

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT MERKURI (Hg) PADA AKAR  
DAN DAUN MANGROVE *Sonneratia caseolaris* DI MUARA SUNGAI  
PORONG, JABON, SIDOARJO**

**SKRIPSI**

**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN  
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

Oleh:

**SITI NAFI'ATUL ROMADHOTIN  
NIM. 125080100111099**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2016**

**ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT MERKURI (Hg) PADA AKAR DAN  
DAUN MANGROVE *Sonneratia caseolaris* DI MUARA SUNGAI PORONG,  
JABON, SIDOARJO**

**SKRIPSI**

**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN  
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

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

**Oleh :  
SITI NAFI'ATUL ROMADHOTIN  
NIM.125080100111099**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2016**

SKRIPSI

PENYATAAN ORIGINALITAS

ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT MERKURI (Hg) PADA AKAR DAN DAUN MANGROVE *Sonneratia caseolaris* DI MUARA SUNGAI PORONG, JABON, SIDOARJO

Oleh:

SITI NAFI'ATUL ROMADHOTIN

Nim. 125080100111099

Telah dipertahankan di depan penguji  
Pada tanggal 7 Juni 2016  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat  
SK Dekan No :  
Tanggal :

Dosen Penguji I

(Ir. Kusriani, MP)  
NIP. 19560417 198403 2 001

13 JUN 2016  
Dosen Penguji II

(Nanik Retno Buwono, S.Pi., MP)  
NIP. 19840420 201404 2 002

13 JUN 2016

Dosen Pembimbing I

(Dr. Ir. Mulyanto, M.Si)  
NIP. 119600317 198602 1 001

13 JUN 2016  
Dosen Pembimbing II

(Dr. Asus Maizar, S.H., S.Pi., MP)  
NIP. 19720529 200312 1 001

13 JUN 2016



Ketua Jurusan MSP

(Dr. Ir. Arning Wilujeng Ekawati, MS)  
NIP. 19620805 198603 2 001

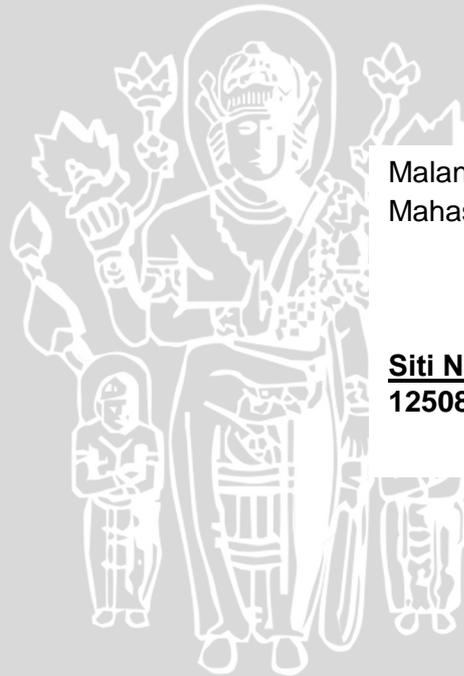
13 JUN 2016



## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang tertulis atau diterbitkan oleh lain kecuali tertulis dalam naskah ini disebutkan dalam daftar pustaka.

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



Malang, Juni 2016  
Mahasiswa,

**Siti Nafi'atul Romadhotin**  
**125080100111099**

## UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT dengan terselesaikannya skripsi ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

- 1) Kedua orang tua tercinta, bapak Moh. Masrap dan ibu Masti'ah yang selalu memberikan doa, kasih sayang, wejangan, dorongan, serta selalu menjadi moodboster yang canggih sehingga skripsi ini dapat berjalan dengan lancar
- 2) Dr. Ir Mulyanto, M.Si selaku dosen pembimbing I skripsi atas ketersediaan waktunya, kesabaran dan segala ilmu serta wejangan yang diberikan selama penulisan skripsi dan Dr. Agus Maizar SH, S.pi., MP selaku dosen pembimbing II skripsi atas waktunya dan ilmu yang diberikan selama penulisan skripsi
- 3) Teman hidup seperjuangan Achmad Fachrur Rizal yang selalu memberikan kasih sayang, kritik yang membangun, semangat, wejangan dan menjadi moodboster yang hebat
- 4) Mas andi, mbak in dan mbak maya yang selalu memberikan support dan doa dalam penyusunan penelitian ini
- 5) Sahabat solid Nila Eva Feliana dan Yuni Andhika Sari yang telah menemani melakukan perjalanan panjang di lapang
- 6) Bapak-bapak anggota Kodim, yang telah membantu dalam mendapatkan akomodasi ke lokasi penelitian
- 7) Adek adek cantik, Eka Sella eprilia dan Yulita Utami lutfi yang terkadang merangkap peran jadi kakak dan selalu menjadi teman berkeluh kesah dalam penelitian ini
- 8) Saudara tercinta mbak putri, mbak hilmi, arlin dan mira yang selalu ada di dalam suka dan duka selama pelaksanaan penelitian

- 9) Teman-teman Army'2012 yang telah memberikan dorongan semangat dan khususnya pada erni, patar, anam dan miftahudin yang telah menemani perjalanan survey pelaksanaan pengambilan sampel di lapang
- 10) Teman teman anggota kost 215E yang terus memberikan semangat dan menjadi dorongan dalam penyusunan skripsi ini
- 11) Kepada grup PSLD yang telah memberikan dorongan dan bantuan moril dalam penyusunan skripsi ini
- 12) Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas bantuan dan dorongan semangat hingga kelancaran proses penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga skripsi ini bermanfaat untuk para pembaca.

Malang, Juni 2016

Penulis



## RINGKASAN

**SITI NAFI'ATUL ROMADHOTIN.** Skripsi tentang Analisis Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg) pada Akar dan Daun Mangrove *Sonneratia caseolaris* di Muara Sungai Porong, Jabon, Sidoarjo (dibawah bimbingan **Dr. Ir. Mulyanto, M.si** dan **Dr. Asus Maizar SH, S.pi, MP**).

Lumpur lapindo dapat dikatakan sebagai lahan yang tercemar karena mengandung logam berat yang relatif tinggi, salah satunya yaitu Hg. Pembuangan lumpur lapindo ke laut melalui Sungai Porong telah menimbulkan adanya pencemaran dan kerusakan ekosistem di muara Sungai Porong. Mangrove merupakan tumbuhan yang mampu mengakumulasi logam berat di perairan. Jenis mangrove yang mendominasi kawasan muara Sungai Porong adalah *S. caseolaris*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kandungan logam berat Hg pada air, sedimen, akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris* serta mengetahui faktor biokonsentrasi (BCF), faktor translokasi (TF), dan nilai fitoremediasi (FTD) pada mangrove *S. caseolaris*.

Penelitian ini dilakukan di kawasan muara Sungai Porong, Dusun Tlocor, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo pada bulan Februari – Maret 2016. Parameter kualitas air yang diamati yaitu pH air, Salinitas dan tekstur tanah. Sampel yang diamati kandungan logam berat Hg nya meliputi air, sedimen, akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris*. Kandungan logam berat pada sampel di uji dengan menggunakan metode AAS. Titik pengambilan sampel terdapat 3 stasiun, yaitu stasiun 1 berada paling dekat dengan hulu serta pertambangan pasir, stasiun 2 berada di pertengahan antara stasiun 1 dan 3, stasiun 3 merupakan lokasi yang hampir berbatasan dengan laut.

Hasil pengukuran kualitas lingkungan di lokasi penelitain yaitu rata-rata pH sebesar 6,91, salinitas sebesar 2,33 ppt, dan jenis tanahnya adalah lempung berdebu. Rata-rata nilai konsentrasi Hg pada air sebesar 0,0056 ppm, pada sedimen sebesar 0,112 ppm, pada akar stasiun 1 sebesar 0,020 ppm, stasiun 2 sebesar 0,072 ppm dan stasiun 3 sebesar 0,040 ppm, sedangkan Hg pada daun stasiun 1 mencapai 0,005 ppm, stasiun 2 sebesar 0,023 ppm, dan stasiun 3 sebesar 0,013 ppm. Rata-rata nilai BCF pada stasiun 1 adalah 0,307, stasiun 2 sebesar 0,396 dan stasiun 3 sebesar 0,338. Rata-rata nilai TF pada stasiun 1 sebesar 0,265, stasiun 2 sebesar 0,32 dan stasiun 3 sebesar 0,335. Nilai rata-rata FTD pada stasiun 1 mencapai 0,041, stasiun 2 mencapai 0,058 dan stasiun 3 mencapai 0,002. Nilai FTD baik pada sedimen maupun akar menunjukkan nilai positif, kecuali FTD sedimen pada sampel C stasiun 3 yang bernilai negatif yaitu -0,127, disebabkan oleh nilai TF yang lebih tinggi dari nilai BCF, maka sebaliknya pada nilai FTD yang positif yaitu FTD sedimen 0,112; 0,012; 0,057; 0,119; 0,02; 0,115 dan FTD air sebesar 1,05; 5,403; 3,75; 9,125; 11,385; 9,672; 6,193; 8,187; 4,729, hal ini disebabkan oleh nilai TF yang rendah dan BCF tinggi. Nilai BCF menunjukkan bahwa *Sonneratia caseolaris* merupakan tanaman akumulator sedang dan termasuk dalam kategori *excluder*. Nilai TF menunjukkan bahwa translokasi logam berat Hg dari akar ke daun rendah. Nilai FTD yang tinggi menunjukkan bahwa adanya pemanfaatan akar tanaman mangrove untuk menyerap logam berat yang ada pada lingkungan. Berdasarkan hasil perhitungan BCF, TF dan FTD dapat dikatakan bahwa *Sonneratia caseolaris* diduga dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi, khususnya fitostabilisasi.

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim...

Alhamdulillah segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Skripsi dengan Judul "**Analisis Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg) pada Akar dan Daun Mangrove *Sonneratia caseolaris* di Muara Sungai Porong, Jabon, Sidoarjo**". Laporan Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari sebagai manusia mempunyai keterbatasan kemampuan, maka laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu berbagai saran dan kritik sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berharap semoga laporan skripsi ini dapat memberikan informasi bagi semua pihak yang memerlukan. Semoga Allah SWT selalu memberikan kemudahan kepada kita untuk mencari ilmu yang bermanfaat dan barokah, Amin.

Malang, Juni 2016

Penulis

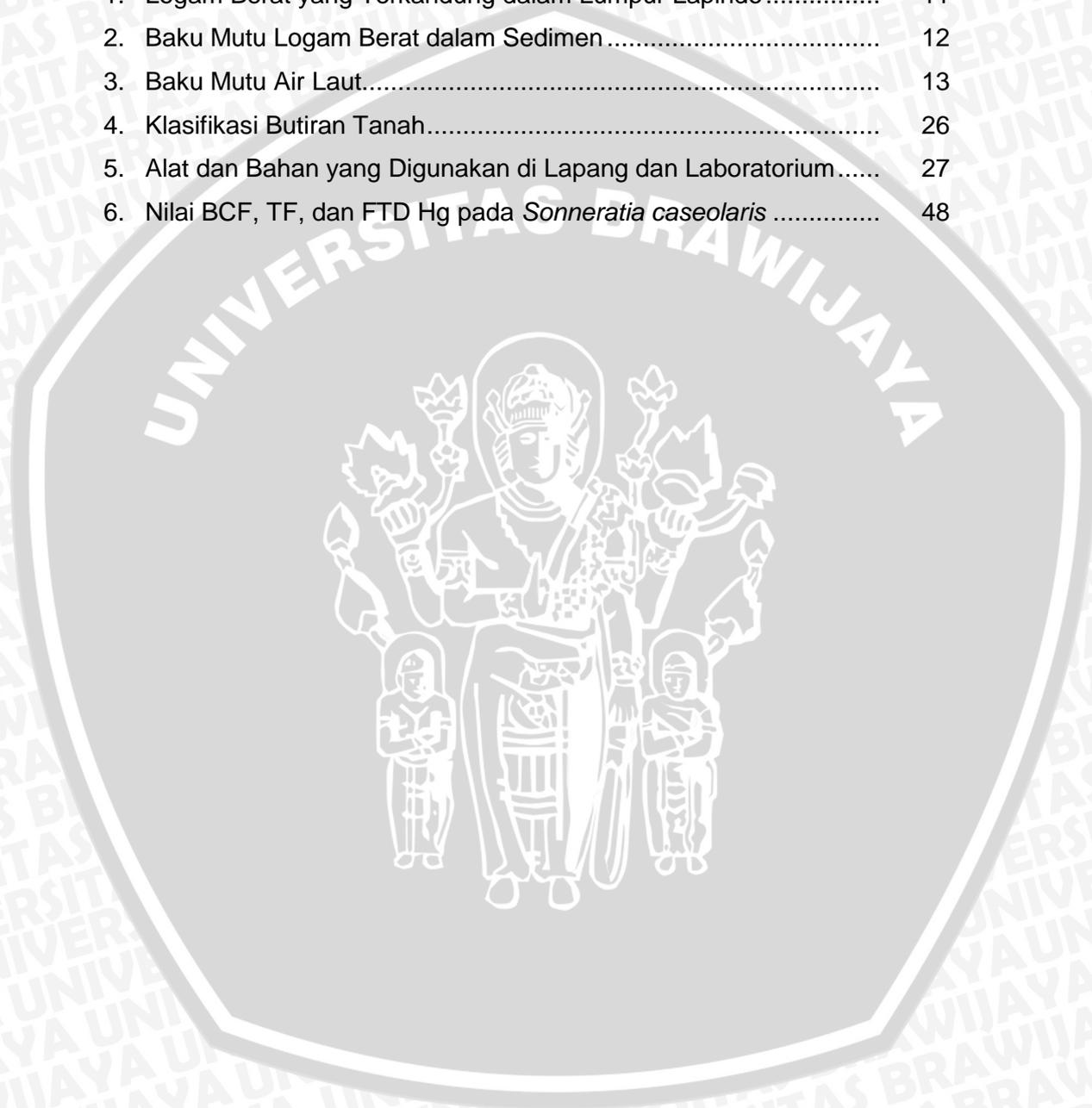
## DAFTAR ISI

UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
RINGKASAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Maksud dan Tujuan.....	5
1.4 Manfaat.....	6
1.5 Waktu dan Tempat Penelitian.....	6
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Logam Berat.....	7
2.2 Merkuri (Hg).....	8
2.2.1 Karakteristik Hg.....	8
2.2.2 Sumber Merkuri.....	9
2.2.3 Logam Berat Hg pada Perairan dan Sedimen.....	11
2.2.4 Baku Mutu Logam Berat Hg.....	12
2.2.5 Bahaya Merkuri.....	13
2.3 Ekosistem Mangrove.....	14
2.4 <i>Sonneratia caseolaris</i> .....	16
2.4.1 Ciri Umum <i>Sonneratia caseolaris</i> .....	16
2.4.2 Akar <i>Sonneratia caseolaris</i> .....	17
2.4.3 Daun <i>Sonneratia caseolaris</i> .....	17
2.5 Penyerapan Logam Berat pada Jaringan Mangrove.....	18
2.6 Paramater Lingkungan.....	23
<b>3. MATERI DAN METODE.....</b>	<b>27</b>
3.1 Materi Penelitian.....	27
3.2 Alat dan Bahan.....	27
3.3 Penentuan Stasiun dan Sampel.....	28

3.4	Prosedur Pengambilan Sampel.....	28
3.4.1	Sampel Air.....	28
3.4.2	Sampel Sedimen.....	28
3.4.3	Sampel Mangrove.....	29
3.5	Analisa Konsentrasi Hg Total.....	30
3.5.1	Pengukuran Konsentrasi Hg pada Air.....	30
3.5.2	Pengukuran Konsentrasi Hg pada Sedimen.....	30
3.5.3	Pengukuran Konsentrasi Hg pada Akar dan Daun <i>Sonneratia caseolaris</i> .....	31
3.6	Analisa Parameter Lingkungan.....	31
3.7	Analisa Data.....	34
3.7.1	Faktor Biokonsentrasi (BCF) dan Faktor Transokasi (FT).....	34
3.7.2	Fitoremediasi (FTD).....	34
3.7.3	Analisis Statististik.....	35
<b>4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>36</b>
4.1	Keadaan Umum Lokasi Penelitian.....	36
4.1.1	Deskripsi Stasiun 1.....	36
4.1.2	Deskripsi Stasiun 2.....	37
4.1.3	Deskripsi Stasiun 3.....	38
4.2	Kondisi Lingkungan Perairan.....	39
4.2.1	Derajat Keasaman.....	39
4.2.2	Salinitas.....	40
4.2.3	Tekstur Tanah.....	41
4.3	Perbandingan Kandungan Hg pada Air di Tiap Stasiun.....	42
4.4	Perbandingan Kandungan Hg pada Sedimen di Tiap Stasiun.....	43
4.5	Perbandingan Kandungan Hg pada Akar Tiap Stasiun.....	45
4.6	Perbandingan Kandungan Hg pada Daun Tiap Stasiun.....	46
4.7	Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF) dan Fitoremediasi (FTD).....	47
<b>5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>53</b>
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	54
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>55</b>

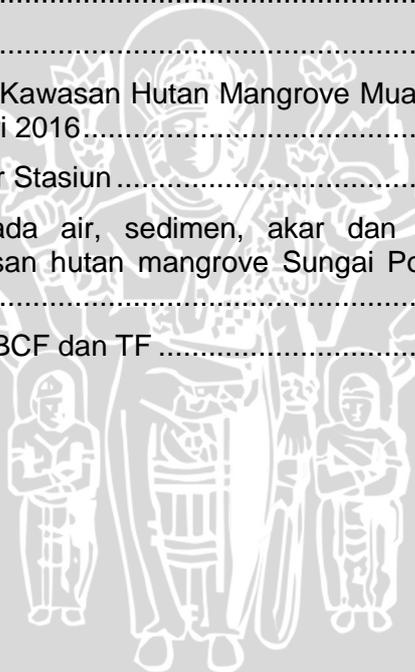
## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Logam Berat yang Terkandung dalam Lumpur Lapindo.....	11
2. Baku Mutu Logam Berat dalam Sedimen.....	12
3. Baku Mutu Air Laut.....	13
4. Klasifikasi Butiran Tanah.....	26
5. Alat dan Bahan yang Digunakan di Lapang dan Laboratorium.....	27
6. Nilai BCF, TF, dan FTD Hg pada <i>Sonneratia caseolaris</i> .....	48



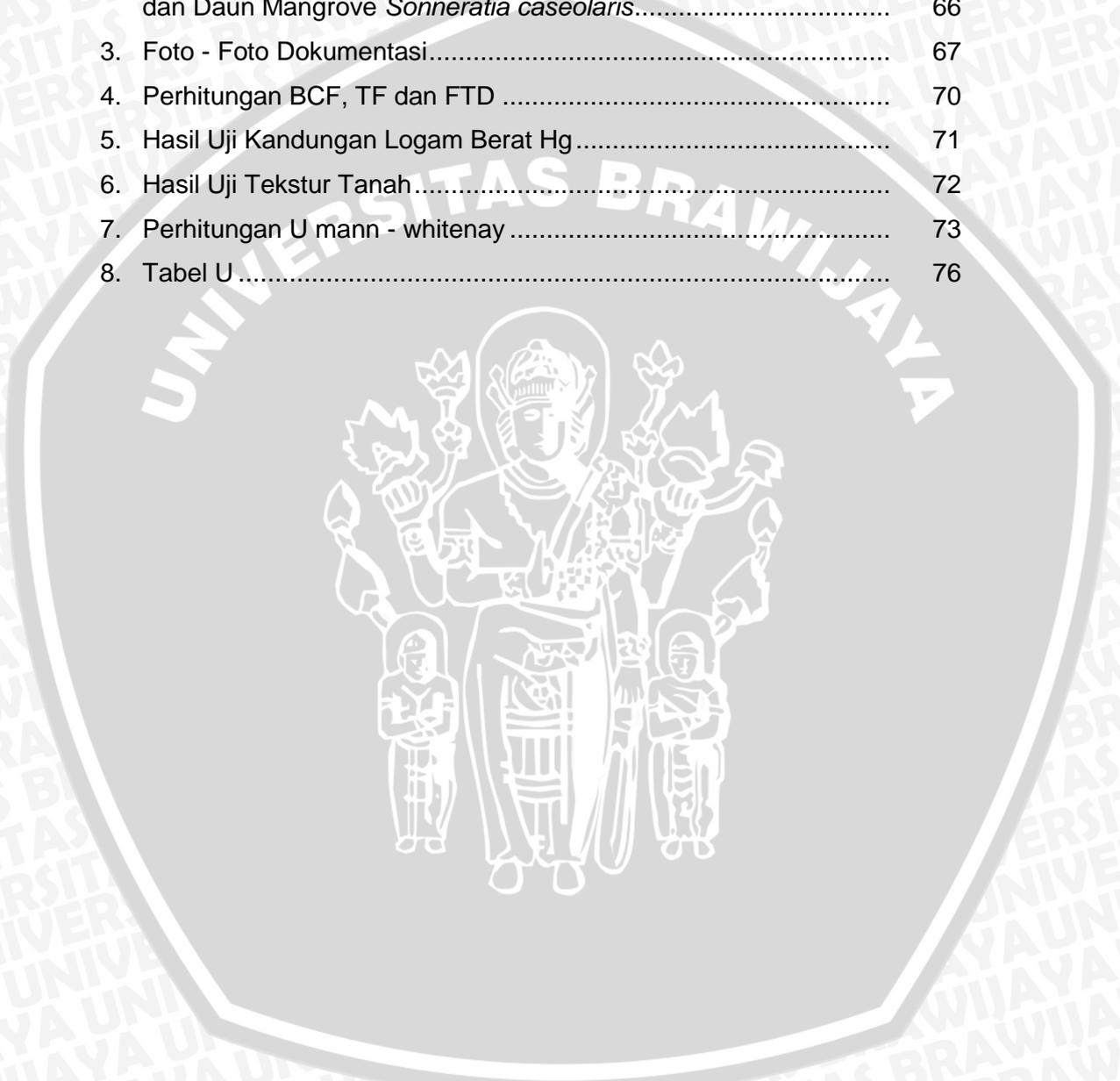
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Semburan Lumpur (a) Pembuangan ke Sungai Porong (b).....	10
2. <i>Sonneratia caseolaris</i> .....	16
3. Akar <i>Sonneratia caseolaris</i> .....	17
4. Percabangan Daun (a) Bentuk Daun (b) .....	18
5. Mekanisme Fitoremediasi .....	23
6. Segitiga Tekstur Tanah .....	25
7. Stasiun 1 .....	37
8. Stasiun 2.....	38
9. Stasiun 3.....	38
10. pH dan Salinitas di Kawasan Hutan Mangrove Muara Sungai Porong pada Bulan Februari 2016.....	39
11. Tekstur Tanah antar Stasiun .....	41
12. Kandungan Hg pada air, sedimen, akar dan daun <i>Sonneratia caseolaris</i> di kawasan hutan mangrove Sungai Porong pada Bulan Februari 2016.....	42
13. Perbandingan nilai BCF dan TF .....	51



