

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

Kabupaten Sidoarjo adalah Kabupaten yang dihimpit dua sungai yaitu Sungai Kalimas Surabaya dan Sungai Porong, sehingga terkenal dengan sebutan kota Delta. Kabupaten Sidoarjo terletak antara $112^{\circ}5'$ – $112^{\circ}9'$ Bujur Timur dan $7^{\circ}3'$ – $7^{\circ}5'$ Lintang Selatan. Sektor industri di Kabupaten Sidoarjo berkembang cukup pesat karena lokasi yang berdekatan dengan kota Surabaya, dekat dengan Pelabuhan Laut Tanjung Perak maupun Bandar Udara Juanda. Industri yang ada di Kabupaten Sidoarjo antara lain industri kerajinan kulit, industri elektronik, industri pertambangan, industri cat dan industri batik. Luas wilayah kabupaten Sidoarjo adalah 63.438,534 Ha dengan potensi luas wilayah lahan pertanian 28.763 Ha, lahan perkebunan tebu 8.164 Ha, lahan pertambakan 15.729 Ha dan selebihnya tanah pekarangan, pemukiman, industri, perumahan dan lain – lain.

Kabupaten Sidoarjo terbagi dalam 18 Kecamatan 31 Kelurahan dan 322 Desa. Dari 18 kecamatan yang ada di Kabupaten Sidoarjo, wilayah yang paling luas yaitu Kecamatan Jabon dengan luas wilayah 81.00 km^2 . Batas wilayah Kecamatan Jabon yaitu sebelah utara Kecamatan Tanggulangin, sebelah selatan Kabupaten Pasuruan, sebelah timur Selat Madura dan sebelah barat Kecamatan Porong. Kecamatan Jabon terdiri dari 15 Desa, 51 Dusun, 88 RW dan 260 RT. Kecamatan Jabon merupakan salah satu wilayah yang dilewati oleh aliran Sungai Porong. Keberadaan Sungai Porong telah dianggap tercemar sejak tahun 1990-an akibat pembuangan limbah industri yang berasal dari Kabupaten Sidoarjo. Pada tahun 2006, tingkat pencemaran Sungai Porong menjadi semakin tinggi karena pembuangan lumpur Lapindo ke Sungai Porong. Penelitian ini dilakukan di kawasan Muara Sungai Porong yang terletak di Dusun Tlocor, Desa

Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo. Di sekitar muara Sungai Porong Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo terdapat kawasan mangrove, tambak, pemukiman warga, Wisata Bahari Tlocor, wisata pemancingan ikan dan dermaga kapal nelayan.

4.2 Deskripsi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada titik koordinat 7°34'00.5" LS dan 112°52'08.0"BT. Lokasi ini dipilih untuk mewakili kawasan Muara Sungai Porong. Lokasi penelitian ini berada dekat dengan pulau Sarinah dan tambak milik masyarakat sekitar. Di sekitar lokasi penelitian ditemui beberapa kapal milik nelayan yang melintas atau melakukan aktivitas penangkapan. Kondisi perairan di lokasi penelitian cenderung tenang dengan warna coklat kehitaman. Adapun vegetasi mangrove yang banyak dijumpai di kawasan ini yaitu *Avicennia* dan *Sonneratia*. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Lokasi Penelitian

4.3 Kandungan Logam Berat Cu pada Air, Akar dan Daun Mangrove *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba*

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kandungan logam berat Cu pada air, akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* di Muara Sungai Porong, Dusun Tlocor, Desa Kedung Pandan, Kecamatan Jabon,

Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Adapun hasil pengukuran kandungan logam berat Cu pada air, akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* di Muara Sungai Porong Sidoarjo dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Logam berat Cu pada air, akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba*

Ulangan	Konsentrasi Cu (ppm)				
	Air	<i>Sonneratia caseolaris</i>		<i>Avicennia alba</i>	
		Akar	Daun	Akar	Daun
1	0.335	0.614	0.213	0.480	0.125
2	0.372	0.639	0.228	0.515	0.136
3	0.389	0.666	0.244	0.541	0.144
Rata-rata	±0.365	±0.640	±0.228	±0.512	±0.135

