

**AKUMULASI LOGAM BERAT Cd PADA AKAR, BATANG, DAUN DAN BUAH
MANGROVE (*Sonneratia caseolaris*) DI KAWASAN MANGROVE
DUSUN TLOCOR, DESA KEDUNG PANDAN, KECAMATAN JABON,
KABUPATEN SIDOARJO, JAWA TIMUR**

**SKRIPSI
PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA PERAIRAN**

Oleh:

**GALUH TUTUS DWIPAYANI
NIM. 115080101111017**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2015**

**AKUMULASI LOGAM BERAT Cd PADA AKAR, BATANG, DAUN DAN BUAH
MANGROVE (*Sonneratia caseolaris*) DI KAWASAN MANGROVE
DUSUN TLOCOR, DESA KEDUNG PANDAN, KECAMATAN JABON,
KABUPATEN SIDOARJO, JAWA TIMUR**

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

Malang

Oleh :

**GALUH TUTUS DWIPAYANI
NIM. 115080101111017**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2015

SKRIPSI

AKUMULASI LOGAM BERAT Cd PADA AKAR, BATANG, DAUN DAN BUAH
MANGROVE (*Sonneratia caseolaris*) DI KAWASAN MANGROVE
DUSUN TLOCOR, DESA KEDUNG PANDAN, KECAMATAN JABON,
KABUPATEN SIDOARJO, JAWA TIMUR

Oleh :

GALUH TUTUS DWIPAYANI
NIM. 115080101111017

Telah dipertahankan di depan penguji
Pada tanggal 07 Mei 2015
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,

Dosen Penguji I

(Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc)

NIP. 19790331 200501 003

Tanggal:

Dosen Penguji II

(Dr. Ir. Mulyanto, M.Si)

NIP. 19600317 198602 1 001

Tanggal:

Dosen Pembimbing I

(Dr. Ir. Muhammad Musa, MS)

NIP. 19570507 198602 1 002

Tanggal:

Dosen Pembimbing II

(Dr. Yuni Kilawati, S.Pi., M.Si)

NIP. 19730702 200501 2 001

Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Jurusan

(Dr. Ir. Arning Wilujeng Ekawati, MS)

NIP. 19620805 198603 2 001

Tanggal:

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 pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

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



Malang, Mei 2015

Mahasiswa

Galuh Tutus Dwipayani
NIM. 115080101111017

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah mengkaruniakan berkah dan kasih sayang-Nya sehingga atas izin-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul "**Akumulasi Logam Berat Cd pada Akar, Batang, Daun dan Buah Mangrove (Sonneratia caseolaris) di Kawasan Mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur**" dengan penuh ketercapaian lainnya.

Penulis menyusun skripsi ini dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk mencapai gelar sarjana (S1) pada Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, FPIK Universitas Brawijaya. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya Skripsi ini tak lepas dari campur tangan berbagai pihak. Untuk itulah penulis ingin berterima kasih sebesar-besarnya dan memberikan penghargaan setinggi-tingginya kepada pihak-pihak terkait.

Dengan selesainya penulisan Skripsi ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak **Dr. Ir. Muhammad Musa, MS**, selaku Pembimbing I (ketua) dan Ibu **Dr. Yuni Kilawati, S.Pi., M.Si.**, selaku Pembimbing II (sekretaris) yang telah banyak memberikan dukungan, arahan dan bimbingannya selama penyusunan dan penulisan Skripsi. Kepada segenap tim penguji yang menguji adrenalin, penulis haturkan terima kasih yang luar biasa. Teruntuk Bapak **Andi Kurniawan, S.Pi., M.Eng., D.Sc.**, dan Bapak **Dr. Ir. Mulyanto, M.Si.**, terima kasih atas segala saran, kritikan dan koreksinya sebagai tim penguji dalam penyempurnaan penulisan Skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu **Prof. Dr. Ir. Diana Arfiati, MS**, selaku Dekan FPIK Universitas Brawijaya dan Ibu **Dr. Ir. Arning Wilujeng Ekawati, MS** selaku Ketua Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, yang telah memberikan kemudahan dalam pengurusan administrasi penulisan Skripsi ini.

Cinta dan dukungan berupa moril maupun materil dari kedua orang tua penulis terkasih. Terima kasih atas segala yang telah dilakukan demi penulis, dan terimakasih atas setiap cinta yang terpancar serta doa dan restu yang selalu mengiring tiap langkah penulis. Terimakasih kepada Bapak **Yuswanto** dan Mamak **Ratna Hariani** yang senantiasa memberikan kasih sayang sepanjang masa sehingga penulis bisa sampai ke titik ini. Tak lupa pula terimakasih penulis

haturkan kepada Mbah **Siman** dan Alm. Nenek tercinta **Bq. Ratnatih** atas dukungan, doa, nasehat, dan motivasi hingga sampai detik ini penulis tetap kuat dan bersemangat dalam menyelesaikan studi. Kakak dan Adik tersayang, **Dara Purwantika Cahyani** dan **Hartantrias Enggal Pandugi**, penulis haturkan banyak terimakasih atas segala doa, dukungan, canda, tawa dan macam-macam bantuan dalam menyelesaikan Skripsi ini. Terutama untuk Hartantrias Enggal Pandugi, semoga semua usaha penulis dapat menjadi lecutan semangat tak terhingga agar adik tercinta dapat menggapai hal yang sama bahkan lebih demi kebahagiaan dan kebanggaan kedua orang tua tercinta.

Kepada terkasih **Fajar Sigit Satmoko**, yang senantiasa ada untuk memberikan dukungan, melantunkan doa serta mengusahakan segala macam bantuan terkait penyelesaian Skripsi ini. Terima kasih atas semua yang telah dilakukan, terima kasih telah senantiasa menguatkan di kala penulis terpuruk dan sempat merasa tidak mampu melakukan apa-apa.

Kepada sahabat-sahabat Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan 2011 terutama **Anggun Fatta Rozhakia, Rafida Aini, Widya Izzatul Mila, Ridha Nurfitriia, Cahyo Tri Prasetyo, Agus Fani Faisal, Agus Setiyanto** dan **Arditha Mauluddin**, terima kasih atas segala ukiran hati bertemakan persahabatan yang tulus murni sepanjang masa pendidikan di Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan sejak awal hingga terselesainya pendidikan. Terima kasih atas segala canda, tawa dan tangisan haru serta bahagia yang telah dibagi dan turut dirasa. Terimakasih atas rasa kekeluargaan yang begitu besar meski tanpa ikatan darah. Jalinan persahabatan ini semoga Allah jaga hingga ke Surga.

Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tidak dapat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang-orang yang turut bersuka cita atas keberhasilan penulis menyelesaikan Skripsi ini. Alhamdulillah. Sebagai manusia biasa, tentunya penulis masih memiliki banyak kekurangan pengetahuan dan pengalaman pada topik yang diangkat dalam Skripsi ini, begitu pula dalam penulisannya yang masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis akan sangat senang jika menerima berbagai masukan dari para pembaca baik berupa kritik maupun saran yang sifatnya membangun demi penyempurnaan penulisan-penulisan Skripsi di masa yang akan datang. Harapan penulis, semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya bagi para penuntut ilmu dan pengajar, baik dalam

bangku perkuliahan, penelitian maupun berprofesi sebagai guru nantinya, guna membina generasi muda penerus bangsa yang lebih berkualitas dan berdaya saing.

Akhirnya kepada Allah-lah penulis memohon agar usaha ini dijadikan sebagai amal shalih dan diberikan pahala oleh-Nya. Shalawat serta salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallaahu'alaihi wa Sallam beserta keluarga, para sahabat dan para pengikutnya hingga hari akhir, Aamiin.

Malang, Mei 2015

Penulis



RINGKASAN

GALUH TUTUS DWIPAYANI. Skripsi. Akumulasi Logam Berat Cd Pada Akar, Batang, Daun dan Buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) di Kawasan Mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. (dibawah bimbingan **Dr. Ir. Muhammad Musa, MS** dan **Dr. Yuni Kilawati, S.Pi., M.Si.**)

Keberadaan logam berat kadmium (Cd) di muara sungai dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain dari sampah rumah tangga berupa plastik dan lumpur lapindo. Karena sifat logam berat kadmium (Cd) yang susah terurai, maka keberadaan logam berat tersebut dapat mengganggu ekosistem perairan apabila jumlahnya melebihi ambang batas yang ditentukan. Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon memiliki kawasan mangrove yang terdapat di sepanjang muara Sungai Porong di mana aliran Sungai Porong membawa lumpur lapindo yang mengandung logam berat, seperti Pb, Cr, Cd, Ar, Hg, dan Na, sehingga berpotensi menjadi sumber pencemar logam berat kadmium (Cd) bagi perairan Pantai Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Sidoarjo dan terakumulasi di pohon mangrove. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari - Februari 2015 yang bertujuan untuk mengetahui kandungan logam berat Cd pada sedimen, akar, batang, daun dan buah mangrove *Sonneratia caseolaris* dan mengetahui kemampuan tanaman *Sonneratia caseolaris* dalam mengakumulasi logam berat Cd di perairan kawasan mangrove di Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo. Metode yang digunakan adalah survei dengan penjelasan deskriptif pada beberapa titik pengambilan sampel dari 3 stasiun pengamatan. Stasiun 1 merupakan bagian hulu yang diasumsikan bahwa kadar logam berat Cd pada lokasi tersebut paling tinggi, karena belum mengalami pengenceran oleh air laut. Stasiun 2 merupakan bagian tengah yang diasumsikan bahwa kadar logam berat Cd pada lokasi tersebut sedang, karena terletak di antara hulu dan hilir. Stasiun 3 merupakan bagian hilir yang diasumsikan bahwa kadar logam berat Cd pada lokasi tersebut paling rendah, karena mengalami pengenceran oleh air laut. Sampel substrat, akar, batang, daun dan buah mangrove (*Sonneratia caseolaris*) diambil dari tiap stasiun dan dianalisa kadar logam beratnya menggunakan metode AAS serta menganalisa parameter fisika dan kimia air meliputi suhu, pH air, pH tanah, oksigen terlarut, salinitas dan tekstur substrat.

Kawasan mangrove di Dusun Tlocor yang terdapat di sepanjang muara sungai Porong Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo mengandung logam berat Cd pada sedimen berkisar antara 0,08-0,19 ppm, Cd pada akar *Sonneratia caseolaris* berkisar antara 0,027-0,059 ppm, pada batang *Sonneratia caseolaris* berkisar antara 0,017-0,032 ppm, Cd pada daun *Sonneratia caseolaris* berkisar antara 0,007-0,013 ppm dan Cd pada buah *Sonneratia caseolaris* berkisar antara 0,002-0,005 ppm. Logam Cd di substrat serta di akar batang, daun, dan buah *Sonneratia caseolaris* masih berada di bawah ambang batas yang ditentukan NOAA (2005) dan SNI (2009). Hasil analisis perbandingan kadar logam berat Cd sedimen antar stasiun menggunakan one-way ANOVA dan analisis perbandingan kadar logam berat Cd tiap organ mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada tiga stasiun menggunakan GLM (General Linear Model) Univariate menggunakan software SPSS 16.0, didapatkan nilai signifikansi atau probabilitas $<0,05$, maka H_0 ditolak, yaitu menunjukkan adanya perbedaan kadar logam berat Cd sedimen antar stasiun dan adanya perbedaan kadar logam berat Cd tiap

organ mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada tiga stasiun. Tanaman mangrove (*Sonneratia caseolaris*) tergolong dalam akumulator sedang dalam penyerapan logam berat Cd dengan rentang nilai biokonsentrasi faktor, translokasi faktor dan fitoremediasi berada di antara 0,1-1. Hasil pengukuran kualitas air suhu berkisar 27-30 °C, salinitas 1-6 ppt, oksigen terlarut 5,1-9,7 mg/L, pH air 7,7-8,3, pH tanah 7,1-7,2, dan tekstur sedimen, pada stasiun 1 (Hulu) memiliki tekstur pasir 13%, liat 46%, debu 41%, masuk ke dalam kelas tekstur yaitu liat berdebu. Pada stasiun 2 (Tengah) memiliki tekstur pasir 1%, liat 26%, debu 73%, masuk ke dalam kelas tekstur yaitu lempung berdebu. Pada stasiun 3 (Hilir) memiliki tekstur pasir 45%, liat 24%, debu 31%, masuk ke dalam kelas tekstur yaitu lempung.

Tanaman mangrove (*Sonneratia caseolaris*) dapat digunakan sebagai bioakumulator untuk tujuan fitoremediasi khususnya fitostabilisasi terhadap pencemaran logam berat Cd karena mangrove *Sonneratia caseolaris* memiliki kemampuan untuk menyusutkan kadar Cd dalam tubuhnya dari akar sampai ke buah yaitu sebesar 48% dan tumbuhan mangrove *Sonneratia caseolaris* mempunyai senyawa fitokelatin yang merupakan suatu protein dan berfungsi untuk mengikat unsur logam dan membawanya ke dalam sel melalui peristiwa transport aktif, kemudian logam berat Cd ditranslokasikan ke batang, daun, dan buah, oleh karena itu mangrove (*Sonneratia caseolaris*) dapat digunakan sebagai kandidat bioakumulator pencemaran logam berat kadmium (Cd).



KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, taufik dan hidayah-Nya yang telah dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi dengan Judul “**Akumulasi Logam Berat Cd pada Akar, Batang, Daun dan Buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) di Kawasan Mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur**”. Laporan skripsi dibuat untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam meraih Sarjana Perikanan program Strata Satu (S-1) Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya.

Atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik dan saran yang bersifat membangun kearah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Cukup banyak kesulitan yang penulis temui dalam penulisan skripsi ini, tetapi Alhamdulillah dapat penulis atasi dan selesaikan dengan baik. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT.

Malang, 07 Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
RINGKASAN	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DARTAR LAMPIRAN	xv
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kerangka Pemikiran	5
1.3 Rumusan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.6 Waktu dan Tempat	7
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Logam Berat.....	8
2.1.1 Pengertian Logam Berat.....	8
2.1.2 Logam Berat Cd (Kadmium)	9
2.1.3 Karakteristik Cd (Kadmium).....	10
2.1.4 Jalur Pencemaran Logam Berat	11
2.1.5 Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Tumbuhan.....	13
2.2 Ekosistem Mangrove.....	15
2.2.1 Pengertian dan Fungsi Mangrove	15
2.2.2 Deskripsi dan Klasifikasi Mangrove (<i>Sonneratia caseolaris</i>)	16
2.3 Kualitas Air.....	17
2.3.1 Parameter Fisika.....	17
2.3.2 Parameter Kimia	20
2.4 Baku Mutu Logam Berat Cd dalam Sedimen dan Biota Perairan.....	22
2.5 Analisa Logam Berat	24
3. MATERI DAN METODE	
3.1 Materi Penelitian.....	25
3.2 Alat dan Bahan.....	25
3.3 Metode Penelitian.....	26
3.3.1 Teknik Pengambilan Data.....	26
3.3.2 Penetapan Stasiun Pengamatan	27
3.4 Prosedur Pengambilan Sampel	28
3.4.1 Prosedur Pengambilan Sampel Sedimen.....	28



3.4.2	Prosedur Pengambilan Sampel Mangrove (<i>Sonneratia caseolaris</i>)..	29
3.5	Analisa Kadmium (Cd).....	30
3.6	Analisa Kualitas Air	32
3.6.1	Parameter Fisika.....	32
3.6.2	Parameter Kimia.....	34
3.7	Analisa Data.....	36
3.7.1	Analisis Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Sedimen antar Stasiun dan Analisis Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Tiap Organ Mangrove (<i>Sonneratia caseolaris</i>) pada Tiga Stasiun.....	36
3.7.2	Faktor Biokonsentrasi (BCF).....	37
3.7.3	Faktor Translokasi (TF).....	38
3.7.4	Fitoremediasi (FTD).....	38
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Keadaan Umum Lokasi Penelitian.....	40
4.1.1	Deskripsi Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo.....	40
4.1.2	Deskripsi Stasiun Pengamatan.....	40
4.2	Analisa Kadar Logam Berat Kadmium (Cd).....	43
4.2.1	Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Sedimen antar Stasiun.....	43
4.2.2	Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Tiap Organ Mangrove (<i>Sonneratia caseolaris</i>) pada Tiga Stasiun.....	47
4.3	Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF), dan Fitoremediasi (FTD).....	53
4.4	Analisa Kualitas Air	56
4.4.1	Parameter Fisika.....	57
4.4.2	Parameter Kimia.....	61
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65
	DAFTAR PUSTAKA.....	66
	LAMPIRAN.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Baku Mutu Logam Berat dalam Sedimen	22
2. Alat dan Bahan yang Diperlukan untuk Penelitian	25
3. Klasifikasi Butiran Tanah	33
4. Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Sedimen dan Mangrove (<i>Sonneratia caseolaris</i>).....	43
5. Nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF), dan Fitoremediasi (FTD) Logam Berat Cd di Tlocor, Desa Kedung Pandan	54
6. Data Analisis Kualitas Air pada Kawasan Mangrove Dusun Tlocor di Muara Sungai Porong, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo	57



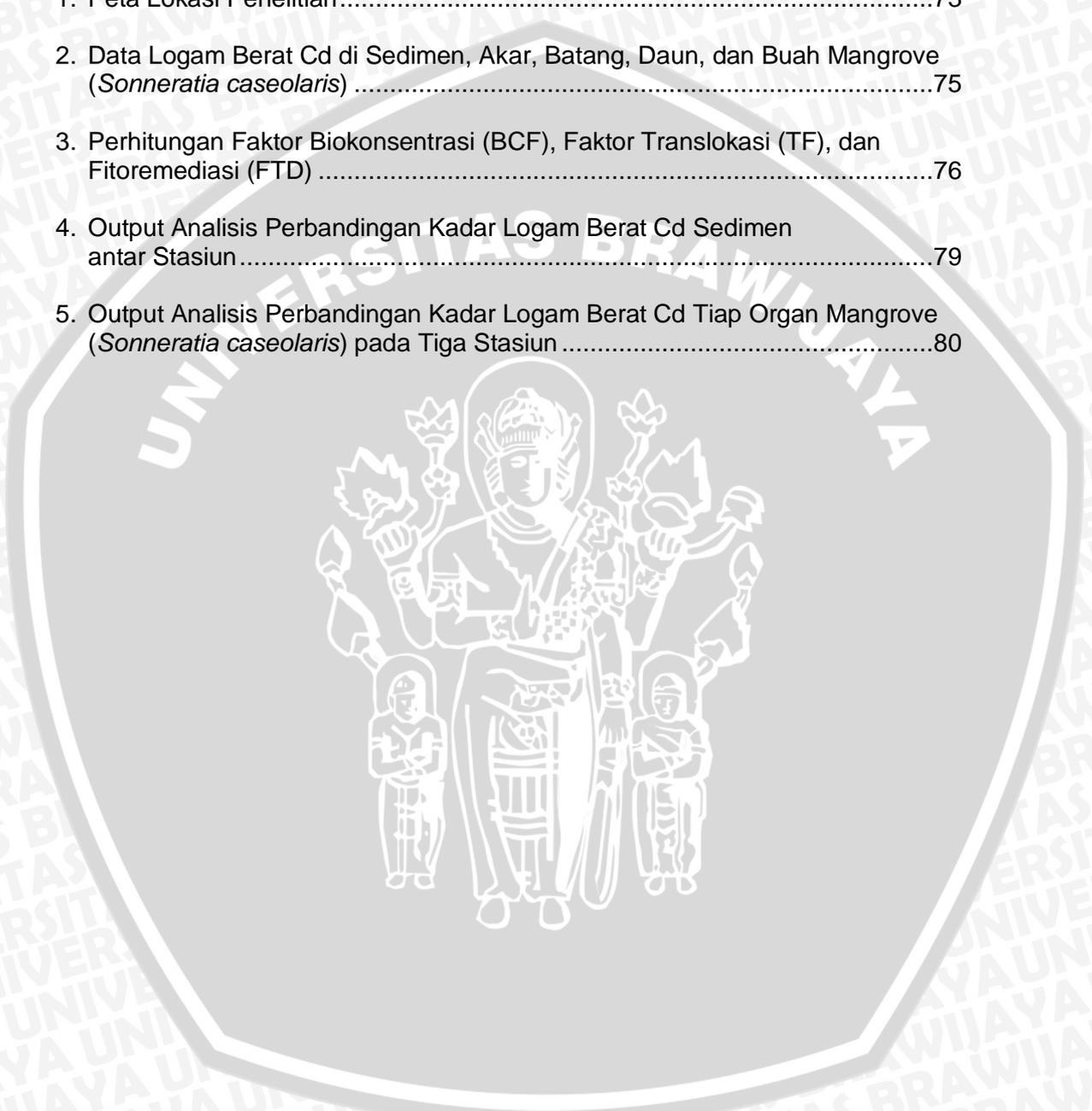
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pemikiran Penelitian	5
2. Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Tumbuhan.....	14
3. Mangrove (<i>Sonneratia caseolaris</i>) dan Bagian-bagiannya	17
4. Segitiga Tekstur Tanah.....	34
5. Stasiun 1 (Hulu)	41
6. Stasiun 2 (Tengah)	42
7. Stasiun 3 (Hilir)	42
8. Grafik Kandungan Logam Berat Cd di Sedimen.....	44
9. Grafik Kandungan Logam Berat Cd di Akar, Batang, Daun, dan Buah Mangrove (<i>Sonneratia caseolaris</i>)	48



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian	73
2. Data Logam Berat Cd di Sedimen, Akar, Batang, Daun, dan Buah Mangrove (<i>Sonneratia caseolaris</i>)	75
3. Perhitungan Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF), dan Fitoremediasi (FTD)	76
4. Output Analisis Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Sedimen antar Stasiun	79
5. Output Analisis Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Tiap Organ Mangrove (<i>Sonneratia caseolaris</i>) pada Tiga Stasiun	80



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Muara sungai merupakan tempat tumbuhnya mangrove sebagai tempat penampungan limbah-limbah yang terbawa oleh aliran sungai. Membran sel pada mangrove mampu menyerap bahan-bahan organik dan non organik dari lingkungannya ke dalam tubuh. Proses tersebut merupakan bentuk adaptasi mangrove terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim (Mastaller, 1996 dalam Panjaitan, 2009). Kawasan mangrove Dusun Tlocor di Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo merupakan kawasan mangrove yang terletak di muara Sungai Porong. Sungai Porong merupakan salah satu sungai yang membawa lumpur lapindo dan juga membawa limbah rumah tangga yang semakin lama terakumulasi sehingga dapat merusak keseimbangan lingkungan di kawasan mangrove Dusun Tlocor. Banjir Lumpur Panas di Sidoarjo yang di kenal dengan sebutan Lumpur Lapindo merupakan peristiwa menyemburnya lumpur panas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, sejak tanggal 27 Mei 2006. Muara sungai Porong yang terletak di Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo merupakan kawasan hutan mangrove Dusun Tlocor yang sangat penting sebagai penyangga dan pelindung pantai timur Sidoarjo dari kerusakan dan abrasi pantai.

Timbunan dari limbah industrialisasi dapat menyebabkan kerusakan lingkungan perairan. Limbah-limbah industri misalnya tidak dapat dengan mudah didegradasi sehingga berdampak pada pencemaran lingkungan seperti limbah industri yang dibuang ke sungai. Sungai merupakan salah satu sumber daya perairan yang sangat penting. Peningkatan aktifitas manusia, seperti bidang perindustrian maupun limbah rumah tangga yang dibuang ke sungai menyebabkan terjadinya degradasi kualitas perairan sungai. Limbah akan

mencemari perairan dan seluruh aspek yang memanfaatkan perairan tersebut. Baku mutu logam berat dalam lumpur atau sedimen di Indonesia sendiri belum ditetapkan. Sedimen mangrove adalah media pencuci yang sangat penting bagi bahan pencemar yang berasal dari tanah, terutama untuk logam berat. Logam akan terperangkap oleh sedimen, dalam proses sedimentasi partikel suspended dan berbagai proses retensi berasosiasi dengan sedimen organik permukaan dan bahan inorganik (Kusumastuti, 2009).