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Peta Lokasi.....	65
2. Hasil Uji Laboratorium Kadar Merkuri (Hg) pada Air, Sedimen, Akar dan Daun Mangrove <i>Sonneratia caseolaris</i> .....	66
3. Foto - Foto Dokumentasi.....	67
4. Perhitungan BCF, TF dan FTD .....	70
5. Hasil Uji Kandungan Logam Berat Hg .....	71
6. Hasil Uji Tekstur Tanah.....	72
7. Perhitungan U mann - whitney .....	73
8. Tabel U.....	76



## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Banjir lumpur lapindo merupakan peristiwa penyemburan lumpur panas yang diawali pada tanggal 29 Mei 2006 di lokasi pengeboran PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Lumpur lapindo terdiri dari 70% air dan 30% padatan (Harthanto *et al.*, 2014). Beberapa upaya telah dilakukan untuk menanggulangi luapan lumpur. Salah satunya yaitu pembuatan tanggul untuk membendung area genangan lumpur, tetapi lumpur terus bertambah setiap harinya dan merusak tanggul serta mengancam pemukiman warga di sekitarnya, sehingga pemerintah membuat kebijakan untuk membuang lumpur ke laut melalui sungai Porong. Kebijakan ini telah menimbulkan kerugian yang sangat besar, diantaranya yaitu kerusakan ekosistem Sungai Porong di pesisir Sidoarjo dan pencemaran perairan di Selat Madura (Kholidiyah, 2010). Lumpur lapindo mengandung logam berat yang relatif tinggi seperti Hg, Cr, Cd, As dan Pb (Nugraha, 2013).

Menurut Darmono (1995), logam berat merupakan unsur-unsur kimia yang mempunyai densitas lebih dari  $5 \text{ g/cm}^3$ . Logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar karena sifatnya yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diabsorpsi. Menurut Junita (2013), logam berat dibagi menjadi 2 jenis yaitu esensial (Zn, Mn, Cu, Co, dan Fe) dan non esensial (Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain), yang dimaksud dengan esensial adalah logam yang dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme tetapi jika jumlahnya berlebih akan bersifat racun, sedangkan non esensial adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat racun.

Logam berat yang mempunyai toksisitas tertinggi adalah merkuri (Hg) (Darmono, 2001). Menurut Inswiasari (2008) dalam Lestarisa (2010), pencemaran merkuri mempunyai pengaruh terhadap ekosistem setempat karena disebabkan oleh sifatnya yang stabil dalam sedimen, kelarutannya yang rendah dalam air dan kemudahannya diserap dan terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme air, baik melalui proses bioakumulasi maupun biomagnifikasi yaitu melalui rantai makanan. Menurut Darmono (1995), logam berat Hg biasanya terdapat di dalam perairan dalam bentuk ion  $Hg^{2+}$ . Panda *et al* (2003) menyatakan bahwa merkuri yang mengendap ke dasar perairan (sedimen) akan diubah menjadi metilmerkuri ( $CH_3Hg^+$ ) oleh bakteri pereduksi sulfat, proses ini disebut sebagai metilasi (methylation). Menurut Boszke *et al* (2003), biasanya konsentrasi metilmerkuri dalam sedimen bervariasi antara 1-1,5% dari total Hg yang terkandung. Hg yang terkandung di dalam perairan maupun sedimen akan terakumulasi pada tubuh organisme. Menurut Suseno (2011), organisme akuatik mengakumulasi senyawa merkuri dalam bentuk  $CH_3Hg^+$  dan  $Hg^{2+}$  pada seluruh tingkatan jaringan makanan. Menurut Panda *et al* (2003), proses terjadinya bioakumulasi metilmerkuri pada ikan di lingkungan perairan melalui dua jalur utama, yaitu kontaminasi langsung (*direct contamination*) dan kontaminasi melalui tingkat tropik (*trophic contamination*). Metilmerkuri akan terakumulasi pada hati, otak, limpa, otot serta ginjal.

Menurut Zarkasyi (2008), pada beberapa dekade terakhir ini Hg merupakan senyawa pencemar terbesar dalam lingkungan. Sejak tahun 1950 Hg ditetapkan sebagai pencemar berbahaya yang dapat mengakibatkan dampak serius terhadap kesehatan manusia dan lingkungan sekitar. Baik dalam bentuk organik maupun anorganik merkuri akan tetap ada dalam lingkungan karena mempunyai sifat yang sangat persisten. Menurut Yasuda *et al* (2000), bahaya Hg khususnya Hg metil (MeHg) telah dikenal luas dari tragedi yang terjadi di Teluk Minamata,

Jepang. Penyebab dari peristiwa ini adalah pembuangan produk sampingan yang mengandung MeHg ke dalam teluk tersebut oleh pabrik kimia penghasil klorida vinil dan formaldehida milik perusahaan Chisso. Organisme laut akan mengakumulasi MeHg dalam konsentrasi tinggi dan selanjutnya terjadi keracunan pada manusia yang mengkonsumsinya.

Mangrove merupakan tumbuhan yang mampu hidup dan berkembang di daerah pesisir atau muara sungai. Melalui modifikasi akar dan daunnya, mangrove dapat hidup pada berbagai macam substrat yang masih mendapat pengaruh pasang surut air laut (Annie dan Sigua, 2013). Keberadaan ekosistem mangrove di kawasan pesisir menjadi sangat penting karena mangrove mampu mengakumulasi logam berat dan membantu mengurangi tingkat konsentrasi bahan pencemar di air. Ulqodry (2001) dalam Setiawan (2013) menyatakan bahwa ekosistem mangrove memegang peranan penting sebagai *pollutant trap* terhadap nutrien dan berbagai unsur logam, baik yang berasal dari laut maupun dari darat. Menurut Annie dan Sigua (2013), mangrove mempunyai kemampuan mengakumulasi serta daya toleransi yang tinggi terhadap logam berat.

Menurut Parvaresh *et al.* (2010), salah satu bagian mangrove yang dapat mengakumulasi logam adalah bagian daun. Sementara Nazli dan Hashim (2010) menyatakan bahwa selain bagian daun, akar mangrove juga mampu mengakumulasi logam berat. Kemampuan daun dan akar mangrove dalam mengakumulasi logam berat lebih tinggi dibandingkan dengan jenis vegetasi lain. Menurut Fitria *et al.* (2015), mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat pada tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga bagian yang saling berkesinambungan, yaitu diawali dari penyerapan logam berat oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain dan lokalisasi logam di bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan. Proses penyerapan logam oleh akar dilakukan dengan membawa logam dalam bentuk ion masuk ke

dalam rizosfer dengan berbagai cara tergantung dari spesies tumbuhan tersebut. Selanjutnya logam ditranslokasikan ke bagian tubuh lainnya melalui *xylem* dan floem. Pengangkutan logam diikat oleh suatu zat khelat, tujuannya yaitu untuk meningkatkan efisiensi proses pengangkutan. Tanaman tidak dapat menyerap seluruh logam berat yang berada di lingkungan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Fitria *et al.* (2015), yaitu dari 5 ppm logam berat yang terserap kurang lebih adalah 4 ppm. Hal ini dikarenakan logam yang sudah masuk ke dalam bagian tubuh tanaman akan diekskresikan kembali dengan cara menggugurkan daun yang sudah tua sehingga nantinya dapat mengurangi kadar logam yang ada pada tanaman, selain itu pengendapan logam yang berupa molekul garam dalam air tidak dapat masuk ke dalam tanaman.

Jenis mangrove yang mendominasi kawasan muara Sungai Porong daerah Tlocor adalah *Sonneratia caseolaris*. Menurut Susmalinda (2013), *Sonneratia caseolaris* termasuk dalam kelompok mangrove mayor (flora mangrove sebenarnya), yaitu tumbuhan yang mampu membentuk tegakan murni dan secara dominan mencirikan struktur komunitas, secara morfologi tanaman ini mempunyai bentuk adaptif khusus (bentuk akar dan viviparitas) terhadap lingkungan, dan mempunyai mekanisme fisiologis dalam mengontrol garam. *Sonneratia caseolaris* tumbuh pada salinitas kurang dari 10 ppt dan dapat ditemui di sepanjang sungai sampai sejauh penetrasi air asin, pohon yang tingginya mencapai 20 m ini dapat bertahan hidup pada air tawar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Sungai Porong merupakan satu-satunya saluran pembuangan lumpur panas lapindo yang mengandung logam berat berbahaya jauh di atas ambang batas yang dipersyaratkan. Salah satu logam berat yang terkandung dalam lumpur lapindo adalah merkuri (Hg), yang jumlahnya mencapai 1,96 ppm. Hutan

mangrove di kawasan muara Sungai Porong didominasi oleh *Sonneratia caseolaris*. Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg) pada Akar dan Daun Mangrove *Sonneratia caseolaris* di Muara Sungai Porong, Jabon, Sidoarjo” untuk dijadikan sebagai evaluasi lingkungan dalam mengontrol adanya limbah buangan lumpur Lapindo yang ada di sekitar muara Sungai Porong, sehingga sumberdaya tersebut tetap terjaga dari pencemaran logam berat. Rumusan masalah yang ditentukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimanakah kandungan logam berat merkuri (Hg) pada air, sedimen, akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris*?
- 2) Seberapa besar kemampuan mangrove *Sonneratia caseolaris* dalam mengakumulasi Hg ditinjau dari nilai faktor biokonsentrasi (BCF), faktor translokasi (TF) dan fitoremediasi (FTD)?

### 1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kandungan merkuri (Hg) pada akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris*, perairan serta sedimen di hutan mangrove kawasan muara Sungai Porong. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui kandungan logam berat Hg pada air, sedimen, akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris* di Muara Sungai Porong
- 2) Mengetahui kemampuan mangrove *Sonneratia caseolaris* dalam mengakumulasi Hg ditinjau dari nilai faktor biokonsentrasi (BCF), faktor translokasi (TF) dan fitoremediasi (FTD).

#### 1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- 1) Dapat dijadikan sebagai upaya untuk mengurangi kandungan logam berat diperairan karena telah diketahui bahwa mangrove dapat berperan sebagai fitoremediator logam berat.
- 2) Dapat meningkatkan pengetahuan peneliti dan menambah pengetahuan bagi Perguruan Tinggi mengenai kandungan logam berat merkuri (Hg) pada Mangrove *Sonneratia caseolaris* yang terdapat di muara Sungai Porong serta dapat dijadikan sebagai bahan kajian untuk penelitian selanjutnya.

#### 1.5 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di muara Sungai Porong, Dusun Tlocor, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Analisis logam berat di lakukan di Laboratorium Kimia, MIPA, Universitas Brawijaya Malang selama bulan Februari sampai dengan Maret 2016.



## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Logam Berat

Semua unsur kimia yang terdapat dalam Susunan Berkala Unsur-unsur, berdasarkan daya hantar panas dan listriknya dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu golongan logam dan non-logam. Golongan logam mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi, sedangkan unsur-unsur non-logam mempunyai daya hantar panas dan listrik yang rendah (Hutagalung, 1984).

Palar (2004) menyatakan bahwa istilah logam biasa diberikan pada semua unsur-unsur kimia dengan ketentuan tertentu. Pada kondisi suhu kamar, unsur kimia ini tidak selalu berbentuk padat melainkan ada yang berbentuk cair. Logam berat mempunyai kriteria yang sama dengan logam-logam lainnya, perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan logam berat ini jika masuk ke dalam organisme hidup. Menurut Darmono (1995), logam digolongkan dalam dua kategori, yaitu logam berat dan logam ringan. Logam berat merupakan logam yang mempunyai berat 5 g atau lebih untuk setiap  $\text{cm}^3$ , dengan kata lain logam yang beratnya kurang dari 5 g setiap  $\text{cm}^3$  termasuk dalam golongan logam ringan.

Logam berat terletak di sudut kanan bawah pada sistem periodik unsur, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92, dari periode 4 sampai 7. Sebagian logam berat merupakan zat pencemar yang sangat berbahaya, diantaranya adalah Merkuri (Hg), Kadmium (Cd) dan Plumbum (Pb). Afinitasnya yang tinggi terhadap S menyebabkan logam berat menyerang ikatan S dalam enzim, sehingga enzim tersebut menjadi tidak aktif. Gugus karboksilat ( $-\text{COOH}$ ) dan amina ( $-\text{NH}_2$ ) juga bereaksi dengan logam berat. Kadmium, Plumbum, dan Tembaga terikat pada sel-sel membran yang

kemudian menghambat proses transformasi melalui dinding sel. Logam berat juga dapat mengendapkan senyawa posfat biologis atau mengkatalis penguraiannya (Andika *et al.*, 2009).

Menurut Junita (2013), pencemaran logam berat di Indonesia semakin meningkat dari waktu ke waktu sejalan dengan meningkatnya proses industrialisasi. Logam berat dibagi menjadi dua jenis, diantaranya adalah:

- a) Logam berat esensial, yaitu logam yang dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme, tetapi dapat menimbulkan efek racun jika dalam jumlah yang berlebihan. Contohnya adalah: Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain-lain.
- b) Logam berat non esensial, yaitu logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat racun. Contohnya adalah: Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain.

Logam berat berbahaya yang sering mencemari lingkungan adalah Hg, Pb, Ar, Cd, Cr, dan Ni. Logam-logam ini dapat menggumpal dalam tubuh organisme dan terakumulasi sebagai racun (Purnomo dan Muchyiddin, 2008). Palar (1994) menyatakan bahwa logam berat dalam konsentrasi yang tinggi dapat mematikan biota perairan. Meskipun demikian konsentrasi logam berat yang rendahpun dapat memungkinkan kematian organisme, proses ini diawali dengan penumpukan logam berat di dalam tubuh biota. Seiring dengan berjalannya waktu penumpukan tersebut akan melebihi daya toleransi dari biota tersebut dan hal inilah yang menjadi penyebab kematian biota terkait.

## **2.2 Merkuri (Hg)**

### **2.2.1 Karakteristik Hg**

Menurut Hadi (2013), merkuri atau raksa (Hg) merupakan unsur logam yang sangat penting dalam teknologi pada abad modern saat ini. Merkuri mempunyai nomor atom (NA) 80 dan massa molekul relatif (MR) 200,59. Merkuri mempunyai

simbol kimia Hg yang merupakan singkatan dari bahasa Yunani "*Hydrargyricum*", artinya yaitu cairan perak. Bentuk fisika dan kimia merkuri sangat menguntungkan karena merupakan satu-satunya logam yang berbentuk cair pada suhu kamar (25°C), titik bekunya paling rendah (-39 °C), sebagai konduktor listrik yang baik, mempunyai kecenderungan menguap lebih besar, dan mudah bercampur dengan logam-logam lain menjadi logam campuran yang biasa disebut sebagai amalgam atau aloi.

Merkuri merupakan logam dengan ikatan metalik terlemah diantara semua logam. Lemahnya ikatan metalik mengakibatkan tingginya tekanan uap pada temperatur kamar, dan ini dapat menjadi racun yang sangat berbahaya jika terhisap oleh makhluk hidup. Merkuri mempunyai densitas tinggi yaitu 13,6 g/cm<sup>3</sup>, dan mampu melarutkan logam-logam lain (Kristianingrum, 2009). Kebanyakan merkuri yang berada di alam terdapat dalam bentuk senyawa dengan elemen lain dan jarang dijumpai dalam bentuk elemen terpisah. Komponen merkuri banyak tersebar di tanah, udara, karang, air dan organisme hidup melalui proses kimia, fisika, dan biologi yang kompleks (Palar, 1994).

### 2.2.2 Sumber Merkuri

Merkuri terdapat di dalam kerak bumi dengan konsentrasi 0,08 mg/l, logam ini banyak tertimbun pada daerah penambangan. Hg lebih banyak digunakan dalam bentuk logam murni dan organik daripada bentuk anorganik. Logam Hg dapat berada pada berbagai senyawa. Merkuri di udara berasal dari deposit mineral dan area industri. Logam Hg yang ada di air dan tanah terutama berasal dari deposit alam, buangan limbah, dan aktivitas vulkanik. Logam Hg juga dapat bersenyawa dengan karbon membentuk senyawa Hg organik (Agustina, 2010). Hg yang terdapat pada muara Sungai Porong diduga berasal dari industri yang ada disekitar Kabupaten Sidoarjo. Menurut Alfian (2006), merkuri biasa

digunakan pada pabrik cat, pabrik klor alkali, peralatan listrik, pertanian (fungisida) serta praktek dokter gigi yang menggunakan penambal gigi. Selain itu kandungan Hg juga diduga dapat berasal dari semburan lumpur panas lapindo.

Semburan lumpur lapindo di Kabupaten Sidoarjo pertama kali muncul pada tanggal 29 Mei 2006 di areal persawahan Desa Siring Kecamatan Porong. Pada waktu itu titik semburan lumpur berjarak 150 meter dari arah barat daya sumur Banjar Panji 1 milik PT. Lapindo Brantas yang sedang melakukan penggalian vertikal untuk mencapai Formasi Kujung dengan kedalaman 10.300 kaki. Ketika semburan lumpur pertama kali terjadi disekitar sumur Banjar Panji 1, volume lumpur yang dihasilkan sebesar 5.000 m<sup>3</sup> per hari. Pada awalnya lubang semburan terjadi di beberapa tempat, dan akhirnya lubang tersebut bergabung menjadi satu lubang besar yang menyemburkan lumpur panas dengan volume yang terus meningkat dari waktu ke waktu hingga mencapai 50.000 m<sup>3</sup> per hari. Penanganan lumpur panas ini menjadi semakin sulit akibat bertambah besarnya volume lumpur panas yang disemburkan, yaitu dari 40.000 m<sup>3</sup> menjadi 126.000 m<sup>3</sup> per hari, sehingga yang dibuang tidak hanya airnya saja tetapi keseluruhan lumpur panas yang menyembur di sekitar sumur Banjar Panji 1 (Gunradi dan Suprpto, 2007). Menurut Herawati (2007), semburan lumpur lapindo dan pipa pembuangan lumpur ke Sungai Porong dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Semburan Lumpur Lapindo (a) Pembuangan ke Sungai Porong (b)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh UNDAC (2006), tentang “*Environmental Assesment Hot Mud Flow East Java, Indonesia*” logam berat yang terkandung dalam lumpur lapindo dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Logam Berat yang Terkandung dalam Lumpur Lapindo

Sample number	60 Ni µg/g	59 Co µg/g	65 Cu µg/g	66 Zn µg/g	75 As2 µg/g	88 Sr µg/g	114 Cd µg/g	121 Sb µg/g	137 Ba µg/g	202 Hg ng/g	205 Tl µg/g	208 Pb µg/g
Detection limit ->	1,0	0,2	1,2	8	4	2,4	0,08	0,10	2	<b>0,001</b>	0,06	0,4
mud 2	19,6	14,1	24,2	82	5,4	282	<AG	0,48	111,5	14	0,48	17,8
mud 2- duplo	20,5	15,3	24,5	81	6,8	283	0,13	0,45	110,8	15	0,41	15,9
mud 3+4	18,6	12,9	15,9	80	7,9	290	0,10	0,28	45,5	9,9	0,21	13,5
mud 3+4- duplo	22,7	14,5	17,4	78	7,4	301	0,09	0,36	81,9	10	0,38	13,5
mud 5+6	21,7	13,9	17,4	79	8,6	361	<AG	0,41	96,1	9,4	0,40	18,8
mud 5+6- duplo	22,6	14,4	17,7	76	7,5	338	<AG	0,30	68,7	9,6	0,32	13,5
Soil 7	7,1	13,4	33,1	67	3,0	295	0,08	0,22	175,2	20	0,10	10,9
Soil 8	12,6	15,3	37,0	70	2,0	289	<AG	0,21	186,2	16	0,09	10,9

Darmono (2001) menyatakan bahwa urutan toksisitas logam berat dari tinggi ke rendah adalah Hg, Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, dan Zn. Menurut IESR (2010), bencana yang keluar dari semburan lumpur lapindo mengandung logam berat berbahaya jauh di atas ambang batas yang telah ditentukan, salah satu logam tersebut adalah Hg yang jumlahnya sebesar 1,96 ppm.