4.3.1 Kandungan Logam Berat Cu di Perairan

Kandungan logam berat di perairan sangat tergantung pada keadaan perairan tersebut. Semakin banyak aktivitas manusia baik di darat maupun di perairan akan mempengaruhi banyaknya kandungan logam berat dalam perairan (Amin *et al.*, 2013). Keberadaan logam Cu di perairan ditemukan dalam bentuk ion yaitu Cu^{2+} dan bentuk ikatan yaitu CuCO_3 dan $\text{Cu}(\text{OH})_2$, dimana logam Cu diserap oleh akar tumbuhan dalam bentuk Cu^{2+} . Bentuk-bentuk logam Cu di perairan dipengaruhi oleh pH. Bentuk Cu^{2+} kebanyakan terdapat pada kisaran pH < 7, bentuk CuCO_3 kebanyakan terdapat pada kisaran pH 7-9 dan bentuk $\text{Cu}(\text{OH})_2$ kebanyakan terdapat pada kisaran pH > 9 (Lahuddin, 2007 dalam Ruhaibah, 2011).

Hasil pengukuran kandungan logam berat Cu di perairan didapatkan hasil rata-rata yaitu 0.365 ppm. Sedangkan hasil perhitungan Cu^{2+} di perairan didapatkan nilai sebesar 0.283 ppm (lampiran 1). Baku mutu logam berat Cu untuk kehidupan biota air menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup

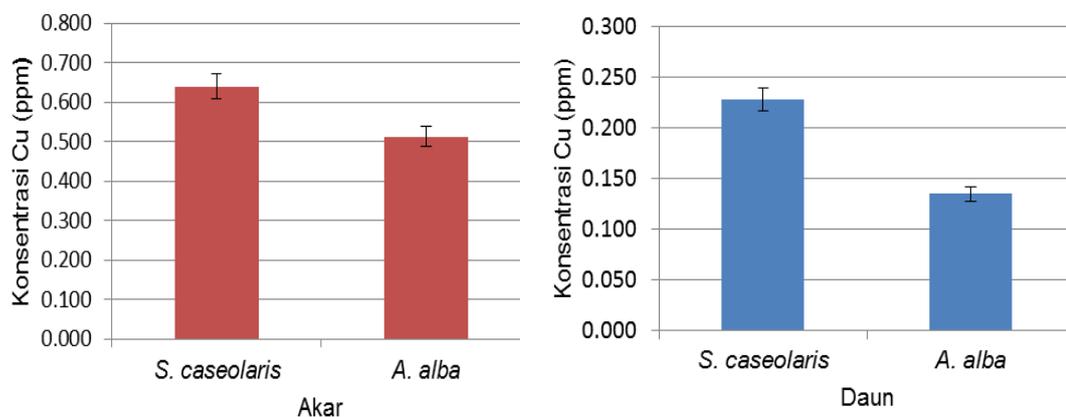
Nomor 51 Tahun 2004 adalah < 0.008 ppm. Berdasarkan hal tersebut, maka kandungan logam berat Cu di muara Sungai Porong sudah melebihi ambang batas baku muku. Tingginya logam berat Cu di perairan muara Sungai Porong dikarenakan tingginya masukan limbah ke Sungai Porong dari lumpur lapindo dan aktivitas industri.

4.3.2 Kandungan Logam Berat Cu Logam Berat Cu pada Akar dan Daun Mangrove *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba*

Pada penelitian didapatkan hasil rata-rata kandungan logam Cu Pada akar *Sonneratia caseolaris* 0.640 ppm sedangkan *Avicennia alba* 0,512 ppm. Pada daun *Sonneratia caseolaris* didapatkan nilai rata-rata kandungan logam Cu yaitu 0,228 ppm sedangkan *Avicennia alba* yaitu 0,135 ppm. Menurut Alloway (1995) dalam Erfandi dan Juarsah (2013), batas kritis logam berat Cu pada tumbuhan adalah sebesar 20-100 ppm. Maka dapat dikatakan bahwa logam berat Cu belum melebihi batas kritis pada tumbuhan mangrove *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* di muara Sungai Porong.

Menurut Siswanto (2010), kadar logam berat dalam tumbuhan dipengaruhi oleh jangka waktu tumbuhan kontak dengan logam serta lingkungan. Dimana menurut Widiarso (2011), nilai akumulasi logam berat akan meningkat seiring dengan lama waktu pemaparan. Dengan terjadinya akumulasi di dalam tubuh tumbuhan maka akan dapat menyebabkan konsentrasi logam berat dalam tubuh tumbuhan tersebut akan lebih tinggi daripada sumbernya (Safitri, 2015). Selain itu menurut Darmono (1995), ada beberapa faktor yang mempengaruhi kadar logam dalam tumbuhan antara lain morfologi dan fisiologi tumbuhan, jenis tumbuhan, lamanya paparan logam pada tumbuhan, kadar logam dalam air dan tanah dan umur tumbuhan.

