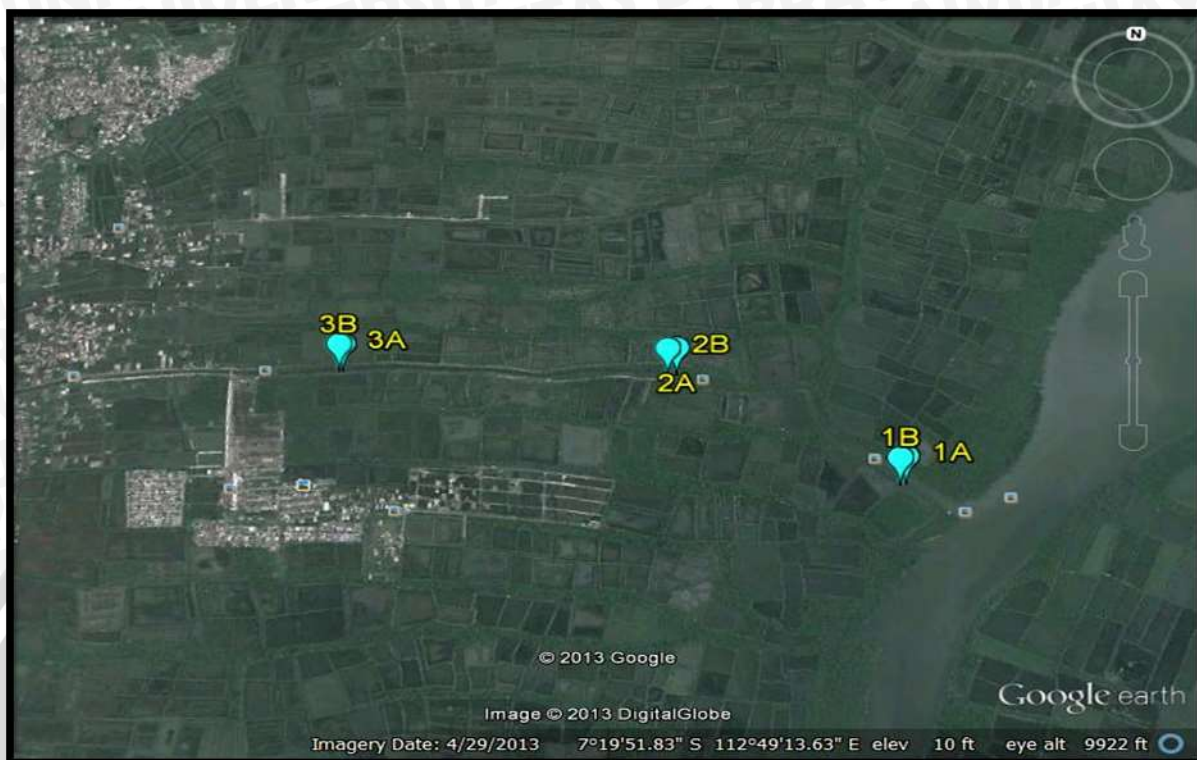
Baku mutu logam berat di dalam lumpur atau sedimen di Indonesia belum ditetapkan sehingga sebagai acuan digunakan baku mutu yang dikeluarkan oleh IADC/CEDA (1997) mengenai kandungan logam berat Pb yang dapat ditoleransi keberadaannya dalam sedimen berdasarkan standart kualitas Belanda, seperti pada tabel berikut :

Logam Berat	Level Target	Level Limit	Level Test	Level Intervensi	Level Bahaya
Timbal (Pb)	85	530	530	530	1000

Keterangan :

- Level target. Jika konsentrasi kontaminan yang ada pada sedimen memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai level target, maka substansi yang ada pada sedimen tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan.
- Level limit. Jika konsentrasi kontaminan yang ada di sedimen memiliki nilai maksimum yang dapat ditolerir bagi kesehatan manusia maupun ekosistem.
- Level tes. Jika konsentrasi kontaminan yang ada di sedimen berada pada kisaran nilai antara level limit dan level tes, maka dikategorikan sebagai tercemar ringan.
- Level intervensi. Jika konsentrasi kontaminan yang ada di sedimen berada pada kisaran nilai antara level tes dan level intervensi, maka dikategorikan sebagai tercemar sedang.
- Level bahaya. Jika konsentrasi kontaminan yang ada di sedimen berada pada nilai yang lebih besar dari baku mutu level bahaya maka harus dengan segera dilakukan pembersihan sedimen.