Buangan industri yang mengandung unsur dan atau senyawa logam berat juga merupakan toksikan yang mempunyai daya racun tinggi. Buangan industri yang mengandung persenyawaan logam berat tersebut bukan hanya bersifat toksik terhadap tumbuhan, tetapi juga terhadap hewan dan manusia (Palar, 2012). Limbah lumpur lapindo secara langsung dibuang ke aliran sungai Porong, di mana limbah lumpur lapindo tersebut mengandung unsur Cd. Menurut Warta Terkini (2006), menyatakan bahwa lumpur Lapindo mengandung logam berat, seperti Pb, Cr, Cd, Ar, Hg, dan Na. Hasil penelitian Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (Walhi) Jatim *dalam* Kholidiyah (2010), menunjukkan bahwa lumpur Lapindo mengandung logam berat Cd yang berada diatas ambang batas yaitu kadar kadmium (Cd) pada sedimen sungai Porong mencapai 0,2571 mg/l, dan pada air sungai Porong mencapai 0,0271 mg/l. Dari penelitian terdahulu oleh Rachmawatie *et al.*, (2009), yang menyatakan kandungan Cd di muara Sungai Porong yaitu berkisar antara 0,025-0,075 ppm dan dari penelitian Samsundari dan Perwira (2011), dimana kandungan logam berat Cd pada insang dan daging udang di tambak sekitar luapan lumpur lapindo Sidoarjo berkisar antara 0,002-0,035 ppm. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 standar baku nilai logam berat Cd untuk perikanan adalah 0,01 ppm dan menurut NOAA (2005), standar baku nilai logam berat Cd di sedimen adalah 0,8 ppm. Kriteria baku mutu logam berat Cd untuk biota laut menurut KMNLH (2004) adalah 0,001

ppm dan menurut SNI (2009), batas maksimum cemaran kadmium (Cd) dalam pangan seperti udang adalah 1,0 ppm. Oleh karena itu kandungan Cd di sekitar luapan lumpur dan muara Sungai Porong Sidoarjo nilainya melebihi standar baku, sehingga kondisi perairan ini tidak sesuai untuk kegiatan perikanan dan habitat biota laut, sedangkan menurut SNI (2009), udang di sekitar luapan lumpur lapindo masih dapat di konsumsi karena di bawah ambang batas yang di tentukan yaitu $< 0,1$ ppm.

Pencemaran yang disebabkan oleh buangan industri yang mengandung unsur atau persenyawaan dari logam kadmium, telah mengakibatkan timbulnya penyakit aneh pada penduduk yang hidup di sekitar Teluk Minamata di Jepang (Palar, 2012). Logam berat kadmium (Cd) yang ditemukan dalam lingkungan perairan dengan jumlah yang tinggi akan menimbulkan efek toksik. Kadmium (Cd) bersifat karsinogen, mutagenik dan teratogenik pada beberapa jenis hewan termasuk biota perairan. Ketika berada di dalam sel, Cd akan menginduksi berbagai jenis mekanisme signal transduksi serta mengaktifkan banyak gen. Salah satu efek langsung yang ditimbulkan oleh Cd adalah mengganggu proses homeostasis sel. Mekanisme homeostasis sel terlaksana dengan keberadaan protein metallothionine yang berperan sebagai protein pengikat logam dan mengurangi efek toksik (Rumahlatu *et al.*, 2012). Kadmium di dalam sel memiliki sifat reaktif yang sangat tinggi dan dapat menginaktifkan berbagai macam aktivitas enzim yang diperlukan oleh sel (Jonak *et al.*, 2004). Setelah diabsorpsi, logam berat kadmium akan terakumulasi di dalam organ target yang utamanya adalah ginjal kemudian menimbulkan toksisitas (Rico *et al.*, 2002).

Muara Sungai Porong di Desa Kedung Pandan tumbuh dari beberapa jenis mangrove, salah satunya *Sonneratia caseolaris* yang mendominasi di wilayah ini. Ekosistem di sepanjang muara Sungai Porong sesuai dengan habitat tumbuhnya mangrove jenis *Sonneratia caseolaris*, dimana wilayah tersebut masih didominasi

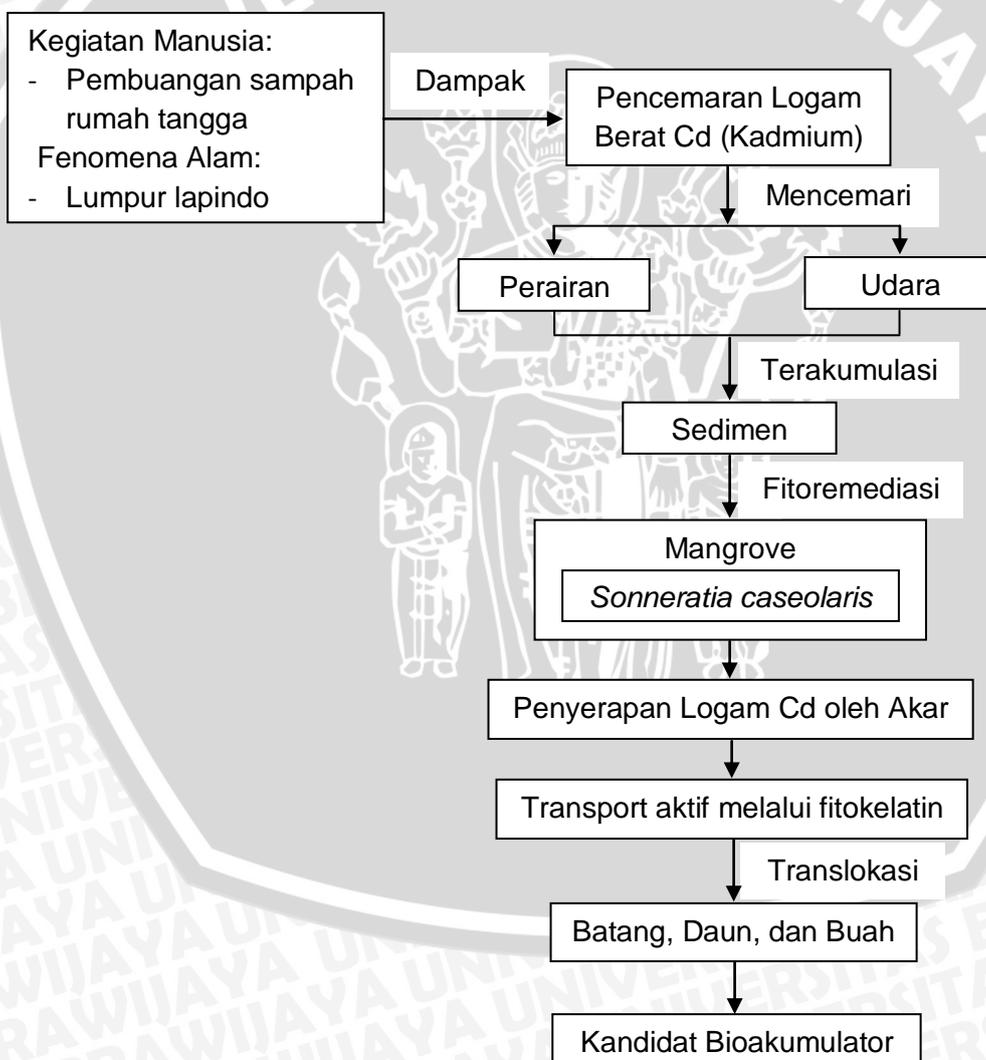
oleh air tawar dan berlumpur. Menurut Noor *et al.* (2006), menyatakan bahwa *Sonneratia caseolaris* tumbuh di bagian yang kurang asin di hutan mangrove, pada tanah lumpur yang dalam, seringkali sepanjang sungai kecil dengan air yang mengalir pelan dan terpengaruh oleh pasang surut. Tumbuh di sepanjang sungai, mulai dari bagian hulu dimana pengaruh pasang surut masih terasa, serta di areal yang masih didominasi oleh air tawar.

Dengan adanya pencemaran tersebut tumbuhan mangrove mampu mengalirkan oksigen melalui akar ke dalam sedimen tanah untuk mengatasi kondisi anaerob pada sedimen tersebut. Jika logam berat memasuki jaringan, terdapat mekanisme yang sangat jelas, pengambilan (*up taken*) logam berat oleh tumbuhan di lahan basah adalah melalui penyerapan dari akar, setelah itu tumbuhan dapat melepaskan senyawa kelat, seperti protein dan glukosida yang berfungsi mengikat logam dan dikumpulkan ke jaringan tubuh kemudian ditransportasikan ke batang, daun dan bagian lainnya, sedangkan ekskresinya terjadi melalui transpirasi (Ali dan Rina, 2010).

Berdasarkan uraian di atas sangat penting untuk dilakukannya penelitian dengan judul “Akumulasi Logam Berat Cd Pada Akar, Batang, Daun dan Buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) di Kawasan Mangrove Dusun Tlocor Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur” untuk kepentingan pengelolaan sumberdaya pesisir. Dengan kemampuan mangrove jenis *Sonneratia caseolaris* dalam menyerap logam berat, maka dapat digunakan sebagai kandidat bioakumulator lingkungan pesisir yang tercemar logam berat. Tinjauan dari letak *Sonneratia caseolaris* yang dekat dengan laut, maka *Sonneratia caseolaris* dapat dikatakan mampu dalam mencegah pencemaran logam berat agar tidak sampai ke dalam laut di mana pencemaran logam berat tersebut dapat merusak ekosistem dan mengganggu kelangsungan hidup organisme di dalam laut Tlocor. Oleh karena itu, upaya untuk dapat mengelola

potensi sumberdaya organisme di dalam laut Tlocor, dalam hal *Sonneratia caseolaris* mampu mengakumulasi logam berat Cd pada kawasan mangrove Dusun Tlocor di Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur adalah merupakan suatu langkah yang sangat penting terutama dalam rangka pengelolaan sumberdaya pesisir secara lestari sehingga keberadaan sumberdaya tersebut tetap terjaga dari upaya pencemaran logam berat.

1.2 Kerangka Pemikiran



Gambar 1. Kerangka Pemikiran Penelitian

Keterangan:

Aktivitas manusia seperti pembuangan sampah rumah tangga berupa plastik dan fenomena alam lumpur lapindo yang ikut terbawa oleh aliran Sungai Porong kemudian bermuara di kawasan mangrove Dusun Tlocor, di mana plastik dan lumpur lapindo mengandung logam berat kadmium (Cd) yang dapat mencemari perairan dan udara, kemudian terakumulasi di sedimen. Tumbuhan mangrove (*Sonneratia caseolaris*) dapat digunakan sebagai fitoremediasi logam berat kadmium (Cd) pada sedimen kemudian diserap oleh akar. Pada akar, tumbuhan mempunyai senyawa fitokelatin yang berfungsi untuk mengikat unsur logam dan membawanya ke dalam sel melalui peristiwa transport aktif, kemudian logam berat Cd ditranslokasikan ke batang, daun, dan buah, sehingga mangrove (*Sonneratia caseolaris*) dapat digunakan sebagai kandidat bioakumulator pencemaran logam berat kadmium (Cd).

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- Bagaimana kandungan logam berat Cd pada sedimen, akar, batang, daun dan buah mangrove (*Sonneratia caseolaris*) di perairan kawasan mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo?
- Seberapa besar kemampuan tanaman mangrove (*Sonneratia caseolaris*) dalam mengakumulasi logam berat Cd di perairan kawasan mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Untuk mengetahui kandungan logam berat Cd pada sedimen, akar, batang, daun dan buah mangrove (*Sonneratia caseolaris*) di perairan

kawasan mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo.

- Untuk mengetahui kemampuan tanaman mangrove (*Sonneratia caseolaris*) dalam mengakumulasi logam berat Cd di kawasan mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dengan kemampuan tanaman *Sonneratia caseolaris* dalam mengakumulasi logam berat Cd di kawasan mangrove Dusun Tlocor, maka *Sonneratia caseolaris* dapat dijadikan sebagai bioakumulator pencemaran logam berat Cd sehingga dapat digunakan untuk pengelolaan sumberdaya pesisir di kawasan mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo, Jawa Timur.

1.6 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari - Februari 2015 di Kawasan Mangrove Dusun Tlocor tepatnya di perairan muara sungai Porong, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo, Jawa Timur. Lokasi ini dipilih sebagai tempat penelitian dan tempat pengambilan sampel karena muara sungai tersebut diduga sudah tercemar karena merupakan lokasi pembuangan lumpur lapindo dan sampah rumah tangga seperti plastik. Analisa kandungan logam berat Cd (Kadmium) dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang. Analisa tekstur tanah dan pH tanah dilakukan di Laboratorium Fisika dan Kimia Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

2.1.1 Pengertian Logam Berat

Istilah logam berat menurut Palar (2012), sebetulnya telah dipergunakan secara luas, terutama dalam perpustakaan ilmiah, sebagai salah satu istilah yang menggambarkan bentuk dari logam tertentu. Karakteristik dari kelompok logam berat adalah sebagai berikut:

- a. Memiliki spesifikasi graviti yang sangat besar (lebih dari 4)
- b. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida dan aktinida.
- c. Mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup.

Keausan geologis, industri logam, industri bahan tambang, pemakaian logam, pemakaian senyawa-senyawa logam, ekskresi manusia atau hewan, dan sampah padat merupakan sumber logam berat yang dapat mencemari air. Logam-logam berat tidak dapat mengalami pemecahan secara biologis seperti halnya pencemar-pencemar organik nonplastis adalah faktor yang menunjang sukar hilangnya logam-logam berat dalam air. Logam berat mengadakan persekutuan bersama senyawa-senyawa organik yang menyebabkan logam berat cenderung mengendap di dasar perairan (Sumardjo, 2006).

Logam berat sejatinya unsur penting yang dibutuhkan setiap makhluk hidup. Sebagai trace element, logam berat yang esensial seperti tembaga (Cu), selenium (Se), Besi (Fe) dan Zink (Zn) penting untuk menjaga metabolisme tubuh manusia dalam jumlah yang tidak berlebihan, jika berlebihan akan menimbulkan toksik pada tubuh. Logam yang termasuk elemen mikro merupakan kelompok logam berat yang nonesensial yang tidak mempunyai fungsi sama sekali dalam tubuh. Logam tersebut bahkan sangat berbahaya dan dapat

menyebabkan keracunan (toksik) pada manusia yaitu: timbal (Pb), merkuri (Hg), arsenik (As) dan cadmium (Cd) (Agustina, 2010).

2.1.2 Logam Berat Cd (Kadmium)

Dalam kehidupan sehari-hari manusia sangat banyak menggunakan logam kadmium. Logam ini telah digunakan semenjak tahun 1950 dan total produksi di dunia adalah sekitar 15.000-18.000 per tahun. Prinsip dasar atau prinsip utama dalam penggunaan kadmium adalah sebagai bahan 'stabilisasi' sebagai bahan pewarna dalam industri plastik dan pada elektroplating. Namun sebagian dari substansi logam kadmium ini juga digunakan untuk solder dan digunakan pula pada baterai. Umumnya logam kadmium (Cd) senyawa oksida dari kadmium (CdO), hidrat (CdH₂), dan kloridanya paling banyak digunakan dalam industri elektroplating (Palar, 2012).

Logam berat jenis kadmium (Cd) masuk ke atmosfer melalui produksi besi dan baja. Kadmium masuk ke dalam lingkungan lewat air limbah dan emisi debu dari industri. Dalam perladangan, logam berat kadmium terdapat di dalam pupuk dan lumpur dari instalasi penyaringan. Tumbuhan yang tumbuh di dekat kawasan industri akan menerima kadmium lewat akar dan menyimpan bahan tersebut di dalam sel-selnya. Seperti air raksa, kadmium akan meningkat dalam rantai pangan dan tubuh manusia, apalagi tubuh manusia tidak bisa mengeluarkan kadmium. Penerimaan dalam jumlah sangat kecil selama waktu yang lama dapat menyebabkan keracunan kronis. Kadmium dapat merusak ginjal sehingga tekanan darah menjadi tinggi dan dapat menyebabkan penyakit tulang dan kanker (Widmer, 2006).

Penggunaan logam berat kadmium menyebabkan gangguan fungsi ginjal. Pemakaian kadmium dalam industri telah meningkat dalam jumlah besar sejak ditemukan pada tahun 1817 oleh Stromyer. Bahan campuran yang mengandung

kadmium digunakan secara luas dalam pembuatan cat, plastik, gelas, logam campuran, dan alat listrik. Perkembangan penggunaan kadmium terhenti sementara pada awal tahun 1970-an karena adanya kekhawatiran tentang pengaruhnya terhadap lingkungan. Namun, produksi kadmium meningkat kembali pada akhir 1970-an dengan adanya kebutuhan baterai yang dapat diisi ulang. Telah diperkirakan bahwa hanya 50% baterai mengandung kadmium yang terjual di Swedia dikembalikan setelah habis terpakai. Sisanya dibuang ke tempat sampah dan dibakar dalam jumlah besar bersama dengan sampah rumah tangga, mengakibatkan polusi lingkungan secara luas (Jeyaratnam dan Koh, 2010). Salah satu polusi lingkungan yang disebabkan oleh logam berat tersebut adalah pencemaran logam berat yang terjadi pada badan perairan dengan konsentrasi kelarutan yang cukup tinggi umumnya memiliki daya racun yang mematikan terhadap organisme pada kondisi yang berbeda-beda dan secara sederhana logam berat ini mengakibatkan kematian terhadap beberapa jenis biota perairan (Palar, 2012).

2.1.3 Karakteristik Cd (Kadmium)

Sifat kumulatif kadmium dan sangat toksik bagi manusia karena dapat mengakibatkan gangguan fungsi ginjal dan paru-paru, meningkatkan tekanan darah, dan mengakibatkan kemandulan pada pria dewasa. Kasus keracunan kadmium yang terkenal adalah timbulnya penyakit itai-itai di Jepang, ditandai dengan rasa sakit pada tulang dan terjadi pengeroposan tulang. Kadmium juga bersifat sangat toksik dan bioakumulasi terhadap organisme (Effendi, 2003).

Kadmium (Cd) ditemukan sebagai kadmium sulfida (CdS), biasanya tercampur dengan bijih seng. Sifat logam kadmium yaitu logam yang lunak, tahan korosi, elektropositif, dan berwarna putih keperakan (Harrington dan Gill, 2005). Kadmium adalah jenis logam kelumit yang bersifat toksik, BA = 112.41, tidak

larut dalam air, mudah larut dalam HNO_3 encer, sedikit larut dalam HCl panas. Bentuk garam, kadmium lebih toksik daripada seng (Zn). Penyakit yang diakibatkan oleh keracunan kadmium disebut itai-itai, yakni tulang mengalami pelunakan, kemudian menjadi rapuh dan otot mengalami kontraksi karena kehilangan sejumlah kalsium, serta menderita kelainan ginjal (Makfoeld *et al.*, 2002). Senyawa kadmium tidak dapat terurai sepenuhnya, karena kadmium merupakan elektrolit lemah. Senyawa kadmium adalah yang paling stabil dan ion $(\text{CdCl}_5)^{3-}$ juga terbentuk. Cd^{2+} terikat dengan lebih kuat pada ligan Cl, S, dan P (Cotton dan Wilkinson, 2002).

Logam berat kadmium akan kehilangan kilapnya bila berada dalam udara yang basah atau lembab serta akan cepat mengalami kerusakan bila dikenai oleh uap amonia (NH_3) dan sulfur hidroksida (SO_2). Berdasarkan sifat-sifat kimianya, logam Cd di dalam persenyawaan yang dibentuknya pada umumnya mempunyai bilangan valensi 2+, sangat sedikit yang mempunyai bilangan valensi 1+ (Palar, 2012).

2.1.4 Jalur Pencemaran Logam Berat

Logam berat masuk ke perairan laut melalui run off air sungai, angin, proses hidrotermal, difusi dari sedimen dan kegiatan antropogenik. Jalur-jalur tersebut akan berinteraksi membentuk suatu pola yang disebut dengan siklus biogeokimia logam berat (Romimohtarto, 1991 *dalam* Prasetyo, 2009). Perubahan kualitas perairan dapat disebabkan oleh zat pencemar sungai atau senyawa yang masuk ke aliran sungai yang bergerak ke hilir bersama aliran air atau tersimpan di dasar, berakumulasi (khususnya pada endapan) dan suatu saat dapat juga terjadi pencucian atau pengenceran. Senyawa tersebut, terutama yang beracun, berakumulasi dan menjadi suatu konsentrasi tertentu yang berbahaya bagi mata rantai kehidupan (Adibroto, 2002).

Bahan cemaran logam berat biasanya berasal dari kegiatan industri selain bersifat racun bagi organisme perairan, logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh ikan, udang dan hasil laut lainnya. Hal ini akan berakibat membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi hasil-hasil laut tersebut. Pencemaran logam berat terhadap alam lingkungan estuaria merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia. Pada air laut di lautan lepas kontaminasi logam berat biasanya terjadi secara langsung dari atmosfer atau karena tumpahan minyak dari kapal-kapal tanker yang melaluinya, sedangkan di daerah sekitar pantai kontaminasi logam kebanyakan berasal dari mulut sungai yang terkontaminasi oleh limbah buangan industri atau pertambangan (Darmono, 1995 dalam Rochyatun *et al.*, 2005). Pada daerah-daerah perindustrian, sungai dan laut disekitarnya umumnya berangsur-angsur menerima tekanan terus menerus. Muara sungai umumnya merupakan alur perjalanan bahan cemaran yang dibawa melalui sungai dari aktivitas didarat ke laut (Rochyatun *et al.*, 2005).

Kawasan pesisir merupakan salah satu wilayah yang perlu diperhatikan karena kawasan ini merupakan wilayah yang menjadi pintu masuk dan keluarnya berbagai macam bahan pencemar yang berasal baik dari laut maupun darat, khususnya kawasan estuari yang menjadi jalur bagi laju pergerakan sedimen dari darat dan laut. Semakin cepatnya pergerakan sedimen khususnya yang berasal dari arah daratan menuju perairan disebabkan oleh semakin tingginya aktivitas masyarakat maupun industri yang lebih memilih membuang limbah kegiatan mereka menuju sungai yang secara tidak disadari bahwa limbah yang mereka buang akan mencemari perairan, khususnya wilayah estuaria atau muara (Makmur *et al.*, 2013).