Berdasarkan hasil analisa data tentang kandungan logam berat Cu pada akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* dengan menggunakan uji t menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kandungan logam berat Cu pada akar *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* (lampiran 2), dan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kandungan logam berat Cu pada akar daun *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* (lampiran 3). Perbedaan kandungan logam Cu tersebut dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Kandungan Logam Berat Cu pada Akar dan Daun Mangrove *Sonneratia Caseolaris* dan *Avicennia Alba* di Muara Sungai Porong

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa kandungan logam berat Cu pada akar *Sonneratia caseolaris* lebih tinggi dibandingkan pada akar *Avicennia alba*. Hal ini disebabkan adanya perbedaan morfologi dari kedua tumbuhan mangrove tersebut. Akar *Sonneratia caseolaris* berbentuk memiliki akar nafas yang lebih panjang dari pada akar nafas *Avicennia alba* yang lebih pendek. Selain itu ditambahkan menurut Zakiyyah (2013) bahwa sistem perakaran cakar ayam yang ada pada *Sonneratia caseolaris* memiliki bentuk yang silinder, dan panjang serta memiliki bulu akar yang banyak dan menyebar. Sedangkan sistem perakaran cakar ayam yang ada pada spesies *Avicennia alba* memiliki bentuk silinder dan memiliki bulu akar banyak namun tidak menyebar. Sehingga dengan adaptasi perakaran yang demikian menguntungkan *Sonneratia caseolaris* dalam

mengambil air maupun unsur hara dalam tanah. Selain itu, kandungan logam berat Cu pada daun *Sonneratia caseolaris* lebih tinggi dibandingkan pada daun *Avicennia alba*. Hal ini karena *Sonneratia caseolaris* memiliki daun yang lebih tebal dan lebih lebar dari pada *Avicennia alba*. Jenis tumbuhan yang mempunyai kemampuan menyerap zat pencemar lebih besar adalah tumbuhan yang memiliki daun yang tebal dan ukurannya lebih lebar (Flanagan *et al.*, 1980 dalam Ningsih, 2011).

Menurut Khairuddin (2016), tumbuhan memiliki upaya penanggulangan materi toksik dengan melemahkan efek racun melalui pengenceran (dilusi) yaitu dengan menyimpan banyak air untuk mengencerkan konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuhnya. Pengenceran dengan penyimpanan logam berat dalam jaringan biasanya terjadi pada daun dan diikuti dengan terjadinya penebalan daun (sukulensi).

Luas permukaan daun berpengaruh secara tidak langsung terhadap konsentrasi logam berat pada daun. Sebagaimana semakin luas permukaan daun maka semakin besar transpirasi (Lubis, 2000 dalam Hidayana, 2007). Pernyataan tersebut juga didukung oleh Loveless (1991) dalam Papuangan *et al.* (2014) bahwa daun yang luas memiliki jumlah stomata yang banyak. Dimana jumlah stomata berpengaruh terhadap transpirasi. Semakin banyak stomata mengakibatkan semakin tinggi pula laju transpirasi. Menurut Nurwahyuni *et al.* (2016), transpirasi mempunyai keterkaitan terhadap transport air dan unsur hara, karena pada proses transpirasi dapat menyebabkan adanya penarikan air bersama dengan unsur hara dari akar menuju ke daun. Dengan adanya transpirasi membantu tumbuhan dalam proses penyerapan dan transportasi air dan unsur hara di dalam tumbuhan. Sehingga semakin luas daerah permukaan daun maka semakin besar pula kemampuan penyerapan air dan unsur hara termasuk logam Cu.

Sebagian besar unsur hara dibutuhkan tumbuhan, diserap dari larutan tanah melalui akar, kecuali karbon dan oksigen yang diserap dari udara oleh daun. Penyerapan unsur hara secara umum lebih lambat dibandingkan dengan penyerapan air oleh akar tumbuhan. Logam berat dapat memasuki akar tumbuhan dengan bergerak di antara sel-sel epidermis dan korteks melalui dinding sel selanjutnya memasuki sel endodermis untuk sampai ke xilem kemudian mengikuti aliran transpirasi menuju ke batang dan daun (Suseno, 1993). Demikian pula menurut Lakitan (2004), ion-ion logam berat akan masuk melalui akar tumbuhan secara radial. Mekanisme masuknya ion logam berat secara radial, mula-mula ion logam berat yang terlarut bersama air menembus epidermis akar. Setelah itu, ion logam berat bersama air akan masuk ke dalam jaringan korteks dan selanjutnya akan menuju ke jaringan xilem..