### 2.2.3 Logam Berat Hg pada Perairan dan Sedimen

Menurut Tam dan Wong (1996) dalam Nazli dan Hashim (2010), akumulasi logam berat pada ekosistem mangrove terjadi baik pada sedimen maupun perairan. Sedimen mangrove memiliki kemampuan untuk menahan logam berat dari perairan, baik dari sungai maupun dari pasang surut air laut. Menurut Apriadi (2005), merkuri yang masuk ke dalam perairan dapat terakumulasi pada ikan dan biota air lainnya, termasuk ganggang dan tumbuhan air. Mekanisme masuknya merkuri ke dalam tubuh hewan air adalah melalui penyerapan pada permukaan kulit, insang dan rantai makanan, sedangkan pengeluarannya bisa melalui permukaan tubuh, insang dan atau urine.

Pencemaran logam berat dapat merusak lingkungan perairan dalam hal stabilitas, keanekaragaman dan kedewasaan ekosistem. Dari aspek ekologis, kerusakan ekosistem perairan akibat pencemaran logam berat dapat ditentukan oleh faktor kadar dan kesinambungan zat pencemar yang masuk dalam perairan, sifat toksisitas dan bioakumulasi. Pencemaran logam berat dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur komunitas perairan, jaringan makanan, tingkah laku, efek fisiologi, genetik dan resistensi (Apriadi, 2005).

#### 2.2.4 Baku Mutu Logam Berat Hg

Febryanto *et al.* (2009) menyatakan bahwa di Indonesia baku mutu logam berat di dalam lumpur belum ditetapkan, sehingga acuan yang digunakan adalah baku mutu yang dikeluarkan oleh IADC/CEDA (1997) mengenai kandungan logam berat dalam sedimen yang keberadaannya dapat ditoleransi berdasarkan standar kualitas Belanda. Baku mutu logam berat dalam sedimen dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Baku Mutu Logam Berat dalam Sedimen

Logam berat	Level Target	Level Limit	Level Tes	Level Intervensi	Level Bahaya
Cadmium	0,5	2	7,5	12	30
Timbal	85	530	530	530	1000
Merkuri	0,3	0,5	1,6	10	15

Sumber: *International Association of Dredging Companies / Central Dredging Association* (1997) (Febryanto *et al.*, 2009).

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.

- c. Level tes. Jika konsentrasi kontaminan yang ada di sedimen berada pada kisaran nilai antara level limit dan level tes, maka dikategorikan sebagai tercemar ringan.
- d. Level intervensi. Jika konsentrasi kontaminan yang ada di sedimen berada pada kisaran nilai antara level tes dan level intervensi, maka dikategorikan sebagai tercemar sedang.
- e. Level bahaya. Jika konsentrasi kontaminan berada pada nilai yang lebih besar dari baku mutu level bahaya maka harus dengan segera dilakukan pembersihan sedimen (Panjaitan, 2009).

Selain pada sedimen, baku mutu yang perlu diamati yaitu pada air laut. Menurut Sagala *et al.* (2014), Baku mutu air laut berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup 2004 dapat dilihat pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Baku Mutu Air Laut untuk biota laut

Logam Berat	Baku Mutu (mg/L)
<b>Hg</b>	0,001
<b>Cd</b>	0,001
<b>Cu</b>	0,008
<b>As</b>	0,012
<b>Pb</b>	0,008

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup 2004 (Sagala *et al.*, 2014).

### 2.2.5 Bahaya Merkuri

Menurut Mirdat *et al.* (2013), lingkungan yang tercemar oleh merkuri dapat membahayakan kehidupan manusia karena adanya rantai makanan. Merkuri akan terakumulasi dalam mikroorganisme perairan (sungai, danau dan laut) melalui proses metabolisme. Bahan-bahan yang mengandung merkuri dan terbuang ke sungai atau laut akan dimakan oleh mikroorganisme dan secara kimiawi berubah menjadi senyawa metilmerkuri. Mikroorganisme dimakan oleh ikan sehingga metilmerkuri akan terakumulasi pada tubuh ikan dan akhirnya

dikonsumsi oleh manusia. Bahaya yang ditimbulkan oleh senyawa merkuri adalah kerusakan rambut, gigi, serta terganggunya sistem syaraf.

Merkuri dalam bentuk logam tidak begitu berbahaya, karena hanya 15% yang dapat terserap oleh tubuh manusia. Tetapi pada kondisi tertentu merkuri dapat bereaksi dengan metana yang berasal dari dekomposisi senyawa organik membentuk metilmerkuri yang bersifat toksik. Dalam bentuk metilmerkuri sebagian besar akan terakumulasi pada otak (Edward, 2008).

Radikal metilmerkuri sangat stabil dan lambat untuk diekskresikan sehingga memberikan efek neurotoksik yang parah. Adanya logam berat terutama merkuri perlu diwaspadai karena dapat menimbulkan efek akumulatif seperti halnya penyakit minamata di Jepang. Metilmerkuri bersumber dari pabrik pelarut cat yang dibuang ke teluk Minamata. Hal ini menyebabkan masyarakat sekitar yang biasa mengkonsumsi ikan dari perairan tersebut menderita keracunan dan diperkirakan 1000 orang meninggal dunia (Murtini dan Peranginangin, 2006).

### **2.3 Ekosistem Mangrove**

Kata mangrove berasal dari penggabungan bahasa portugis “mangue” dan bahasa inggris “grove”. Mangrove dalam bahasa portugis dan bahasa inggris digunakan untuk menyebut komunitas tumbuhan yang tumbuh pada daerah jangkauan pasang surut maupun spesies tumbuhan yang menyusun kawasan tersebut. Mangrove biasa hidup di daerah pesisir atau muara sungai yang masih terjangkau oleh pasang surut air laut. FAO (1982) dalam Kapludin (2012) menyatakan bahwa hutan mangrove merupakan jenis ataupun komunitas tumbuhan yang mempunyai habitat di daerah pasang surut. Mangrove cenderung membentuk tegakan yang berperan sebagai pelindung erosi pantai, penyangga antara laut dan daratan, serta menghambat intrusi air laut ke darat.

Flora mangrove dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu 1) Mangrove mayor (mangrove sebenarnya) adalah flora yang menunjukkan kesetiaan terhadap habitat mangrove, dapat membentuk tegakan murni dan secara dominan mencirikan struktur komunitas, secara morfologi tumbuhan jenis ini mempunyai bentuk-bentuk adaptif khusus (bentuk akar dan viviparitas) terhadap lingkungan mangrove, serta mempunyai mekanisme fisiologis dalam mengontrol garam. Contoh mangrove yang masuk dalam kelompok mayor adalah *Sonneratia caseolaris*, *Sonneratia alba*, *Avicennia alba*, *Avicennia marina*, *Avicennia lanata*, *Avicennia officinalis*, *Bruguiera cylindrica*, *bruguiera gymnorrhiza*, *Bruguiera sexangula*, *Ceriops decandra*, *Ceriops tegal*, *Lumnitzera littorea*, dan *Nypa fruticans*. 2) Mangrove minor, yaitu tumbuhan mangrove yang tidak dapat membentuk tegakan murni, sehingga tidak berperan dominan dalam struktur komunitas mangrove. Contoh mangrove yang termasuk dalam kelompok minor adalah *Acrostichum aureum*, *Acrostichum speciosum*, *Aegiceras corniculatum*, *Aegiceras floridum*, *Xylocarpus granatum*, *Xylocarpus molluccensis*, *Xylocarpus rumphii*, dan *Scyphiphora hydrophyllacea*. 3) Mangrove asosiasi, contoh mangrove yang termasuk dalam jenis mangrove asosiasi adalah *Acanthus ebracteatus*, *Acanthus ilicifolius*, *Cerbera odollam*, *Pongamia pinnata*, *Sesuvium portulacastrum*, *Clerodendron inerme*, dan *Ipomoea pes-caprae* (Sulastini, 2011).

Habitat mangrove berada di sepanjang pantai dan muara sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Mangrove tumbuh di daerah yang terlindung dari angin atau berada di belakang terumbu karang (lepas pantai yang terlindung) (Nontji, 1987). Jenis tanah pada hutan mangrove biasanya adalah *saline young soil*, tanah ini mempunyai kandungan liat yang tinggi serta diikuti dengan nilai kejenuhan basa dan kapasitas tukar kation yang tinggi. Pada daerah yang dekat dengan darat, kandungan bahan organik, total nitrogen dan

ammoniumnya semakin tinggi. Sebaliknya semakin dekat dengan laut maka kandungan tersebut semakin kecil (Wardhani, 2011).

## 2.4 *Sonneratia caseolaris*

### 2.4.1 Ciri Umum *Sonneratia caseolaris*

Berdasarkan Satriono (2007), klasifikasi *Sonneratia caseolaris* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Division	: <i>Magnoliophyta</i>
Class	: <i>Magnoliopsida</i>
Order	: <i>Myrtales</i>
Family	: <i>Lythraceae</i>
Genus	: <i>Sonneratia L.f.</i>
Spesies	: <i>Sonneratia caseolaris</i>

*Sonneratia caseolaris* atau biasa disebut pedada mempunyai ciri-ciri pohon dengan ketinggian 16 m dan kulit kayunya halus. Spesies ini hampir sama dengan *S. alba*, ciri yang membedakan adalah *S. caseolaris* mempunyai akar nafas yang ketinggiannya dapat mencapai 1 m (lebih tinggi dibandingkan dengan *S. alba*), tangkai daun berwarna kemerah-merahan pada bunga dewasa, benang sari berwarna merah dan putih (Kitamura *et al*, 2003). Menurut Sutarmi *et al.* (2007), biasanya *Sonneratia caseolaris* tumbuh di tepi muara sungai, terutama pada daerah salinitas rendah dengan campuran air tawar. Lebih jelasnya bentuk pohon, akar dan buah *Sonneratia caseolaris* dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** *Sonneratia caseolaris* (Onrizal *et al.*, 2004).

#### 2.4.2 Akar *Sonneratia caseolaris*

Menurut Onrizal (2005), sistem perakaran mangrove terdiri dari 3 komponen, yaitu a) komponen aerasi (bagian akar yang mencuat ke atas permukaan dan berfungsi untuk pertukaran gas), b) komponen penyerap dan penjangkau (berfungsi untuk membentuk basis penjangkaran pada seluruh sistem dan melakukan penyerapan zat hara), c) komponen jaringan (bagian akar horizontal yang meluas dan berfungsi menyatu dengan penyerapan dan penjangkaran dari sistem perakaran).

Sistem perakaran *Sonneratia caseolaris* adalah pneumatofor atau biasa disebut sebagai akar nafas. Akar keluar dari dalam tanah menyerupai pensil, tegak ke permukaan dan berbentuk lancip, berwarna coklat muda sampai coklat tua. Bagian dalam akar berwarna merah dan kulit akar mudah mengelupas. Akar nafas ini berasal dari akar pokok yang berada di dalam tanah. Akar yang tua dan tergenang air biasanya di selimuti oleh lumut dan alga (Satriono, 2007). Bentuk akar *Sonneratia caseolaris* dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Akar *Sonneratia caseolaris* (Onrizal et al., 2004).

#### 2.4.3 Daun *Sonneratia caseolaris*

Mangrove mengembangkan adaptasi morfologi untuk mengatasi kadar garam yang tinggi dengan cara memiliki sel-sel dalam daun yang berfungsi

sebagai tempat penyimpanan garam. Daun-daun mangrove mempunyai ketebalan yang cukup untuk menyimpan kadar air sehingga mampu mengatur keseimbangan garam. Selain itu daun mangrove juga memiliki struktur stomata khusus untuk mengurangi penguapan (Sunarto, 2008).

Menurut Satriono (2007), *Sonneratia caseolaris* mempunyai daun tunggal dan simpel. Daun tersusun secara *opposite*, yaitu tepat berada hampir sejajar pada cabang yang sama dan tersusun berpasangan. Warna daun hijau dengan permukaan yang rata, halus dan licin. Daun berbentuk *obovite*, seperti telur dan semakin menyempit pada tangkainya. Ujung daun berbentuk *emarginate* (tumpul) dan bagian tengah daun berlekuk. ukuran daun antara 5-10 cm. Bentuk daun *Sonneratia caseolaris* hampir sama dengan *Sonneratia alba*, yang membedakan adalah pada *S. caseolaris* tangkai daun (ketiak daun) berwarna merah sedangkan *S. alba* berwarna putih. Percabangan dan bentuk daun *Sonneratia caseolaris* dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Percabangan Daun (a) Bentuk Daun (b) (Satriono, 2007).

## 2.5 Penyerapan Logam Berat pada Jaringan Mangrove

Mangrove merupakan tanaman yang tumbuh pada daerah peralihan antara ekosistem darat dan ekosistem laut, oleh karena itu tanaman ini mendapatkan tekanan dari berbagai macam polutan baik yang berasal dari laut maupun dari darat yang dibawa oleh air sungai dan bermuara di laut. Mangrove mempunyai kemampuan untuk menyerap bahan organik dan anorganik dari lingkungan ke

dalam tubuhnya melalui membran sel. Mangrove juga memiliki toleransi yang tinggi terhadap polutan (Kamaruzzaman *et al.*, 2008).

Purwiyanto (2013) menyatakan bahwa logam berat yang terkandung dalam sedimen akan diserap oleh akar mangrove dan selanjutnya didistribusikan pada bagian tumbuhan yang lain, termasuk daun. Mengingat bahwa akar mangrove dapat terendam air ketika air pasang, maka mangrove juga mempunyai kemampuan untuk menyerap logam berat yang ada pada kolom air. Mekanisme ini secara rinci dijelaskan oleh Hardani (2009) dalam Purwiyanto (2013), yang menyatakan bahwa secara umum tumbuhan melakukan penyerapan logam berat yang berasal dari sedimen maupun air melalui akar, selanjutnya logam tersebut akan ditranslokasikan ke bagian tumbuhan yang lain dan mengalami penimbunan pada jaringan tertentu.

Menurut Priyanto dan Prayitno (2007) dalam Haruna *et al.* (2013), mekanisme penyerapan logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu:

- a) Penyerapan oleh akar. Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa bersama dengan larutan yang ada di sekitar akar (*rizosfer*) dengan berbagai cara tergantung jenis tanamannya. Senyawa-senyawa hidrofobik akan diserap oleh permukaan akar, sedangkan senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar bersama dengan air.
- b) Translokasi logam dari akar menuju bagian tanaman lain. Setelah menembus jaringan endodermis pada akar, logam akan terbawa oleh aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (*xylem* dan *floem*).
- c) Lokalisasi logam pada sel dan jaringan, hal ini bertujuan agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi untuk mencegah peracunan logam terhadap sel. Misalnya adalah dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.

Secara alami pada kondisi yang tidak terkendali, proses bioremediasi ion logam berat terdiri dari dua mekanisme yang melibatkan proses pengambilan aktif (*active uptake*) dan penyerapan pasif (*passive uptake*). Pada saat ion logam berat tersebar di permukaan sel, ion akan terikat pada bagian permukaan sel berdasarkan kemampuan daya affinitas kimia yang dimilikinya. Mekanisme kedua penyerapan tersebut diuraikan oleh Suhendrayat (2001) dalam Onrizal (2005), sebagai berikut:

Penyerapan pasif dikenal dengan istilah proses biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda. Cara yang pertama yaitu dengan melakukan pertukaran ion dimana ion monovalen dan divalen seperti Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat. Cara yang kedua yaitu pembentukan formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan *functional groups* seperti carbonyl, thiol, amino, hydroxi, phosphate dan hydroxyl-carboxyl yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi bersifat bolak-balik dan berlangsung cepat. Proses bolak-balik ikatan ion logam berat di permukaan sel ini dapat terjadi baik pada sel mati maupun sel hidup dari suatu biomass. Proses biosorpsi dapat lebih efektif pada pH tertentu dan dengan kehadiran ion lainnya pada media dimana logam berat dapat terendapkan sebagai garam yang tidak terlarut. Kebanyakan study menggunakan pendekatan dengan pH 2, tetapi di bagian lain metode ini menjadi tidak efektif bila terdapat penghambat-penghambat proses metabolisme (*metabolic inhibitor*) atau siklus gelap terang. Pada umumnya, biosorpsi ion logam berat berlangsung cepat, bolak balik dan tidak tergantung terhadap faktor kinetic bioremoval bila dikaitkan dengan penyebaran sel (*dispersed cell*).

Penyerapan aktif dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme dan akumulasi intraselular ion logam tersebut. logam berat

dapat juga diendapkan pada proses metabolisme dan ekskresi pada tingkat kedua. Proses ini tergantung pada besarnya energi yang terkandung dan sensitifitasnya terhadap parameter-parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya dan lain-lain. Proses ini dapat dihambat oleh suhu yang rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat-penghambat metabolisme sel. Biosorpsi logam berat pada sel hidup cukup terbatas, dikarenakan oleh akumulasi ion yang menyebabkan racun terhadap mikroorganisme. Hal ini biasanya dapat menghalangi pertumbuhan mikroorganisme saat tingkat keracunan terhadap logam berat tercapai. Mikroorganisme yang tahan terhadap efek racun ion logam akan dihasilkan berdasarkan prosedur seleksi yang ketat terhadap pemilihan jenis mikroorganime yang tahan terhadap kehadiran ion logam berat.

Menurut Taiz (2010) *dalam* Nur (2013), tumbuhan melakukan selektivitas terhadap zat yang akan diserap, tetapi kadang elemen yang tidak diperlukan oleh tumbuhan juga ikut terserap. Masuknya zat ke dalam jaringan tumbuhan dapat melalui daun (stomata) maupun akar. Pada akar, zat masuk ke dalam sel dengan cara difusi baik difusi aktif maupun difusi pasif. Penyerapan aktif dilakukan melalui membran yang tidak permeable dan memerlukan perantara senyawa yang disebut *carrier* (pembawa) yang terdapat di dalam membran. Membran sel merupakan perintang bagi ion-ion yang akan melintasinya sehingga untuk keperluan penyerapan ion oleh sel tumbuhan, peranan pembawa sangat penting. Agar ion dapat masuk ke dalam sel yang konsentrasi ionnya lebih tinggi diperlukan sejumlah energi atau ATP. Pada penyerapan pasif berlangsung pertukaran ion, jadi proses penyerapan zat termasuk dalam penyerapan yang non metabolik. Ion-ion yang diserap pada permukaan dinding sel dapat bertukar dengan ion-ion dari larutan luarnya. Sebagai contoh kation  $K^+$  dari larutan luar

dapat dipertukarkan dengan ion-ion  $H^+$  yang diserap pada permukaan membran dengan cara osmotik tidak aktif.

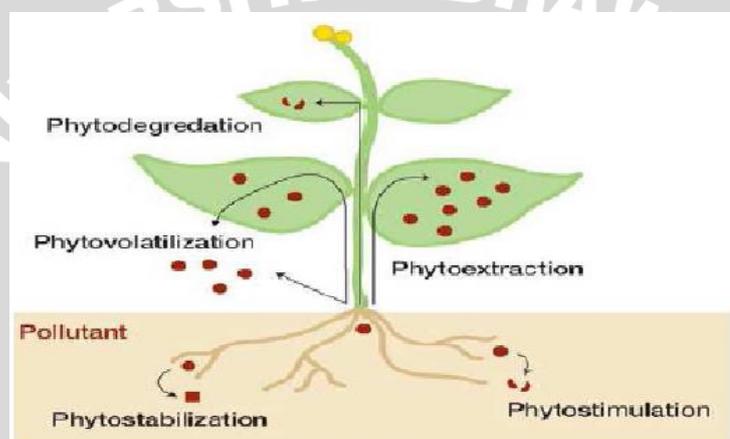
Hilamuhu *et al.* (2013) menyatakan bahwa secara umum transport logam berat seperti merkuri (Hg) lebih sering melewati jalur apopals. Biasanya transport yang melewati jalur simpals adalah P, K, N dan Mg. Mekanisme penyerapan melalui jalur apopals yaitu melewati ruang antara sel parenkim akar menuju pita kaspari dengan batasan senyawa suberin menuju pembuluh *xylem* dan ditransportasikan ke tajuk.

Fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani Kuno yang berarti nabati atau tanaman, serta bahasa latin yaitu *remedium* yang berarti memulihkan keseimbangan atau perbakan. Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi (Rondonuwu, 2014). Tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi disebut sebagai agen fitoremediasi. Menurut UNESCO (2004) dalam Effendi (2003), tanaman yang dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi harus mempunyai produksi biomassa yang tinggi, mampu mengakumulasi kontaminan dengan baik dibagian atas tanaman melebihi kontaminan yang terdapat di dalam tanah (bersifat hiperakumulator) dan toleran terhadap lingkungan sekitar.

Menurut Moenir (2010), mekanisme kerja pada fitoremediasi terdiri dari proses *fitoekstraksi*, *rhizofiltrasi*, *fitodegradasi*, *fitostabilisasi* dan *fitovolatilisasi*. Penjelasan dari tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) *Fitoekstraksi*, merupakan penyerapan logam berat oleh akar tanaman dan pengakumulasian logam berat tersebut ke bagian-bagian tanaman yang lain, seperti akar, batang dan daun.
- 2) *Rizofiltrasi* adalah pemanfaatan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi logam berat dari aliran limbah.

- 3) *Fitodegradasi* yaitu metabolisme logam berat di dalam jaringan tanaman oleh enzim seperti dehalogenase dan halogenase.
- 4) *Fitostabilisasi* adalah kemampuan tanaman dalam mengekskresikan suatu senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi logam berat di daerah *rizosfer*.
- 5) *Fitovolatilisasi* terjadi ketika tanaman menyerap logam berat dan melepaskannya ke udara, tetapi ada kalanya logam berat lebih dulu mengalami degradasi sebelum dilepas lewat daun. Mekanisme kerja fitoremediasi dapat dilihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Mekanisme Fitoremediasi (Moenir, 2010).

## 2.6 Paramater Lingkungan

Parameter lingkungan yang dapat mempengaruhi penyerapan logam berat oleh tanaman mangrove adalah sebagai berikut:

### a) Salinitas

Salinitas adalah konsentrasi total ion yang terdapat di perairan dan dinyatakan dalam satuan g/kg atau promil (‰). Nilai salinitas perairan tawar biasanya kurang dari 0,5 ‰, perairan payau antara 0,5 – 30 ‰, dan perairan laut berkisar antara 30 – 40 ‰. Pada perairan *hipersaline*, nilai salinitas dapat mencapai kisaran 40 – 80 ‰. Pada perairan pesisir, nilai salinitas sangat dipengaruhi oleh masukan air tawar yang berasal dari aliran sungai. Kadar

salinitas secara biologis dapat mempengaruhi metabolisme organisme seperti osmoregulasi (A'in, 2009).

Menurut Firdaus (2013), pada umumnya tumbuhan mempunyai toleransi yang rendah terhadap salinitas, tetapi bakau mempunyai sifat halofil sehingga dapat bertahan meski dua kali digenangi air laut dalam sehari. Semua pohon, semak, palem, rumput, liana, tumbuhan paku dan epifit yang berhabitat di hutan bakau tumbuh paling baik pada lingkungan dengan campuran air tawar dan air laut seimbang (50% : 50%). Garam yang terserap ke dalam tubuh akan diekskresikan oleh kelenjar daun, sehingga daun terasa asin dan tampak seperti ditaburi garam. Beberapa jenis tumbuhan dapat menyimpan garam pada kulit kayu dan daun tua, sehingga menyebabkan tingginya konsentrasi garam di jaringan tersebut. Jika hal ini terjadi pada tanaman darat maka metabolismenya akan terganggu.

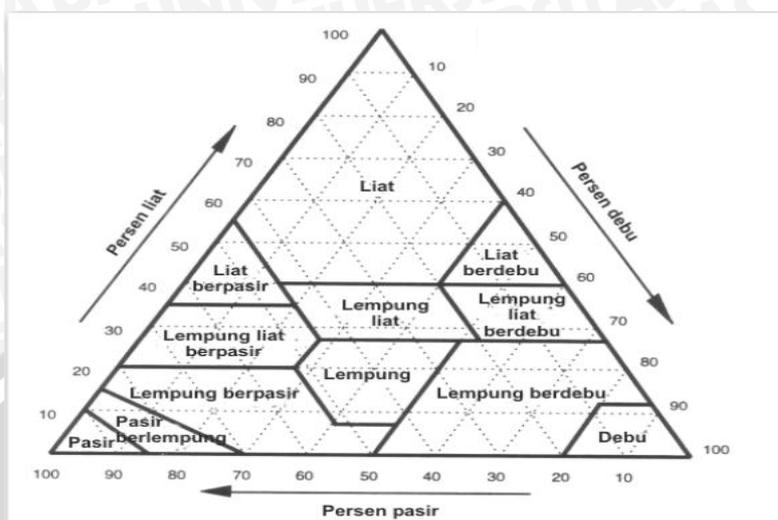
Salinitas dapat berpengaruh pada kandungan logam berat di suatu perairan. Menurut Bangun (2005), peningkatan salinitas mempunyai pengaruh negatif terhadap konsentrasi logam berat. Semakin tinggi salinitas maka konsentrasi logam berat akan semakin rendah.

#### b) Tekstur tanah

Menurut Harahap *et al.* (2014), tekstur tanah adalah proporsi relatif dari partikel pasir, liat, dan debu (jumlah proporsinya adalah 100%). Komponen tanah yang ideal yaitu 1) bahan padat (50%), bahan mineral (45%) dan bahan organik (5%). 2) ruang antara bahan padat (50%), udara (25%) dan air (25%).

Tekstur tanah pada hutan mangrove umumnya adalah liat, liat berlempung, liat berdebu, lempung yang berupa lumpur tebal, dan yang terdapat di tepi-tepi sungai, muara, parit adalah hamparan lumpur. Tanah hutan mangrove umumnya merupakan tanah *aluvial hidromorf*, atau yang disebut juga tanah liat laut. Tanah mangrove umumnya kaya akan bahan organik (Prasetyo *et al.*, 2014). Penentuan

tekstur substrat berdasarkan komposisinya dapat dilakukan dengan bantuan segitiga Tekstur Tanah pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Segitiga Tekstur Tanah (Shepard, 1954 dalam Rahayu et al, 2009).

Semakin halus tekstur tanah maka semakin tinggi pula kekuatannya untuk mengikat logam berat. Tanah pasir mempunyai kapasitas menahan kelembaban yang sangat rendah dan kandungan hara rendah. (Mohamad, 2011). Sedimen dengan tekstur lempung berdebu lebih banyak menyerap logam berat. Partikel sedimen yang halus biasanya mempunyai kandungan bahan pencemar yang tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh adanya gaya tarik menarik elektrokimia antara partikel sedimen liat dengan partikel mineral, pengikatan oleh partikel organik dan pengikatan oleh sekresi lendir organisme. Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen, sehingga biasanya kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air (Trisnawaty, et al. 2013).

Menurut Taqwa (2010), tekstur substrat tanah sangat dipengaruhi oleh komposisi dari butiran pasir, liat dan debu. Analisa ukuran butiran substrat dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu metode mekanis untuk mengetahui presentasi fraksi substrat kasar ( $d > 0,05$ ), dan metode hidrometik

yang dilakukan untuk melihat prosentase dari butiran liat dan debu. Metode klasifikasi butiran tanah dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Klasifikasi Butiran Tanah

No	Nama butiran	Diameter (mm)
1	Pasir sangat kasar	1 – 2
2	Pasir kasar	≥ 0,5
3	Pasir sedang	≥ 0,25
4	Pasir halus	≥ 0,1
5	Pasir sangat halus	≥ 0,05
6	Debu	≥ 0,002
7	Liat	< 0,002

Sumber : Modifikasi dari USDA 2009 (Taqwa, 2010).

#### c) Derajat keasaman air

Gazali *et al.* (2013) menyatakan bahwa derajat keasaman (pH) merupakan suatu ukuran dari konsentrasi ion hidrogen yang menunjukkan suasana asam atau basa dalam perairan. Menurut Afrianto dan Leviawati (1991) dalam Gazali (2013), perubahan pH di suatu perairan sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi organisme yang hidup di dalamnya. Derajat keasaman diduga sangat berpengaruh pada daya racun bahan pencemar dan kelarutan beberapa gas, serta menentukan bentuk zat di dalam air.

Derajat keasaman mempunyai pengaruh yang besar terhadap kehidupan hewan dan tumbuhan perairan, sehingga dapat digunakan untuk menilai kondisi suatu perairan sebagai lingkungan tempat hidup. Perubahan nilai pH sangat berpengaruh terhadap proses kimia maupun biologis dari jasad hidup yang berada dalam perairan tersebut (A'in, 2009). Menurut Emilia *et al.* (2013), pH dapat mempengaruhi kelarutan logam di dalam air. Semakin tinggi pH maka kelarutan logam dalam air akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena kenaikan pH mengakibatkan logam dapat berikatan dengan partikel di perairan dan mengalami deposisi, yaitu logam berat akan sukar larut dalam air karena dalam bentuk partikel tersuspensi.

### 3. MATERI DAN METODE

#### 3.1 Materi Penelitian

Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, sedimen, akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris*. Kualitas lingkungan berupa salinitas, pH air dan tekstur tanah digunakan sebagai parameter pendukung kehidupan mangrove *Sonneratia caseolaris*.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada

**Tabel 5.**

**Tabel 5.** Alat dan Bahan yang Digunakan di Lapang dan Laboratorium.

Parameter	Alat dan Bahan
Tekstur Tanah	- Cetok dan plastik - Sedimen dan kertas label
Derajat Keasaman (pH) air	- pH meter - Air sampel, akuades dan tisu
Salinitas (ppt)	- Salinometer - Air sampel, akuades, dan tisu
Titik koordinat	- GPS
Sampel air	- Botol polietilen, pipet tetes dan <i>coolbox</i> - Asam nitrat dan sampel air
Sampel sedimen	- Cetok, plastik, dan <i>coolbox</i> - Sampel sedimen
Sampel mangrove	- Pisau dan <i>coolbox</i> - Sampel akar dan daun <i>S. caseolaris</i>
Konsentrasi Hg di air (ppm)	- Pipet volume, erlenmeyer, kompor listrik, labu ukur, pengaduk gelas, kertas saring dan AAS - Sampel air, 3HCL : 1HNO <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> , dan aquadest.
Konsentrasi Hg di sedimen (ppm)	- Cawan porselen, tanur, kompor listrik, kertas saring, labu ukur dan AAS - Sampel tanah, 3HCL : 1HNO <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> , aquadest dan AAS
Konsentrasi Hg di akar dan daun mangrove (ppm)	- Tanur, kompor listrik, pengaduk gelas, kertas saring, labu ukur dan AAS - sampel akar dan daun, 3HCL : 1HNO <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> , aqiadest dan AAS

### 3.3 Penentuan Stasiun dan Sampel

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode survei. Menurut Hasan (2002), metode survei dilakukan untuk memperoleh fakta dari gejala yang ada serta mendapatkan keterangan secara faktual mengenai suatu kelompok maupun daerah tertentu. Penentuan stasiun penelitian ditentukan berdasarkan hasil survei dari keberadaan pohon mangrove *Sonnerata caseolaris* di kawasan hutan mangrove Dusun Tlocor. Pengambilan sampel dilakukan pada tiga stasiun yaitu:

1. Stasiun 1 (hulu) : lokasi ini paling dekat dengan hulu dan pertambangan pasir
2. Stasiun 2 (tengah) : lokasi ini berdekatan dengan Pulau Sarinah dan berada antara stasiun 1 dan 2
3. Stasiun 3 (muara) : lokasi ini berbatasan langsung dengan laut.

### 3.4 Prosedur Pengambilan Sampel

#### 3.4.1 Sampel Air

Pada tiap stasiun ditentukan beberapa titik lokasi pengambilan sampel air, kemudian air tersebut dikompositkan menjadi satu sampel sebanyak 600 ml. Sampel diambil secara langsung ketika air pasang dan menggenangi akar mangrove, kemudian dimasukkan ke dalam botol yang telah disiapkan dan ditambahkan larutan  $\text{HNO}_3$  pekat 65%. Menurut Juniawan *et al.* (2013), penambahan  $\text{HNO}_3$  ke dalam sampel air berfungsi untuk menurunkan pH. Setelah diberi larutan  $\text{HNO}_3$ , sampel disimpan di dalam *coolbox*.

#### 3.4.2 Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan cetok. Sedimen yang diambil merupakan tanah pada bagian permukaan dasar perairan yang mempunyai ketebalan 20 cm. Sampel sedimen pada tiap stasiun diambil

secara komposit sebanyak  $\pm$  200 gram dan dimasukkan ke dalam plastik klip yang telah diberi label.

### 3.4.3 Sampel Mangrove

Sampel akar dan daun mangrove diambil dari pohon *Sonneratia caseolaris* yang memiliki ukuran diameter batang 15 - 25 cm. Menurut Tapelatu dan Pelasula (2012), diameter batang dapat mengelompokkan pertumbuhan tanaman menjadi beberapa fase. Diameter batang  $>$  10 cm masuk pada fase pohon, 2 cm - 5 cm adalah ukuran belta, dan  $<$  2 dikatakan sebagai kategori *seedling* (semai). Cara pengambilan akar dan daun pada pohon *Sonneratia caseolaris* adalah sebagai berikut:

#### a) Sampel Akar *Sonneratia caseolaris*

Sampel akar yang diambil adalah akar pensil yang masuk ke dalam tanah dan dekat dengan batang pohon. Pada setiap stasiun diambil 3 pohon. Pada masing-masing pohon diambil 3 akar pensil sebanyak 200 gr, yang selanjutnya akar tersebut dikompositkan menjadi 1 sampel. Akar diambil dengan hati-hati menggunakan tangan dan pisau.

#### b) Sampel Daun *Sonneratia caseolaris*

Daun yang diambil adalah daun yang sudah tua berwarna hijau tua dengan panjang 4 - 8 cm yang terletak di pangkal ranting. Daun tua lebih banyak mengakumulasi logam berat dibandingkan dengan daun muda. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Erari *et al* (2013), kandungan logam berat Pb dan Cu pada daun tua *A. Marina* lebih tinggi dibandingkan dengan daun muda. Pada penelitian ini setiap stasiun diambil 3 pohon, pengambilan daun sekitar 20 lembar pada satu pohon yang sama, selanjutnya daun tersebut dikompositkan menjadi satu sampel. Sampel daun yang sudah diperoleh segera dibungkus dengan plastik klip.

### 3.5 Analisa Konsentrasi Hg Total

#### 3.5.1 Pengukuran Konsentrasi Hg pada Air

Prosedur pengukuran merkuri pada air (Housemethond Lab. Kimdan FMIPA UB, 2015) adalah sebagai berikut:

- 1) Mengambil air sampel dengan pipet volume 50 ml kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 ml
- 2) Menambahkan 5 ml aquaregia, memanaskan di atas kompor listrik suhu  $70^{\circ}\text{C}$  sampai tertinggal  $\pm 2/3$  lalu mendinginkannya
- 3) Menambahkan larutan  $\text{HNO}_3$  encer (2,5 N) sebanyak 10 ml, memanaskan diatas kompor listrik perlahan - lahan  $\pm 5$  menit sambil diaduk dengan pengaduk gelas
- 4) Menyaring ke labu 100 ml dan menambahkan aquadest sampai tanda batas, kocok sampai homogen
- 5) Membaca dengan AAS menggunakan katode (lampu) Hg dengan panjang gelombang 253,652 nm dan catat absorbansinya.

#### 3.5.2 Pengukuran Konsentrasi Hg pada Sedimen

Prosedur konsentrasi merkuri pada sedimen (Housemethods Lab. Kimdas FMIPA UB, 2015) adalah sebagai berikut:

- 1) Menimbang contoh  $\pm 2$  gr, masukan kedalam cawan porselen.
- 2) Memasukan kedalam tanur lalu memanaskan pada suhu  $\pm 103^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam
- 3) Mendinginkan, tambahkan 5 ml larutan aquaregia ( $3\text{HCl}$ ;  $1\text{HNO}_3$ ), memanaskan diatas kompor listrik sampai asat, lalu dinginkan.
- 4) Menambahkan larutan  $\text{HNO}_3$  encer (2,5N) sebanyak 10 ml, memanaskan diatas kompor listrik perlahan - lahan  $\pm 5$  menit sambil diaduk dengan pengaduk gelas.

- 5) Menyaring ke labu 100 ml dan menambahkan aquadest sampai tanda batas, kocok sampai homogen.
- 6) Membaca dengan AAS menggunakan katode (lampu) Hg dengan panjang gelombang 253,652 nm dan catat absorbansinya.

### 3.5.3 Pengukuran Konsentrasi Hg pada Akar dan Daun *Sonneratia caseolaris*

Prosedur pengukuran merkuri pada akar dan daun *Sonneratia caseolaris* (Housemethodes Lab. Kimdas FMIPA UB, 2015) adalah sebagai berikut:

- 1) Memasukkan sampel akar dan daun kedalam tanur lalu panaskan pada suhu  $\pm 103^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam
- 2) Mendinginkan, menambahkan 5 ml larutan aquaregia ( $3\text{HCl}$ ;  $1\text{HNO}_3$ ) kemudian memanaskan diatas kompor listrik sampai asat lalu dinginkan
- 3) Menambahkan larutan  $\text{HNO}_3$  encer (2,5 N) sebanyak 10 ml, memanaskan diatas kompor listrik perlahan - lahan  $\pm 5$  menit sambil diaduk dengan pengaduk gelas
- 4) Menyaring ke labu 100 ml dan menambahkan aquadest sampai tanda batas, kocok sampai homogen
- 5) Kemudian membaca dengan AAS menggunakan (lampu) Hg dengan panjang gelombang 253,652 nm dan catat absorbansinya.

### 3.6 Analisa Parameter Lingkungan

Analisis kualitas perairan yang diukur merupakan parameter pendukung kehidupan mangrove yaitu terdiri dari salinitas, tekstur tanah, dan pH air.

#### a) Salinitas

Prosedur analisis salinitas pada perairan menggunakan Salinometer menurut Fazumi (2014), adalah sebagai berikut:

- 1) Mengkalibrasi alat menggunakan aquades agar stabil dan menunjukkan angka 0
- 2) Mengambil menggunakan pipet tetes, kemudian teteskan 1-2 tetes diatas optik prisma
- 3) Menekan tombol on/off, kemudian tekan start
- 4) Menekan tombol hold dan catat hasil yang tertera
- 5) Membersihkan menggunakan aquades dan mengeringkan dengan tisu setelah selesai digunakan

#### b) Tekstur Substrat

Menurut Taqwa (2010), tekstur substrat sangat dipengaruhi oleh komposisi dari butiran liat, debu dan pasir. Pengambilan sampel substrat dilakukan pada masing-masing kerapatan. Analisa ukuran butir substrat dilakukan dengan dua metode, yaitu metode mekanis untuk mengetahui prosentase fraksi substrat kasar ( $d > 0,05$  mm) dan metode hidrometrik untuk melihat prosentase dari butiran debu dan liat. Metode mekanis dilakukan dengan prosedur kerja sebagai berikut:

- 1) Membilas sampel substrat dengan air tawar, kemudian mengeringkannya dengan menggunakan oven. Setelah kering, sampel didinginkan, kemudian menimbang sampel yang akan dianalisis. Selanjutnya memasukkan sampel ke dalam *sieve net*, kemudian guncang dengan *shaker* selama  $\pm 15$  menit
- 2) Memisahkan hasil ayakan berdasarkan ukuran *net*, kemudian menimbang hasil ayakan dari tiap ukuran *net*. Menganalisa lebih lanjut Sampel substrat yang lolos dari saringan 2 mm, dengan metode hidrometrik.