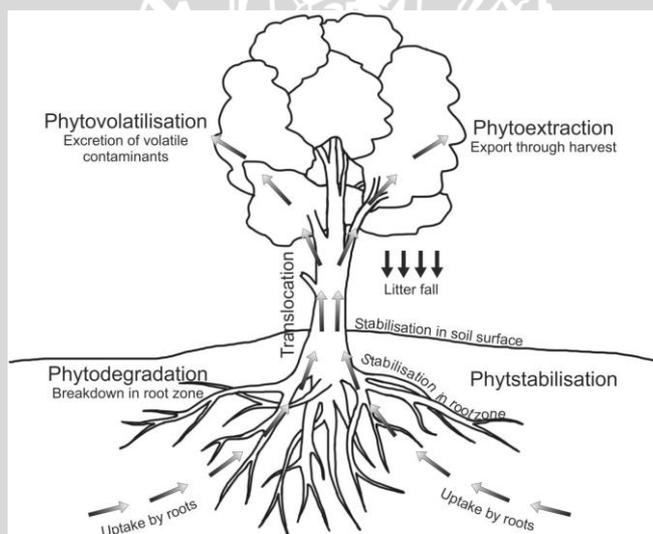
2.1.5 Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Tumbuhan

Priyanto dan Prayitno (2007) dalam Hardiani (2009) menyatakan bahwa mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yang sinambung, yaitu sebagai berikut:

1. Penyerapan oleh akar. Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tanaman. Senyawa-senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar bersama air, sedangkan senyawa-senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar.
2. Translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) ke bagian tanaman lainnya.
3. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.

Udara dan air yang mencemari tanah merupakan sumber utama kontaminan logam berat. Selanjutnya semua tanaman yang tumbuh di atas tanah yang telah tercemar akan mengakumulasi logam-logam tersebut pada bagian akar, batang, daun dan buah (Agustina, 2010). Umumnya Cd ditemukan diseluruh bagian tumbuhan. Konsentrasi tertinggi dari Cd ditemukan di daun, bunga/buah dan akar, sedangkan Cd di batang ditemukan dengan konsentrasi yang lebih rendah (Kusumastuti, 2009). Tanaman dapat mengadsorpsi logam Cd dengan konsentrasi tertinggi pada jaringan daun, batang dan akar. Hal ini diduga karena

pada jaringan daun memiliki protein dengan gugus aktif NH_2 yang tinggi. Gugus NH_2 adalah senyawa yang dapat mengikat logam. Banyaknya situs aktif pada daun menyebabkan % Cd teradsorpsi pada daun lebih meningkat. Sedangkan akar dan batang memiliki gugus OH yang terdapat pada senyawa selulosa dan lignin (Mohamad, 2011). Cd^{2+} pada tanaman masuk melalui akar yang diserap bersama dengan air, kemudian bertemu dengan muatan negatif yang terdapat pada dinding akar, sehingga Cd^{2+} menempel pada dinding-dinding akar dan masuk ke dalam sel tanaman melalui transpor aktif, kemudian ditranslokasikan ke bagian atas tanaman. Kadmium (Cd) yang terakumulasi dalam berbagai bagian tanaman dapat menghambat pertumbuhan dan menghambat fotosintesis karena terjadi biosintesis klorofil pada tanaman.



Gambar 2. Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Tumbuhan (Boron dan Boron, 2014).

Tanaman yang tumbuh di daerah tercemar logam dapat mengakumulasi logam berat tersebut melalui penyerapan dari akar, diikuti pembentukan senyawa kelat dengan protein yang disebut fitokelatin, mengumpulkannya ke jaringan tubuh, kemudian mentransportasikannya ke batang, daun dan bagian lainnya. Fitokelatin merupakan suatu protein yang mampu mengikat logam yang tersusun

dari beberapa asam amino seperti sistein dan glisin (Priyanto dan Prayitno, 2009 dalam Hidayatus *et al.*, 2014). Menurut Tam dan Wong (1996), menyatakan bahwa tumbuhan mangrove mengakumulasi logam berat paling tinggi terdapat di bagian akarnya. Namun demikian faktor lain seperti mobilitas dan kelarutan logam juga berpengaruh terhadap akumulasi logam berat dalam tumbuhan.

2.2 Ekosistem Mangrove

2.2.1 Pengertian dan Fungsi Mangrove

Mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang mempunyai peranan penting di estuari. Ekosistem mangrove memiliki tingkat produktivitas paling tinggi dibandingkan dengan ekosistem lainnya. Secara ekologis mangrove memiliki banyak fungsi sebagai penghasil sejumlah detritus, perangkap sedimen, pelindung pantai dari hempasan gelombang air laut serta penyerap logam berat dan pestisida yang mencemari laut (Deri *et al.*, 2013).

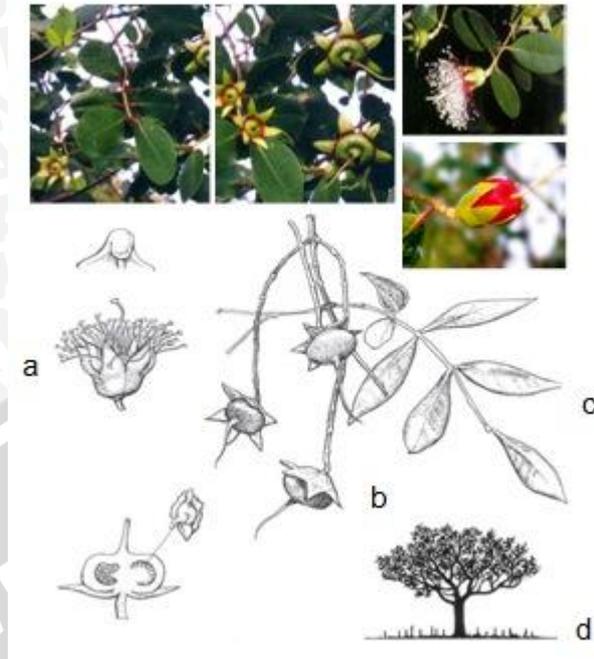
Dewasa ini pemanfaatan buah mangrove sebagai bahan pangan mulai banyak dilirik dan dianjurkan. Sudah tentu buah atau bagian lain tanaman mangrove yang dapat dikonsumsi tidaklah ditujukan sebagai makanan utama, melainkan lebih untuk tujuan penganeekaragaman pangan. Hasil olahan dari buah mangrove yaitu tepung dan beragam bahan pangan olahan seperti sirup, keripik, dodol, dan olahan makanan ringan lainnya serta daun mangrove diolah menjadi teh seduhan (Priyono *et al.*, 2010 dalam Pardede, 2013). Mangrove termasuk jenis tanaman air yang mampu mengabsorpsi garam mineral, termasuk mineral logam berat. Logam berat diabsorpsi dari sedimen tanah dan atau dari air melalui sistem perakaran dan ditransportasikan ke bagian tanaman lainnya termasuk buah hingga ke daun (Prabhakar *et al.*, 2012 dalam Pardede, 2013). Gencarnya aksi yang mendukung pemanfaatan potensi mangrove sebagai sumber pangan sebaiknya mewaspadai hal ini. Kemampuan mangrove mengabsorpsi logam

berat menyebabkan kemungkinan terakumulasinya logam berat di bagian tanaman mangrove yang dimanfaatkan untuk bahan pangan. Logam berat berbahaya bagi kesehatan manusia ketika masuk dalam sistem pencernaan dan metabolisme tubuh (Pardede, 2013).

2.2.2 Deskripsi dan Klasifikasi Mangrove (*Sonneratia caseolaris*)

Sonneratia caseolaris merupakan tumbuhan mangrove dengan ketinggian pohon mencapai 15 m, jarang mencapai 20 m. Memiliki akar nafas vertikal seperti kerucut (tinggi hingga 1 m) yang banyak dan sangat kuat. Ujung cabang/ranting terkulai, dan berbentuk segi empat pada saat muda. Pada daun *Sonneratia caseolaris*, gagang/tangkai daun kemerahan, lebar dan sangat pendek. Pucuk bunga *Sonneratia caseolaris* berbentuk bulat telur. Ketika mekar penuh, tabung kelopak bunga yang berbentuk mangkok, biasanya tanpa urat terletak di ujung dengan formasi soliter-kelompok (1-3 bunga per kelompok). Daun mahkota berwarna merah, ukuran 17-35 x 1.5-3.5 mm, mudah rontok. Kelopak bunga 6-8, berkulit, bagian luar hijau, di dalam putih kekuningan hingga kehijauan. Benang sari banyak, ujungnya putih dan pangkalnya merah, mudah rontok. Buah seperti bola, ujungnya bertangkai dan bagian dasarnya terbungkus kelopak bunga. Tumbuh di sepanjang sungai, mulai dari bagian hulu dimana pengaruh pasang surut masih terasa, serta di areal yang masih didominasi oleh air tawar. Selama hujan lebat, kecenderungan pertumbuhan daun akan berubah dari horizontal menjadi vertikal (Noor *et al.*, 2006).

Klasifikasi *Sonneratia caseolaris* menurut Plantamor (2014), adalah sebagai berikut: Kingdom Plantae (Tumbuhan), Divisi Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga), Kelas Magnoliopsida (berkeping dua/dikotil), Ordo Myrtales, Famili Lythraceae, Genus *Sonneratia*, dan Spesies *Sonneratia caseolaris* (**Gambar 3**).



Gambar 3. Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) dan Bagian-bagiannya: a. bunga; b. buah; c. daun; d. pohon (Noor *et al.*, 2006).

2.3 Kualitas Air

2.3.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, dan volatilisasi. Peningkatan suhu juga menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air, misalnya gas O_2 , CO_2 , N_2 , CH_4 , dan sebagainya (Haslam, 1995 *dalam* Effendi, 2003). Peningkatan suhu perairan sebesar $10^\circ C$ menyebabkan terjadinya peningkatan konsumsi oksigen oleh organisme akuatik sekitar 2-3 kali lipat (Effendi, 2003). Suhu perairan dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang masuk kedalam air. Suhu selain berpengaruh terhadap berat jenis, viskositas dan densitas air, juga berpengaruh terhadap kelarutan gas dan unsur-unsur dalam air (Subarijanti, 1994).

Pencemaran secara fisik, misalnya oleh limbah panas dari buangan pabrik dapat menyebabkan peningkatan temperatur atau suhu perairan. Temperatur air

yang terlalu tinggi akan mengakibatkan matinya ikan dan hewan air. Hal ini terjadi karena suhu air yang tidak sesuai untuk hidup dan rendahnya kadar oksigen yang terlarut (Subarnas, 2007). Kenaikan suhu air akan mengurangi adsorpsi senyawa logam berat pada partikulat. Suhu air yang lebih dingin akan meningkatkan adsorpsi logam berat ke partikulat untuk mengendap di dasar. Sementara saat suhu air naik, senyawa logam berat akan melarut di air karena penurunan laju adsorpsi ke dalam partikulat. Logam yang memiliki kelarutan yang kecil akan ditemukan di permukaan air selanjutnya dengan perpindahan dan waktu tertentu akan mengendap hingga ke dasar, artinya logam tersebut hanya akan berada di dekat permukaan air dalam waktu yang sesaat saja untuk kemudian mengendap lagi (Palar, 2004 dalam Rachmawatie *et al.*, 2009).

b. Salinitas

Di perairan samudera, salinitas biasanya berkisar antara 34-35 ppt (*part per thousand*). Di perairan pantai, karena terjadi pengenceran aliran sungai, salinitas biasanya turun. Sebaliknya, di daerah dengan penguapan yang sangat tinggi biasanya salinitas meningkat drastis. Air payau adalah istilah umum yang digunakan untuk memberi nama air berdasarkan salinitas, misalnya menurut Valikangas dapat disederhanakan sebagai berikut: air tawar 0-0,5 ppt; air payau 0,5-17; dan air laut di atas 17 ppt (Ghufran *et al.*, 2010).

Daerah perairan dangkal, terutama di zona pasang surut yang dekat dengan muara sungai, atau pada saat surut terendah yang bertepatan dengan musim penghujan dapat menimbulkan kondisi pengenceran salinitas yang ekstrim (Aziz, 1994). Peningkatan nilai salinitas mempunyai pengaruh negatif terhadap konsentrasi logam berat, semakin tinggi salinitas maka konsentrasi logam berat akan semakin rendah (Bangun, 2005). Logam Cd terlarut mengalami penambahan pada nilai salinitas >15-22‰ dan mengalami penurunan pada

salinitas >22-31‰ serta cenderung stabil pada salinitas ± 5 -15‰. Perubahan nilai konsentrasi di muara ini berhubungan dengan proses desorpsi dan adsorpsi oleh partikel (Sembel, 2011).

c. Tekstur Tanah

Tekstur tanah adalah besar kecilnya ukuran partikel (fraksi) yang terkandung dalam masa tanah sehingga menggambarkan tingkat kekasaran butirannya. Tekstur tanah ditentukan oleh perbandingan di antara partikel kerikil, pasir, debu, dan liat. Jenis-jenis tanah yang banyak mengandung kerikil dan pasir tentunya memiliki tekstur yang lebih kasar dibandingkan tanah yang lebih banyak mengandung debu dan liat (Utoyo, 2007).

Tekstur tanah menyatakan kasar halusya tanah atau menunjukkan perbandingan fraksi-fraksi lempung, debu, dan pasir. Cara penetapan tekstur tanah ada dua, yaitu cara kualitatif (di lapangan) dan cara kuantitatif (di laboratorium). Cara kualitatif bersifat sederhana, yaitu segumpal tanah sebesar kelereng diremas antara ibu jari dan jari lainnya dalam keadaan basah. Apabila terasa kasar dan tidak dapat dibentuk, berarti fraksi pasir yang dominan sehingga disebut tanah bertekstur pasir. Apabila terasa halus dan licin, seperti sabun atau bubuk (talk) serta dapat dibentuk, tetapi mudah pecah, dapat dikatakan sebagai tanah bertekstur debu (Yani dan Ruhimat, 2007). Pada tanah, semakin halus teksturnya semakin tinggi kekuatannya untuk mengikat logam berat. Tanah pasir memiliki kapasitas menahan kelembaban yang sangat rendah dan kandungan hara juga rendah. Akan tetapi tanah pasir sangat penting karena dapat meningkatkan ruang pori dan memperbaiki aerasi tanah (Mohamad, 2013).

2.3.2 Parameter Kimia

a. pH (*Power of Hydrogen*) Air

pH air memengaruhi tingkat kesuburan perairan karena memengaruhi kehidupan jasad renik. Perairan asam akan kurang produktif, malah dapat membunuh ikan. Pada pH rendah (keasaman yang tinggi), kandungan oksigen terlarut berkurang. Akibatnya konsumsi oksigen menurun, aktivitas pernapasan naik, dan selera makan berkurang. Hal yang sebaliknya terjadi pada suasana basa. Pertumbuhan optimal ikan terjadi pada pH 7-8 (Ghufran *et al.*, 2010). Sedangkan menurut Simanjuntak (2012), yang menyatakan bahwa derajat keasaman (pH) dalam suatu perairan merupakan salah satu parameter kimia yang penting dalam memantau kestabilan perairan. Perubahan nilai pH suatu perairan terhadap organisme akuatik mempunyai batasan tertentu dengan nilai pH yang bervariasi.

Kelarutan logam dalam air dikontrol oleh pH air. Kenaikan pH pada badan perairan biasanya akan diikuti dengan semakin kecilnya kelarutan dari senyawa-senyawa logam tersebut (Palar, 2012). Nilai pH dalam suatu perairan merupakan suatu indikasi terganggunya perairan tersebut. Berkurangnya nilai pH dalam suatu perairan ditandai dengan semakin meningkatnya senyawa organik diperairan tersebut. Kriteria Nilai Ambang Batas (NAB) Kementerian Lingkungan Hidup pH untuk perairan yaitu 6,5-8,5 (KMNLH, 2004).

b. pH (*Power of Hydrogen*) Tanah

Nilai pH tanah menunjukkan banyaknya konsentrasi ion H^+ di dalam tanah. Makin tinggi kadar ion H^+ di dalam tanah, tanah makin bersifat asam. Tingkat keasaman tanah dibedakan sebagai berikut. Nilai pH tanah memiliki arti yang penting di dalam tanah, antara lain menentukan mudah tidaknya unsur-unsur hara diserap tanaman, menunjukkan kemungkinan adanya unsur-unsur beracun,

dan memengaruhi perkembangan mikroorganisme di dalam tanah (Yani dan Ruhimat, 2007).

Jenis tanah banyak dipengaruhi oleh keasaman tanah yang berlebihan, yang mengakibatkan tanah sangat peka terhadap terjadinya proses biologi. Jika keadaan lingkungan berubah dari keadaan alaminya, keadaan pH tanah juga akan dapat berubah (Arief, 2003). Kenaikan pH menurunkan kelarutan logam dalam air, karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada perairan, sehingga akan mengendap membentuk lumpur (Palar, 2012).

c. Oksigen Terlarut (DO)

Secara alami, oksigen yang masuk ke dalam perairan melalui difusi langsung dari udara, hujan yang jatuh, proses fotosintesis tumbuh-tumbuhan hijau, dan melalui aliran-aliran air yang masuk. Kadar oksigen terlarut di dalam perairan ditentukan oleh temperatur perairan, kadar garam, dan tekanan parsial gas yang terlarut dalam air. Tingginya temperatur perairan, kadar garam, dan tekanan parsial gas dapat menyebabkan berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam perairan (Wardoyo, 1981 dalam Cahyono, 2001). Turunnya oksigen di suatu perairan akan menghambat proses respirasi ikan dan dapat menyebabkan kematian ikan secara masal (Cahyono, 2001).

Sumber utama oksigen dalam air laut adalah udara melalui proses difusi dan dari proses fotosintetis fitoplankton. Oksigen terlarut merupakan salah satu penunjang utama kehidupan di laut dan indikator kesuburan perairan. Kadar oksigen terlarut semakin menurun seiring dengan semakin meningkatnya limbah organik di perairan. Hal ini disebabkan oksigen yang ada, dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan zat organik menjadi zat anorganik (Simanjuntak, 2012). Kelarutan logam berat sangat dipengaruhi oleh kandungan oksigen terlarut. Pada

daerah dengan kandungan oksigen yang rendah daya larutnya lebih rendah sehingga mudah mengendap. Logam berat seperti Zn, Cu, Cd, Pb, Hg, dan Ag akan sulit terlarut dalam kondisi perairan yang anoksik (Ramlal 1987 dalam Maslukah, 2006).

2.4 Baku Mutu Logam Berat Cd dalam Sedimen dan Biota Perairan

Panjaitan (2009), menyatakan bahwa baku mutu logam berat di dalam lumpur atau sedimen di Indonesia belum ditetapkan, sehingga sebagai acuan digunakan baku mutu yang dikeluarkan oleh IADC/CEDA (1997) mengenai kandungan logam yang dapat ditoleransi keberadaannya dalam sedimen berdasarkan standar kualitas Belanda, seperti dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Baku Mutu Logam Berat dalam Sedimen

Logam Berat	Level Target (ppm)	Level Limit (ppm)	Level Test (ppm)	Level Intervensi (ppm)	Level Bahaya (ppm)
Cadmium (Cd)	0.8	2	7.5	12	30
Timbal (Pb)	85	530	530	530	1000
Merkuri (Hg)	0.3	0.5	1.6	10	15

Sumber: IADC/CEDA (1997) dalam Panjaitan (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.
- 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.

Nilai Ambang Batas (NAB) perairan laut untuk biota laut, limbah yang berkadar Cd sebesar 0,001 ppm. NAB ini ditentukan Menteri Negara Lingkungan Hidup untuk menjaga kelestarian fungsi lingkungan laut terhadap kegiatan-kegiatan yang dapat mencemari dan atau merusak lingkungan laut. Apabila kadar logam berat Cd sudah jauh menyimpang sampai lebih dari 0,001 ppm, yang berarti di wilayah perairan tersebut sudah tercemar (KMNLH, 2004).

Dalam badan perairan, kelarutan Cd dalam konsentrasi tertentu dapat membunuh biota perairan. Biota-biota yang tergolong bangsa udang-udangan (*crustacea*) akan mengalami kematian dalam selang waktu 24-504 jam bila dalam badan perairan di mana biota ini hidup terlarut logam atau persenyawaan Cd pada rentang konsentrasi 0,005-0,15 ppm. Sedangkan untuk biota-biota perairan yang tergolong ke dalam keluarga Oligochaeta akan mengalami kematian dalam selang waktu 24-96 jam bila dalam badan perairan di mana biota-biota tersebut hidup terlarut logam Cd dalam rentang konsentrasi 0,0028-4,6 ppm. Untuk biota perairan tawar yang lebih besar, sebagai contoh ikan mas (*Cyprinus carpio*) akan mengalami kematian dalam waktu 96 jam, bila dalam media hidupnya terkontaminasi oleh logam Cd dengan rentang konsentrasi sebesar 1,092-1,104 ppm (Murphy, 1974 dalam Palar, 2012).

2.5 Analisa Logam Berat

Spektroskopi yang paling banyak digunakan untuk analisis logam adalah atomic absorption spectroscopy (AAS) atau spektroskopi serapan atom (SSA). Pada metode ini elektron-elektron dari ion logam diatomisasi ke orbital yang lebih tinggi dengan cara mengabsorpsi sejumlah energi (misalnya energi cahaya pada panjang gelombang tertentu). Panjang gelombang ini khusus dan spesifik untuk transisi elektron bagi unsur logam tertentu, sehingga setiap panjang gelombang hanya berkaitan dengan satu unsur logam. Oleh karena itu, teknik ini bersifat selektif untuk masing-masing logam. Prinsip ini berdasarkan Hukum Beer-Lambert, dan energi yang ditransmisikan menjadi signal yang terdeteksi pada detektor. Jumlah energi yang di transmisikan ini sebanding dengan konsentrasi logam (Lestari, 2010).

Spectrophotometer serapan atom (SSA) merupakan suatu alat yang teknik analisisnya berdasarkan absorpsi radiasi elektromagnetik oleh atom-atom yang tidak tereksitasi. Spectrofotometer memiliki beberapa kelebihan dalam analisis logam berat karena: 1) analisisnya sering tidak memerlukan pemisahan pendahuluan dimana suatu unsur dapat ditentukan walaupun ada unsur lainnya, 2) cukup peka untuk mengukur kadar logam dalam jumlah mikro. Dalam spectrofotometri serapan atom berlaku jugahukum Lambert-Beer yang dituliskan dengan persamaan (Adijuana, 1989 *dalam* Dewi, 2009).

3. MATERI DAN METODE

3.1 Materi Penelitian

Materi penelitian ini adalah akumulasi logam berat kadmium (Cd) pada sedimen, akar, batang, daun dan buah mangrove *Sonneratia caseolaris*. Serta analisis kualitas air dan sedimen sebagai pendukung dari kehidupan mangrove *Sonneratia caseolaris* yaitu: parameter fisika yang meliputi suhu, salinitas, dan tekstur tanah; parameter kimia yang meliputi pH air, pH tanah dan DO.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam Penelitian Skripsi ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Alat dan Bahan yang Diperlukan untuk Penelitian

	Parameter	Alat	Bahan	
Biologi	Akar, batang, daun, buah mangrove dan substrat	Pisau Paralon 20 cm Cetok	Kertas label, plastik kresek, dan plastik klip	
Fisika	Suhu	Thermometer Hg	-	
	Salinitas	Refraktometer	Aquades dan tissue	
	Tekstur Tanah	Skop dan plastik.	Kertas label	
Kimia	Oksigen Terlarut (DO)	DO meter	Akuades dan Tissue	
	pH Air	pH meter	Akuades dan Tissue	
	pH Tanah	Skop dan plastik.	Kertas label	
	Cd (Kadmium)		- Lampu elektroda Cd - Timbangan sartorius - Oven - <i>Hot plate</i> - <i>Beaker glass</i> - Labu ukur - AAS	- Sampel substrat Akar, batang, daun dan buah mangrove <i>Sonneratia caseolaris</i> - HNO ₃ :HCl (1:1) sebanyak ± 10-15 ml - Kertas saring - Aquades - Larutan standar

3.3 Metode Penelitian

Dalam Penelitian ini, survei dilakukan secara langsung dengan mendatangi lokasi kawasan mangrove Dusun Tlocor di Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo, Jawa Timur, guna mengetahui kondisi lapang secara langsung. Kondisi lapang yang dimaksud adalah keadaan kawasan mangrove atau gejala-gejala yang berhubungan dengan Penelitian yang nantinya akan membantu dalam pengumpulan data yang telah dirumuskan sebelumnya, serta kondisi dan aktivitas masyarakat di sekitar kawasan mangrove.