Menurut Fitter dan Hay (1991) dalam Zakiyyah (2013), terdapat dua cara penyerapan ion ke dalam akar tanaman:

1. Aliran massa, ion dalam air bergerak menuju akar gradient potensial yang disebabkan oleh transpirasi.
2. Difusi, gradient konsentrasi dihasilkan oleh pengambilan ion pada permukaan akar.

Menurut Darmono (2001), masuknya logam berat pada tumbuhan melibatkan dua mekanisme yaitu penyerapan pasif dan penyerapan aktif. Pada tingkat selular, penyerapan pasif berawal ketika logam berat berinteraksi dengan dinding sel. Dinding sel mengandung enzim ekstraselular yang berfungsi dalam penyerapan unsur-unsur yang dibutuhkan sel. Pada penyerapan aktif, logam berat tersebut ditransportasikan melalui membran sel menuju sitoplasma. Proses masuknya logam berat melintasi membran sel dapat terjadi kalau logam berat tersebut bersifat lipofilik (mudah larut dalam lipid atau lemak). Lapisan membran sel terbentuk dari dua lapisan lipid (*lipid bilayer*). Logam berat yang bersifat

lipofilik tersebut akan larut dalam lipid dan berikatan dengan protein sel. Membran sel bersifat impermeabel terhadap ion logam seperti natrium (Na^+), kalium (K^+), tembaga (Cu), seng (Zn), dan kadmium (Cd). Untuk dapat melintasi membran sel, ion logam berat mendapat bantuan suatu enzim di dalam membran sel yang disebut permease. Enzim Permease adalah suatu protein membran sel yang berikatan dengan ion logam berat sehingga ion logam tersebut dapat melintasi lapisan membran sel.

Menurut Leyval *et al.* (2002), logam berat masuk ke tanaman melalui sel akar dengan cara difusi aktif atau melalui transporter non-spesifik jika konsentrasinya tinggi. Pada konsentrasi ini, logam berat mengganggu aktivitas kerja enzim dengan memodifikasi struktur protein atau mengganti elemen penting yang mengakibatkan gejala defisiensi. Plasma membran sangat rentan terhadap toksisitas logam berat ketika permeabilitas dan fungsi dipengaruhi oleh perubahan protein membran intrinsik. Selain itu, produksi jenis oksigen reaktif menyebabkan kerusakan oksidatif jaringan tanaman yang terjadi akibat respon tingginya tingkat logam berat. Sebagai konsekuensinya, terjadi gejala menyerupai klorosis, pertumbuhan yang lambat, akar kecokelatan yang menurunkan efektivitas, berpengaruh terhadap fotosistem, gangguan terhadap siklus sel, dan lain sebagainya. Tanaman biasanya melakukan mekanisme umum dalam mempertahankan homeostasis di bawah konsentrasi ion logam berat yang tinggi.

Menurut Nopiani (2011), mekanisme penyerapan logam berat dengan pembentukan suatu zat khelat disebut fitosiderofor. Molekul fitosiderofor yang terbentuk akan mengikat (mengkhelat) besi dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transport aktif. Fitosiderofor dapat mengikat logam seperti seng, tembaga, besi dan mangan. Menurut MacFarlane *et al.* (2003), penyerapan logam berat pada tumbuhan dari akar akan ditranslokasikan ke jaringan lainnya

seperti batang dan daun serta membentuk kompleks dengan zat yang lain seperti fitokelatin. Logam berat pada tumbuhan diikat oleh fitokelatin yang tersusun dari beberapa asam amino seperti sistein dan glisin. Fitokelatin berfungsi membentuk kompleks dengan logam berat dalam tumbuhan dan berfungsi sebagai detoksifikasi terhadap tumbuhan dari logam berat. Jika tumbuhan tidak bisa mensintesis fitokelatin maka dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan dan berujung kematian.