Metode hidrometrik dengan prosedur kerja sebagai berikut :

- 1) Memasukkan 100 gram sampel substrat kering ke dalam *beaker glass*. Menambahkan 10 gr larutan 0,01 N natrium oksalat dan 5 gr 0,02 N natrium karbonat, kemudian mengaduk campuran tersebut. Jika masih ada yang

- menggumpal, tambahkan larutan 0,01 N natrium oksalat dan 5 gr 0,02 N natrium karbonat sampai tidak terjadi penggumpalan
- 2) Memasukkan sampel ke dalam tabung silinder 1000 ml dan menambahkan aquades hingga 1000 ml, kemudian aduk. Membiarkan campuran mengendap
  - 3) Setelah 7 menit 44 detik, dilakukan pengambilan sampel substrat dengan menggunakan pipet pada kedalaman 10 cm sebanyak 20 ml, kemudian memasukkan ke dalam cawan petri yang telah dipanaskan selama 1 jam dan juga telah diketahui beratnya
  - 4) Mengeringkan sampel dengan oven selama 2 jam, kemudian mendinginkan dalam desikator. Setelah dingin, selanjutnya menimbang dengan timbangan digital, berat akhir dikurangi dengan berat cawan petri kosong adalah berat sampel ukuran 0,002 mm (debu)
  - 5) Setelah 2 jam 3 menit, sampel diambil kembali dengan pipet pada kedalaman 10 cm sebanyak 20 ml lalu dimasukkan ke dalam cawan petri
  - 6) Sampel yang ada di dalam cawan petri tersebut dikeringkan di dalam oven selama 2 jam, kemudian dinginkan di dalam desikator. Setelah dingin, timbang dengan menggunakan timbangan digital. Berat akhir dikurangi dengan berat cawan petri kosong adalah berat sampel ukuran 0,0005 mm (liat)
  - 7) Penentuan tekstur tanah dilakukan dengan berpedoman pada segitiga tekstur tanah yang dapat dilihat pada **Gambar 6** di atas.

### c) Derajat Keasaman Air

Prosedur pengukuran pH menurut SNI (2004), adalah sebagai berikut :

1. Mengkalibrasi alat pH meter dengan larutan penyangga sesuai dengan intruksi kerja alat setiap kali akan melakukan pengukuran
2. Untuk contoh uji yang mempunyai suhu tinggi, mengkondisikan contoh uji sampai suhu kamar

3. Mengeringkan dengan kertas tisu dan selanjutnya membilas elektroda dengan air suling
4. Membilas elektroda dengan tisu
5. Mencelupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap
6. Mencatat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan pH meter.

### 3.7 Analisa Data

#### 3.7.1 Faktor Biokonsentrasi (BCF) dan Faktor Transokasi (FT)

Siahaan *et al.* (2013) menyatakan bahwa akumulasi logam berat Hg pada mangrove *Sonneratia caseolaris* dapat diketahui melalui nilai BCF dan TF. Menurut Einollahipeer *et al.* (2013), BCF digunakan untuk menghitung kemampuan jaringan tanaman dalam mengakumulasi logam berat Hg pada sedimen. Rumus dari BCF adalah sebagai berikut:

$$BCF_{Hg} = \frac{[\text{Logam berat Hg}] \text{ jaringan tanaman}}{[\text{Logam berat Hg}] \text{ sedimen}}$$

Menurut Hamzah dan Pancawati (2013), TF digunakan untuk menghitung proses translokasi logam berat dari akar ke daun. Baker dan Brooks (1989), menyatakan bahwa nilai  $TF > 1$  menunjukkan bahwa tumbuhan mentranslokasikan pencemar dengan efektif dari akar ke daun. Menurut Hamzah dan Pancawati (2013), Rumus TF adalah sebagai berikut:

$$TF = \frac{\text{Konsentrasi Logam Hg pada daun}}{\text{Konsentrasi logam Hg pada akar}}$$

#### 3.7.2 Fitoremidiasi (FTD)

FTD merupakan selisih antara nilai BCF dan TF. FTD akan maksimal jika BCF tinggi dan TF rendah (Hamzah dan Agus 2010). Berdasarkan hasil perhitungan FTD pada penelitian Hamzah dan Pancawati (2013), *Sonneratia*

*caseolaris* dapat digunakan untuk tujuan fitoremediasi khususnya fitostabilisasi. Proses akumulasi dan mobilisasi logam dengan menggunakan jaringan akar dikenal dengan istilah fitostabilisasi. Cara kerja fitostabilisasi adalah menggunakan kemampuan akar mengubah kondisi lingkungan. Tumbuhan akan menghentikan pergerakan logam yang diserap dan diakumulasikan oleh akar, kemudian diserap dan diendapkan dalam rizosfer.

### 3.7.3 Analisis Statistik

Analisis perbandingan kadar logam berat Hg pada akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris* dilakukan dengan uji nonparametrik. Menurut Setyawan (2007), statistik nonparametrik sering disebut sebagai distribusi bebas. Menurut Santoso (2010), uji statistik nonparametrik digunakan untuk melakukan analisis data yang berjenis nominal maupun ordinal dan tidak berdistribusi normal. Uji nonparametrik yang digunakan adalah uji dua sampel bebas yakni tidak ada hubungan antara dua populasi. Uji nonparametrik ini dilakukan apabila peneliti tidak mengetahui karakteristik kelompok yang menjadi sumber sampelnya, uji yang digunakan adalah Uji *U Mann-Whitney*. Uji *U Mann-Whitney* dikembangkan oleh Mann dan Whitney pada tahun 1947 (Sprent, 1991). Menurut Supranto (2009) prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyusun peringkat data tanpa memperhatikan kategori sampel
2. Menjumlahkan peringkat menurut tiap kategori sampel dan menghitung statistik U. Masukkan dalam rumus:

$$U = n_1 \cdot n_2 + [n_1 (n_1 + 1) / 2] - R_1$$

$$\text{Atau } U = n_1 \cdot n_2 + [n_2 (n_2 + 1) / 2] - R_2$$

3. Pilih nilai yang paling kecil
4. Penarikan kesimpulan statistik dengan membandingkan nilai hitung U dengan nilai tabel U. Tabel U dapat dilihat pada **Lampiran 8**.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

Wilayah Kabupaten Sidoarjo mempunyai letak geografis antara  $7^{\circ}20'38.75''$  -  $7^{\circ}34'40.20''$  LS dan  $112^{\circ}28'37.32''$  -  $112^{\circ}53'29.48''$  BT. Luas wilayahnya mencapai  $634,38 \text{ km}^2$  dan terdiri dari 18 kecamatan, 31 kelurahan dan 322 Desa (Amanda, 2014). Kecamatan Jabon berada di sebelah selatan Kabupaten Sidoarjo. Batas-batas wilayah Kecamatan Jabon antara lain yaitu sebelah utara adalah Kecamatan Tanggulangin, sebelah selatan adalah Kabupaten Pasuruan, sebelah timur adalah Selat Madura dan sebelah barat adalah Kecamatan Porong (Pemkab Sidoarjo, 2016).

Pantai yang berada di Kecamatan Jabon berbentuk landai dengan sedimen lumpur. Jenis batuan di Kecamatan Jabon adalah alluvial, sedangkan jenis tanahnya berupa alluvial kelabu dan alluvial hidromorf. Hasil endapan dari tanah dan lumpur yang terbawa oleh aliran Sungai Surabaya dan Sungai Porong membentuk daratan sehingga jenis tanahnya lembek tanpa batuan keras. Garis pantainya merupakan dataran rendah yang sebagian tertutup oleh hutan mangrove (kawasan lindung). Luas hutan mangrove di Kecamatan Jabon mencapai  $552,1500 \text{ km}^2$  (Yuniar *et al.*, 2010). Sungai Porong merupakan satu-satunya sungai yang dijadikan sebagai tempat pembuangan lumpur lapindo yang akhirnya sungai tersebut akan bermuara dan berbatasan langsung dengan perairan Selat Madura.

#### 4.1.1 Deskripsi Stasiun 1

Stasiun 1 merupakan area yang paling dekat dengan hulu (sumber utama lumpur lapindo) dan pertambangan pasir. Diasumsikan bahwa logam berat Hg yang ada dilokasi tersebut rendah. hal ini disebabkan karena adanya

pertambangan pasir mengindikasikan bahwa tanah yang ada disedimen juga banyak mengandung pasir, sedangkan pasir mempunyai ukuran partikel yang besar sehingga susah untuk mengikat logam berat. Selain hal tersebut stasiun 1 berada di daerah yang paling dekat dengan hulu, sehingga logam berat belum mengalami penumpukan yang biasanya terjadi di wilayah muara sungai. Keberadaan Stasiun 1 terletak pada titik koordinat  $7^{\circ}33'32.86''$  LS dan  $112^{\circ}51'10.33''$  BT. Lokasi pengambilan sampel pada Stasiun 1 dapat dilihat pada

#### Gambar 7.



Gambar 7. Stasiun 1

#### 4.1.2 Deskripsi Stasiun 2

Stasiun 2 merupakan lokasi yang paling dekat dengan Pulau Sarinah dan terletak di antara Stasiun 1 dan Stasiun 3. Diasumsikan bahwa pada lokasi tersebut mempunyai kandungan logam berat Hg yang paling tinggi. Hal ini disebabkan karena stasiun 2 berada berdekatan dengan Pulau Sarinah yang mengindikasikan bahwa substrat dasar perairannya berupa lumpur. Pulau Sarinah merupakan pulau buatan dari kumpulan endapan lumpur lapindo. Selain itu stasiun 2 berada di muara sungai dan tidak berbatasan langsung dengan laut, sehingga logam berat Hg akan terhenti dan mengendap di dasar perairan. Stasiun 2 berada pada titik koordinat  $7^{\circ}33'59.91''$  LS dan  $112^{\circ}52'07.57''$  BT. Lokasi pengambilan sampel pada stasiun 2 dapat dilihat pada **Gambar 8**.



**Gambar 8.** Stasiun 2

#### 4.1.3 Deskripsi Stasiun 3

Stasiun 3 merupakan lokasi yang terletak pada muara sungai dan berbatasan langsung dengan laut. Diasumsikan bahwa kadar logam berat Hg pada stasiun ini memiliki nilai sedang karena logam telah mengalami penumpukan pada sedimen tetapi kandungan ini justru berkurang dengan adanya proses pengenceran oleh pola arus pasang surut air laut. Keberadaan stasiun 3 terletak pada titik koordinat  $7^{\circ}34'30.66''$  LS dan  $112^{\circ}52'06.88''$  BT. Lokasi pengambilan sampel pada stasiun 3 dapat dilihat pada **Gambar 9**.

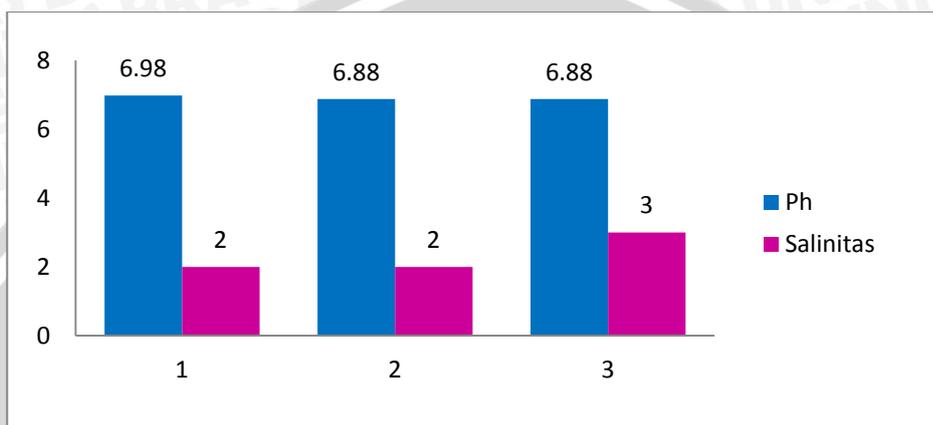


**Gambar 9.** Stasiun 3

## 4.2 Kondisi Lingkungan Perairan

### 4.2.1 Derajat Keasaman

Berdasarkan hasil pengukuran parameter pH di kawasan hutan mangrove muara Sungai Porong, Tlocor pada bulan Februari 2016, diperoleh hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 10**.



**Gambar 10.** Grafik Hasil Pengukuran pH dan Salinitas di Kawasan Hutan Mangrove Muara Sungai Porong pada Bulan Februari 2016

Derajat keasaman (pH) pada stasiun 1 mencapai 6,98; stasiun 2 mencapai 6,88; dan stasiun 3 mencapai 6,88. Rata rata pH pada perairan muara Sungai Porong adalah 6,91. pH merupakan faktor yang dapat mempengaruhi kelarutan logam dalam suatu perairan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Lawson (2011), bahwa nilai pH dapat mempengaruhi kelarutan logam berat dalam air. Pada pH netral logam berat akan berbentuk partikel, berupa padatan tersuspensi dan sulit terurai. Pada pH rendah ion bebas dari logam berat akan masuk ke dalam air, sedangkan pada pH tinggi logam berat akan mengalami pengendapan. Menurut Ayubi *et al* (2010), nilai pH < 6 akan menyebabkan  $Hg^{2+}$  tetap stabil, tetapi ketika pH mencapai nilai > 6  $Hg^{2+}$  akan mengendap ke dasar perairan dan berubah menjadi  $Hg^0$ .

#### 4.2.2 Salinitas

Berdasarkan hasil pengukuran parameter salinitas di perairan muara Sungai Porong, Tlocor pada bulan Februari 2016 diperoleh hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 10**. Nilai salinitas pada stasiun 1 sebesar 2 ppt; stasiun 2 sebesar 2 ppt dan stasiun 3 sebesar 3 ppt. Rata-rata salinitas yang terdapat di perairan muara Sungai Porong adalah 2,33 ppt. Hasil pengukuran salinitas ini termasuk dalam kategori air tawar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Fauziah *et al* (2012), nilai salinitas untuk perairan tawar biasanya berkisar antara 0-5 ppt, perairan payau biasanya berkisar antara 6-30 ppt, sedangkan perairan laut biasanya mempunyai nilai salinitas > 30 ppt.

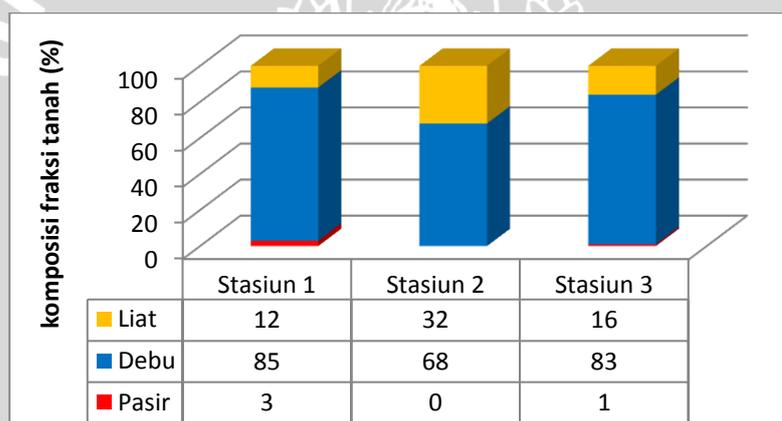
Perubahan salinitas dari stasiun 1 hingga stasiun 3 semakin meningkat, hal ini disebabkan karena stasiun 1 merupakan daerah yang letaknya paling jauh dari laut. Pada stasiun 2 jumlah kadar salinitasnya sama dengan stasiun 1, hal ini disebabkan karena stasiun 2 juga merupakan daerah tengah yang letaknya cukup jauh dari laut. Salinitas tertinggi terdapat pada stasiun 3 dikarenakan stasiun tersebut telah mengalami pencampuran dengan air laut secara langsung. Hal ini sesuai dengan pernyataan Nontji (2002), bahwa salinitas di laut dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan dan aliran air sungai.

Salinitas pada muara Sungai Porong sangat cocok untuk mendukung kehidupan *Sonneratia caseolaris*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Susmalinda (2013), bahwa *Sonneratia caseolaris* tumbuh baik pada perairan yang mempunyai salinitas kurang dari 10 ppt. Selain menjadi faktor dalam mendukung kehidupan mangrove, salinitas juga dapat mempengaruhi tingkat bioakumulasi logam berat oleh organisme. Hal ini sesuai dengan pendapat Hutagalung (1991) dalam Deri *et al* (2013) yang menyatakan bahwa nilai salinitas perairan laut dapat mempengaruhi faktor konsentrasi logam berat yang mencemari lingkungan

laut, dimana penurunan salinitas pada perairan dapat menyebabkan tingkat bioakumulasi logam berat pada organisme semakin meningkat.

#### 4.2.3 Tekstur Tanah

Tekstur tanah merupakan perbandingan relatif fraksi pasir, debu dan liat dalam bentuk persentase. Partikel pasir memiliki luas permukaan kecil dibandingkan dengan debu dan liat tetapi ukurannya lebih besar. Luas permukaan debu jauh lebih besar dari permukaan pasir, dimana tingkat pembebasan unsur hara untuk diserap akar tanaman lebih besar dari pasir. (Selpan, 2011). Komposisi fraksi tanah pada masing-masing stasiun dapat dilihat pada **Gambar 11**.



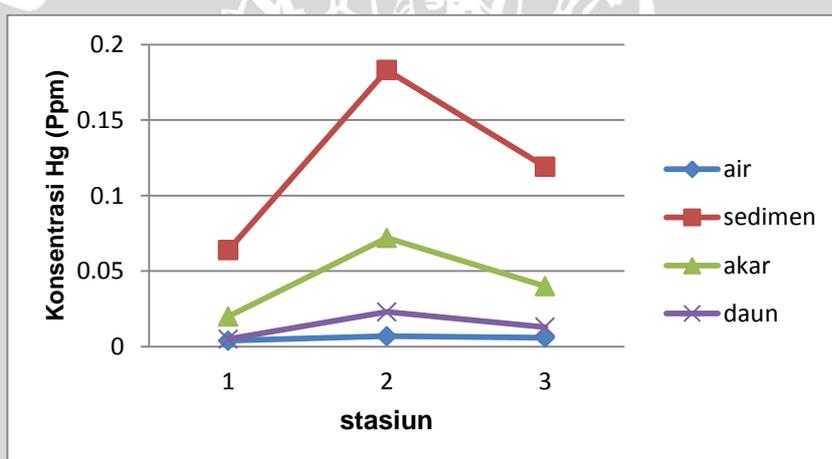
**Gambar 11.** Tekstur Tanah antar Stasiun di Kawasan Hutan Mangrove Muara Sungai Porong pada Bulan Februari 2016

Berdasarkan hasil analisa tekstur sedimen pada lokasi penelitian diketahui bahwa semua stasiun yang diamati mempunyai kelas tekstur tanah yang sama yaitu *silty loam* (lempung berdebu), tetapi dengan komposisi fraksi tanah yang berbeda. Komposisi tersebut yaitu pada stasiun 1 pasir 3%, debu 85%, dan liat 12%, stasiun 2 yaitu pasir 0%, debu 68% dan liat 32% sedangkan pada stasiun 3 yaitu pasir 1%, debu 83% dan liat 16%. Hutagalung (1991) menyatakan bahwa semakin halus tekstur tanah maka semakin tinggi pula kekuatannya untuk mengikat logam berat. Oleh karena itu, tanah yang bertekstur liat memiliki

kemampuan untuk mengikat logam berat lebih tinggi daripada tanah berpasir. Logam berat mungkin diabsorpsi dan diakumulasikan dalam jaringan hidup.

#### 4.3 Perbandingan Kandungan Hg pada Air di Tiap Stasiun

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa kandungan merkuri pada air di kawasan hutan mangrove muara Sungai Porong yaitu stasiun 1 sebesar 0,004 ppm, stasiun 2 sebesar 0,007 ppm dan stasiun 3 sebesar 0,006 ppm dengan rata-rata 0,0056 ppm. Berdasarkan baku mutu yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup 2004 mengenai baku mutu air laut bagi kehidupan biota, kandungan Hg pada muara Sungai Porong telah melebihi ambang batas yang diperbolehkan yaitu  $> 0,001$ . Grafik kandungan logam berat Hg pada air dapat dilihat pada **Gambar 12**.



**Gambar 12.** Kandungan Hg pada air, sedimen, akar dan daun *Sonneratia caseolaris* di Kawasan Hutan Mangrove Muara Sungai Porong pada Bulan Februari 2016

Kadar Hg air di muara Sungai Porong sangat bervariasi, yaitu konsentrasi logam berat Hg semakin meningkat jika dilihat dari stasiun 1 ke stasiun 2, tetapi pada stasiun 3 konsentrasi Hg kembali menurun. Tingginya kandungan Hg pada stasiun 2 diduga karena logam berat sudah terkumpul tetapi tidak terpengaruhi oleh adanya pengenceran dari air laut. Menurut Rochyatut *et al* (2006), muara sungai mempunyai pergerakan air yang cukup tenang sehingga memungkinkan

logam berat untuk terkumpul. Kandungan logam berat akan semakin turun jika mendekati laut. Penurunan kandungan Hg pada stasiun 3 diduga karena adanya pengaruh pengenceran oleh air laut. Menurut Chester (1990) dalam Maslukah (2006), adanya proses pengenceran menyebabkan konsentrasi logam berat berubah menjadi naik atau menurun di sepanjang daerah estuari, tergantung dari sumber utama logam yang bersangkutan. Apabila sumber utama berasal dari sungai, adanya proses pengenceran oleh air laut menyebabkan konsentrasi logam akan menurun sepanjang perubahan nilai salinitas dan sebaliknya apabila sumber utama berasal dari laut, konsentrasi logam berat menjadi naik dengan bertambahnya nilai salinitas.