Metode survei yaitu penyelidikan yang diperoleh untuk mendapat fakta-fakta dari gejala-gejala yang ada dan mencari keterangan-keterangan secara faktual, baik tentang kondisi sosial masyarakat atau kegiatan ekonomi misalnya seperti perdagangan dari suatu kelompok ataupun suatu daerah (Nazir, 2003 *dalam* Musdalifah, 2013).

3.3.1 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dalam Penelitian ini dilakukan dengan mengambil dua macam data yaitu data primer dan data sekunder.

- a. Data primer adalah data asli yang dikumpulkan oleh peneliti untuk menjawab masalah risetnya secara khusus. Data ini tidak tersedia karena memang belum ada riset sejenis yang pernah dilakukan atau hasil riset yang sejenis kadaluwarsa. Jadi, peneliti perlu melakukan pengumpulan atau pengadaan data sendiri karena tidak bisa mengandalkan data dari sumber lain. Dalam riset pemasaran, data primer diperoleh secara langsung dari sumbernya, sehingga peneliti merupakan “tangan pertama” yang memperoleh data tersebut (Musdalifah, 2013). Dalam Penelitian ini data primer digunakan untuk memperoleh data hasil kualitas air dan akumulasi logam berat kadmium (Cd) pada sedimen, akar, batang, daun dan buah mangrove

Sonneratia caseolaris pada kawasan mangrove Dusun Tlocor, di Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo, Jawa Timur.

- b. Data sekunder adalah data yang pengumpulannya dilakukan oleh pihak lain. Yang dimaksud disini biasanya data yang dikumpulkan oleh kantor-kantor sensus dan statistik, departemen-departemen dan instansi pemerintah lainnya (Mubyarto dan Suratno, 1981). Data sekunder dalam penelitian ini didapatkan dari jurnal, majalah, internet, buku-buku serta instansi pemerintahan yang terkait guna menunjang keberhasilan penelitian. Adapun data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data keadaan monografi lokasi penelitian yang berasal dari Kantor Kecamatan Jabon.

3.3.2 Penetapan Stasiun Pengamatan

Sebelum melakukan Penelitian, terlebih dahulu ditetapkan daerah-daerah tempat pengambilan sampel atau stasiun dengan melihat lokasi dan kondisi kawasan mangrove agar memudahkan mekanisme pengambilan sampel. Penentuan stasiun didasarkan pada daerah yang potensial mendapat gangguan dari luar. Pada kawasan mangrove Dusun Tlocor gangguan itu berupa pembuangan sampah rumah tangga berupa plastik dan fenomena alam lumpur lapindo yang ikut oleh aliran sungai Porong kemudian bermuara di kawasan mangrove Dusun Tlocor, di Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo, Jawa Timur. Penentuan stasiun penelitian ini ditentukan berdasarkan hasil survei dari keberadaan pohon mangrove jenis *Sonneratia caseolaris* pada kawasan mangrove Dusun Tlocor. Berdasarkan hasil pengamatan di lapang tersebut, pengambilan sampel dilakukan di 3 stasiun (**Lampiran 1**) yaitu:

- 1 (Hulu) : diasumsikan bahwa kadar logam berat Cd pada lokasi tersebut paling tinggi, karena belum mengalami pengenceran oleh air laut.

- 2 (Tengah) : diasumsikan bahwa kadar logam berat Cd pada lokasi tersebut sedang, karena terletak di antara hulu dan hilir.
- 3 (Hilir) : diasumsikan bahwa kadar logam berat Cd pada lokasi tersebut paling rendah, karena mengalami pengenceran oleh air laut.

3.4 Prosedur Pengambilan Sampel

Penelitian ini dilakukan dua tahap, yaitu tahap pertama pengambilan sampel dilakukan di wilayah kawasan mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo, Jawa Timur. Tahap kedua yaitu analisis kandungan Cd di Laboratorium MIPA, Universitas Brawijaya Malang. Pengambilan sampel dan analisis kandungan Cd dilakukan setiap minggu sebanyak dua kali.

3.4.1 Prosedur Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan Ekman Grab atau menggunakan paralon dengan panjang > 20 cm, sampel sedimen yang diambil merupakan sedimen pada bagian permukaan dasar perairan yang memiliki ketebalan sekitar 20 cm. Kemudian sampel sedimen dimasukkan kedalam plastik klip sebanyak 200 gram untuk masing-masing titik pengambilan sampel dan diberi label. Hal ini sesuai dengan pendapat Apriadi (2005), yang menyatakan bahwa pengambilan sedimen dilakukan dengan menggunakan Petersen Grab, sedimen yang diambil dibagian tengahdari sisi dinding grab untuk menghindari adanya kontaminasi logam dari penggunaan Petersen Grab. Sedimen dasar diambil sebanyak \pm 200 gr dari tiap stasiun. Kemudian sampel tersebut dimasukan ke dalam kantong plastik dan selanjutnya diukur kandungan logam berat (Cd) dengan menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectroscopy).

3.4.2 Prosedur Pengambilan Sampel Mangrove (*Sonneratia caseolaris*)

Sampel akar, batang, daun dan buah diambil dari pohon *Sonneratia caseolaris* yang merupakan tegakan pohon dengan ukuran diameter batang ≥ 4 cm yaitu berkisar 15-25 cm dan tinggi pohon berkisar 3-5 m (Panjaitan, 2009). Cara pengambilan akar, batang, daun dan buah yang diambil dari pohon *Sonneratia caseolaris* antara lain:

1. Akar

Sampel akar yang diambil adalah akar nafas (pneumatophora). Akar diambil dengan hati-hati menggunakan tangan dan pisau dari kawasan mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo, Jawa Timur. Sampel akar dikumpulkan sebanyak 5 gr pada satu pohon. Hal ini sesuai dengan pendapat Panjaitan (2009), yang menyatakan bahwa sampel akar diambil dari pohon *Sonneratia caseolaris* dengan ukuran batang berkisar 28-35 cm. Akar yang diambil adalah akar nafas (pneumatophora) dan akar kawat (yang berada di dalam sedimen).

2. Batang

Pengambilan sampel batang yang diambil adalah batang cabang pertama dari pohon dan memiliki diameter pohon kira-kira 15-25 cm, dan diameter batang yang diambil berkisar antara 5-15 cm.

3. Daun

Daun yang diambil adalah daun yang sudah tua berwarna hijau tua dengan panjang 4-8 cm yang terletak di pangkal ranting. Pengambilan daun sekitar 30 lembar daun. Menurut Panjaitan (2009), yang menyatakan bahwa daun yang diambil adalah daun muda pada pucuk dan daun tua pada pangkal ranting.

4. Buah

Sampel buah yang diambil adalah buah yang sudah tua, berwarna hijau keperakan dengan panjang 2,1-2,8 cm, lebar 1,1-2,1 cm dan berat 4-5 gram.

Buah dengan kondisi tersebut diharapkan memiliki kandungan nutrisi yang paling optimal sehingga diasumsikan pada ukuran tersebut sudah dapat dianalisa kandungan logam berat Cd nya.

Sampel yang sudah diperoleh segera dibungkus dengan plastik klip dan diberi label, semua sampel dikumpulkan dalam kotak pendingin (cool box) untuk disimpan selanjutnya menganalisis kandungan logam Cd pada akar, batang, daun dan buah pada mangrove *Sonneratia caseolaris* di Laboratorium. Hal ini sesuai dengan pendapat Handayani (2006), yang menyatakan bahwa setelah melakukan pengabilan sampel organ pohon api-api dan mengambil sampel sedimen di bawahnya di setiap lokasi sampel yang dilakukan dengan Grap, kemudian sampel yang terkumpul dimasukkan dalam botol polietilen, didinginkan dengan es dan segera dibawa ke laboratorium.

3.5 Analisa Kadmium (Cd)

Penentuan kandungan Kadmium (Cd) pada sedimen, akar, batang, daun, dan buah *Sonneratia caseolaris* dianalisis menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) di Laboratorium Kimia Dasar Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.

a. Analisa Kadmium (Cd) pada Sedimen

Analisa kadmium (Cd) pada sedimen (Housemethods Lab. Kimdas FMIPA UB, 2015) adalah sebagai berikut :

- Menimbang sampel sedimen ± 5 gr dengan timbangan sartorius untuk mendapatkan berat basah.

- Mengoven sampel sedimen pada suhu $\pm 105^{\circ}$ selama 3-5 jam sampai mendapat berat konstan.
- Menimbang berat konstan dengan timbangan Sartorius sebagai berat kering.
- Memasukkan sampel yang sudah kering ke dalam beaker glass 100 ml.
- Menambahkan HNO_3 dengan perbandingan 1:1 (HNO_3 : HCl) sebanyak ± 10 -15 ml dan kemudian dipanaskan diatas *hot plate*.
- Menyaring dengan kertas saring ke dalam labu ukur 50 ml.
- Mengulang proses penyaringan sampai tanda batas labu ukur dengan terlebih dahulu menambahkan 15 ml aquades ke dalam beaker glass.
- Menganalisis sampel dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* pada panjang gelombang 283,3 nm dan mencatat hasilnya menggunakan satuan ppm.

b. Analisa Kadmium (Cd) pada Akar, Batang, Daun, dan Buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*)

Analisa kadmium (Cd) pada akar, batang, daun, dan buah *Sonneratia caseolaris* (Housemethods Lab. Kimdas FMIPA UB, 2015) adalah sebagai berikut :

- Menimbang sampel akar, batang, daun, dan buah *Sonneratia caseolaris* ± 5 gr dengan timbangan sartorius untuk mendapatkan berat basah.
- Mengoven sampel akar, batang, daun, dan buah *Sonneratia caseolaris* pada suhu $\pm 105^{\circ}$ selama 3-5 jam sampai mendapat berat konstan.
- Menimbang berat konstan dengan timbangan Sartorius sebagai berat kering.
- Memasukkan sampel yang sudah kering ke dalam beaker glass 100 ml.
- Menambahkan HNO_3 dengan perbandingan 1:1 (HNO_3 : HCl) sebanyak ± 10 -15 ml dan kemudian dipanaskan diatas *hot plate*.
- Menyaring dengan kertas saring ke dalam labu ukur 50 ml.

- Mengulang proses penyaringan sampai tanda batas labu ukur dengan terlebih dahulu menambahkan 15 ml aquades ke dalam beaker glass.
- Menganalisis sampel dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* pada panjang gelombang 283,3 nm dan mencatat hasilnya menggunakan satuan ppm.

3.6 Analisa Kualitas Air

Analisis kualitas perairan yang diukur merupakan parameter yang mendukung kehidupan mangrove yaitu terdiri dari parameter fisika meliputi suhu dan salinitas serta parameter kimia yang meliputi pH airdan DO (*Dissolved Oxygen*).

3.6.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Prosedur pengamatan suhu pada perairan menurut Departemen Pekerjaan Umum (1990), adalah sebagai berikut:

- Termometer atau termistor dikalibrasi dengan termometer baku sebaiknya dilakukan dengan cara berkala.
- Termometer langsung dicelupkan kedalam air sampai batas skala baca, biarkan 2-5 menit sampai skala suhu pada termometer menunjukkan angka yang stabil, pembacaan skala termometer gelas harus dilakukan tanpa mengangkat lebih dahulu termometer dari air.

b. Salinitas

Prosedur analisis salinitas pada perairan menggunakan Refraktometer menurut Ghufran *et al.* (2007), adalah sebagai berikut:

- Kalibrasi alat menggunakan aquades untuk mendapatkan garis horizontal (pada lensa) dengan angka nol.



- Angkat penutup kaca prisma, letakkan 1-2 tetes air yang akan diukur, kemudian tutup kembali dengan hati-hati agar jangan sampai terjadi gelembung udara di permukaan kaca prisma.
- Lihatlah melalui kaca pengintai, dan akan terlihat pada lensa nilai/ salinitas dari air yang sedang diukur.
- Bersihkan permukaan prisma setelah selesai digunakan.

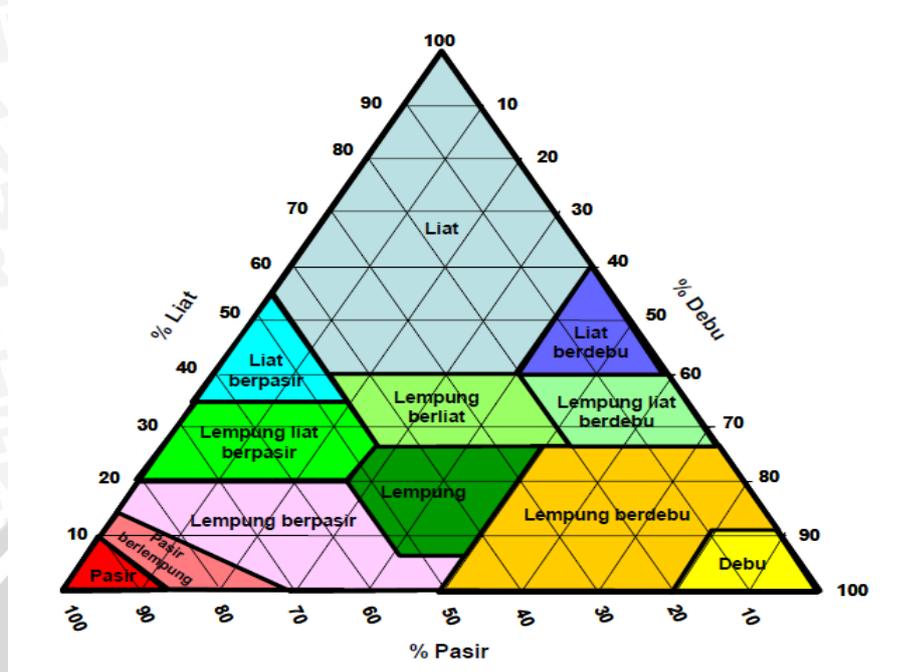
c. Tekstur Substrat

Analisis Tekstur Substrat menurut menurut Taqwa (2010), yaitu tekstur substrat sangat dipengaruhi oleh komposisi dari butiran liat, debu dan pasir. Klasifikasi butiran tanah dapat dilihat pada **Tabel 3**. Untuk menentukan tekstur substrat berdasarkan komposisinya dapat dilakukan dengan bantuan Segitiga Tekstur Tanah (**Gambar 4**). 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.

Tabel 3. Klasifikasi Butiran Tanah

No	Nama butiran	Diameter (mm)
1	Pasir sangat kasar	1,00 - 2,00
2	Pasir kasar	$\geq 0,50$
3	Pasir sedang	$\geq 0,25$
4	Pasir halus	$\geq 0,10$
5	Pasir sangat halus	$\geq 0,05$
6	Debu	$\geq 0,002$
7	Liat	$< 0,002$

Sumber : Modifikasi dari USDA, 2009 *dalam* Taqwa, 2010.



Gambar 4. Segitiga Tekstur Tanah (Shepard, 1954)

3.6.2 Parameter Kimia

a. pH (*Power of Hydrogen*) Air

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1990), pengukuran pH dilakukan di lapangan dengan menggunakan pH meter, maka langkah-langkahnya sebagai berikut :

- pH meter dikalibrasi terlebih dahulu; Bilas elektroda dengan larutan penyangga pH 7,415 sebanyak tiga kali kemudian keringkan dengan kertas yang lembut, ukur pH larutan buffer dan atur alat sehingga skala pH menunjukkan angka 7,415.
- Bilas elektroda dengan larutan penyangga pH 4,004 sebanyak tiga kali kemudian keringkan dengan kertas yang lembut, ukur pH larutan buffer dan atur alat sehingga skala pH menunjukkan angka 4,004.
- Bilas elektroda dengan larutan penyangga pH 9,183 sebanyak tiga kali kemudian keringkan dengan kertas yang lembut, ukur pH larutan buffer dan atur alat sehingga skala pH menunjukkan angka 9,183.

- Kemudian celupkan pH meter pada perairan di lapang, lalu Derajat Keasaman (pH) dapat langsung dibaca dari skala atau digital alat pH meter.

b. pH (*Power of Hydrogen*) Tanah

Cara kerja analisis pH yang di lakukan di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang yaitu Timbang 10 g bahan, kemudian hancurkan dengan mortal martil sampai halus, kemudian tambahkan dengan aquades dan diamkan selama 10 menit. Saring larutan dan tamping filtrate pada labu takar 100 ml. Tambahkan aquades sampai batas. Masukkan dalam gelas kimia dan ukur dengan pH meter dengan cara mencelupkan probe pH meter yang telah dikalibrasi sebelumnya dengan buffer 4 dan buffer 7. Catat nilai pH yang tertera pada layar.

c. *Dissolved Oxygen (DO)*

Kadar oksigen terlarut (DO) suatu perairan dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut DO-meter. Pengukuran kadar oksigen terlarut (DO) dengan menggunakan DO-meter Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1990), dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Menghidupkan alat DO-meter.
- Mengatur alat DO-meter untuk pengukuran penyesuaian terhadap suhu udara.
- Membaca dan mencatat suhu udara.
- Mengukur alat DO-meter sehingga menunjukkan kadar sesuai dengan tabel kadar oksigen di udara pada suhu udara yang telah terbaca sebelumnya.
- Memasukkan magnet ke dalam botol KOB yang berisi penuhsampel air yang akan diukur kadar oksigen terlarutnya.

- Menutup botol sampai rapat dengan electrode (“probe”) DO-meter dan jangan sampai ada gelembung udara di dalam botol.
- Mengaduk sampel air pada botol dengan alat pengaduk magnet, sampai pembacaan skala pada alat stabil.
- Mencatat skala yang ditunjukkan pada alat sebagai kadar DO dalam satuan mg/L.

3.7 Analisa Data

3.7.1 Analisis Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Sedimen antar Stasiun dan Analisis Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Tiap Organ Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada Tiga Stasiun

Analisis perbandingan kadar logam berat Cd sedimen antar stasiun menggunakan ANOVA satu arah (one-way ANOVA) dan analisis perbandingan kadar logam berat Cd tiap organ mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada tiga stasiun menggunakan GLM (General Linear Model) Univariate yang dapat dilakukan dengan menggunakan software SPSS (*Statistical Product And Service Solution*) 16.0 yang bertujuan untuk mengetahui apakah kadar logam berat Cd sedimen di kawasan mangrove Dusun Tlocor sama ataukah berbeda dari setiap stasiun penelitian yang ditentukan dan untuk mengetahui kadar logam berat Cd tiap organ mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada tiga stasiun sama ataukah berbeda. Pengujian dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut :

- H_0 : tidak ada perbedaan kadar logam berat Cd sedimen antar stasiun dan tidak ada perbedaan kadar logam berat Cd tiap organ mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada tiga stasiun.
- H_1 : ada perbedaan kadar logam berat Cd sedimen antar stasiun dan ada perbedaan kadar logam berat Cd tiap organ mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada tiga stasiun.

Jika nilai signifikansi atau probabilitas $\geq 0,05$ maka H_0 diterima dan jika $< 0,05$ maka H_0 ditolak.

ANOVA (analisis varians), sering disebut juga dengan uji F, memiliki tujuan yang sama dengan uji t, yakni: a) menguji apakah rata-rata lebih dari dua sampel berbeda secara signifikan atau tidak. b) Menguji apakah dua buah sampel mempunyai varians populasi yang sama atau tidak. Pada one-way ANOVA, hanya ada satu faktor yang dianalisis dan menggunakan satu variabel dependen. Pada analisis GLM (General Linear Model) Univariate adalah hanya satu variabel dependen, namun lebih dari satu grup. Grup di sini disebut pula dengan variabel independen atau variabel grup. Dasar pengambilan keputusan yaitu jika probabilitas $> 0,05$, maka H_0 diterima dan jika probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak (Santoso, 2014).

3.7.2 Faktor Biokonsentrasi (BCF)

Setelah kandungan logam berat dalam sedimen, akar, batang, daun dan buah diketahui maka data tersebut digunakan untuk menghitung kemampuan *Sonneratia caseolaris* mengakumulasi logam berat Cd melalui tingkat biokonsentrasi faktor (BCF). Menurut Panjaitan (2009), akumulasi logam berat dihitung dengan Faktor Biokonsentrasi (BCF), yang digunakan untuk menghitung kemampuan mangrove dalam mengakumulasi logam berat dengan rumus :

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

Di perairan, faktor biokonsentrasi (BCF) adalah rasio konsentrasi bahan kimia dalam organisme dari konsentrasi kimia di perairan tersebut. BCF sering dinyatakan dalam satuan liter per kilogram (rasio mg kimia per kg organisme untuk mg kimia per liter air). BCF mungkin hanya rasio yang diamati, atau model partisi yang didasarkan pada dua asumsi: yaitu partisi kimia polutan, antara

perairan dan organisme perairan dan lingkungan perairan (Hemond dan Fechner, 2000).

3.7.3 Faktor Translokasi (TF)

Setelah memperoleh nilai BCF, maka selanjutnya melakukan perhitungan TF (perbandingan antara kandungan logam pada batang dan akar, daun dan akar, serta buah dan akar) untuk menentukan kemampuan tanaman *Sonneratia caseolaris* dalam mengakumulasi logam berat Cd sehingga dapat dikatakan sebagai bioakumulator logam berat Cd. Menurut Lichtfouse dan Schwarzbauer (2012), untuk mengetahui nilai TF tersebut maka dihitung menggunakan rumus:

$$TF\ Cd = \frac{Cd\ Batang\ ,\ Daun\ ,\ Buah}{Cd\ Akar}$$

Penghitungan nilai Faktor Translokasi (translocation factor/TF) juga dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanaman untuk mentranslokasi logam dari akar ke seluruh bagian tumbuhan. Untuk menjadi tumbuhan hiperakumulator, besar faktor translokasi harus lebih dari satu ($TF > 1$). Tumbuhan hiper akumulator adalah tumbuhan yang dapat mengakumulasi logam dengan konsentrasi yang sangat tinggi pada jaringan permukaan di habitat alamiahnya (Siahaan *et al.*, 2013).

3.7.4 Fitoremediasi (FTD)

Fitoremediasi (FTD) merupakan selisih antara nilai BCF dan TF. FTD akan maksimal jika BCF tinggi dan TF rendah (Yoon *et al.*, 2006). Untuk mengetahui nilai FTD tersebut maka dihitung menggunakan rumus: $FTD = BCF - TF$.

Berdasarkan hasil perhitungan FTD pada penelitian Hamzah dan Pancawati (2013), bahwa *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.



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

4.1.1 Deskripsi Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo

Desa Kedung Pandan Dusun Tlocor berada di Kecamatan Jabon, dengan luas daerah 8.09976 Ha. Kecamatan Jabon merupakan salah satu Kecamatan dari 18 Kecamatan di Kabupaten Sidoarjo yang terletak di sebelah Barat Ibukota Kabupaten dan merupakan wilayah kota Kabupaten Sidoarjo. Batas-batas wilayah Kecamatan ini adalah sebagai berikut:

- a. Sebelah Utara : Kecamatan Tanggulangin
- b. Sebelah Selatan : Kabupaten Pasuruan
- c. Sebelah Timur : Selat Madura
- d. Sebelah Barat : Kecamatan Porong

Kabupaten Sidoarjo merupakan kabupaten terkecil dan terpadat penduduknya di Jawa Timur, diapit kali Surabaya sepanjang 32,5 km dan kali Porong sepanjang 47 km. Kecamatan Jabon merupakan daratan rendah dengan banyaknya curah hujan rata-rata 2.356 mm/tahun dengan jumlah hujan 94 hari. Jumlah penduduk tetap Kecamatan Jabon terdiri dari 55.156 jiwa yang merupakan Warga Negara Indonesia. Dengan adanya semburan lumpur Porong perkembangan ekonomi masyarakat Jabon agak melemah dan investor tidak berani untuk masuk sehingga pembangunan di wilayah Kecamatan Jabon ikut berpengaruh terhadap sosial ekonomi masyarakat (Pemkab Sidoarjo, 2015).