Menurut Dwidjoseputro (1978), unsur hara yang telah sampai di daun sebagian digunakan untuk membuat persenyawaan-persenyawaan organik dan sebagian yang lain meninggalkan daun dan kembali ke batang melalui floem. Hal ini dapat diselidiki dengan analisa kimia dari jaringan-jaringan daun dan batang menjelang gugurnya daun. Unsur- unsur yang *mobile* seperti nitrogen (N), kalium (K), posfor (P), belerang (S), magnesium (Mg) dan klor (Cl) dapat pindah dari daun-daun yang sudah tua ke daun-daun yang masih muda. Sedangkan unsur-unsur yang *immobile* seperti Ca, Bo, Fe, Mn dan Cu tidak dapat pindah sehingga ikut gugur bersama daun-daun yang kering.

Menurut Nurhidaya (2016), faktor-faktor yang menyebabkan air dan mineral yang terlarut dapat naik dari akar ke daun dapat berlangsung antara lain:

1. Tekanan akar. Bulu-bulu akar selalu menghisap air dari dalam tanah. Jumlah air yang dihisap semakin banyak menekan air yang terdapat di atasnya, sehingga air dalam xylem batang terangkat ke atas.
2. Daya isap daun. Daun setiap saat mengadakan transpirasi. Akibatnya, banyak air yang hilang dan daun mengalami kekurangan air, sehingga mengambil air di bawahnya dan mengakibatkan air naik ke daun.
3. Daya Kapilaritas. Berkas pembuluh angkut atau xylem merupakan kumpulan dari pembuluh kayu yang kecil-kecil. Pembuluh ini memiliki daya kapilaritas yang besar. Adanya daya kapilaritas menyebabkan air mampu naik ke atas.

Pada gambar 5, juga menunjukkan bahwa kandungan logam Cu dari kedua spesies *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* pada akar lebih tinggi dibandingkan pada daun. Hal ini dikarenakan organ akar berhubungan langsung dengan tanah atau tempat tersedianya unsur hara yang dibutuhkan tumbuhan. Menurut Tjitrosoepomo (2003), akar bagi tumbuhan mempunyai tugas untuk memperkuat berdirinya tumbuhan, terkadang sebagai tempat untuk penimbunan makanan, menyerap air dan zat-zat makanan ke tempat-tempat pada tubuh tumbuhan yang memerlukan. Fungsi penyerapan inilah yang menyebabkan akar dapat mengakumulasi logam Cu lebih tinggi. Pernyataan tersebut didukung oleh Syarifah (2013) bahwa tumbuhan mangrove paling banyak menyerap logam berat Cu pada akar dibandingkan bagian tumbuhan mangrove yang lain seperti batang, daun dan buah. Hal ini disebabkan karena akar berinteraksi secara langsung dengan media hidupnya yang terdapat logam berat sehingga sangat memungkinkan baginya untuk mengakumulasi logam berat dengan konsentrasi yang tinggi. Sedangkan fungsi daun menurut Savitri (2008) yaitu sebagai alat untuk pengolahan zat-zat makanan, penguapan air dan pernafasan.

Heriyanto (2011) mengungkapkan bahwa pada umumnya akumulasi logam Cu berada pada bagian akar dan daun. Pada proses penyerapan logam berat dari akar ke daun terjadi beberapa mekanisme yang dilakukan oleh tumbuhan, diantaranya penanggulangan materi toksik ameliorasi yang berupa lokalisasi, dilusi dan ekresi, serta suatu mekanisme penanggulangan materi toksik toleransi sehingga dalam pergerakannya logam berat yang diserap mengalami penurunan, hal ini dapat dilihat dari kadar logam berat yang tinggi dalam akar akan terus berkurang ketika bergerak menuju daun, sehingga kandungan logam berat di daun juga menurun.

Beberapa jenis tumbuhan dapat tumbuh pada tanah yang mengandung tingkat ion toksin yang dapat mematikan untuk spesies lain. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa tumbuhan *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* termasuk dalam tumbuhan yang dapat tumbuh pada lingkungan toksik yang tumbuhan lain tidak dapat hidup di lingkungan tersebut. Hal ini dapat dilihat dari kemampuan kedua tumbuhan tersebut dalam mengakumulasi logam berat Cu.