#### 4.4 Perbandingan Kandungan Hg pada Sedimen di Tiap Stasiun

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa kandungan Hg dalam sedimen di kawasan hutan mangrove muara Sungai Porong stasiun 1 sebesar 0,064 ppm, stasiun 2 sebesar 0,183 ppm dan stasiun 3 sebesar 0,119 ppm dengan rata-rata 0,112 ppm. Berdasarkan baku mutu yang ditetapkan oleh IADC/CEDA tahun 1997 kandungan Hg pada muara Sungai Porong belum melebihi ambang batas yang diperbolehkan yaitu  $< 0,3$ , maka dari itu logam berat hg pada sedimen tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan. Grafik kandungan logam berat Hg di setiap stasiun penelitian dapat dilihat pada

#### Gambar 12.

Pada Gambar 12, dapat dilihat bahwa ada pola peningkatan kandungan Hg di sedimen pada stasiun 1 menuju stasiun 2, kemudian kembali menurun pada stasiun 3. Variasi kandungan logam berat ini di duga karena adanya pengaruh komposisi fraksi tanah pada masing masing stasiun, stasiun 2 mempunyai komposisi pasir terendah yaitu 0% sehingga kandungan Hg nya paling tinggi. Menurut Wahab dan Mutmainnah (2005), interaksi logam berat dengan sedimen

bergantung pada komposisi sedimen tersebut. Konsentrasi logam berat yang tinggi umumnya ditemukan pada sedimen lumpur dibandingkan dengan sedimen pasir. Selain hal tersebut variasi kandungan logam berat Hg juga dipengaruhi oleh adanya interaksi antara sedimen dan kolom perairan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mamboya (2007), bahwa kondisi logam berat yang mempunyai berat jenis lebih tinggi dari air menyebabkan logam tersebut memiliki sifat mudah tenggelam. Tetapi logam tidak serta merta tenggelam begitu saja. Interaksi yang terjadi antara sedimen dan kolom perairan diduga turut berperan dalam pengendapan logam berat sehingga terjadi distribusi vertikal logam berat yang bervariasi.

Menurut Palar (1994), logam berat di perairan ditemukan dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Logam yang terlarut terdiri dari ion logam bebas, sedangkan logam yang tidak terlarut terdiri dari partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kompleks metal yang terabsorpsi pada zat tersuspensi yang ada di dalam perairan tersebut. Menurut Erlangga (2007), Logam berat yang terlarut dalam air akan berpindah ke dalam sedimen jika berikatan dengan materi organik bebas atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen. Mengendapnya logam berat bersama-sama dengan padatan tersuspensi akan mempengaruhi kualitas sedimen di dasar perairan dan juga perairan sekitarnya. Kekuatan ionik yang terdapat di air laut disebabkan oleh adanya berbagai kandungan anion dan kation pada air laut, sehingga memungkinkan terjadinya proses koagulasi (penggumpalan) senyawa logam berat yang ada dan memungkinkan terjadinya proses sedimentasi (pengendapan). Sesuai teori gravitasi, apabila partikulat memiliki massa jenis lebih besar dari massa jenis air laut maka partikulat akan mengendap didasar laut atau terjadi proses sedimentasi.

Berdasarkan hasil penelitian ini, kandungan logam berat di sedimen lebih tinggi dibanding dengan kandungannya di air. Hal ini disebabkan karena sebagian besar logam berat Hg yang ada pada lingkungan terendap di dalam sedimen sehingga sedimen sangat representatif sebagai media yang mampu menyerap logam berat di perairan. Hal ini sesuai dengan pendapat Amin *et.al.* (2009) dalam Rumahlatu (2011), bahwa 90% logam berat yang mengontaminasi lingkungan perairan akan terendap di dalam sedimen. Rumahlatu (2011), melaporkan bahwa logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik, mengendap di dasar perairan dan menyatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat sedimen lebih tinggi dibandingkan dengan air.

#### 4.5 Perbandingan Kandungan Hg pada Akar Tiap Stasiun

Nilai rata-rata logam berat Hg pada akar *Sonneratia caseolaris* yang didapatkan dari penelitian ini yaitu pada stasiun 1 sebesar 0,020 ppm, stasiun 2 sebesar 0,072 ppm, dan stasiun 3 sebesar 0,040 ppm. Rata-rata nilai logam berat (Hg) pada akar antar stasiun dapat di lihat pada **Gambar 12**.

Data pada gambar 12, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai konsentrasi logam berat Hg pada masing-masing sampel akar antar stasiun. Nilai tertinggi penyerapan logam berat oleh akar berada pada stasiun 2 yaitu 0,72, disusul dengan stasiun 3 yaitu sebesar 0,040 ppm dan stasiun 1 sebesar 0,020 ppm. Besarnya logam berat yang terkandung di dalam akar diduga karena akar merupakan bagian tumbuhan yang melakukan kontak langsung dengan sedimen dan air yang telah terkontaminasi oleh logam berat yang mengendap. Menurut Lakitan (2001) dalam Setiawan (2013), unsur hara dapat melakukan kontak langsung dengan akar melalui 3 cara, yaitu secara difusi dalam larutan tanah, secara pasif terbawa aliran air tanah dan karena akar kontak langsung dengan hara tersebut di dalam matrik tanah. Menurut Ghosh dan Singh (2005),

mekanisme penyerapan logam berat ke dalam akar berlangsung karena tanaman membentuk suatu enzim reduktase pada membran sel akar yang berfungsi untuk mereduksi ion-ion yang terserap dari tanah akan masuk ke *xylem* dan mengendap lebih banyak di akar tanaman.

Baker dan Walker (1990) dalam Arisandy *et al.* (2012), menyatakan bahwa akar mempunyai sel endodermis yang berfungsi untuk menyaring penyerapan logam berat. dari akar logam akan ditranslokasikan ke bagian tumbuhan lainnya seperti daun serta mengalami proses kompleksasi dengan zat yang lain seperti fitokelatin.

#### 4.6 Perbandingan Kandungan Hg pada Daun Tiap Stasiun

Nilai rata-rata kandungan logam berat Hg pada daun *Sonneratia caseolaris* yang didapatkan dari hasil penelitian pada stasiun 1 sebesar 0,005, stasiun 2 sebesar 0,023 dan stasiun 3 sebesar 0,013. Nilai logam berat Hg di daun mangrove dapat dilihat melalui grafik pada **Gambar 12**.

Pada gambar 12, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan kandungan logam berat pada daun *Sonneratia caseolaris* antar stasiun. Nilai rata-rata kadar Hg dalam daun dari urutan tinggi ke rendah yaitu stasiun 2 sebesar 0,023, stasiun 3 sebesar 0,013 dan stasiun 1 sebesar 0,005. Menurut Dahlan (1986), banyaknya akumulasi Hg pada bagian daun merupakan usaha lokalisasi yang dilakukan oleh mangrove. Masuknya logam berat Hg ke dalam jaringan tumbuhan bisa melalui *xylem* ke semua bagian tumbuhan sampai ke daun atau dengan cara penempelan partikel Hg pada daun dan masuk ke dalam jaringan melalui stomata.

Hubungan penyerapan Hg pada akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris* menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini dibuktikan dengan hasil analisis menggunakan uji non parametrik yang menunjukkan bahwa U

sampel < dari U tabel, dengan nilai  $6,5 < 7$ . Hasil perhitungan analisis non parametrik dapat dilihat pada **Lampiran 7**.

Akumulasi Hg pada *Sonneratia caseolaris* lebih banyak pada akar dibandingkan daun. Hal ini terjadi karena akar merupakan organ tanaman yang jaraknya paling dekat dan bersentuhan langsung dengan sumber Hg. Menurut Dewi (2004) dalam Zamhar dan Dewi (2015), akar merupakan organ tanaman yang dapat melakukan lokalisasi (*ekstraseluler*) terhadap senyawa toksik karena memiliki toleransi inheren yang tinggi dibandingkan bagian ujung tanaman. Tingginya akumulasi Hg pada akar terjadi karena akarlah yang pertama kali berinteraksi dengan Hg melalui rizosfer. Pada saat kontaminan bersentuhan dengan adsorben (*Sonneratia caseolaris*), maka akan terjadi proses adsorpsi oleh bulu-bulu akar. Selanjutnya logam Hg mengalami penjerapan oleh bulu-bulu akar dan masuk ke dalam akar bersama-sama dengan air melewati xylem sehingga sampai ke batang dan daun. Ada pula Hg yang tidak sampai ke daun, namun hanya sampai di akar saja. Hal ini terjadi bagi senyawa toksik yang mengalami transpor bersama air melalui sistem transpor di luar pembuluh angkut, yaitu berlangsung melalui ruang antar sel (tidak melalui xilem) sehingga saat Hg dan air yang akan memasuki batang akan terhalang oleh suatu lapisan yang tidak bisa ditembus oleh air, yaitu pita kaspari. Menurut Mulyani (2006) dalam Zamhar dan Dewi (2015). Adanya pita kaspari akan menyebabkan Hg dilokalisasi di bagian akar.

#### **4.7 Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF) dan Fitoremidiasi (FTD)**

Berdasarkan data konsentrasi logam berat Hg pada akar, daun, air dan sedimen, akumulasi logam dapat dilihat dengan cara membandingkan konsentrasi antar jaringan mangrove. Menurut Baker dan Brooks (1989),

tumbuhan mampu menyerap logam berat hingga lebih dari 100 mg kg<sup>-1</sup> dan dikenal sebagai hiperakumulator. Pada dasarnya tumbuhan mempunyai daya toleransi dan akumulasi logam berat, hal ini berkaitan dengan tujuan fitostabilisasi. Cara yang dapat digunakan untuk menduga tumbuhan yang bisa dijadikan sebagai fitoremediasi adalah dengan menghitung nilai BCF dan TF. Berdasarkan perhitungan BCF, TF dan FTD pada penelitian ini didapatkan hasil yang tertera pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Nilai BCF, TF, dan FTD Logam Berat Hg pada *Sonneratia caseolaris*

Stasiun	Sampel	BCF akar	BCF daun	TF	FTD
1	A	0,312	0,062	0,200	0,112
	B	0,359	0,012	0,347	0,012
	C	0,250	0,062	0,250	0
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,307</b>	<b>0,045</b>	<b>0,265</b>	<b>0,041</b>
2	A	0,360	0,109	0,303	0,057
	B	0,448	0,147	0,329	0,119
	C	0,382	0,125	0,328	0,054
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,396</b>	<b>0,127</b>	<b>0,32</b>	<b>0,076</b>
3	A	0,327	0,100	0,307	0,02
	B	0,428	0,134	0,313	0,115
	C	0,260	0,100	0,387	-0,127
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,338</b>	<b>0,111</b>	<b>0,335</b>	<b>0,002</b>

Keterangan :

- BCF : Rasio kandungan logam berat Hg dalam jaringan tanaman dengan sedimen
- TF : Translocation Factor yaitu perbandingan kandungan Hg antara daun dengan akar
- FTD : Fitoremediation yaitu selisih antara BCF dengan TF.

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa hasil pengukuran BCF akar berkisar antara 0,307 - 0,396, sedangkan BCF daun berkisar antara 0,045-0,127. Nilai akumulasi Hg tertinggi terdapat pada stasiun 2. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi kandungan Hg pada jaringan tanaman dan semakin rendah konsentrasi Hg pada sedimen akan membuat nilai BCF semakin tinggi.

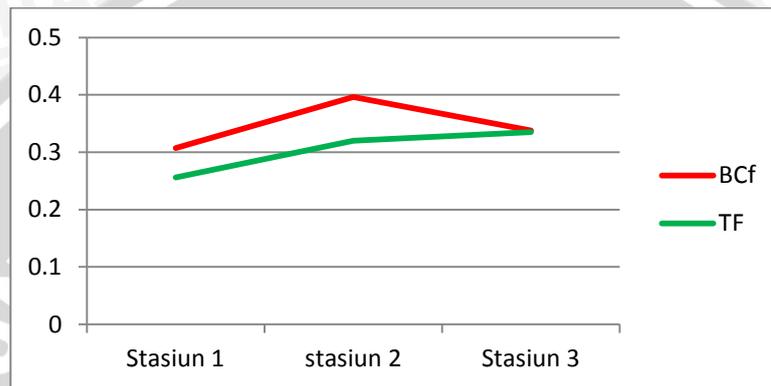
Nilai BCF menunjukkan bahwa *Sonneratia caseolaris* merupakan tanaman akumulator sedang dan termasuk dalam kategori *excluder* terhadap logam berat Hg. Menurut Malayeri *et al* (2008) dalam Novandi *et al* (2010), nilai BCF sebesar

1-10 menunjukkan bahwa tumbuhan tergolong akumulator tinggi, nilai 0,1–1 menunjukkan tumbuhan tergolong akumulator sedang, nilai 0,01-0,1 menunjukkan bahwa tanaman tergolong dalam akumulator rendah, dan nilai  $< 0,1$  termasuk dalam kategori tanaman nonakumulator. Menurut Rismawati (2012), tanaman yang dikategorikan sebagai metal *excluder* spesies merupakan tanaman yang mencegah masuknya logam berat dari tanah dan menjaga konsentrasi logam tersebut mengesudat bahan *chleating* tanaman melalui akar. Baker (1981) dalam Susana dan Suswati (2013), membagi tanaman menjadi 3 kategori yaitu akumulator, *excluder* dan *indicator*. Akumulator mempunyai nilai BCF  $> 1$ , *excluder* mempunyai nilai BCF  $< 1$  dan tanaman indikator mempunyai nilai BCF yang mendekati 1.

Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa pada stasiun 1 nilai TF mencapai 0,200; 0,347; dan 0,250. Pada stasiun 2 nilai TF sebesar 0,303; 0,329; dan 0,328. Pada stasiun 3 nilai TF yang didapatkan mencapai 0,307; 0,313; dan 0,387. Rasio translokasi logam berat Hg pada semua tanaman di semua stasiun diperoleh nilai  $< 1$ . Menurut Kaewtubtim *et al* (2015), hal ini menunjukkan bahwa translokasi logam berat Hg dari akar ke daun rendah. Jenis tanaman yang berbeda tentunya mempunyai fisiologi yang berbeda pula, hal ini mengakibatkan potensial translokasi yang dihasilkan juga berbeda. Menurut Susana dan Suswati (2013), nilai TF  $< 1$  mengindikasikan bahwa Hg tertahan pada jaringan akar dan hanya sedikit yang di transfer ke pucuk atau menunjukkan mobilisasi Hg yang rendah dari akar ke pucuk dan immobilisasi di akar. Logam dipindahkan dari akar menuju ke daun melalui jalur transportasi tanaman (*xylem*), tetapi tingkat transportasi berbeda pada tiap unsur dan tiap tanaman. Gupta dan Sinha (2008) dalam Susana dan Suswati (2013) menyatakan bahwa tanaman yang mengakumulasi Hg pada akar lebih besar dari yang ditransfer ke daun menunjukkan bahwa tanaman tersebut dapat mengenali Hg sebagai unsur toksik

sehingga terjadi mekanisme inaktivasi seperti sekuestrasi unsur di vakuola atau pada dinding sel.

Kriteria fitoremediator yang baik adalah tumbuhan yang memiliki nilai BCF tinggi tetapi nilai TFnya rendah (Yoon *et al.*, 2006). Nilai TF yang diperoleh pada penelitian ini lebih rendah jika dibandingkan dengan BCF. Perbandingan nilai BCF dan TF dapat dilihat pada **Gambar 13**.



**Gambar 13.** Perbandingan nilai BCF dan TF

Semua FTD menunjukkan nilai positif, kecuali pada sampel C stasiun 3 yaitu -0,127. Hal ini disebabkan oleh nilai TF yang lebih tinggi dari nilai BCF, maka sebaliknya pada nilai FTD yang positif yaitu 0,112; 0,012; 0; 0,057; 0,119; 0; 0,02; 0,115 dan FTD air sebesar 1,05; 5,403; 3,75; 9,125; 11,385; 9,672; 6,193; 8,187; 4,729 disebabkan oleh nilai TF yang rendah dan BCF tinggi, di mana FTD diperoleh dari selisih antara BCF dengan TF ( $FTD = BCF - TF$ ). Menurut pernyataan Yoon *et al.*, (2006), nilai FTD akan maksimal jika BCF tinggi dan TF rendah.

Berdasarkan hasil yang didapatkan di ketahui bahwa FTD tertinggi terdapat pada sampel B stasiun 2 dan terendah pada sampel C stasiun 3. Menurut Puspita *et al* (2013), rendahnya nilai FTD menunjukkan tingkat efektifitas biokonsentrasi logam Hg oleh akar dan translokasi Hg dari akar ke daun yang berimbang. Menurut Susarla *et al* (2002) dalam Puspita *et al* (2013), Nilai FTD yang tinggi digunakan untuk mengurangi pergerakan polutan yang ada di dalam

sedimen karena adanya efektivitas akumulasi logam yang terjadi pada akar. Proses ini memanfaatkan kemampuan akar tanaman mangrove untuk menyerap logam berat yang ada pada lingkungan yang statusnya tercemar berat menjadi sedang bahkan ringan. Proses ini akan mengurangi pergerakan logam dan mengurangi logam masuk ke rantai makanan yang ada pada daerah estuaria.

Berdasarkan hasil perhitungan BCF, TF dan FTD dapat dikatakan bahwa *Sonneratia caseolaris* diduga dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi, khususnya fitostabilisasi. Menurut Susarla *et al.*, (2002) dalam Hamzah dan Pancawati (2013), fitostabilisasi merupakan proses akumulasi dan mobilisasi logam dengan menggunakan jaringan akar. Menurut Hamzah dan Pancawati (2013), cara kerja fitostabilisasi adalah dengan menggunakan kemampuan akar dalam menghentikan pergerakan logam yang diserap dan diakumulasi oleh akar, selanjutnya diserap dan diendapkan dalam rizosfer. Selain fitostabilisasi, mekanisme dari fitoremediasi yang lain adalah fitoekstraksi. Salah satu tanaman yang termasuk dalam fitoekstraksi adalah bayam duri. Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh Dwinata *et al* (2015), penyerapan bayam duri terhadap Pb diperoleh nilai  $BCF < 1$  dan  $TF > 1$  yang menunjukkan bahwa mekanisme yang dilakukan adalah fitoekstraksi. Menurut Zubair *et al* (2015), fitoekstraksi adalah proses absorbs (penyerapan) kontaminan berupa logam berat oleh akar dan diikuti dengan translokasi melalui xylem dan diakumulasi di vakuola sel batang dan daun.

Akumulasi logam berat yang berlebihan pada organ tanaman dapat menghambat pertumbuhan dan produktivitas, bahkan dalam beberapa kasus dapat menimbulkan kematian. Efek adanya Hg pada tanaman yaitu menghambat penyerapan unsur Zn dan P, dimana kedua zat tersebut merupakan pembentuk klorofil sehingga dapat mengganggu proses fotosintesis. Adanya  $HgCl_2$  dengan konsentrasi 0,01 – 0,1 mM dapat menghambat terjadinya biosintesis klorofil yang

berakibat menurunkan pertumbuhan dan produktivitas (Jaim dan Puranik, 1993 dalam Shofi dan Suharyanto, 2010). Pada tanaman *Tristicum aesticum*, Hg akan menghambat retardasi akar – tajuk, menurunkan berat kering sertakandungan protein terlarut pada tajuk (Patra dan Sharama, 2000 dalam Shofi dan Suharyanto, 2010). Selain hal tersebut berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suszcyn-sky dan Shann (1995), konsentrasi Hg 1  $\mu\text{m}/\text{ml}$  dapat menghambat pertumbuhan akarkarena adanya penghambatan mitosis, mengurangnya sintesis komponen dinding sel dan perubahan aktivitas fotosintesis (Patnaik dan Mohanty, 2013). Berdasarkan peelitian yang dilakukan oleh Luciane *et al* (2007), konsentrasi Hg 0,001 mM dapat menghambat pembentukan ATP, PPI dan hidrolisis  $\beta$ -*glycerol phosphate*.