4.1.2 Deskripsi Stasiun Pengamatan

Pengambilan sampel sedimen dan mangrove *Sonneratia caseolaris* dilakukan pada 3 lokasi (stasiun) pengamatan di kawasan mangrove Dusun Tlocor sekitar muara sungai Porong, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo.

Penetapan lokasi (stasiun) pengamatan berdasarkan adanya kandungan logam berat Cd untuk mengetahui akumulasi kadar logam berat Cd pada sedimen, akar, batang, daun dan buah mangrove *Sonneratia caseolaris* selanjutnya dapat dibandingkan antara ketiga lokasi pengamatan tersebut.

- **Stasiun 1 (Hulu)**

Stasiun 1 (Hulu), merupakan lokasi pertama ditemukannya mangrove jenis *Sonneratia caseolaris* di mana Stasiun 1 (Hulu) ini berada di sekitar dermaga Tlocor dan diasumsikan bahwa kadar logam berat Cd pada lokasi tersebut paling tinggi, karena belum mengalami pengenceran oleh air laut. Keberadaan Stasiun 1 (Hulu) terletak pada koordinat $7^{\circ} 33'17.2'' - 7^{\circ} 33'17.9''$ LS dan $112^{\circ} 50'74.4'' - 112^{\circ} 50'75.2''$ BT. Lokasi pengambilan sampel di stasiun 1 (Hulu) dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Stasiun 1 (Hulu)

- **Stasiun 2 (Tengah)**

Stasiun 2 (Tengah), merupakan lokasi yang terletak di antara stasiun 1 dan stasiun 3, di mana mangrove *Sonneratia caseolaris* yang terdapat pada stasiun 2 (Tengah) ini diasumsikan bahwa mengandung logam berat Cd dengan kadar yang sedang, karena terletak di antara stasiun 1 bagian hulu dan stasiun 3 bagian hilir yang diasumsikan memiliki kadar logam berat Cd yang paling tinggi

dan rendah.. Keberadaan Stasiun 2 Tengah terletak pada koordinat $7^{\circ} 33'46.7''$ – $7^{\circ} 33'47.4''$ LS dan $112^{\circ} 51'03.5''$ – $112^{\circ} 51'04.3''$ BT. Lokasi pengambilan sampel di stasiun 2 (Tengah) dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Stasiun 2 (Tengah)

- **Stasiun 3 (Hilir)**

Stasiun 3 (Hilir) merupakan akhir dari muara sungai Porong, di mana Stasiun 3 hilir ini air dari sungai Porong telah bercampur dengan air laut dan diasumsikan bahwa kadar logam berat Cd pada lokasi tersebut paling rendah, karena mengalami pengenceran oleh air laut. Keberadaan Stasiun 3 hilir terletak pada koordinat $7^{\circ} 33'99.2''$ – $7^{\circ} 33'99.8''$ LS dan $112^{\circ} 51'55.7''$ – $112^{\circ} 51'56.2''$ BT. Lokasi pengambilan sampel di stasiun 3 (Hilir) dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Stasiun 3 (Hilir)

Perbedaan tempat hidup pada ke tiga stasiun ini diduga mempengaruhi masuknya logam berat ke dalam tanaman mangrove *Sonneratia caseolaris*.

Setiap lokasi pengambilan sampel terpilih memiliki kondisi lingkungan yang berbeda. Berdasarkan perbedaan ini diharapkan akan didapatkan informasi yang lebih beragam mengenai cemaran logam berat Cd dalam mangrove *Sonneratia caseolaris*.

4.2 Analisa Kadar Logam Berat Kadmium (Cd)

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kadar logam berat Cd pada sampel sedimen dan mangrove *Sonneratia caseolaris* yang diambil dari 3 stasiun dengan karakteristik kondisi lingkungan yang berbeda di muara sungai Porong Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo. Data hasil pengukuran kadar logam berat di sedimen dan mangrove *Sonneratia caseolaris* dapat dilihat pada

Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Sedimen dan Mangrove (*Sonneratia caseolaris*)

Stasiun	Kadar Logam Berat Cd (ppm)				
	Sedimen	<i>Sonneratia caseolaris</i>			
		Akar	Batang	Daun	Buah
1 (Hulu)	0,14	0,038	0,025	0,009	0,003
2 (Tengah)	0,19	0,059	0,032	0,013	0,005
3 (Hilir)	0,08	0,027	0,017	0,007	0,002
Standar	< 0,8*	< 0,2**			

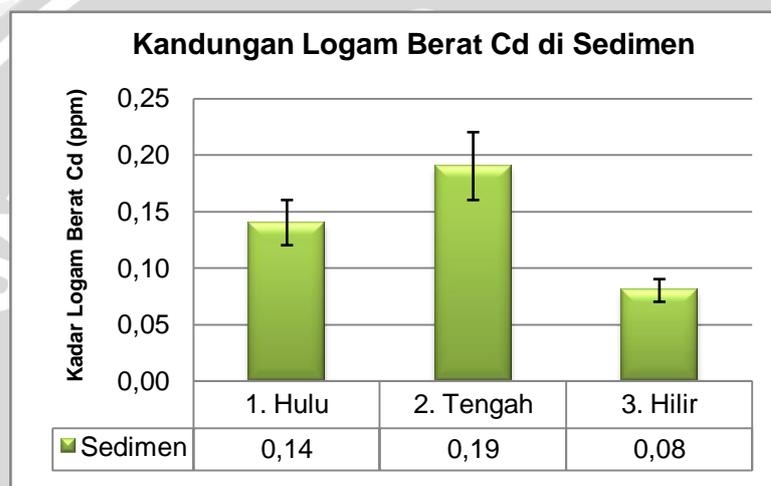
Keterangan: * National Oceanic and Atmospheric Administration (2005)
** Standar Nasional Indonesia (2009)

Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh kadar logam berat Cd yang berbeda-beda baik pada sampel sedimen maupun pada sampel mangrove *Sonneratia caseolaris* pada masing-masing stasiun.

4.2.1 Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Sedimen antar Stasiun

Tumbuhan mangrove, memiliki kemampuan untuk menyerap dan memanfaatkan logam berat yang terbawa di dalam sedimen sebagai sumber hara yang dibutuhkan untuk melakukan proses-proses metabolisme (Handayani,

2006). Berdasarkan hasil analisis one-way ANOVA menggunakan software SPSS (*Statistical Product And Service Solution*) 16.0, terlihat bahwa nilai signifikansi atau probabilitas pada tabel ANOVA adalah 0,034 (**Lampiran 4**). Karena probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak, jadi dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan kadar logam berat Cd sedimen antar stasiun, seperti yang ditunjukkan melalui grafik pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Grafik Kandungan Logam Berat Cd di Sedimen

Berdasarkan data pada grafik di atas, terlihat jelas bahwa kadar logam berat Cd di sedimen pada stasiun 2 (Tengah) dengan stasiun 3 (Hilir) memiliki perbedaan yang signifikan dan dibuktikan melalui uji lanjut dengan LSD dari analisis one-way ANOVA menggunakan software SPSS (*Statistical Product And Service Solution*) 16.0, terlihat bahwa nilai probabilitas perbedaan kadar logam berat Cd di sedimen antara stasiun 2 (Tengah) dengan stasiun 3 (Hilir) adalah $< 0,05$ (**Lampiran 4**), maka terbukti bahwa kadar logam berat Cd di sedimen pada stasiun 2 (Tengah) dengan stasiun 3 (Hilir) memiliki perbedaan yang signifikan.

Kawasan mangrove Dusun Tlocor di sekitar muara sungai Porong pada Stasiun 2 (Tengah) yang terletak di antara stasiun 1 hulu dan stasiun 3 hilir, di mana lokasi tersebut diasumsikan bahwa memiliki kandungan logam berat Cd yang sedang, tetapi dari hasil penelitian membuktikan bahwa pada Stasiun 2 (Tengah) memiliki kandungan logam berat Cd lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun yang lainnya yaitu sebesar 0,19 ppm. Kondisi seperti ini diduga sedimen pada Stasiun 2 (Tengah) memiliki tekstur yang halus yaitu lempung liat berdebu sehingga daya serap terhadap logam Cd cukup tinggi dan masih mendapatkan pengaruh dari aliran sungai Porong yang membawa limbah lumpur lapindo dan dari industri di sekitar sungai Porong serta belum mengalami pengenceran oleh air laut. Hal ini sesuai dengan pendapat Rochyatun *et al.* (2006), yang menyatakan bahwa tingginya kadar logam berat dalam sedimen menunjukkan bahwa terjadi akumulasi dalam sedimen. Hal ini terlihat dari komposisi (tekstur) sedimen tersebut yang berupa lumpur berwarna hitam, dimana lumpur tersebut mempunyai pori-pori yang cukup kecil, daya adsorbsinya cukup tinggi, sehingga kadar logam berat yang didapat cukup tinggi.

Rafni (2004) dalam Trisnawaty *et al.* (2013), menyatakan bahwa partikel sedimen yang halus biasanya mempunyai kandungan bahan pencemar yang tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh adanya gaya tarik menarik elektrokimia antara partikel sedimen dengan partikel mineral. Menurut Rumahlatu (2012), mengatakan bahwa secara alami, kadmium merupakan unsur utama fosfat bebatuan dan terdeposit dalam lapisan bumi. Selain merupakan komponen utama dari lapisan kulit bumi, sumber utama kadmium lainnya adalah industri panas bumi, industri bahan bangunan, areal pertambangan, industri logam.

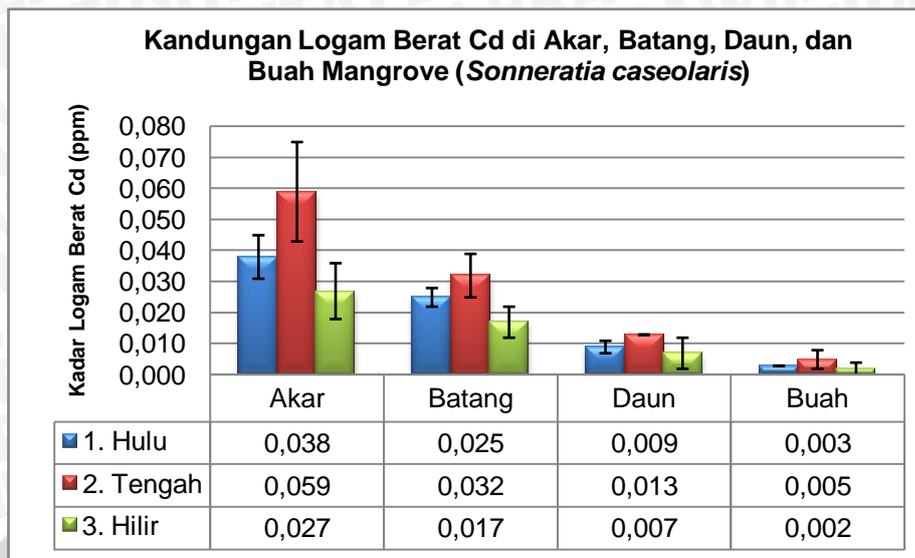
Stasiun 3 (Hilir) yang merupakan akhir dari muara sungai Porong yaitu tempat bertemunya air sungai Porong dan air laut Tlocor memiliki kandungan logam berat yang paling rendah yaitu sebesar 0,08 ppm dikarenakan karakter

sedimen berupa pasir berlumpur dengan kelas tekstur lempung, dimana kondisi sedimen seperti itu memiliki pori-pori yang cukup besar dan telah mengalami pengenceran oleh air laut. Proses pencampuran massa air sungai dan massa air laut di estuari secara umum akan memberikan pengaruh terhadap perubahan konsentrasi logam berat terlarut, dimana disebabkan dengan adanya proses pengenceran. Hal ini sesuai dengan pendapat Rochyatun dan Rozak (2007), yang menyatakan bahwa umumnya karakter sedimen berupa pasir berlumpur berada di daerah pantai jauh ke arah laut yang mempunyai pori-pori cukup besar, daya absorsi sedimen tersebut terhadap logam rendah, sehingga kadar logam yang didapat cukup rendah. Chester (1990) dalam Maslukah (2006), yang menyatakan bahwa adanya proses pengenceran menyebabkan konsentrasi logam berat berubah jadi menurun di sepanjang daerah estuari, tergantung dari sumber utama logam yang berasal dari sungai, adanya proses pengenceran oleh air laut menyebabkan konsentrasi logam akan menurun.

Berdasarkan data pada grafik di atas, pada stasiun 1 (Hulu) diperoleh kadar logam Cd di sedimen sebesar 0,14 ppm, pada stasiun 2 (Tengah) diperoleh kadar Cd di sedimen sebesar 0,19 ppm dan pada stasiun 3 (Hilir) diperoleh kadar Cd di sedimen sebesar 0,08 ppm. Dari hasil yang diperoleh pada ke tiga stasiun menunjukkan kadar logam berat Cd pada sedimen masih berada di bawah ambang batas menurut nilai baku mutu yang dikeluarkan oleh NOAA (2005), mengenai batas minimum logam berat kadmium (Cd) pada sedimen yaitu sebesar $<0,8$ ppm. Menurut Maslukah (2006), yang menyatakan bahwa konsentrasi Cd selalu lebih besar dalam kolom air mengakibatkan logam Cd yang terendapkan dalam sedimen sangat kecil (<1 ppm).

4.2.2 Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Tiap Organ Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada Tiga Stasiun

Tanaman yang tumbuh di daerah tercemar logam dapat mengakumulasi logam berat tersebut melalui penyerapan dari akar, diikuti pembentukan senyawa kelat dengan protein yang disebut fitokelatin, mengumpulkannya ke jaringan tubuh, kemudian mentransportasikannya ke batang, daun dan bagian lainnya. Fitokelatin merupakan suatu protein yang mampu mengikat logam yang tersusun dari beberapa asam amino seperti sistein dan glisin (Priyanto dan Prayitno, 2009 dalam Hidayatus *et al.*, 2014). Mangrove melalui sistem perakarannya yang menghunjam ke tanah dan menyebar luas mampu berfungsi menyerap kandungan polutan terutama jenis logam berat di lingkungan perairan sekitarnya, sehingga daya racun polutan tersebut pada hutan mangrove dapat berkurang (Heriyanto dan Subiandono, 2011). Berdasarkan hasil analisis perbedaan kadar logam berat Cd tiap organ mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada tiga stasiun melalui GLM (General Linear Model) Univariate menggunakan software SPSS (*Statistical Product And Service Solution*) 16.0, terlihat bahwa nilai signifikansi atau probabilitas Univariate Tests pada stasiun adalah 0.003 dan pada mangrove adalah 0.000 (**Lampiran 5**). Karena probabilitas $<0,05$, maka H_0 ditolak, jadi dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan kadar logam berat Cd tiap organ mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada tiga stasiun, seperti yang ditunjukkan melalui grafik pada **Gambar 9** berikut:



Gambar 9. Grafik Kandungan Logam Berat Cd di Akar, Batang, Daun dan Buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*)

Berdasarkan data pada grafik di atas, terlihat jelas bahwa perbedaan kadar logam berat Cd pada mangrove (*Sonneratia caseolaris*) antar stasiun dan perbedaan kadar logam berat Cd pada tiap organ mangrove (*Sonneratia caseolaris*) yaitu pada akar, batang, daun, dan buah mangrove (*Sonneratia caseolaris*) memiliki perbedaan yang signifikan dan dibuktikan melalui uji lanjut dengan LSD melalui analisis GLM (General Linier Model) Univariate menggunakan software SPSS (*Statistical Product And Service Solution*) 16.0, terlihat bahwa nilai probabilitas Multiple Comparisons dari perbedaan kadar logam berat Cd pada mangrove (*Sonneratia caseolaris*) antara stasiun 1 (Hulu) dengan stasiun 2 (Tengah), stasiun 2 (Tengah) dengan stasiun 1 (Hulu), stasiun 2 (Tengah) dengan stasiun 3 (Hilir), dan stasiun 3 (Hilir) dengan stasiun 2 (Tengah) adalah $< 0,05$ (**Lampiran 5**), maka terbukti bahwa kadar logam berat Cd pada mangrove (*Sonneratia caseolaris*) dari ketiga stasiun memiliki perbedaan yang signifikan.

Kandungan logam berat pada mangrove (*Sonneratia caseolaris*) di Stasiun 2 (Tengah) selalu lebih tinggi, kemudian diikuti oleh stasiun 1 (Hulu), dan yang

terendah pada stasiun 3 (Hilir), hal ini diduga pada stasiun 1 (Hulu) (suhu 27 °C, salinitas 1 ppt) dan 2 (Tengah) (suhu 27 °C, salinitas 2 ppt) memiliki nilai suhu dan salinitas yang hampir sama yaitu cenderung rendah dan masih mendapatkan pengaruh dari aliran sungai Porong yang membawa limbah yang mengandung logam berat Cd dari lumpur lapindo dan sampah plastik di sekitar sungai Porong serta ke dua stasiun tersebut belum mengalami pengenceran oleh air laut, sehingga kadar logam berat pada stasiun 1 (Hulu) dan 2 (Tengah) memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh, dibandingkan dengan stasiun 3 (Hilir) yang memiliki kandungan logam berat yang paling rendah dari ke tiga stasiun tersebut dikarenakan suhu dan salinitas pada stasiun 3 (Hilir) (suhu 30 °C, salinitas 6 ppt) memiliki nilai yang paling tinggi, di mana kandungan logam berat selalu berbanding terbalik dengan nilai suhu dan salinitas, dan stasiun 3 (Hilir) merupakan akhir dari muara sungai Porong yaitu tempat bertemunya air sungai Porong dan air laut Tlocor, maka diduga kadar logam berat Cd di stasiun 3 (Hilir) telah mengalami pengenceran oleh air laut, sehingga kadar logam beratnya paling rendah dari ke tiga stasiun tersebut. Hal ini sesuai dengan pendapat Chester (1990) dalam Maslukah (2006), yang menyatakan bahwa adanya proses pengenceran menyebabkan konsentrasi logam berat berubah jadi menurun di sepanjang daerah estuari, tergantung dari sumber utama logam yang berasal dari sungai, adanya proses pengenceran oleh air laut menyebabkan konsentrasi logam akan menurun.

Palar (2004) dalam Rachmawatie *et al.* (2009), menyatakan bahwa kenaikan suhu air akan mengurangi adsorpsi senyawa logam berat pada partikulat. Suhu air yang lebih dingin akan meningkatkan adsorpsi logam berat ke partikulat untuk mengendap di dasar. Sementara saat suhu air naik, senyawa logam berat akan melarut di air karena penurunan laju adsorpsi ke dalam partikulat. Logam yang memiliki kelarutan yang kecil akan ditemukan di permukaan air selanjutnya

dengan perpindahan dan waktu tertentu akan mengendap hingga ke dasar, artinya logam tersebut hanya akan berada di dekat permukaan air dalam waktu yang sesaat saja untuk kemudian mengendap lagi, dan menurut Bangun (2005), yang menyatakan bahwa peningkatan nilai salinitas mempunyai pengaruh negatif terhadap konsentrasi logam berat, semakin tinggi salinitas maka konsentrasi logam berat akan semakin rendah. Afriansyah (2009), menyatakan bahwa dalam lingkungan alami yang bersifat basa, kadmium mengalami hidrolisis, teradsorpsi oleh padatan tersuspensi dan membentuk ikatan kompleks dengan bahan organik.

Nilai probabilitas Multiple Comparisons dari perbedaan kadar logam berat Cd antara akar dengan batang, akar dengan daun, akar dengan buah, batang dengan akar, batang dengan daun, batang dengan buah, daun dengan akar, daun dengan batang, buah dengan akar, dan buah dengan batang adalah $< 0,05$ (**Lampiran 5**). Melalui uji lanjut dengan LSD tersebut, terbukti bahwa kadar logam berat Cd pada akar, batang, daun, dan buah mangrove (*Sonneratia caseolaris*) dari ketiga stasiun memiliki perbedaan yang signifikan. Hasil penelitian ini menunjukkan akumulasi logam berat Cd pada akar mangrove *Sonneratia caseolaris* (0,027-0,059 ppm) yang diambil dari 3 stasiun selalu lebih tinggi, kemudian diikuti oleh batang (0,017-0,032 ppm), daun (0,007-0,013 ppm), dan buah (0,002-0,005 ppm). Sesuai dengan penelitian terdahulu oleh Hamzah dan Pancawati (2013), yang menunjukkan hasil serupa dimana kadar logam berat pada akar *Sonneratia caseolaris* selalu lebih tinggi yaitu dengan nilai kadar logam berat Cu sebesar 0,17 ppm, dibandingkan dengan bagian yang lainnya yaitu daun dengan nilai kadar logam berat Cu sebesar 0,04 ppm. Hasil penelitian Heriyanto (2011), juga menunjukkan hasil yang serupa dimana akumulasi logam berat Cd pada akar mangrove *Avicennia marina* (10,7-24,5 ppm) lebih tinggi

dibandingkan dari bagian yang lainnya yaitu batang (10,56-16,47 ppm), dan buah (2,5-5,3 ppm).

Kondisi seperti ini disebabkan karena proses akumulasi logam Cd oleh tumbuhan mangrove (*Sonneratia caseolaris*) melalui penyerapan logam Cd oleh akar dari sedimen, kemudian ditranslokasikan dari akar ke bagian tumbuhan lain, dimana kadar logam berat Cd yang ditranslokasikan kebagian tumbuhan yang lain seperti batang, daun dan buah tidak sebesar kadar logam Cd yang ada pada akar, karena diduga sebagian kadar logam Cd tertinggal di akar, serta akar cenderung melokalisasi logam Cd untuk mencegah terjadinya peracunan oleh logam Cd dan menjaga agar logam Cd tidak menghambat metabolisme tumbuhan mangrove (*Sonneratia caseolaris*) tersebut, sehingga kadar logam berat Cd di akar pada penelitian ini selalu lebih tinggi dibandingkan dengan bagian yang lainnya yaitu batang, daun, dan buah. Hal ini sesuai dengan pendapat Andani dan Purbayanti (1981) dalam Heriyanto (2011), menyatakan bahwa konsentrasi suatu ion lebih tinggi ditemukan di dalam akar dari pada di daun, hal ini merupakan bukti kuat untuk lokalisasi ekstra seluler yang diduga akibat pengikatan fraksi pektin pada dinding sel.