Lampiran 3. Denah Lokasi Stasiun Kegiatan Penelitian



Kawasan Mangrove Gunung Anyar, Kota Surabaya



Kawasan Mangrove Kedawang, Kota Pasuruan

Lampiran 4. Analisa Data (Uji T)

Pada Penelitian ini analisis data yang dihitung dengan uji T

Hipotesa :

Ho : Tidak ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb air dan sedimen di kedua lokasi tersebut

Hi : Ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb air dan sedimen di kedua lokasi tersebut

Tabel 13. Perhitungan Uji T (Air)

	Gunung Anyar		Kedawang	
	X_1	X_1^2	X_2	X_2^2
	0.35	0.1225	0.14	0.0196
	0.37	0.1369	0.16	0.0256
	0.34	0.1156	0.19	0.0361
	0.40	0.1600	0.15	0.0225
	0.27	0.0729	0.10	0.0100
	0.29	0.0841	0.12	0.0144
Total	2.02	0.6920	0.86	0.1282

$$\sum X_1 = 2.02 ; \sum X_1^2 = 0.6920$$

$$\sum X_2 = 0.86 ; \sum X_2^2 = 0.1282$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n_1} \\ &= 0.6920 - \frac{2.02^2}{6} \\ &= 0.6920 - \frac{4.0804}{6} \\ &= 0.6920 - 0.680 \\ &= 0.012 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_2 &= \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \\
 &= 0.1282 - \frac{0.86^2}{6} \\
 &= 0.1282 - \frac{0.7396}{6} \\
 &= 0.1282 - 0.1233 \\
 &= 0.0049
 \end{aligned}$$

Langkah 1. Uji hipotesa

Uji hipotesa $= \frac{S_1^2}{S_2^2}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.0120^2}{0.0049^2} \\
 &= \frac{0.000144}{0.000024} \\
 &= 6
 \end{aligned}$$

Langkah 2. Standart Kebebasan

Df $= \frac{[(S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2)]^2}{\left[\frac{(S_1^2/n_1)^2}{(n_1-1)}\right] + \left[\frac{(S_2^2/n_2)^2}{(n_2-1)}\right]}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{[(0.0120^2/6) + (0.0049^2/6)]^2}{\left[\frac{(0.0120^2/6)^2}{(6-1)}\right] + \left[\frac{(0.0049^2/6)^2}{(6-1)}\right]} \\
 &= \frac{[(0.000144/6) + (0.000024/6)]^2}{\left[\frac{(0.000144/6)^2}{5}\right] + \left[\frac{(0.000024/6)^2}{5}\right]} \\
 &= \frac{[(0.000024) + (0.000004)]^2}{\left[\frac{(0.000024)^2}{5}\right] + \left[\frac{(0.000004)^2}{5}\right]} \\
 &= \frac{[0.000028]^2}{\left[\frac{(5.76 \times 10^{-10})}{5}\right] + \left[\frac{(0.16 \times 10^{-10})}{5}\right]} \\
 &= \frac{7.84 \times 10^{-10}}{[1.152 \times 10^{-10}] + [0.032 \times 10^{-10}]}
 \end{aligned}$$



$$= \frac{7.84 \times 10^{-10}}{1.184 \times 10^{-10}}$$

$$= 6.62$$

Langkah 3. T Hitung

$$T \text{ Hitung} = \frac{\sum x_1 - \sum x_2}{\sqrt{(\frac{S_1^2}{n_1}) + (\frac{S_2^2}{n_2})}}$$

$$= \frac{2.02 - 0.86}{\sqrt{(\frac{0.0120^2}{6}) + (\frac{0.0049^2}{6})}}$$

$$= \frac{2.02 - 0.86}{\sqrt{(\frac{0.000144}{6}) + (\frac{0.000024}{6})}}$$

$$= \frac{1.16}{\sqrt{0.000028}}$$

$$= \frac{1.16}{0.0053} = 218.87$$

T tabel dengan selang kepercayaan 95 % dan n = 6 yaitu 2.44691

Kesimpulan :

H₀ ditolak, dengan kata lain H₁ diterima artinya ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb air di kedua lokasi tersebut.