## 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

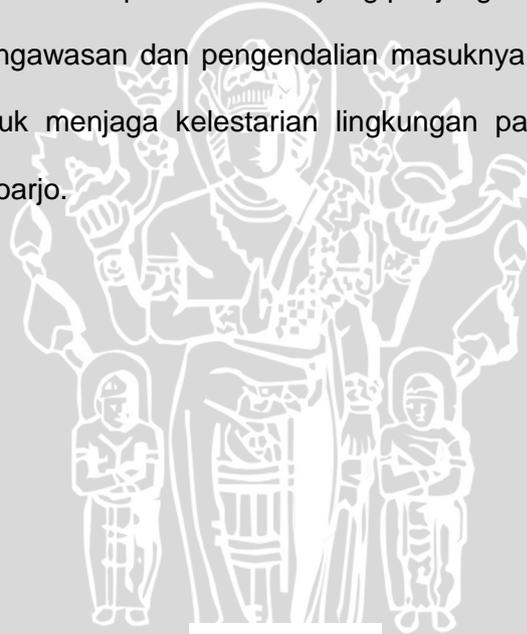
Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada ekosistem mangrove di kawasan muara Sungai Porong, Dusun Tlocor, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) a) Konsentrasi Hg pada air di ke tiga stasiun rata-rata sebesar 0,0056 ppm berada di atas baku mutu yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup 2004 bagi biota laut yaitu sebesar 0,001 ppm. b) Konsentrasi Hg pada sedimen di ke tiga stasiun rata rata sebesar 0,112 ppm yang masih memenuhi baku mutu yang ditentukan oleh IADC/CEDA tahun 1997 yaitu  $< 0,3$ . c) Konsentrasi Hg pada akar *Sonneratia caseolaris* rata-rata sebesar 0,040 ppm sedangkan konsentrasi Hg pada daun sebesar 0,013 ppm.
2. a) Nilai BCF menunjukkan bahwa *Sonneratia caseolaris* merupakan tanaman akumulator sedang dan termasuk dalam kategori *excluder* terhadap logam berat Hg. b) Nilai TF logam berat Hg pada semua tanaman di semua stasiun diperoleh nilai  $< 1$ . Hal ini menunjukkan bahwa translokasi logam berat Hg dari akar ke daun rendah. c) Nilai FTD yang tinggi menunjukkan bahwa adanya pemanfaatan akar tanaman mangrove untuk menyerap logam berat yang ada pada lingkungan. d) Berdasarkan hasil perhitungan BCF, TF dan FTD dapat dikatakan bahwa *Sonneratia caseolaris* diduga dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi, khususnya fitostabilisasi.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada ekosistem mangrove di kawasan Dusun Tlocor, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengukur kandungan ion  $Hg^{2+}$ , karena tanaman hanya dapat menyerap merkuri dalam bentuk ion yang akhirnya akan mengganggu pertumbuhan tanaman tersebut.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan organ mangrove *Sonneratia caseolaris* yang lain seperti batang dan buah dengan menggunakan lebih banyak sampel selama periode waktu yang panjang.
3. Perlu dilakukan pengawasan dan pengendalian masuknya bahan pencemar, khususnya Hg untuk menjaga kelestarian lingkungan pada muara Sungai Porong, Jabon, Sidoarjo.



## DAFTAR PUSTAKA

- A'in, C. 2009. Alternatif Pemanfaatan Ex Disposal Area untuk Kegiatan Perikanan dan Pertanian di Kawasan Segara Anakan Berdasarkan Sistem Informasi Geografis. *Tesis*. Universitas Diponegoro: Semarang.
- Agustina, T. 2010. Kontaminasi Logam Berat pada Makanan dan Dampaknya pada Kesehatan. *J. Teknubuga*. 2(2): 53-65.
- Amanda, L. 2013. Evaluasi Kesesuaian Lahan Tambak untuk Budidaya Udang Windu dan Bandeng di Sekitar Desa Tambak Kalisogo dan Desa Permisan Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo. Universitas Negeri Surabaya: Surabaya.
- Andika, B., A. Seviana., F. S. Ramadhani., dan F. R. Ningsih. 2009. Studi Penyerapan Timbal (Pb) Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L) Pada Air Permukaan Sungai Cisadane Kota Tangerang. *Karya Ilmiah*. Pandeglang.
- Annie, M.P.A., and G.C. Sigua. 2013. Phytoremediation: A Green Technology to Remove Enviromental Pollutants. *American J. Climate Change*. 2(1): 71-86.
- Apriadi, D. 2005. Kandungan Logam Berat Hg, Pb, dan Cr pada Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna Viridis*) di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Apriyono, A. 2013. Analisis Overreaction pada Saham Perusahaan Manufaktur di Bursa Efek Indoneia (BEI) Periode 2005-2009. *J. Nomina*. 2(2): 76-96.
- Arisandy, K.R., E.Y. Herawati., dan E. Suprayitno. 2012. Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Gambaran Histologi pada Jaringan *Avicennia marina* (forsk.) Vierh di Perairan Pantai Jawa Timur. *J. Penelitian Perikanan*. 1(1): 15-25.
- Ayubi, M.C.A., H. Barroroh., dan D.D Candra. Studi Keseimbangan Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). *J. Alchemy*. 1(2): 53-103.
- Baker, A.J.M. and R. R Brooks. 1989. Terrestrial Higher Plants Which Hyper Accumulate Metallic Elements - A Review of Their Distribution, Ecology and Phytochemistry. *Biorecovery*. 81-126.

- Bangun, J.M. 2005. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kandungan (Cd) dalam Air, Sedimen dan Organ Tubuh Ikan Sokang (*Triacanthus nieuhofi*) di Perairan Ancol, Teluk Jakarta. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Boszke, L., A. Kowalski., G. Glosinska., R. Szarek., and J. Siepak. Environmental Factors Affecting Speciation of Mercury in the Bottom Sediments an Overview. *J. of Environmental Studies*. 12(1): 5-13.
- Dahlan, E.N. 1986. Pencemaran daun teh oleh timbal sebagai akibat emisi kendaraan bermotor di Gunung Mas Puncak. *Makalah Kongres Ilmu Pengetahuan Indonesia*. Panitia Nasional MAB: Jakarta.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI Press: Jakarta.
- Darmono. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. UI-press: Jakarta.
- Deri., Emiyarti., dan L.O.A. Afu. 2013. Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Akar Mangrove *Avicennia marina* di Perairan Teluk Kendari. *J. Mina Laut Indonesia*. 1(1): 38-48.
- Dwinata, R., Nafie, N.L., dan Liong, S. 2015. Potensi Bayam Duri (*Amaranthus spinosus* L.) Sebagai Tanaman Hiperakumulator Ion Logam Timbal (Pb<sup>+</sup>). FMIPA. Universitas Hasanuddin: Makassar.
- Edward. 2008. Pengamatan Kadar Merkuri di Perairan Teluk Kao (Halmahera) dan Perairan Anggai (Pulau Obi) Maluku Utara. *J. Makara Sains*. 12(2): 97-101.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Kanisius : Yogyakarta
- Einollahipeer, F., S. Khammar dan A. Sabaghzadeh. 2013. A Study on Heavy Metal Concentration in Sediment and Mangrove (*Avicennia marina*) Tissue in Qeshm Island, Persian Gulf. *Journal of Novel Applied Sciences*. 498-504.
- Emilia, I., Suheryanto., dan Z. Hanafiah. 2013. Distribusi Logam Kadmium dalam Air dan Sedimen di Sungai Musi Kota Palembang. *J. Penelitian Sains*. 16(2). 59-64.
- Erlangga. 2007. Efek Pencemaran Perairan Sungai Kampar di Propinsi Riau Terhadap Ikan Baung (*Hemibagrus nemurus*). *Tesis*. Pasca Sarjana IPB: Bogor.

- Fauziah, A.R., B.S. Rahardja dan Y. Cahyoko. 2012. Korelasi Ukuran Kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg) di Muara Sungai Ketingan, Sidoarjo, Jawa Timur. *J. of Marine and Coastal Science*. 1(1): 34-44.
- Fazumi, M.A. 2014. Penentuan Jenis Sedimen melalui Tekstur Sedimen serta Pengukuran Konsentrasi Salinitas, Eh dan pH Sedimen Permukaan di Muara Sungai Lamong, Surabaya, Jawa Timur. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Brawijaya: Malang.
- Febryanto, R., Aunurohim., dan T.I.T. Dwi. 2009. Akumulasi Logam Timbal (Pb) pada Juvenil Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) secara In Situ di Kali Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya: Surabaya.
- Firdaus, M., A. A. Prihanto., dan R. Nurdiani. 2013. Tanaman Bakau, Biologi dan Bioaktivitasnya. UB Press: Malang.
- Fitria, S.N., U.P Juswono., dan G. Sarona. 2015. Potensi Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) untuk Mengurangi Kadar Logam Berat (Pb dan Cu) serta Radonuklida dengan Metode Fitoremediasi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Brawijaya: Malang.
- Gazali, I., B.R. Widiatmono., dan R. Wirosedarmo. 2013. Evaluasi Dampak Pembuangan Limbah Cair Pabrik Kertas Terhadap Kualitas Air Sungai Klintar Kabupaten Nganjuk. *J. Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 1(2): 1-8.
- Ghosh, M.S.P., and Singh. 2005. A Review on Phytoremediation of Heavy Metal and Utilization of Its By Product. *Applied Ecology and Environmental Research*. (2): 1-18.
- Gunradi, R. dan S.J Suprpto. 2007. Penelitian Endapan Lumpur di Daerah Porong Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur. *Prosiding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan*. Pusat Sumber Daya Geologi.
- Hadi M.C. 2013. Bahaya Merkuri di Lingkungan Kita. Poltekkes Denpasar: Denpasar.
- Hamzah, F dan Agus, S. 2010. Akumulasi Logam Berat Pb, Cu dan Zn di Hutan Mangrove Muara Sungai Angke, Jakarta Utara. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 2(2): 41-52.

Hamzah, F dan Y. Pancawati. 2013. Fitoremediasi Logam Berat dengan Menggunakan Mangrove. *J. Ilmu Kelautan*. 18(4): 203-212.

Harahap, E., N. Azizah., dan A. Affandi. 2014. Menentukan Tekstur Tanah dengan Metode Perasaan di Lahan Poltani. *J. Nasional Ecopedon*. 2(2): 13-15.

Harthanto, B.D., V. Dermawan dan D. Sisinggih. 2014. Analisa Pola Penyebaran Sedimen di Kali Porong Akibat Tambahan Sedimen dari Pengaliran Lumpur Sidoarjo. Universitas Brawijaya: Malang.

Haruna, E.T., I. Ishak., dan S. Nita. 2013. Fitoremediasi pada Media Tanah yang Mengandung Cu dengan Tanaman Kangkung Darat. Fakultas Matematika dan IPA. Universitas Negeri Gorontalo: Gorontalo.

Hasan, M.I. 2002. Metodologi Penelitian dan Apikasinya. Ghalia Indonesia: Jakarta.

Herawati, N. 2007. Analisis Resiko Lingkungan Aliran Air Lumpur Lapindo ke Badan Air. *Tesis*. Universitas Diponegoro: Semarang.

Hilamuhu, F., Y. K. Novri., dan W.K.B Dewi. 2013. Kandungan Mmerkuri (Hg) pada Tumbuhan di Kawasan Penambangan Emas Desa Ilangata Kecamatan Anggrek Kabupaten Gorontalo Utara. Fakultas Matematika dan IPA. Universitas Negeri Gorontalo: Gorontalo.

Hutagalung, H. P. 1984. Logam Berat Dalam Lingkungan Laut. *Pewarta Oseana*. 9:1.

Hutagalung, H.P. 1991. Pencemaran Laut oleh Logam Berat. Puslitbang Oseanologi. Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya. LIPI: Jakarta.

IESR. 2010. Briefer Industri EKstraktif di Indonesia. *Working at The Crossroad of Energy Environment Sustainability and Human Needs*.

Juniawan, A., B. Rumhayati., dan B. Ismuyanto. 2013. Karakteristik Lumpur Lapindo dan Fluktuasi Logam Berat Pb dan Cu pada Sungai Porong dan Aloo. FMIPA. Universitas Brawijaya: Malang.

Junita, L.N. 2013. Profil Penyebaran Logam Berat di Sekitar TPA Pakusari Jember. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember: Jember.

- Kaewtubetim, P., W. Meeinkuirt., S. Seepom., and J. Pichtel. 2015. Heavy Metal Phytoremediation Potential of Plant Species in a Mangrove Ecosystem in Pattani Bay, Thailand. *Applied Ecology and Environmental Research*. 14(1): 367-382.
- Kamaruzzaman, B.Y., M. C. Ong., K.C.A Jalal., S. Shahbudin., and O.M. Nor. 2008. Accumulation of Lead and Copper in *Rhizophora apiculata* from Setiu Mangrove Forest, Terengganu, Malaysia. *J. of Environmental Biology*. 821 -824.
- Kapludin, Y. 2012. Karakteristik dan Keragaman Biota pada Vegetasi Mangrove Dusun Wael Kabupaten Seram Bagian Barat. Universitas Darussalam Ambon: Ambon.
- Kholidiyah, N. 2010. Respon Biologis Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes Solms*) sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam Berat Cadmium (Cd) dan Plumbum (Pb) pada Sungai Pembuangan Lumpur Lapindo, Kecamatan Protong, Kabupaten Sidoarjo. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Maulana Malik Ibrahim: Malang.
- Kitamura, S., A. Chairl., C. Amoyos, dan B. Shigeyuki. 2003. Buku Panduan Mangrove Indonesia. Pass Kress Communication: Bali.
- Kristianingrum S. 2009. Kajian Teknik Analisis Merkuri yang Sederhana, Selektif, Prekonsentrasi, dan Penentuannya secara Spektrofotometri. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian*. Fakultas MIPA. Universitas Yogyakarta: Yogyakarta.
- Lawson, E.O. 2011. Physico Chemical Parameters and Heavy Metal Contents of Water from the Mangrove Swamps of Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria, *Advances in Biological Research* 5 (1): 08-21.
- Lestaris, T. 2010. Faktor-faktor yang Berhubungan dengan Keracunan Merkuri (Hg) pada Penambangan Emas Tanpa Ijin (Peti) di Kecamatan Kurun, Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah. *Tesis*. Universitas Diponegoro: Semarang.
- Luciane. A., L.A Tabaldi., R. Ruppenthal., D. Cargnelutti., V.M. Morsch., L.B Paire., dan M.R.C Schetengir. 2007. Effect of Metal Element on Acid Phosphatase Activity in Cucumber (*Cucumis sativus L.*) Seedlings. *Environmental and Botany*. 59: 43-48.
- Mamboya, F. A. 2007. Heavy Metals Contamination and Toxicity: Studies of Mucroalgae From Tanzanian Coast. Stockholm University. Stockholm: Swedia.

- Maslukah, L. 2006. Konsentrasi Pb, Cd, Cu, Zn dan Pola Sebarannya di Muara Banjir Kanal Barat, Semarang. *Tesis*. Sekolah Pasca sarjana Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Mirdat., Y.S. Patadungan., dan Isrun. 2013. Status Logam Berat Merkuri (Hg) dalam Tanah pada Kawasan Pengolahan Tambang Emas di Kelurahan Poboyo, Kota Palu. *e. J. Agrotekbis*. 1(2): 127-134.
- Moenir, M. 2010. Kajian Fitoremediasi sebagai Alternatif Pemulihan Tanah Tercemar Logam Berat. Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI): Semarang.
- Mohamad, E. 2011. Fitoremedisi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tanah dengan Menggunakan Bayam Duri (*Amarantus Spinusus*). Universitas Negeri Gorontalo: Gorontalo.
- Murtini J.T dan R. Peranginangin.2006. Kandungan Logam Berat pada Kerang Kepah (*Meritrix meritrix*) dan Air Laut di Perairan Banjarmasin. *J. Perikanan*. 7(2): 177-184.
- Nazli, M.F. and N.R. Hashim. 2010. Heavy Metal Concentrations in An Important Mangrove Species *Sonneratia caseolaris* in Peninsular Malaysia. *Environment Asia*. 3(1): 50 – 55.
- Nontji, A. 1987. Laut Nusantara. Djambatan: Jakarta.
- Nontji, A. 2002. Laut Nusantara. Djambatan: Jakarta.
- Novandi, R., R. Hayati., dan T.A. Zahara. 2010. Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Bayam Cabut (*Amarathus tricolor L.*). Universitas Tanjung Pura: Pontianak.
- Nugraha, J.R. 2013. Karakteristik Termal Briket Arang Ampas Tebu dengan Variasi Bahan Perekat Lumpur Lapindo.Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Jember: Jember.
- Nur, F. 2013. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd). *J. Biogenesis*. 1(1): 74-83.
- Onrizal. 2005. Adaptasi Tumbuhan Mangrove pada Lingkungan Salin dan Jenuh Air. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara: Sumatera Utara.
- Onrizal. 2005. Restorasi Lahan Terkontaminasi Logam Berat. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara: Sumatera Utara.
- Onrizal., Rugayah., dan Suhardjono. 2004. Flora Mangrove Berhabitus Pohon di Hutan Lindung Engke-Kapuk. *J. Biodiversitas*. 6(1): 34-39.

- Palar, H. 1994. Toksikologi Logam Berat. Rineka cipta, Jakarta.
- Palar, H. 2004. Pencemaran dan Toksisitas Logam Berat. PT Rineka Cipta: Jakarta.
- Panda, A., K.H. Nitimulyo., dan T.S. Djohan. 2003. Akumulasi Merkuri pada Ikan Baung (*Mytus nemurus*) di Sungai Kahayan Kalimantan Tengah. *J. Manusia dan Lingkungan*. 10(3): 120-130.
- Panjaitan, G. Y. 2009. Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon *Avicennia marina* di Hutan Mangrove. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Parvaresh, H., Z. Abedi., and P. Farschi. 2010. Bioavailability and Concentration of Heavy Metals in the Sedimen and Leaves of Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk). Vierh, in Sirik Azini Creek, Iran. *Bio1 Trace Elem Res*. DOI 10.1007/s12011-010-8891-y.
- Patnaik, A dan B.K Mohanty. 2013. Toxic Effect of Mercury and Cadmium on Germination and Seeding Growth of *Cajanus cajan* L (Pigeon Pea). *Annals of Biological Research* 4: 123-126.
- Pemkab Sidoarjo. 2016. Profil Kecamatan Jabon. Online. [Jabon@sidoarjo.go.id](http://Jabon@sidoarjo.go.id). Diakses pada tanggal 13 Maret 2016.
- Prasetyo, D.E., F.K. Atmanegara., F. Zulfikar., H.S. Purwanti., A. Sahri., A. Budiayu., dan E. Sudiono. 2014. Kajian Sosio-ekologi Kawasan Mangrove di Pesisir Pantai Kecamatan Biduk-Biduk, Kalimantan Timur. *Omni-Akuatik*. 8(18): 1-9.
- Purnomo, T dan Muchyiddin. 2008. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos Forsk.*) di Tambak Kecamatan Gresik. Fakultas matematika dan IPA. Universitas Negeri Surabaya: Surabaya.
- Purwiyanto, A.I.S. 2013. Daya Serap Akar dan Daun Mangrove terhadap Logam Tembaga (Cu) di Tanjung Api-api, Sumatera Selatan. *J. Maspari*. 5(1): 1-5.
- Puspita, A.D., A. Santoso., dan B. Yulianto. 2013. Studi Akumulasi Logam Timbal (Pb) dan Efeknya terhadap Kandungan Klorofil Daun Mangrove *Rhizophora mucronata*. *J. of Marine Research*. 3(1): 44-53.
- Rahayu, S., R.H. Widodo., M.V. Noordwijk., I. Suryadi dan B. Verbist. 2009. Monitoring Air di Daerah Aliran Sungai. World Agroforestry Centre – Southeast Asia Regional Office: Bogor.

- Rismawati, S.E. 2013. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Zn Menggunakan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas*). Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Rondonuwu, S.B. 2010. Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman Dan Sistem Reaktor. FMIPA. Unsrat Manado: Manado.
- Ruhimat, M dan Waluya, B. 2008. Aplikasi Praktis SPSS For Windows dalam Statistika. *Panduan Praktek*. Universitas Indonesia: Depok.
- Rumahlatu, D. 2011. Konsentrasi Logam Berat Kadmium pada Air, Sedimen dan Deadema setosum (*Echinodermata, Eichenodea*) di Perairan Pulau Ambon. *J. Ilmu Kelautan*. 16(2): 78-85.
- Sagala, S.L., R. Bramawanto., A.R.T.D Kuswardani., dan W.S Pranowo. 2014. Distribusi Logam Berat di Perairan Natuna. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. (6)2: 297-310.
- Santoso, S. 2010. *Statistik nonparametrik*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo
- Satriono, A. 2007. Profil Mangrove Taman Nasional Baluran. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Selpan, M.M. 2011. Tekstur Tanah. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*.
- Setiawan, H. 2013. Akumulasi dan Distribusi Logam Berat pada Vegetasi Mangrove di Perairan Pesisir Sulawesi Selatan. *J. Ilmu Kehutanan*. 7(1): 12-24.
- Siahaan, M.T.A., Ambariyanto dan B. Yulianto. 2013. Pengaruh Pemberian Timbal (Pb) dengan Konsentrasi Berbeda terhadap Klorofil, Kandungan Tibal pada Akar dan Daun, serta Sruktur Histologi Jarigan Akar Anakan Mangrove *Rhizophora mucronata*. *J. of Marine Research*. 2(2): 111-119.
- SNI. 2004. Air dan Limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter (SNI 06-6989.11-2004). Dinas Pekerjaan Umum: Jakarta.
- Sprent, P.1999. *Metode Statistik Nonparametrik Terapan*. Penerjemah: Erwin R, O. Jakarta: UI Press. Hlm: 160
- Sulastini, D. 2011. Seri Buku dan Potensi Mangrove Taman Nasional Nasional Alas Purwo. Balai Taman Nasional Alas Purwo: Banyuwangi.
- Sunarto. 2008. Peranan Ekologis dan Antropologis Ekosistem Mangrove. Fakultas Perikanan dan Kealutan. Universitas Pajajaran: Jatinangor.