Rata-rata penyerapan logam berat Cd dari tiga stasiun, oleh akar sebesar 52%, batang sebesar 32%, daun sebesar 12%, dan buah mangrove *Sonneratia caseolaris* sebesar 4%, maka kemampuan mangrove *Sonneratia caseolaris* untuk menyusutkan kadar Cd dalam tubuhnya dari akar sampai ke buah yaitu sebesar 48%. Menurut Grant *et al.* (1998) dalam Moenir (2010), menyatakan bahwa pada konsentrasi tertentu logam berat dapat meracuni tanaman dan untuk mencegah terjadinya peracunan tersebut, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, yaitu dengan cara melokalisasi logam berat dalam jaringan tanaman tertentu dan berbeda antara satu tanaman dengan lainnya. Seperti untuk lokalisasi logam Cd di akar pada tanaman *Silene dioica*. Mc. Grath

(1999) dalam Moenir (2010), menyatakan bahwa translokasi logam dari akar ke bagian-bagian tanaman yang lain dilakukan setelah logam berat masuk di dalam akar tanaman untuk selanjutnya didistribusikan ke bagian-bagian tanaman yang lain (batang dan daun) melalui jaringan pengangkut (floem dan xilem). Kemampuan pengangkutan dalam tanaman dapat ditingkatkan dengan bantuan zat khelat. Beberapa zat khelat yang dapat mengikat logam berat adalah phytokhelatin yang mengikat logam Se, histidin mengikat logam Ni dan glutanon mengikat Cd.

Proses absorpsi dapat terjadi lewat beberapa organ tumbuhan seperti akar, daun, dan buah. Tumbuhan mempunyai kemampuan menyerap ion-ion dari lingkungannya ke dalam tubuh melalui membran sel (Soemirat, 2003 dalam Puspita *et al.*, 2013). Proses akumulasi dan mobilisasi logam dengan menggunakan jaringan akar dikenal dengan istilah fitostabilisasi. Fitostabilisasi mampu meminimalisir pergerakan polutan (logam berat) dalam sedimen (Susarla *et al.*, 2002). Cara kerja fitostabilisasi adalah menggunakan kemampuan akar mengubah kondisi lingkungan. Tumbuhan akan menghentikan pergerakan logam yang diserap dan diakumulasi oleh akar, kemudian diserap dan diendapkan dalam rizosfer. Proses tersebut juga nantinya akan mengurangi logam berat dalam rantai makanan (Hamzah dan Pancawati, 2013).

Akumulasi logam berat Cd dalam akar, batang, daun, dan buah mangrove *Sonneratia caseolaris* dalam penelitian ini masih berada di bawah ambang batas yang ditentukan SNI (2009), yaitu batas maksimum cemaran kadmium (Cd) dalam buah dan sayur adalah 0,2 ppm. Aprilia dan Purwani (2013), menyatakan bahwa pada konsentrasi rendah logam berat tidak mempengaruhi pertumbuhan tanaman tetapi pada konsentrasi tinggi akan menyebabkan kerusakan baik pada tanah, air maupun tanaman. Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi Cd per

minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 $\mu\text{g}/\text{orang}$ atau 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan (Suhendrayatna, 2001 dalam Sarjono, 2009).

4.3 Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF), dan Fitoremediasi (FTD)

Pada dasarnya, tumbuhan mempunyai daya toleransi dan mengakumulasi logam berat dan hal ini berkaitan dengan tujuan fitostabilisasi. *Bioconcentration factors* (BCF) dan *Translocation factors* (TF) bisa digunakan untuk menduga tumbuhan yang bisa dijadikan sebagai fitoremediasi (Hamzah dan Setiawan, 2010). Menurut Hamzah dan Pancawati (2013), yang menyatakan bahwa *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. Proses tersebut juga nantinya akan mengurangi logam berat dalam rantai makanan. Moenir (2010), menyatakan bahwa dengan fitoremediasi selain zat pencemar logam berat dapat diambil oleh tanaman, tanah secara signifikan akan mengalami perbaikan bukan hanya berkurangnya zat pencemar tersebut tetapi juga akibat adanya aktivitas akar tanaman dalam meregulasi dirinya sehingga tanah secara otomatis menjadi subur kembali.



Tabel 5. Nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF), dan Fitoremediasi (FTD) Logam Berat Cd di Tlocor, Desa Kedung Pandan

Parameter Stasiun	BCF	TF			FTD		
		TF ₁	TF ₂	TF ₃	FTD ₁	FTD ₂	FTD ₃
1 (Hulu)	0,27	0,66	0,22	0,08	-0,4	0,05	0,20
2 (Tengah)	0,31	0,55	0,22	0,09	-0,2	0,09	0,22
3 (Hilir)	0,33	0,62	0,25	0,06	-0,3	0,08	0,27

Keterangan:

- BCF : *Bioconcentration Factor* yaitu perbandingan kandungan logam berat antara akar dengan sedimen.
- TF₁ : *Translocation Factor 1* yaitu perbandingan kandungan logam berat antara batang dengan akar.
- TF₂ : *Translocation Factor 2* yaitu perbandingan kandungan logam berat antara daun dengan akar.
- TF₃ : *Translocation Factor 3* yaitu perbandingan kandungan logam berat antara buah dengan akar.
- FTD₁ : *Fitoremediation 1* yaitu selisih antara BCF dengan TF₁.
- FTD₂ : *Fitoremediation 2* yaitu selisih antara BCF dengan TF₂.
- FTD₃ : *Fitoremediation 3* yaitu selisih antara BCF dengan TF₃.

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa pada stasiun 1 (Hulu) yang diasumsikan bahwa kadar logam Cd pada lokasi tersebut paling tinggi memiliki nilai BCF sebesar 0,27. Pada Stasiun 2 (Tengah) yang diasumsikan bahwa kadar logam Cd pada lokasi tersebut sedang memiliki nilai BCF sebesar 0,31. Pada Stasiun 3 (Hilir) yang diasumsikan bahwa kadar logam Cd pada lokasi tersebut paling rendah memiliki nilai BCF sebesar 0,33. Nilai BCF pada ketiga stasiun menunjukkan bahwa pohon *Sonneratia caseolaris* memiliki kemampuan sebagai bioakumulator sedang dalam penyerapan logam Cd, hal ini sesuai dengan pendapat Malayeri *et al.*, (2008), yang menyatakan bahwa nilai BCF 1-10 menunjukkan tumbuhan tergolong akumulator tinggi, 0,1-1 menunjukkan tergolong akumulator sedang, 0,01-0,1 menunjukkan tergolong akumulator rendah, dan <0,01 tanaman tergolong nonakumulator.

Pada Stasiun 1 (Hulu) memiliki nilai TF₁, TF₂, dan TF₃ berturut-turut sebesar 0,66, 0,22, dan 0,08. Pada Stasiun 2 (Tengah) nilai TF₁, TF₂, dan TF₃ berturut-

turut sebesar 0,55, 0,22, dan 0,09. Pada Stasiun 3 (Hilir) nilai TF_1 , TF_2 , dan TF_3 berturut-turut sebesar 0,62, 0,25, dan 0,06. Nilai TF pada ke tiga stasiun tersebut <1 , maka dapat dikatakan bahwa *Sonneratia coseolaris* bukanlah tumbuhan hiperakumulator untuk logam berat Cd, hal ini sesuai dengan pendapat Siahaan *et al.* (2013), menyatakan bahwa untuk menjadi tumbuhan hiperakumulator, besar faktor translokasi harus lebih dari satu ($TF > 1$). Menurut Baker dan Brooks (1984) dalam Siahaan *et al.* (2013), tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang dapat mengakumulasi logam dengan konsentrasi yang sangat tinggi pada jaringan permukaan (*above ground*) di habitat alamiahnya. Kr'bek *et al.* (2011) dalam Kariada dan Irsadi (2014), menyampaikan bahwa dalam penelitiannya mangrove merupakan hyperaccumulators yang baik, mangrove bukan saja mampu tumbuh di tanah dengan konsentrasi unsur beracun yang tinggi, tetapi mereka juga mengumpulkan/ mengakumulasi unsur tersebut di dalam batang dan daun dengan jumlah yang mungkin lebih tinggi dan mematikan bagi organisme hidup lainnya.

Nilai FTD yang negatif (FTD_1 : -0,4, -0,3, -0,2) disebabkan oleh nilai TF lebih tinggi daripada nilai BCF, maka sebaliknya pada nilai FTD yang positif (FTD_2 : 0,05-0,09 dan FTD_3 : 0,20-0,27) disebabkan oleh nilai TF yang rendah dan BCF tinggi, di mana FTD diperoleh dari selisih antara BCF dengan TF ($FTD = BCF - TF$). Situasi seperti ini disebabkan karena pada perhitungan TF_1 yaitu rasio perbandingan kadar logam berat Cd antara batang dengan akar tidak terlalu besar, sehingga nilai TF_1 yang diperoleh menjadi tinggi dan sebaliknya pada TF_2 dan TF_3 , di mana rasio perbandingan kadar logam berat Cd antara akar dengan daun dan perbandingan kadar logam berat Cd antara akar dengan buah cukup besar sehingga nilai TF_2 dan TF_3 yang diperoleh menjadi rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Yoon *et al.* (2006), yang menyatakan bahwa fitoremediasi (FTD) merupakan selisih antara nilai BCF dan TF. FTD akan maksimal jika BCF

tinggi dan TF rendah. Puspita *et al.* (2013), menambahkan bahwa rendahnya nilai FTD menunjukkan tingkat efektifitas biokonsentrasi logam oleh akar dan translokasi logam dari akar ke daun yang berimbang. Susarla *et al.* (2002), menyatakan bahwa nilai (FTD) yang tinggi digunakan untuk mengurangi pergerakan polutan di dalam tanah/sedimen karena efektivitas akumulasi logam terjadi pada akar. Proses ini menggunakan kemampuan akar tanaman mangrove untuk mengubah kondisi lingkungan tercemar berat menjadi sedang bahkan ringan.

Jika dilihat dari nilai FTD yang tertinggi dari ke tiga stasiun yaitu 0,27, maka dapat disimpulkan bahwa *Sonneratia caseolaris* diduga dapat digunakan untuk tujuan fitoremediasi khususnya fitostabilisasi. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu oleh Hamzah dan Pancawati (2013), memperoleh nilai FTD pada pohon *Sonneratia caseolaris* berkisar antara 0,13-0,18, yang mana *Sonneratia caseolaris* dapat digunakan untuk tujuan fitoremediasi khususnya fitostabilisasi. Menurut Susarla *et al.* (2002), yang menyatakan bahwa proses fitoremediasi dan fitostabilisasi pada tanaman (mangrove) menggunakan kemampuan akar untuk mengubah kondisi lingkungan tercemar berat menjadi sedang bahkan ringan. Mangrove bisa menghentikan atau mengurangi proses penyerapan dan akumulasi logam berat melalui akar. Proses ini akan mengurangi pergerakan logam dan mengencerkannya serta mengurangi logam masuk kedalam sistem rantai makanan di daerah estuari.

4.4 Analisa Kualitas Air

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan dan pengukuran terhadap parameter kualitas air baik parameter fisika (suhu, salinitas, dan tekstur tanah) maupun kimia (pH air, pH tanah, dan DO) yang mendukung kehidupan *Sonneratia caseolaris* dan yang mempengaruhi terhadap pencemaran logam

berat di perairan. Data hasil pengukuran parameter kualitas air muara sungai Porong di Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo dapat dilihat pada

Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Data Analisis Kualitas Air pada Kawasan Mangrove Dusun Tlocor di Muara Sungai Porong, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo

Stasiun	Sifat Fisika Kimia								
	Perairan				Sedimen				
	Suhu (°C)	Salinitas (ppt)	DO (mg/L)	pH	pH	Tekstur			Kelas Tekstur
Pasir (%)						Liat (%)	Debu (%)		
1 (Hulu)	27	1	6,2	7,7	7,2	13	46	41	Liat berdebu
2 (Tengah)	27	2	5,1	8	7,18	1	26	73	Lempung berdebu
3 (Hilir)	30	6	9,7	8,3	7,1	45	24	31	Lempung

4.4.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Nilai suhu perairan pada saat pengamatan (**Tabel 6**) pada stasiun 1 dan 2 sebesar 27 °C, dan stasiun 3 sebesar 30 °C. Stasiun 1 dan 2 memiliki suhu yang relatif rendah dibandingkan dengan stasiun 3, hal tersebut disebabkan karena intensitas cahaya yang masuk ke Stasiun 1 dan 2 sedikit karena merupakan daerah dengan ketinggian tanaman mangrove yang relatif tinggi sehingga daerah ini menjadi teduh dan pengukuran suhu tersebut dilakukan pada pagi hari yaitu mulai pukul 09.00 WIB. Pada saat pengukuran suhu di stasiun pengamatan dilakukan pada pagi hari sekitar pukul 09.00-11.00 WIB dengan kondisi cuaca yang teduh sehingga menyebabkan suhu perairan tidak terlalu tinggi. Suhu air laut akan seirama dengan perubahan intensitas penyinaran matahari (Makmur *et al.*, 2013). Menurut Effendi (2003), menyatakan bahwa suhu dipengaruhi oleh waktu dalam hari pada saat pengukuran. Hal ini terlihat pada stasiun 3 juga terlihat bahwa suhu yang cukup tinggi yaitu sebesar 30 °C, dimana pengukuran suhu dilakukan menjelang siang hari. Menurut Hogarth (1999) *dalam* Kusmana (2010), yang menyatakan bahwa spesies mangrove mempunyai toleransi yang

berbeda terhadap peningkatan suhu udara. Dalam hal ini fotosintesis dan beberapa variabel ekofisiologi mangrove seperti produksi daun yang maksimal terjadi pada tingkat suhu optimal tertentu, dibawah dan diatas suhu tersebut fotosintesis dan produksi daun menurun. Penelitian Hutchings dan Saenger (1987) dalam Kusmana (2010), melaporkan bahwa spesies mangrove Australia umumnya memperlihatkan laju fotosintesis yang maksimum pada suhu antara 21°C dan 28°C. Selain itu, peningkatan suhu juga akan berpengaruh terhadap laju pembusukan serasah dan fisiologi serta distribusi geografis fauna mangrove (Kusmana, 2010).

Pencemaran secara fisik, misalnya oleh limbah panas dari buangan pabrik dapat menyebabkan peningkatan temperatur atau suhu perairan (Subarnas, 2007). Kenaikan suhu air akan mengurangi adsorpsi senyawa logam berat pada partikulat. Suhu air yang lebih dingin akan meningkatkan adsorpsi logam berat ke partikulat untuk mengendap di dasar. Sementara saat suhu air naik, senyawa logam berat akan melarut di air karena penurunan laju adsorpsi ke dalam partikulat. Logam yang memiliki kelarutan yang kecil akan ditemukan di permukaan air selanjutnya dengan perpindahan dan waktu tertentu akan mengendap hingga ke dasar, artinya logam tersebut hanya akan berada di dekat permukaan air dalam waktu yang sesaat saja untuk kemudian mengendap lagi (Palar, 2004 dalam Rachmawatie *et al.*, 2009).

b. Salinitas

Nilai salinitas perairan pada saat pengamatan diperoleh hasil yaitu, pada stasiun 1 sebesar 1 ppt, pada stasiun 2 sebesar 2 ppt dan pada stasiun 3 sebesar 6 ppt (**Tabel 6**). Air payau adalah istilah umum yang digunakan untuk memberi nama air berdasarkan salinitas, misalnya menurut Valikangas dapat disederhanakan sebagai berikut: air tawar 0-0,5 ppt; air payau 0,5-17; dan air

laut di atas 17 ppt (Ghufran *et al.*, 2010). Penyebaran vegetasi mangrove ditentukan oleh berbagai faktor lingkungan, diantaranya adalah salinitas. Perbedaan komposisi jenis mangrove di tiap kerapatan disebabkan oleh karakteristik dari masing-masing jenis terhadap habitatnya. Jarak setiap kerapatan dari garis pantai berbeda, sehingga dapat mengakibatkan perbedaan salinitas substrat, frekwensi penggenangan oleh air pasang dan komposisi substrat (Taqwa, 2010).

Peningkatan nilai salinitas mempunyai pengaruh negatif terhadap konsentrasi logam berat, semakin tinggi salinitas maka konsentrasi logam berat akan semakin rendah (Bangun, 2005). Salinitas di perairan dapat mempengaruhi tingkat akumulasi logam berat dalam perairan. Besar kecilnya nilai akumulasi disebabkan oleh salinitas, semakin besar salinitas di perairan akumulasi logam berat di perairan akan semakin kecil. Bila terjadi penurunan salinitas maka akan menyebabkan peningkatan daya toksik logam berat dan tingkat bioakumulasi logam berat semakin besar (Wardani *et al.*, 2014). Pada salinitas yang rendah akan terjadi peningkatan konsentrasi kation logam bebas, karena yang membentuk molekul/ion kompleks relatif kecil. Hal ini diduga dapat menyebabkan kenaikan toksisitas akut logam berat pada kondisi salinitas rendah. Penurunan salinitas akan meningkatkan toksisitas logam berat (Sullivan, 2000 *dalam* Yudiati *et al.*, 2009). Logam Cd terlarut mengalami addition pada nilai salinitas >15-22‰ dan removal pada salinitas >22-31‰ serta cenderung stabil pada salinitas ±5 - 15‰. Perubahan nilai konsentrasi di muara ini berhubungan dengan proses desorpsi dan adsorpsi oleh partikel (Sembel, 2011).

c. Tekstur Substrat

Berdasarkan hasil prosentase analisa tekstur sedimen, pada stasiun 1 (Hulu) memiliki tekstur pasir sebesar 13%, liat 46%, debu 41%, dan masuk ke dalam

kelas tekstur yaitu liat berdebu. Pada stasiun 2 (Tengah) memiliki tekstur pasir sebesar 1%, liat 26%, debu 73%, dan masuk ke dalam kelas tekstur yaitu lempung berdebu. Pada stasiun 3 (Hilir) memiliki tekstur pasir sebesar 45%, liat 24%, debu 31%, dan masuk ke dalam kelas tekstur yaitu lempung. Hasil pengukuran tekstur tanah pada kawasan mangrove Dusun Tlocor, pada semua stasiun memiliki kelas tekstur yang hampir sama yaitu liat berdebu, lempung berdebu dan lempung, hal ini sesuai dengan pendapat Sukardjo (1984) dalam Prasetiyo *et al.* (2014), yang menyatakan bahwa tanah hutan mangrove di Indonesia umumnya bertekstur liat, liat berlempung, liat berdebu dan lempung yang berupa lumpur yang tebal, dan yang terdapat di bagian tepi-tepi sungai, muara, parit dan hamparan lumpur. Tanah mangrove umumnya kaya akan bahan organik. Secara umum tanah hutan mangrove merupakan tanah aluvial hidromorf, yang disebut juga tanah liat laut. Tanah ini merupakan tanah muda dan tergolong dalam tanah regosol atau entisol.

Tekstur substrat sangat dipengaruhi oleh komposisi dari butiran liat, debu dan pasir. Tingginya persentase pasir di kerapatan jarang diduga karena jaraknya yang paling dekat dengan daratan, sehingga mendapat banyak masukan pasir yang dibawa air tawar terutama pada saat terjadi hujan deras. Persentase debu lebih tinggi di kerapatan padat dan kerapatan sedang daripada kerapatan jarang, karena lebih sering tergenang, sehingga lebih banyak mendapat endapan debu pada saat tergenang (Taqwa, 2010). Rochyatun *et al.* (2006), yang menyatakan bahwa tingginya kadar logam berat dalam sedimen menunjukkan bahwa terjadi akumulasi dalam sedimen. Hal ini terlihat dari komposisi (tekstur) sedimen tersebut yang berupa lumpur berwarna hitam, dimana lumpur tersebut mempunyai pori-pori yang cukup kecil, daya adsorbsinya cukup tinggi. Rochyatun dan Rozak (2007), yang menyatakan bahwa umumnya karakter sedimen berupa pasir berlumpur berada di daerah pantai jauh ke arah

laut yang mempunyai pori-pori cukup besar, daya absorsi sedimen tersebut terhadap logam rendah.

4.4.2 Parameter Kimia

a. pH (*Power of Hydrogen*) Air

Nilai pH perairan pada saat pengamatan pada setiap stasiun berkisar antara 7,7-8,3 (**Tabel 6**). pH tertinggi terdapat di stasiun 3 yaitu sebesar 8,3 sedangkan pH terendah terdapat pada stasiun 1 yaitu sebesar 7,7. Hal ini sesuai dengan pernyataan Prescott (2005) dalam Sa'ban *et al.* (2013), yang menyatakan bahwa pH suatu perairan merupakan salah satu parameter yang penting dalam pemantauan kualitas perairan. Nilai pH dalam suatu perairan merupakan suatu indikasi terganggunya perairan tersebut. Berkurangnya nilai pH dalam suatu perairan ditandai dengan semakin meningkatnya senyawa organik diperairan tersebut. Nilai pH di perairan Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon Sidoarjo berkisar antara 7,7-8,3 masih baik karena masih memenuhi kriteria Nilai Ambang Batas (NAB) Kementerian Lingkungan hidup yaitu 6,5–8,5 (KMNLH, 2004).

Kelarutan logam dalam air dikontrol oleh pH air. Kenaikan pH pada badan perairan biasanya akan diikuti dengan semakin kecilnya kelarutan dari senyawa-senyawa logam tersebut (Palar, 2012). Menurut Bangun (2005), toksisitas kadmium dipengaruhi oleh pH dan kesadahan. Rochyatun dan Rozak (2007), juga menjelaskan bahwa pH air akan menyebabkan daya racun logam berat semakin besar. Kesadahan yang tinggi dapat mempengaruhi daya racun logam berat, karena logam berat dalam air yang berkesadahan tinggi akan membentuk senyawa kompleks yang mengendap dalam dasar perairan.

b. pH (*Power of Hydrogen*) Tanah

Dari hasil penelitian diperoleh Nilai pH tanah yang cenderung netral di setiap stasiun yaitu pada stasiun 1 memiliki nilai pH sebesar 7,2, pada stasiun 2 sebesar 7,18 dan stasiun 3 sebesar 7,1 (**Tabel 6**). Nilai pH di kawasan mangrove Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Sidoarjo yang berkisar antara 7,1-7,2 yang cenderung normal di karenakan kawasan mangrove Dusun Tlocor memiliki kerapatan yang rendah. Kusumaningrum dan Sukojo (2013), menyatakan bahwa nilai pH tanah dikawasan mangrove berbeda-beda, tergantung pada tingkat kerapatan vegetasi yang tumbuh dikawasan tersebut. Jika kerapatan rendah, tanah akan mempunyai nilai pH yang tinggi. Kondisi pH tanah pada kawasan mangrove Dusun Tlocor masih baik karena masih memenuhi kriteria Nilai Ambang Batas (NAB) Kementerian Lingkungan hidup yaitu 6,5–8,5 (KMNLH, 2004). Hal ini sesuai dengan pendapat Ghufuran dan Kordi (2010), yang menyatakan bahwa pH (derajat keasaman) tanah yang rendah (asam) tidak produktif. Tanah yang baik adalah tanah yang netral atau basa. pH tanah yang rendah akan menghasilkan pH air yang rendah pula. Tanah dengan pH netral sampai basa kaya akan nutrien memiliki pH 6,6-8,5.

Penelitian dari Susana *et al.* (2013), di jumpai hasil pengukuran pH tanah dari ketiga stasiun adalah 7. Hal ini memberi gambaran bahwa pH yang ada pada lokasi penelitian ini termasuk normal. LLPM (1998) *dalam* Susana *et al.* (2013), menyatakan bahwa ekosistem mangrove akan tumbuh dengan baik pada daerah kisaran nilai pH antara 5,0- 9,0. Hilmi (2005) *dalam* Susana *et al.* (2013), menyatakan mangrove dapat tumbuh pada kisaran pH normal. Apabila pH dalam kisaran terlalu tinggi maupun terlalu rendah dan tidak dapat toleril oleh mangrove maka akan mengakibatkan kematian pada mangrove tersebut. Kondisi pH tanah atau sedimen berpengaruh pada pertumbuhan akar.