Tabel 14. Perhitungan Uji T (Sedimen)

	GunungAnyar		Kedawang	
	X ₁	X ₁ ²	X ₂	X ₂ ²
	6.73	45.292	2.94	8.644
	14.70	216.09	2.30	5.290
	8.14	66.260	2.19	4.796
	15.93	253.76	1.96	3.842
	7.28	52.998	4.19	17.556
	16.70	278.89	3.28	10.758
Total	69.48	913.29	16.86	50.886



$$\sum X_1 = 69.48; \sum X_1^2 = 913.29$$

$$\sum X_2 = 16.86; \sum X_2^2 = 50.886$$

$$S_1 = \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n}$$

$$= 913.29 - \frac{69.48^2}{6}$$

$$= 913.29 - \frac{4827.47}{6}$$

$$= 913.29 - 804.58$$

$$= 108.71$$

$$S_2 = \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n}$$

$$= 50.886 - \frac{16.86^2}{6}$$

$$= 50.886 - \frac{284.260}{6}$$

$$= 50.886 - 47.377$$

$$= 3.509 \text{ atau } 3.51$$

Langkah 1 . Uji hipotesa

$$\text{Uji hipotesa} = \frac{S_1^2}{s_2^2}$$

$$= \frac{108.71^2}{3.51^2}$$

$$= \frac{11817.86}{12.32}$$

$$= 959.24$$



Langkah 2. Standart Kebebasan

$$\begin{aligned} Df &= \frac{[(S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2)]^2}{\left[\frac{(S_1^2/n_1)^2}{(n_1-1)}\right] + \left[\frac{(S_2^2/n_2)^2}{(n_2-1)}\right]} \\ &= \frac{[(108.71^2/6) + (3.51^2/6)]^2}{\left[\frac{(108.71^2/6)^2}{(6-1)}\right] + \left[\frac{(3.51^2/6)^2}{(6-1)}\right]} \\ &= \frac{[(11817.86/6) + (12.32/6)]^2}{\left[\frac{(11817.86/6)^2}{5}\right] + \left[\frac{(12.32/6)^2}{5}\right]} \\ &= \frac{[(1969.644) + (2.053)]^2}{\left[\frac{(1969.644)^2}{5}\right] + \left[\frac{(2.053)^2}{5}\right]} \\ &= \frac{[1971.697]^2}{\left[\frac{3879497.487}{5}\right] + \left[\frac{4.215}{5}\right]} \\ &= \frac{3887589.059}{[77589.898] + [0.843]} \\ &= \frac{3887589.059}{77590.741} \\ &= 50.10 \end{aligned}$$

Langkah 3. T Hitung

$$\begin{aligned} T \text{ Hitung} &= \frac{\sum x_1 - \sum x_2}{\sqrt{(S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2)}} \\ &= \frac{69.48 - 16.86}{\sqrt{(108.71^2/6) + (3.51^2/6)}} \\ &= \frac{69.48 - 16.86}{\sqrt{(1969.644) + (2.053)}} \\ &= \frac{52.62}{\sqrt{1971.697}} \\ &= \frac{52.62}{44.40} = 1.185 \end{aligned}$$

T tabel dengan selang kepercayaan 95 % dan n = 6 yaitu 2.44691

Kesimpulan : H_0 ditolak, dengan kata lain H_1 diterima artinya ada perbedaan antara kawasan mangrove Gunung Anyar dengan kawasan mangrove Kedawang terhadap kadar pb sedimen di kedua lokasi tersebut.