- Supranto, J. 2009. *Statistik Teori dan Aplikasi*. Eds: 7. Jakarta: Erlangga.
- Susana, R., dan D. Suswati. 2013. Bioakumulasi dan Distribusi Cd pada Akar dan Pucuk 3 Jenis Tanaman Famili Brassicaceae: Implementasinya untuk Fitoremediasi. *J. Manusia dan Lingkungan*. 20(2): 221-228.
- Suseno, H. 2011. Bioakumulasi Merkuri dan Metil Merkuri oleh *Oreochromis mosambicus* Menggunakan Aplikasi Perunut Radioaktif : Pengaruh Konsentrasi, Salinitas, Partikulat, Ukuran Ikan dan Kontribusi Jalur Pakan. *Disertasi*. FMIPA. UI: Depok.
- Susmalinda, T. 2013. Keunikan *Sonneratia sp* si Apel Mangrove. *Artikel*. Wahana Berita Mangrove Indonesia.
- Sutarmi, L., Ketut, A.W., dan I Ketut, G.S.B. 2007. Keanekaragaman Flora di MIC. *Seri Panduan Lapangan Mangrove 2*. Mangrove Information Centre-MIC: Bali.
- Tapilatu, Y dan D. Pelasula. 2012. Biota Penempel yang Berasosiasi dengan Mangrovedi Teluk Ambon Bagian Dalam. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 4(2): 267-279.
- Taqwa, A. 2010. Analisis Produktivitas Primer Fitoplankton dan Struktur Komunitas Fauna Makrobenthos Berdasarkan Kerapatan Mangrove di Kawasan Konservasi Mangrove dan Bekantan Kota Tarakan, Kalimantan Timur. *Tesis*. Universitas Negeri Semarang: Semarang.
- Trisnawaty, F. N., Emiyarti dan L.O. A. Afu. 2013. Hubungan Kadar Logam Berat Merkuri (Hg) pada Sedimen dengan Struktur Komunitas Makrozoobenthos di Perairan Sungai Tahi Ite Kecamatan Rarowatu Kabupaten Bombana. *J. Mina Laut Indonesia*. 3 (1) : 68-80.
- UNDAC. 2006. Environmental Assessment Hot Mud Flow East Java, Indonesia. United Nations.
- Wahab, A. W., dan Mutmainnah. 2005. Analisis Kandungan Logam Berat dan Seng di Sekitar Perairan Pelabuhan Pare - Pare Dengan Metode Adisi Standar. *Marina Chimica Acta*. 6 (2): 21-24.
- Wardhani, M.K. 2011. Kawasan Konservasi Mangrove Suatu Potensi Ekowisata. *J. Kelautan*. 4(1): 60-76.
- Yasuda, Y., M. Bay., I. Okada., dan S.A. Peterson. 2000. Water Pollution Control Policy and Management. *The Japanese Experience*. Chapter 13. Gyosei Ltd: Tokyo.
- Yoon, J., C. Xinde, Z. Qixing , and L.Q. Ma. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *Science of the Total Environment*: 456-464.

Yuniar, D.W., T.W. Suharso., dan G. Prayitno. 2010. Arahana Pemanfaatan Ruang Pesisir Terkait Pencemaran Kali Porong. *J. Tata Kota dan Daerah*. 2(2): 63-74.

Zarkasyi, H. 2008. Biosorpsi Logam Merkuri (Hg) oleh *Bacillus megaterium* Asal Hilir Sungai Cisadane. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah: Jakarta.

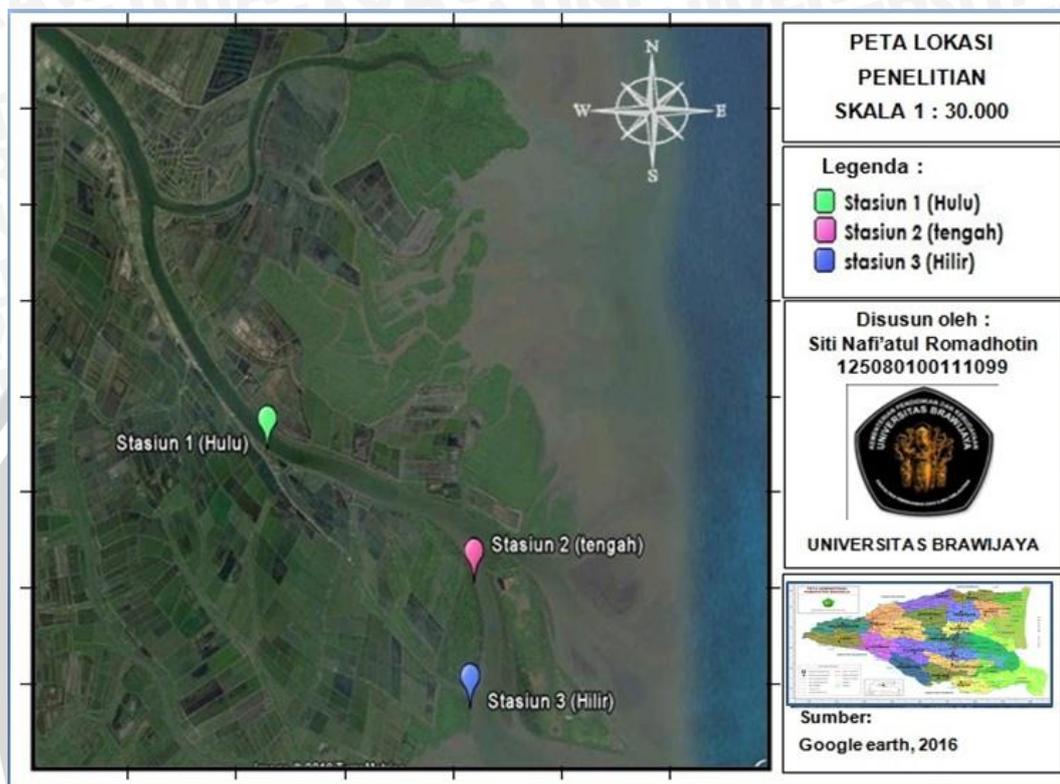
Zamhar, K.N dan N. K. Dewi. 2015. Fitoremediasi Kadmium (Cd) Pada Leachate Menggunakan Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk.) (Studi Kasus Tpa Jatibarang). *J.MIPA*. 38(1) : 13-18.

Zubair, A., Arsyad, A., dan Rosmiati. 2015. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dengan Aliran Batch. Universitas Hasanuddin: Makassar.



# LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Lokasi



**Lapiran 2.** Hasil Uji Laboratorium Kadar Merkuri (Hg) pada Air, Sedimen, Akar dan Daun Mangrove *Sonneratia caseolaris*

Stasiun	Sampel	Kadar Logam Berat Hg (Ppm)			
		Air	Sedimen	Akar	Daun
1	A			0,023	0,004
	B	0,004	0,064	0,023	0,008
	C			0,016	0,004
Rata-rata				<b>0,020</b>	<b>0,005</b>
2	A			0,066	0,020
	B	0,007	0,183	0,082	0,027
	C			0,070	0,023
Rata-rata				<b>0,072</b>	<b>0,023</b>
3	A			0,039	0,012
	B	0,006	0,119	0,051	0,016
	C			0,031	0,012
Rata-rata		<b>0,0056</b>	<b>0,112</b>	<b>0,040</b>	<b>0,013</b>
<b>Standart</b>		< 0,001 *	< 0.3 **		

Keterangan:

\* Baku mutu air laut bagi kehidupan biota berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2004

\*\* Standart baku mutu sedimen yang dikeluarkan oleh IADC/CEDA tahun 1997

Lampiran 3. Foto - Foto Dokumentasi



a. Pengambilan sampel sedimen



b. Pengambilan sampel akar



c) Pengukuran keliling pohon



d. pengukuran panjang daun



e) Sampel akar yang diambil



f. sampel daun yang diambil



g) Penimbangan sampel sedimen



h. sampel air yang diambil



i) Penataan sampel di dalam coolbox



j. Pengukuran pH



k) Pengukuran salinitas



l) Penambahan HNO<sub>3</sub> pada sampel air

#### Lampiran 4. Perhitungan BCF, TF dan FTD

##### 1) Contoh perhitungan Stasiun 1 sampel A

$$\begin{aligned} \text{a) BCF Hg akar} &= \frac{[\text{Logam berat Hg}] \text{ jaringan tanaman akar}}{[\text{Logam berat Hg}] \text{ sedimen}} \\ &= \frac{0,020}{0,064} \\ &= 0,312 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BCF Hg daun} &= \frac{[\text{Logam berat Hg}] \text{ jaringan tanaman daun}}{[\text{Logam berat Hg}] \text{ sedimen}} \\ &= \frac{0,004}{0,064} \\ &= 0,062 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) TF Hg} &= \frac{[\text{Logam berat Hg}] \text{ daun}}{[\text{Logam berat Hg}] \text{ akar}} \\ &= \frac{0,004}{0,020} \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) FTD} &= \text{BCF} - \text{TF} \\ &= 0,312 - 0,2 \\ &= 0,112 \end{aligned}$$

##### 2) Tabel hasil perhitungan BCF, TF dan FTD

Stasiun	Sampel	BCF akar	BCF daun	TF	FTD
1	A	0,312	0,062	0,200	0,112
	B	0,359	0,012	0,347	0,012
	C	0,250	0,062	0,250	0
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,307</b>	<b>0,045</b>	<b>0,265</b>	<b>0,041</b>
2	A	0,360	0,109	0,303	0,057
	B	0,448	0,147	0,329	0,119
	C	0,382	0,125	0,328	0,054
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,396</b>	<b>0,127</b>	<b>0,32</b>	<b>0,076</b>
3	A	0,327	0,100	0,307	0,02
	B	0,428	0,134	0,313	0,115
	C	0,260	0,100	0,387	-0,127
	<b>Rata-rata</b>	<b>0,338</b>	<b>0,111</b>	<b>0,335</b>	<b>0,002</b>

## Lampiran 5. Hasil Uji Kandungan Logam Berat Hg



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
 FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA

Jl. Veteran - Malang 65145, Telp. (0341) 575838, 551611 - 551615, Pcs.311, Fx (0341) 575839  
 Email : kimia\_UB@ub.ac.id, Website : http://kimia.ub.ac.id

### LAPORAN HASIL ANALISA

NO : A.150/RT.5/T.1/R.0/TT.150803/2016

- 1 Data Konsumen  
 Nama Konsumen : Siti Naffatul Romadhotin  
 Instansi : Universitas Brawijaya  
 Alamat : Jl. Sumbersari gang IV No. 215 E, Malang  
 Telepon : 085745839085  
 Status : Mahasiswa  
 Keperluan analisis : Uji Logam Berat Hg  
 2 Sampling Dilakukan : Oleh Konsumen  
 3 Identifikasi Sampel  
 Nama Sampel : Air, Sedimen, Akar dan daun Mangrove  
 Wujud : Cair, Padat  
 Warna : -  
 Bentuk : Cairan  
 4 Prosedur Analisa : Dari lab. Lingkungan Jurusan Kimia FMIPA-  
 Unibrav Malang  
 5 Penyampaian Laporan Hasil Analisis : Pengambilan Langsung  
 6 Tanggal terima Sampel : 03 Maret 2016  
 7 Data Hasil Analisa

Parameter	No	Kode	Hasil Analisa		Metode Analisa	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
Hg	1	1. Air Stasiun 1	0,004 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	2	2. Air Stasiun 2	0,007 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	3	3. Air Stasiun 3	0,006 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	4	4. Sedimen Stasiun 1	0,064 ± 0.04	ppm	Aquaregia	AAS
	5	5. Sedimen Stasiun 2	0,183 ± 0.05	ppm	Aquaregia	AAS
	6	6. Sedimen Stasiun 3	0,119 ± 0.05	ppm	Aquaregia	AAS
	7	7. Akar Stasiun 1 (A)	0,020 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	8	8. Akar Stasiun 1 (B)	0,023 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	9	9. Akar Stasiun 1 (C)	0,016 ± 0.03	ppm	Aquaregia	AAS
	10	10. Akar Stasiun 2 (A)	0,066 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	11	11. Akar Stasiun 2 (B)	0,082 ± 0.03	ppm	Aquaregia	AAS
	12	12. Akar Stasiun 2 (C)	0,070 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	13	13. Akar Stasiun 3 (A)	0,039 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	14	14. Akar Stasiun 3 (B)	0,051 ± 0.03	ppm	Aquaregia	AAS
	15	15. Akar Stasiun 3 (C)	0,031 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	16	16. Daun Stasiun 1 (A)	0,004 ± 0.01	ppm	Aquaregia	AAS
	17	17. Daun Stasiun 1 (B)	0,008 ± 0.03	ppm	Aquaregia	AAS
	18	18. Daun Stasiun 1 (C)	0,004 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	19	19. Daun Stasiun 2 (A)	0,020 ± 0.03	ppm	Aquaregia	AAS
	20	20. Daun Stasiun 2 (B)	0,027 ± 0.03	ppm	Aquaregia	AAS
	21	21. Daun Stasiun 2 (C)	0,023 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	22	22. Daun Stasiun 3 (A)	0,012 ± 0.02	ppm	Aquaregia	AAS
	23	23. Daun Stasiun 3 (B)	0,016 ± 0.03	ppm	Aquaregia	AAS
	24	24. Daun Stasiun 3 (C)	0,012 ± 0.03	ppm	Aquaregia	AAS

Catatan :

- Hasil analisa ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis secara duplo
- Hasil analisa ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel seperti ini.



Privo Utomo, M.S.  
 NIP. 195712271986031003

Malang, 10 Maret 2016  
 Kalab. JPT. Layanan Analisa &  
 Pengukuran

Dra. Sriwardhani, M.S.  
 NIP. 196802261992032001

## Lampiran 6. Hasil Uji Tekstur Tanah



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS PERTANIAN**  
Jalan Veteran Malang - 65145, Jawa Timur, Indonesia  
Telepon: +62341-551611 pes. 207-208; 551665; 565845; Fax: 560011  
Website: www.fpu.ub.ac.id email: fuperta@ub.ac.id  
Telepon Dekan: +62341-566287 WD I: 569218 WD II: 569219 WD III: 569217 KTU: 575741  
JURUSAN: Budidaya Pertanian: 569984 Sosial Ekonomi Pertanian: 580054 Tanah: 553623  
Hama dan Penyakit Tumbuhan: 575843 Program Pasca Sarjana: 576273

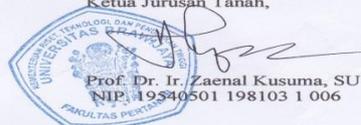
Mohon maaf, bila ada kesalahan dalam penulisan: nama, gelar, jabatan, dan alamat

Nomor : 02 /UN10.4/PG/2016  
Lampiran : ( ) lembar  
Hal : Data Hasil Analisis  
Malang, 8 Maret 2016

Kepada  
Yth. : Nilla, Yuni, Uul. ( S1 ) FPIK

Bersama ini disampaikan hasil analisis Laboratorium Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya di Laboratorium Fisika, jenis analisa terlampir.  
Demikian, atas kerjasamanya disampaikan terima kasih.

a.n. Wadek,  
Ketua Jurusan Tanah,

  
Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU  
NIP. 19540501 198103 1 006


**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS PERTANIAN**  
Jalan Veteran Malang - 65145, Jawa Timur, Indonesia  
Telepon : +62341-551611 pes. 207-208, 551665, 565845; Fax: 560011  
website: www.fpu.ub.ac.id email: fuperta@ub.ac.id  
Telepon Dekan: +62341-566287 WD I: 569984 WD II: 569219 WD III: 569217 KTU: 575741  
JURUSAN : Budidaya Pertanian: 569984 Sosial Ekonomi Pertanian: 580054 Tanah: 553623  
Hama dan Penyakit Tumbuhan: 575843 Program Pasca Sarjana: 576273

Mohon maaf bila ada kesalahan dalam penulisan: nama, gelar, jabatan dan alamat

### HASIL ANALISA TANAH

a.n : Nilla. FPIK.  
Asal : Muara Sungai Porong  
Nomor : /UN10.4/PG / 2016  
Tanggal Penerimaan : 4 Maret.2016  
Tanggal Selesai : 11 Maret. 2016

No	Kode	Kadar air pF		Porosi tas	KHU cm jam <sup>-1</sup>	Pasir %	Debu %	liat %	Klas tekstur
		2.5	4.2						
1	Titik 1	-	-	-	-	3	85	12	Silty Loam
2	Titik 2	-	-	-	-	0	68	32	Silty Loam
3	Titik 3	-	-	-	-	1	83	16	Silty Loam

Ketua lab. Fisika



Ir. Widiyanto, MSc.  
NIP 19530212 197903 1004

## Lampiran 7. Perhitungan U Mann-Whitney

Tabel kandungan logam berat Hg pada daun dan akar

Stasiun	Daun	Akar
1	0,004	0,023
	0,008	0,023
	0,004	0,016
2	0,020	0,066
	0,027	0,082
	0,023	0,070
3	0,012	0,039
	0,016	0,051
	0,012	0,031

Tabel pemberian peringkat kandungan Hg di daun dan akar

Organ Tanaman	Kandungan Hg	Peringkat	Nilai peringkat
Daun	0,004	1	1,5
Daun	0,004	2	1,5
Daun	0,008	3	3
Daun	0,012	4	4,5
Daun	0,012	5	4,5
Akar	0,016	6	7,5
Daun	0,016	7	7,5
Daun	0,020	8	8
Akar	0,023	9	6,7
Akar	0,023	10	6,7
Daun	0,023	11	6,7
Daun	0,027	12	12
Akar	0,031	13	13
Akar	0,039	14	14
Akar	0,051	15	15
Akar	0,066	16	16
Akar	0,070	17	17
Akar	0,082	18	18

Penjumlahan nilai peringkat pada daun dan akar

Kandungan Hg di daun	Nilai peringkat
0,004	1,5
0,004	1,5
0,008	3
0,012	4,5
0,012	4,5
0,016	7,5
0,020	8
0,023	6,7
0,027	12
Jumlah peringkat (R1):	49,2

Kandungan Hg di akar	Nilai peringkat
0,016	7,5
0,023	9
0,023	10
0,031	13
0,039	14
0,051	15
0,066	16
0,070	17
0,082	18
Jumlah peringkat (R2):	119,5

Jumlah sampel daun ( $n_1$ ) = 9

Jumlah sampel akar ( $n_2$ ) = 9

Jumlah peringkat daun ( $R_1$ ) = 49,2

Jumlah peringkat akar ( $R_2$ ) = 119,5

$$\begin{aligned}U \text{ hitung} &= n_1 n_2 + [n_2 (n_2 + 1) / 2] - R_2 \\&= 9 \times 9 + [9 (9 + 1) / 2] - 119,5 \\&= 126 - 119,5 \\&= 6,5\end{aligned}$$

Nilai U tabel adalah 7, maka  $U \text{ hitung} < U \text{ tabel}$



Lampiran 8. Tabel U

Table A5.07: Critical Values for the Wilcoxon/Mann-Whitney Test (U)

		Nondirectional $\alpha=.05$ (Directional $\alpha=.025$ )																			
		$n_2$																			
$n_1$		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	-	-	-	-	0	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8
4	-	-	-	0	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	11	12	13	13	13
5	-	-	0	1	2	3	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	17	18	19	20	20
6	-	-	1	2	3	5	6	8	10	11	13	14	16	17	19	21	22	24	25	27	27
7	-	-	1	3	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	34
8	-	0	2	4	6	8	10	13	15	17	19	22	24	26	29	31	34	36	38	41	41
9	-	0	2	4	7	10	12	15	17	21	23	26	28	31	34	37	39	42	45	48	48
10	-	0	3	5	8	11	14	17	20	23	26	29	33	36	39	42	45	48	52	55	55
11	-	0	3	6	9	13	16	19	23	26	30	33	37	40	44	47	51	55	58	62	62
12	-	1	4	7	11	14	18	22	26	29	33	37	41	45	49	53	57	61	65	69	69
13	-	1	4	8	12	16	20	24	28	33	37	41	45	50	54	59	63	67	72	76	76
14	-	1	5	9	13	17	22	26	31	36	40	45	50	55	59	64	67	74	78	83	83
15	-	1	5	10	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59	64	70	75	80	85	90	90
16	-	1	6	11	15	21	26	31	37	42	47	53	59	64	70	75	81	86	92	98	98
17	-	2	6	11	17	22	28	34	39	45	51	57	63	67	75	81	87	93	99	105	105
18	-	2	7	12	18	24	30	36	42	48	55	61	67	74	80	86	93	99	106	112	112
19	-	2	7	13	19	25	32	38	45	52	58	65	72	78	85	92	99	106	113	119	119
20	-	2	8	14	20	27	34	41	48	55	62	69	76	83	90	98	105	112	119	127	127

Nondirectional  $\alpha=.01$  (Directional  $\alpha=.005$ )