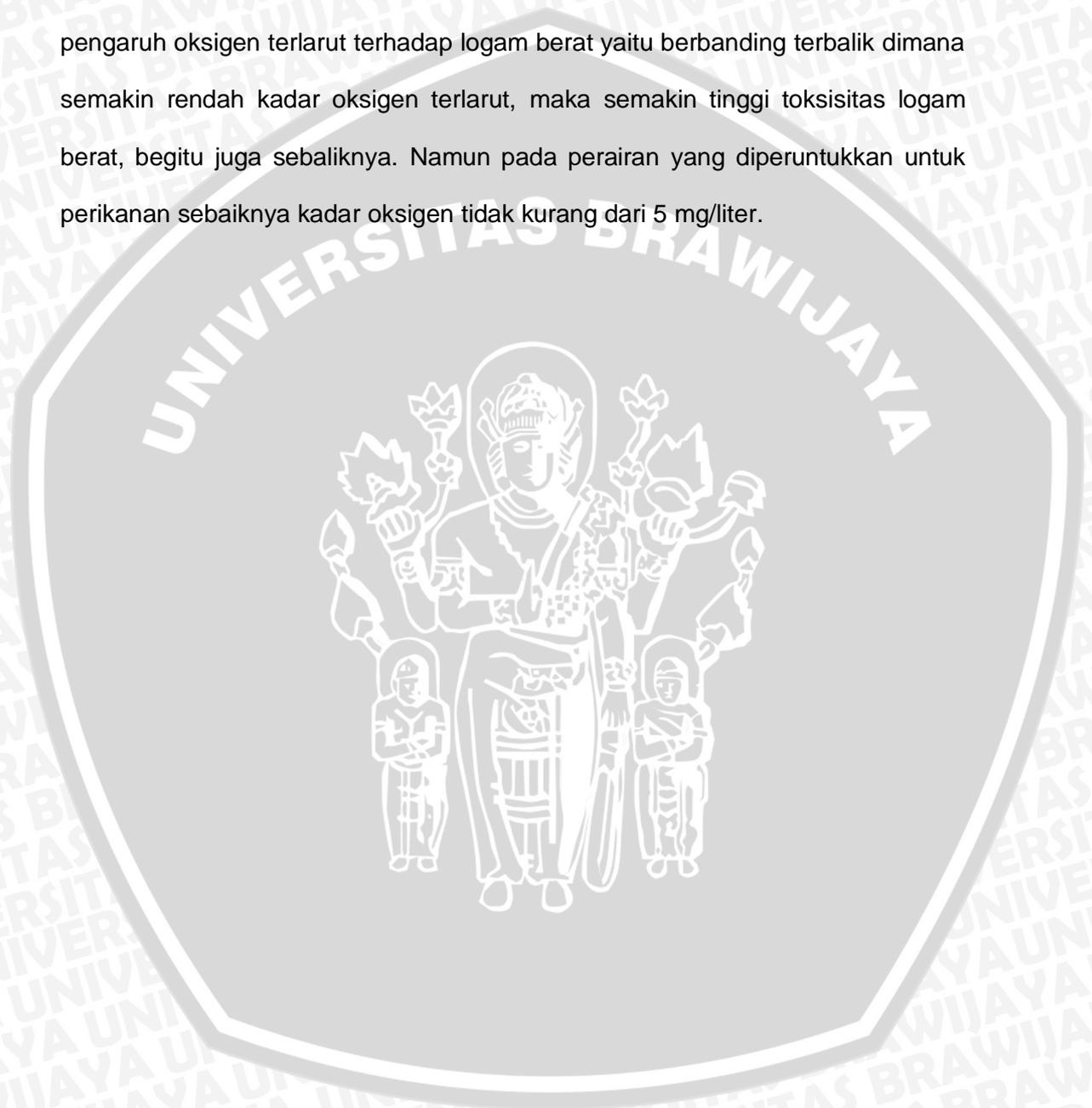
Nilai pH tanah menunjukkan banyaknya konsentrasi ion H^+ di dalam tanah. Makin tinggi kadar ion H^+ di dalam tanah, tanah makin bersifat asam. Tingkat keasaman tanah dibedakan sebagai berikut. Nilai pH tanah memiliki arti yang penting di dalam tanah, antara lain menentukan mudah tidaknya unsur-unsur hara diserap tanaman, menunjukkan kemungkinan adanya unsur-unsur beracun, dan memengaruhi perkembangan mikroorganisme di dalam tanah (Yani dan Ruhimat, 2007). Jenis tanah banyak dipengaruhi oleh keasaman tanah yang berlebihan, yang mengakibatkan tanah sangat peka terhadap terjadinya proses biologi. Jika keadaan lingkungan berubah dari keadaan alaminya, keadaan pH tanah juga akan dapat berubah (Arief, 2003). Kenaikan pH menurunkan kelarutan logam dalam air, karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada perairan, sehingga akan mengendap membentuk lumpur (Palar, 2012).

c. DO (*Dissolved Oxygen*)

Kandungan oksigen terlarut atau DO pada saat pengamatan (**Tabel 6**) diperoleh hasil yaitu, pada stasiun 1 sebesar 6,2 mg/l, pada stasiun 2 sebesar 5,1 mg/l dan pada stasiun 3 sebesar 9,7 mg/l. Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51 Tahun 2004 baku mutu DO di perairan yaitu ≥ 5 . Sehingga dapat dikatakan kandungan oksigen terlarut di perairan muara sungai Porong di Tlocor, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo merupakan perairan yang subur. Daya larut logam berat menjadi lebih tinggi atau lebih rendah tergantung pada kondisi lingkungan perairan. Kelarutan logam berat sangat dipengaruhi oleh kandungan oksigen terlarut.

DO berasal dr proses fotosintesis tanaman air, di mana jumlahnya tidak tetap tergantung dari jumlah tanaman, dan oksigen yang masuk dari atmosfer. Konsentrasi DO dalam keadaan jenuh bervariasi tergantung dari suhu dan

tekanan atmosfer. Pada suhu 20 °C dengan tekanan 1 atm konsentrasi oksigen terlarut dalam keadaan jenuh yaitu 9.2 ppm. Sedangkan pada suhu 50 °C konsentrasi oksigen terlarut dalam keadaan jenuh yaitu 5.6 ppm (Fardiaz,1993 dalam Kusumastuti, 2009). Menurut Wahyuni *et al.* (2013), menyatakan bahwa pengaruh oksigen terlarut terhadap logam berat yaitu berbanding terbalik dimana semakin rendah kadar oksigen terlarut, maka semakin tinggi toksisitas logam berat, begitu juga sebaliknya. Namun pada perairan yang diperuntukkan untuk perikanan sebaiknya kadar oksigen tidak kurang dari 5 mg/liter.



5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah:

- Kandungan logam berat Cd pada kawasan mangrove Dusun Tlocor, di sedimen yaitu berkisar antara 0,08-0,19 ppm, di akar *Sonneratia caseolaris* berkisar antara 0,027-0,059 ppm, di batang *Sonneratia caseolaris* berkisar antara 0,017-0,032 ppm, di daun *Sonneratia caseolaris* berkisar antara 0,007-0,013 ppm, dan di buah *Sonneratia caseolaris* berkisar antara 0,002-0,005 ppm. Hasil analisis menggunakan uji statistik, menunjukkan bahwa adanya perbedaan kadar logam berat Cd sedimen antar stasiun dan perbedaan kadar logam berat Cd antara akar, batang, daun, dan buah mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada tiga stasiun yang signifikan.
- Tanaman mangrove (*Sonneratia caseolaris*) tergolong dalam akumulator sedang dalam penyerapan logam berat Cd dengan rentang nilai bioconcentration faktor berada di antara 0,1-1.

5.2 Saran

Tanaman mangrove (*Sonneratia caseolaris*) memiliki kemampuan sebagai bioakumulator, sehingga dapat digunakan untuk tujuan fitoremediasi khususnya fitostabilisasi. Oleh karena itu, upaya untuk dapat menjaga kondisi lingkungan perairan dan mempertahankan potensi sumberdaya perairan agar tetap seimbang, maka perlu adanya suatu langkah yang sangat penting yaitu melestarikan ekosistem mangrove dengan cara reboisasi dan melakukan pengawasan dan pengendalian terhadap pencemaran logam berat khususnya Cd pada kawasan mangrove Dusun Tlocor di muara sungai Porong, Desa Kedung Pandan, Jabon, Sidoarjo.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibroto, T. A. 2002. *Pengembangan Teknologi Lingkungan Dalam Pengelolaan DAS Yang Berkelanjutan*. Jurnal Teknologi Lingkungan. 3 (1): 33-42.
- Afriansyah, A. 2009. *Konsentrasi Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) Dalam Air, Seston, Kerang dan Fraksinasinya dalam Sedimen di Perairan Delta Berau, Kalimantan Timur*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Agustina, T. 2010. *Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan Dan Dampaknya Pada Kesehatan*. TEKNUBUGA.2(2): 53-65.
- Ali, M., dan Rina. 2010. *Kemampuan Tanaman Mangrove Untuk Menyerap Logam Berat Merkuri (Hg) Dan Timbal (Pb)*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan 2(2): 28-36.
- Apriadi, D. 2005. *Kandungan Logam Berat Hg, Pb Dan Cr Pada Air, Sedimen Dan Kerang Hijau (Perna Viridis L.) Di Perairan Kamal Muara, Teluk Jakarta*. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Aprilia, D. D., dan K. I. Purwani. 2013. *Pengaruh Pemberian Mikoriza Glomus fasciculatum Terhadap Akumulasi Logam Timbal (Pb) Pada Tanaman Euphorbia milii*. Jurnal Sains Dan Seni Pomits. 2(1): 79 – 83.
- Arief, A. 2003. *Hutan Mangrove*. Kanisius: Jakarta.
- Aziz, A. 1994. *Pengaruh Salinitas Terhadap Sebaran Fauna Ekhinodermata*. Oseana, XIX (2) : 23-32.
- Bangun, J. M. 2005. *Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Dalam Air, Sedimen dan Organ Tubuh Ikan Sokang (Triacanthus nieuhofi) di Perairan Ancol, Teluk Jakarta*. Departemen Menejemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Boron, A. L. dan P. Boron. 2014. *The Effect of Industrial Heavy Metal Pollution on Microbial Abundance and Diversity in Soils — A Review*. Environmental Risk Assessment of Soil Contamination: Chapter 26.
- Cahyono, B. 2001. *Budidaya Ikan di Perairan Umum*. Kanisius: Yogyakarta.
- Cotton, F. A., dan G. Wilkinson. 2002. *Kimia Tak Organik Lanjutan*. Universiti Teknologi Malaysia: Malaysia.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1990. *Kumpulan SNI Bidang Pekerjaan Umum Mengenai Kualitas Air*. Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan PU: Jakarta.

- Deri, Emiyarti, dan L. O. A. Afu. 2013. *Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Akar Mangrove Avicennia marina di Perairan Teluk Kendari*. Jurnal Mina Laut Indonesia. 1(1): 38-48.
- Dewi, K. S. P. 2009. *Kemampuan Adsorpsi Batu Pasir Yang Dilapisi Besi Oksida (Fe_2O_3) Untuk Menurunkan Kadar Pb Dalam Larutan*. Jurnal Bumi Lestari 9 (2): 254-262.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius: Yogyakarta.
- Ghufran M., H. Kordi K., dan A. B. Tancung. 2007. *Pengelolaan Kualitas Air dalam Budi Daya Perairan*. Rineka Cipta: Jakarta.
- _____, dan H. Kordi K. 2010. *Nikmat Rasanya, Nikmat Untungnya - Pintar Budi Daya Ikan di Tambak Secara Intensif (bandeng, beronang, kakap, krapu, nila)*. Andi Offset: Yogyakarta.
- _____, H. Kordi K., dan A. Tamsil. 2010. *Pembenihan Ikan Laut Ekonomis Secara Buatan*. Andi Offset: Yogyakarta.
- Hamzah, F. dan A. Setiawan. 2010. *Akumulasi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn di Hutan Mangrove Muara Angke, Jakarta Utara*. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis. 2(2): 41-52.
- _____, E. dan Y. Pancawati. 2013. *Fitoremediasi Logam Berat dengan Menggunakan Mangrove*. Ilmu Kelautan. 18 (4): 203-212.
- Handayani, T. 2006. *Bioakumulasi Logam Berat Dalam Mangrove Rhizophora mucronata dan Avicennia marina Di Muara Angke Jakarta*. Jurnal Teknologi Lingkungan 7(3): 266-270.
- Hardiani, H. 2009. *Potensi Tanaman Dalam Mengakumulasi Logam Cu Pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas*. BS 44(1): 27-40.
- Harrington, J. M. dan F. S. Gill. 2005. *Buku Saku Kesehatan Kerja*. Buku Kedokteran EGC: Jakarta.
- Hemond, H. F. dan E. J. Fechner. 2000. *Chemical Fate And Transport In The Environment*. Elsevier: USA.
- Heriyanto, N. M. 2011. *Kandungan Logam Berat Padatumbuhan, Tanah, Air, Ikan dan Udang di Hutan Mangrove*. Jurnal Penelitian Hutan Tanaman. 8(4): 197 – 205.
- _____, dan E. Subiandono. 2011. *Penyerapan Polutan Logam Berat (Hg, Pb dan Cu) Oleh Jenis-Jenis Mangrove*. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. 8(2) : 177-188.
- Hidayatus S. I., I. E. Suprihatin, dan A.A.I.A M. Laksmiwati. 2014. *Distribusi Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Pada Buah Tanaman Mangrove*

Rhizophora Mucronata Di Muara Sungai Mati Kabupaten Badung. Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry). 2(2): 32-36.

Jeyaratnam, J. dan D. Koh. 2010. *Buku Ajar Praktik Kedokteran Kerja*. Buku Kedokteran EGC: Jakarta.

Jonak, C., H. Nakagami, dan H. Hirt. 2004. *Heavy Metal Stress. Activation Mitogen-Activated Protein Kinase Pathways by Copper and Cadmium*. Plant Physiology. 136: 3276-3283.

Kariada, N. dan A. Irsadi. 2014. *Peranan Mangrove Sebagai Biofilter Pencemaran Air Wilayah Tambak Bandeng Tapak, Semarang*. Jurnal Manusia Dan Lingkungan. 21(2): 188-194.

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 Porong, Kabupaten Sidoarjo*. Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

KMNLH. 2004. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004. Tentang baku mutu air laut*. Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.

Kusmana, C. 2010. *Respon Mangrove Terhadap Perubahan Iklim Global: Aspek Biologi Dan Ekologi Mangrove*. Karya tulis disampaikan pada Lokakarya Nasional Peran Mangrove dalam Mitigasi Bencana dan Perubahan Iklim. KKP, Jakarta.

Kusumaningrum, T. E. dan B. M. Sukojo. 2013. *Analisa Kesehatan Mangrove Berdasarkan Nilai Normalized Difference Vegetation Index Menggunakan Citra ALOS AVNIR-2*. Jurnal Teknik POMITS. 10(10): 1-6.

Kusumastuti, W. 2009. *Evaluasi Lahan Basah Bervegetasi Mangrove Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan (Studi Kasus Di Desa Kepetingan Kabupaten Sidoarjo)*. Thesis. Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang.

Laboratorium Kimia Dasar. 2015. *Penentuan kandungan Kadmium (Cd) pada sedimen, akar, batang, daun, dan buah Sonneratia caseolaris dianalisis menggunakan metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer)*. Laboratorium Kimia Dasar Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Laboratorium Fisika Tanah. 2015. *Analisa tekstur tanah dan pH tanah*. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.

Lestari, F. 2010. *Bahaya Kimia: Sampling dan Pengukuran Kontaminan Kimia di Udara*. Buku Kedokteran EGC: Jakarta.

Lichtfouse, E. dan J. Schwarzbauer. 2012. *Environmental Chemistry for a Sustainable World*. Springer: Germany.

Makfoeld, D., W. D. Marseno, P. Hastuti, S. Anggrahini, S. Raharjo, S. Sastroswignyo, Suhardi, S. Martoharsono, S. Hadiwiyoto, dan Tranggono. 2002. *Kamus Istilah Pangan dan Nutrisi*. Kanisius: Yogyakarta.

Makmur, R., Emiyarti, dan L. O. A. Afu. 2013. *Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen di Kawasan Mangrove Perairan Teluk Kendari*. Jurnal Mina Laut Indonesia. 2(6): 47-58.

Malayeri, B.E., A. Chehregani, N. Yousefi, and B. Lorestani. 2008. *Identification of the hyperaccumulator plants in copper and iron mine in Iran*. Pakistan Journal of Biological Sciences 11: 490-492.

Maslukah, L. 2006. *Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dan Pola Sebarannya di Muara Banjir Kanal Barat, Semarang*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor: Bogor.

Moenir, M. 2010. *Kajian Fitoremediasi Sebagai Alternatif Pemulihan Tanah Tercemar Logam Berat*. Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri. 1(2): 115 – 123.

Mohamad, E. 2011. *Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Tanah Dengan Menggunakan Bayam Duri (Amaranthus spinosus L)*. Laporan Penelitian Pengembangan IPTEK. Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Gorontalo.

Mohamad, E. 2013. *Pengaruh Variasi Waktu Kontak Tanaman Bayam Duri terhadap Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd)*. Jurnal Entropi, VIII (1): 562-571.

Mubyarto dan Suratno. 1981. *Metodologi Penelitian Ekonomi*. Yayasan Agro Ekonomika: Yogyakarta.

Musdalifah, F. E. 2013. *Hubungan Ikan Dengan Faktor Abiotiknya Di Sungai Brantas Bagian Hulu*. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang.

NOAA. 2005. *Predicting Toxicity to Amphipods From Sediment Chemistry*. Environmental Protection Agency: United States.

Noor, Y. R., M. Khazali, dan I. N. N. Suryadiputra. 2006. *Panduan pengenalan mangrove di Indonesia*. PKA/WI-IP, Bogor.

Palar, H. 2012. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta: Jakarta.

Panjaitan, G. Y. 2009. *Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Pohon Avicennia marina di Hutan Mangrove*. Skripsi. Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara Medan.

Pardede, E. 2013. *Mangrove Untuk Mendukung Lingkungan Hidup, Keanekaragaman Hayati Dan Ketahanan Pangan*. Dipresentasikan di Seminar Nasional Peranan Pers Pada Pembangunan Pertanian

Berwawasan Lingkungan Mendukung Kedaulatan Pangan Berkelanjutan (21 Februari 2013), Medan.

Pemkab Sidoarjo. 2015. *Tentang Kecamatan Jabon*. Diakses pada <http://jabon.sidoarjokab.go.id> tanggal 25 Februari 2015.

Peraturan Pemerintah. 2001. *Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air Presiden Republik Indonesia*. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001.

Plantamor. 2014. *Klasifikasi Sonneratia caseolaris*. Diakses pada <http://www.plantamor.com> tanggal 3 Desember 2014.

Prasetyo, D. E., F. K. Atmanegara, F. Zulfikar, H. S. Purwanti, A. Sahri, A. Budiayu dan E. Sudiono. 2014. *Kajian Sosio-Ekologis Kawasan Mangrove di Pesisir Pantai Kecamatan Biduk-Biduk, Kalimantan Timur*. *Omni-Akuatika*. 13(18) : 1 – 9.

Prasetyo, A. D. 2009. *Penentuan Kandungan Logam (Hg, Pb dan Cd) dengan Penambahan Bahan Pengawet dan Waktu Perendaman yang Berbeda Pada Kerang Hijau (Perna viridis L.) Di Perairan Muara Kamal, Teluk Jakarta*. Program Studi Biologi Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.

Puspita, A. D., A. Santoso, dan B. Yulianto. 2013. *Studi Akumulasi Logam Timbal (Pb) dan Efeknya Terhadap Kandungan Klorofil Daun Mangrove Rhizophora mucronata*. *Journal Of Marine Research*. 3 (1): 44-53.

Rachmawatie, Z. Hidayah, dan I. W. Abida. 2009. *Analisis Konsentrasi Merkuri (Hg) dan Cadmium (Cd) di Muara Sungai Porong Sebagai Area Buangan Limbah Lumpur Lapindo*. *Jurnal Kelautan*. 2(1): 42-52.

Rico, L. G., C. F. Felix, R. R. Burguenso, dan M. J. Marini. 2002. *Determination of Cadmium And Zinc and Its Relationship to Metallothionein Level in Swine Kidney*. *Rev. In. Contant Ambient*, Vol 18, pp. 157-162.

Rochyatun E., Lestari, dan A. Rozak. 2005. *Kualitas Lingkungan Perairan Banten dan Sekitarnya Ditinjau Dari Kondisi Logam Berat*. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 38 : 23-46.

Rochyatun, E., M. T. Kaisupy dan A. Rozak. 2006. *Distribusi Logam Berat Dalam Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane*. *Makara, Sains*. 10 (1): 35-40.

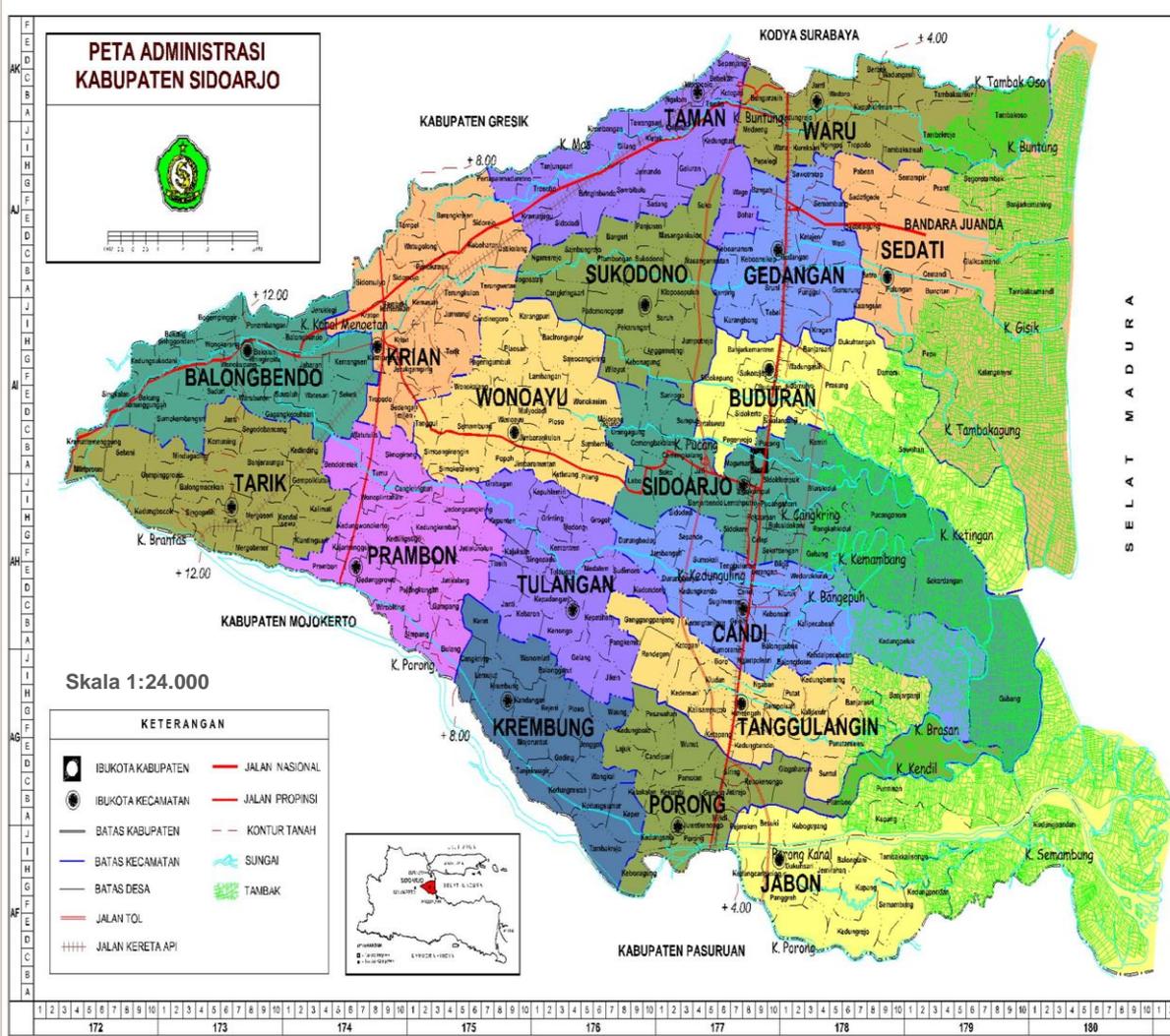
Rochyatun, E. dan A. Rozak. 2007. *Pemantauan Kadar Logam Berat Dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta*. *Makara, Sains*. 11(1): 28-36.

Rumahlatu, D., A. D. Corebima, M. Amin, dan F. Rachman. 2012. *Kadmium dan Efeknya terhadap Ekspresi Protein Metallothionein pada Deadema setosum (Echinoidea; Echinodermata)*. *Jurnal Penelitian Perikanan* 1(1): 26-35.

- Sa'ban, M. Ramli, dan W. Nurgaya. 2013. *Produksi dan Laju Dekomposisi Serasah Mangrove dengan Kelimpahan Plankton di Perairan Mangrove Teluk Moramo*. Jurnal Mina Laut Indonesia. 03(12): 132– 146.
- Samsundari, S. dan I. Y. Perwira. 2011. *Kajian Dampak Pencemaran Logam Berat Di Daerah Sekitar Luapan Lumpur Sidoarjo Terhadap Kualitas Air Dan Budidaya Perikanan*. GAMMA 6(2): 129-136.
- Santoso, S. 2014. *Statistik Parametrik: Konsep dan Aplikasi dengan SPSS*. PT Elex Media Komputindo: Jakarta.
- Sarjono, A. 2009. *Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb, dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara, Jakarta Utara*. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor
- Sembel, L. 2011. *Analisis Logam Berat Pb, Cd dan Cr Berdasarkan Tingkat Salinitas Di Estuari Sungai Belau Teluk Lampung*. Prosiding Seminar Nasional: Pengembangan Pulau-Pulau Kecil. Papua.
- Shepard, F.P. 1954. *Nomenclature Based On Sand – Silt – Caly Ratios: Journal Sedimentary Petrology*, V.24, P.151-158.
- Siahaan, M.T. A., Ambariyanto, dan B. Yulianto. 2013. *Pengaruh Pemberian Timbal (Pb) Dengan Konsentrasi Berbeda Terhadap Klorofil, Kandungan Timbal Pada Akar Dan Daun, Serta Struktur Histologi Jaringan Akar Anakan Mangrove Rhizophora mucronata*. Journal Of Marine Research. 2 (2): 111-119.
- Simanjuntak, M. 2012. *Kualitas Air Laut Ditinjau Dari Aspek Zat Hara, Oksigen Terlarut Dan pH Di Perairan Banggai, Sulawesi Tengah*. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis. 4(2): 290-303.
- Standart Nasional Indonesia. 2009. *Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan*. Badan Standarisasi Nasional.
- Subarijanti, H.U. 1994. *Diktat Kuliah Limnology*. NUFFIC/ UNIBRAW/ LUW/ FISH. Universitas Brawijaya: Malang.
- Subarnas, N. 2007. *Terampil Berkreasi*. Grafindo Media Pratama: Bandung.
- Sumardjo, D. 2006. *Pengantar Kimia: Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Sastra I Fakultas Bioeksakta*. Buku Kedokteran EGC: Jakarta.
- Susana, T. S. Raza'i, dan W. R. Melani. 2013. *Struktur Vegetasi Mangrove di Sungai Ladi Kelurahan Kampung Bugis Kecamatan Tanjungpinang Kota Provinsi Kepulauan Riau*. Program Studi Managemen Sumberdaya Perairan fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Susarla S., V.F. Medina, and S.C. McCutcheon .2002. *Phytoreme-diation, an ecological solution to organic contamination*. Ecol Eng, 18:647–58.

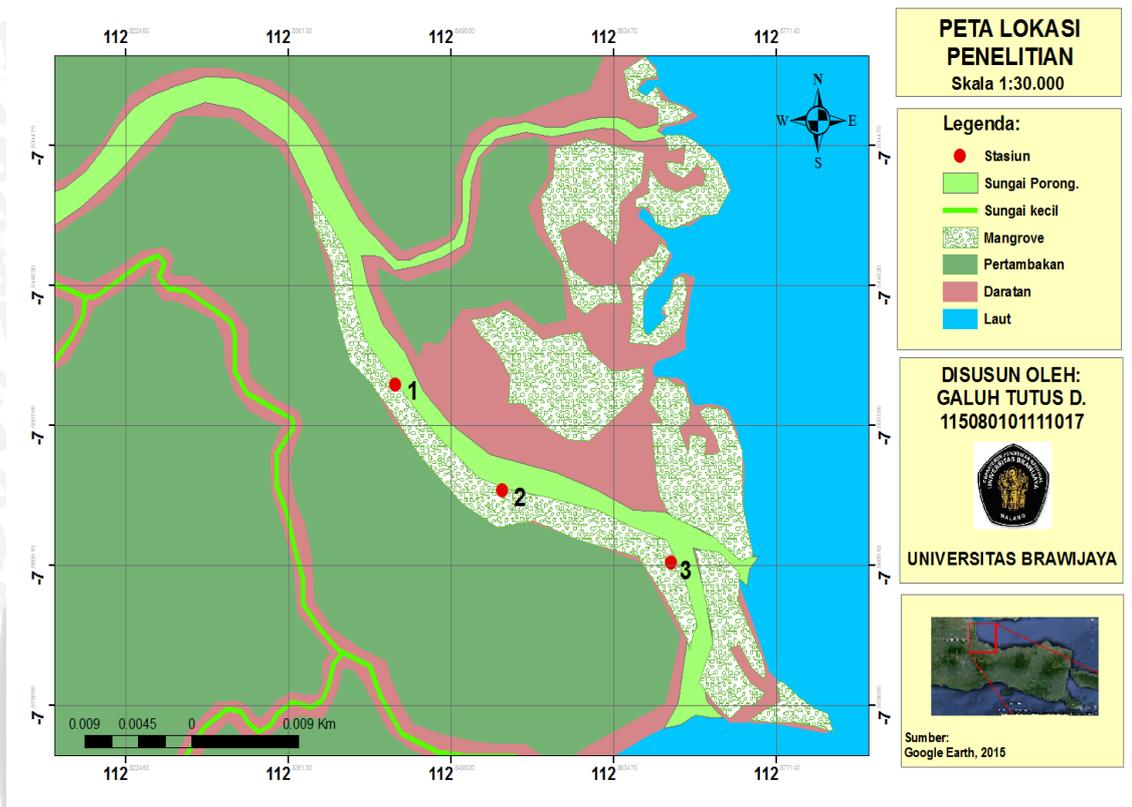
- Tam , N. N. F. Y. dan Y. S. Wong. 1996. *Retention and Distribution of Heavy Metals in Mangrove Soils Receiving Wastewater*. Environmental Pollution, 94 (3): 283-291.
- Taqwa, A. 2010. *Analisis Produktivitas Primer Fitoplankton Dan Struktur Komunitas Fauna Makrobenthos Berdasarkan Kerapatan Mangrove Di Kawasan Konservasi Mangrove Dan Bekantan Kota Tarakan, Kalimantan Timur*. Tesis. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro 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*. Jurnal Mina Laut Indonesia. 03(12): 68– 80.
- Utoyo, B. 2007. *Geografi: Membuka Cakrawala Dunia*. PT Setia Purna Inves: Bandung.
- Wahyuni, H., S. B. Sasongko, dan D. P. Sasongko. 2013. *Kandungan Logam Berat pada Air, Sedimen dan Plankton di Daerah Penambangan Masyarakat Desa Batu Belubang Kabupaten Bangka Tengah*. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan.
- Wardani, D. A. Kusuma., N. K. Dewi dan N. R. Utami. 2014. *Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Daging Kerang Hijau (Perna viridis) di Muara Sungai Banjir Kanal Barat Semarang*. Unnes J Life Sci.3 (1): 1-8.
- Warta Terkini. 2006. *Kandungan Logam Berat Dalam Lumpur Lapindo Meningkat*. Copyright Antara News, Penulis Priyambodo RH, Desember 2006.
- Widmer, P. 2006. *Pangan, Papan, dan Kebun Berguna*. Kanisius: Yogyakarta.
- Yani, A dan M. Ruhimat. 2007. *Geografi: Menyingkap Fenomena Geosfer*. Grafindo Media Pratama: Bandung.
- 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.
- Yudiati, E., S. Sedjati, I. Enggar dan I. Hasibuan. 2009. *Dampak Pemaparan Logam Berat Kadmium pada Salinitas yang Berbeda terhadap Mortalitas dan Kerusakan Jaringan Insang Juvenile Udang Vaname (Litopeneus vannamei)*. Jurnal Ilmu Kelautan. 14 (4) : 29-35.

Lampiran 1. Peta Lokasi Penelitian



(Pembab Sidoarjo, 2015)

Lampiran 1. Lanjutan



Lampiran 2. Data Logam Berat Cd di Sedimen, Akar, Batang, Daun dan Buah Mangrove (*Sonneratia caseolaris*)

Stasiun	Ulangan	Kadar Logam Berat Cd (ppm)				
		Sedimen	<i>Sonneratia caseolaris</i>			
			Akar	Batang	Daun	Buah
1 (Hulu)	1	0,150	0,033	0,023	0,007	0,003
	2	0,127	0,043	0,027	0,010	0,003
	Rata-rata	0,139	0,038	0,025	0,009	0,003
2 (Tengah)	1	0,210	0,047	0,027	0,013	0,007
	2	0,167	0,070	0,037	0,013	0,003
	Rata-rata	0,189	0,059	0,032	0,013	0,005
3 (Hilir)	1	0,090	0,020	0,013	0,003	0,000
	2	0,070	0,033	0,020	0,010	0,003
	Rata-rata	0,080	0,027	0,017	0,007	0,002
Standar		< 0,8*	< 0,2**			

Keterangan: * National Oceanic and Atmospheric Administration (2005)

** Standar Nasional Indonesia (2009)



Lampiran 3. Perhitungan Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF), dan Fitoremediasi (FTD)

▪ Stasiun 1 (Hulu)

$$BCF_{Cd} = \frac{(\text{Logam Berat Cd}) \text{ Akar}}{(\text{Logam berat Cd}) \text{ Sedimen}}$$

$$= \frac{0,038}{0,14}$$

$$= 0,27$$

$$FTD = BCF - TF$$

$$FTD_1 = BCF - TF_1$$

$$= 0,27 - 0,66$$

$$= -0,4$$

$$TF_{Cd} = \frac{Cd \text{ Batang, Daun, Buah}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$TF_1 = \frac{Cd \text{ Batang}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$= \frac{0,025}{0,038}$$

$$= 0,66$$

$$FTD_2 = BCF - TF_2$$

$$= 0,27 - 0,22$$

$$= 0,05$$

$$FTD_3 = BCF - TF_3$$

$$= 0,27 - 0,08$$

$$= 0,20$$

$$TF_2 = \frac{Cd \text{ Daun}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$= \frac{0,009}{0,038}$$

$$= 0,22$$

$$TF_3 = \frac{Cd \text{ Buah}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$= \frac{0,003}{0,038}$$

$$= 0,08$$

▪ Stasiun 2 (Tengah)

$$BCF_{Cd} = \frac{(\text{Logam Berat Cd}) \text{ Akar}}{(\text{Logam berat Cd}) \text{ Sedimen}}$$

$$= \frac{0,059}{0,19}$$

$$= 0,31$$

Lampiran 3. Lanjutan

$$TF_{Cd} = \frac{Cd \text{ Batang, Daun, Buah}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$TF_1 = \frac{Cd \text{ Batang}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$= \frac{0,032}{0,059}$$

$$= 0,55$$

$$TF_2 = \frac{Cd \text{ Daun}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$= \frac{0,013}{0,059}$$

$$= 0,22$$

$$TF_3 = \frac{Cd \text{ Buah}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$= \frac{0,005}{0,059}$$

$$= 0,09$$

▪ **Stasiun 3 (Hilir)**

$$BCF_{Cd} = \frac{(\text{Logam Berat Cd}) \text{ Akar}}{(\text{Logam berat Cd}) \text{ Sedimen}}$$

$$= \frac{0,027}{0,08}$$

$$= 0,33$$

$$TF_{Cd} = \frac{Cd \text{ Batang, Daun, Buah}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$TF_1 = \frac{Cd \text{ Batang}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$= \frac{0,017}{0,027}$$

$$= 0,62$$

$$FTD = BCF - TF$$

$$FTD_1 = BCF - TF_1$$

$$= 0,31 - 0,55$$

$$= -0,2$$

$$FTD_2 = BCF - TF_2$$

$$= 0,31 - 0,22$$

$$= 0,09$$

$$FTD_3 = BCF - TF_3$$

$$= 0,31 - 0,09$$

$$= 0,22$$

$$TF_2 = \frac{Cd \text{ Daun}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$= \frac{0,007}{0,027}$$

$$= 0,25$$

$$TF_3 = \frac{Cd \text{ Buah}}{Cd \text{ Akar}}$$

$$= \frac{0,002}{0,027}$$

$$= 0,06$$



Lampiran 3. Lanjutan

$$FTD = BCF - TF$$

$$FTD_1 = BCF - TF_1$$

$$= 0,33 - 0,62$$

$$= -0,3$$

$$FTD_2 = BCF - TF_2$$

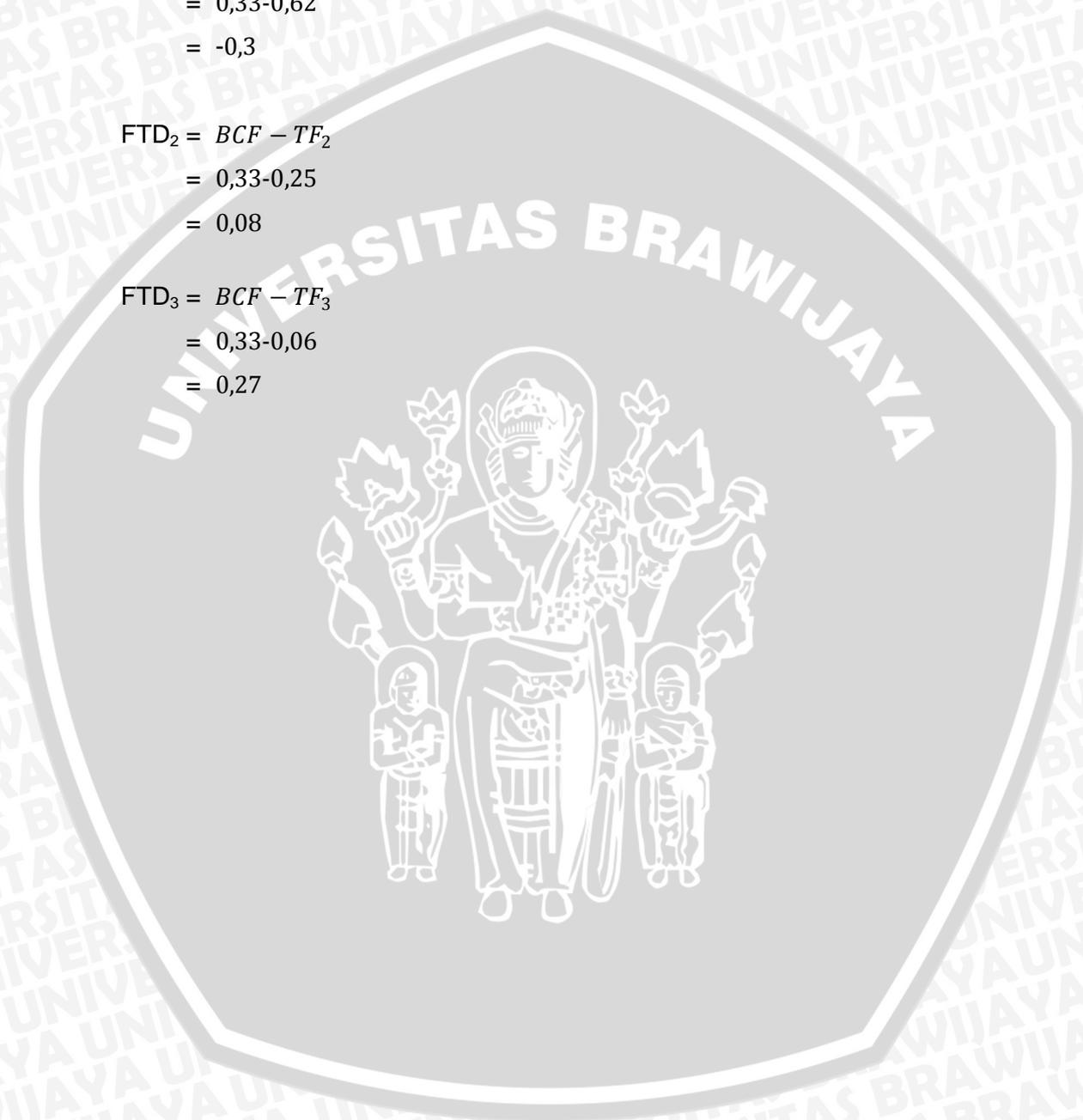
$$= 0,33 - 0,25$$

$$= 0,08$$

$$FTD_3 = BCF - TF_3$$

$$= 0,33 - 0,06$$

$$= 0,27$$



Lampiran 4. Output Analisis Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Sedimen antar Stasiun

Descriptives

Cd_Sedimen

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Hulu	2	.13850	.016263	.011500	-.00762	.28462	.127	.150
Tengah	2	.18850	.030406	.021500	-.08468	.46168	.167	.210
Hilir	2	.08000	.014142	.010000	-.04706	.20706	.070	.090
Total	6	.13567	.051352	.020965	.08178	.18956	.070	.210

ANOVA

Cd_Sedimen	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.012	2	.006	12.739	.034
Within Groups	.001	3	.000		
Total	.013	5			

Multiple Comparisons

Cd_Sedimen

LSD

(I) Stasiun	(J) Stasiun	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Hulu	Tengah	-.050000	.021517	.103	-.11848	.01848
	Hilir	.058500	.021517	.073	-.00998	.12698
Tengah	Hulu	.050000	.021517	.103	-.01848	.11848
	Hilir	.108500*	.021517	.015	.04002	.17698
Hilir	Hulu	-.058500	.021517	.073	-.12698	.00998
	Tengah	-.108500*	.021517	.015	-.17698	-.04002

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

Lampiran 5. Output Analisis Perbandingan Kadar Logam Berat Cd Tiap Organ Mangrove (*Sonneratia caseolaris*) pada Tiga Stasiun

Descriptive Statistics

Dependent Variable:KadarCd

Stasiun	Mangrove	Mean	Std. Deviation	N
Hulu	Akar	.03800	.007071	2
	Batang	.02500	.002828	2
	Buah	.00300	.000000	2
	Daun	.00850	.002121	2
	Total	.01863	.015061	8
Tengah	Akar	.05850	.016263	2
	Batang	.03200	.007071	2
	Buah	.00500	.002828	2
	Daun	.01300	.000000	2
	Total	.02712	.023043	8
Hilir	Akar	.02650	.009192	2
	Batang	.01650	.004950	2
	Buah	.00150	.002121	2
	Daun	.00650	.004950	2
	Total	.01275	.011184	8
Total	Akar	.04100	.017029	6
	Batang	.02450	.008044	6
	Buah	.00317	.002229	6
	Daun	.00933	.003830	6
	Total	.01950	.017465	24

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:KadarCd

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.006 ^a	11	.001	13.544	.000
Intercept	.009	1	.009	209.392	.000
Stasiun	.001	2	.000	9.588	.003
Mangrove	.005	3	.002	39.345	.000
Stasiun * Mangrove	.001	6	8.549E-5	1.961	.151
Error	.001	12	4.358E-5		
Total	.016	24			
Corrected Total	.007	23			

a. R Squared = ,925 (Adjusted R Squared = ,857)

Lampiran 5. Lanjutan

1. Stasiun

Estimates

Dependent Variable:KadarCd

Stasiun	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Hulu	.019	.002	.014	.024
Tengah	.027	.002	.022	.032
Hilir	.013	.002	.008	.018

Univariate Tests

Dependent Variable:KadarCd

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Contrast	.001	2	.000	9.588	.003
Error	.001	12	4.358E-5		

The F tests the effect of Stasiun. This test is based on the linearly independent pairwise comparisons among the estimated marginal means.

Multiple Comparisons

KadarCd
LSD

(I) Stasiun	(J) Stasiun	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Hulu	Tengah	-.00850*	.003301	.024	-.01569	-.00131
	Hilir	.00588	.003301	.100	-.00132	.01307
Tengah	Hulu	.00850*	.003301	.024	.00131	.01569
	Hilir	.01437*	.003301	.001	.00718	.02157
Hilir	Hulu	-.00588	.003301	.100	-.01307	.00132
	Tengah	-.01437*	.003301	.001	-.02157	-.00718

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 4,36E-005.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Lampiran 5. Lanjutan

2. Mangrove

Estimates

Dependent Variable:KadarCd

Mangrove	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Akar	.041	.003	.035	.047
Batang	.024	.003	.019	.030
Buah	.003	.003	-.003	.009
Daun	.009	.003	.003	.015

Univariate Tests

Dependent Variable:KadarCd

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Contrast	.005	3	.002	39.345	.000
Error	.001	12	4.358E-5		

The F tests the effect of Mangrove. This test is based on the linearly independent pairwise comparisons among the estimated marginal means.

Multiple Comparisons

KadarCd
LSD

(I) Mangrove	(J) Mangrove	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Akar	Batang	.01650*	.003812	.001	.00820	.02480
	Buah	.03783*	.003812	.000	.02953	.04614
	Daun	.03167*	.003812	.000	.02336	.03997
Batang	Akar	-.01650*	.003812	.001	-.02480	-.00820
	Buah	.02133*	.003812	.000	.01303	.02964
	Daun	.01517*	.003812	.002	.00686	.02347
Buah	Akar	-.03783*	.003812	.000	-.04614	-.02953
	Batang	-.02133*	.003812	.000	-.02964	-.01303
	Daun	-.00617	.003812	.132	-.01447	.00214
Daun	Akar	-.03167*	.003812	.000	-.03997	-.02336
	Batang	-.01517*	.003812	.002	-.02347	-.00686
	Buah	.00617	.003812	.132	-.00214	.01447

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 4,36E-005.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Lampiran 5. Lanjutan

3. Mangrove * Stasiun

Dependent Variable:KadarCd

Mangrove Stasiun	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
Akar	Hulu	.038	.005	.028	.048
	Tengah	.058	.005	.048	.069
	Hilir	.026	.005	.016	.037
Batang	Hulu	.025	.005	.015	.035
	Tengah	.032	.005	.022	.042
	Hilir	.016	.005	.006	.027
Buah	Hulu	.003	.005	-.007	.013
	Tengah	.005	.005	-.005	.015
	Hilir	.002	.005	-.009	.012
Daun	Hulu	.009	.005	-.002	.019
	Tengah	.013	.005	.003	.023
	Hilir	.007	.005	-.004	.017