4.4 Kualitas Air

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran terhadap parameter kualitas air diantaranya suhu, pH dan salinitas. Data hasil pengukuran kualitas air dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Kualitas Air

Paramater	Ulangan		
	1	2	3
Suhu (°C)	29	30	30
pH	8,2	8,2	8,2
Salinitas (ppt)	9	9	9

4.4.1 Suhu

Suhu merupakan faktor fisika yang menunjukkan panas dan dinginnya suatu perairan. Nilai suhu yang diperoleh berdasarkan pengukuran di muara Sungai Porong, Sidoarjo yaitu 29-30°C. Tingginya nilai suhu yang didapat di lokasi penelitian dipengaruhi oleh waktu pengambilan sampel yang dilakukan pada siang hari. Hal ini sesuai dengan pernyataan Apriadi (2005), suhu air terutama di lapisan permukaan ditentukan oleh pemanasan sinar matahari yang intensitasnya dapat berubah setiap waktu, oleh karena itu suhu air sungai akan sebanding dengan perubahan intensitas penyinaran matahari. Kisaran suhu normal air permukaan di Perairan Indonesia yaitu berada pada 28-31°C.

Pernyataan tersebut didukung oleh Setyawan (2002) *dalam* Usman (2014) bahwa tumbuhan mangrove dapat hidup optimal pada kisaran suhu 28-30°C. Sehingga dapat dikatakan bahwa suhu perairan di lokasi penelitian masih baik untuk mendukung kehidupan mangrove.

Menurut Kadir (2013), suhu perairan mempengaruhi proses kelarutan logam berat di perairan, semakin tinggi suhu perairan maka kelarutan logam berat akan semakin tinggi. Sebagaimana pada suhu tinggi terjadi penguapan sehingga logam berat terkonsentrasi di perairan. Selain itu, suhu dapat mempengaruhi metabolisme sehingga dapat dikatakan bahwa semakin tinggi suhu maka penyerapan logam berat pada tumbuhan juga semakin tinggi.

4.4.2 pH

pH merupakan indikator untuk mengukur besarnya konsentrasi ion hidrogen yang terdapat dalam perairan. Nilai pH juga menunjukkan kondisi asam atau basa dari suatu perairan. Nilai pH yang diperoleh berdasarkan pengukuran di muara Sungai Porong, Sidoarjo yaitu 8,2. Menurut Widiastuti (1999) *dalam* Mardi (2014) kisaran pH air antara 6 hingga 8,5 sangat cocok untuk pertumbuhan mangrove. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa pH di lokasi penelitian termasuk baik untuk mendukung kehidupan mangrove.

Menurut Selayar *et al.* (2015), semakin kecil nilai pH maka semakin besar konsentrasi senyawa-senyawa bersifat asam, sedangkan peningkatan pH perairan ditandai dengan bergesernya kestabilan dari karbona ke hidroksida (basa) sehingga perubahan pH akan mempengaruhi kelarutan dari logam Cu di perairan. Peningkatan pH perairan biasanya akan diikuti dengan semakin kecilnya kelarutan dari logam Cu, sebaliknya penurunan pH akan diikuti dengan peningkatan kelarutan logam Cu di perairan sehingga menyebabkan logam Cu bertransformasi menjadi toksik lebih tinggi. Hal ini didukung oleh Lahuddin (2007)

dalam Ruhaibah (2011) Cu dalam bentuk CuCO_3 kebanyakan terdapat pada kisaran pH 7-9 dan bentuk Cu(OH)_2 kebanyakan terdapat pada kisaran pH > 9. Sebagaimana CuCO_3 memiliki nilai Ksp 1.3×10^{-10} sedangkan Cu(OH)_2 memiliki nilai Ksp 2×10^{-19} . Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa nilai Ksp CuCO_3 lebih besar dari Cu(OH)_2 sehingga kelarutan CuCO_3 lebih besar dari Cu(OH)_2 .

4.4.3 Salinitas

Nilai salinitas yang diperoleh berdasarkan pengukuran di muara Sungai Porong, Sidoarjo yaitu 9 ppt. Nilai salinitas yang didapat cenderung rendah dikarenakan masukan air tawar di lokasi penelitian tersebut lebih tinggi dibandingkan masukan air laut. Hal ini sesuai dengan pernyataan Deri *et al.* (2013), bahwa tinggi rendahnya nilai salinitas pada daerah pesisir sangat dipengaruhi oleh masukan air tawar dari sungai dan masukan air laut dari laut. Mangrove dapat hidup di daerah payau dengan kadar garam atau salinitas antara 0,5 ppt dan 30 ppt (Kolinug *et al.*, 2014). Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa salinitas perairan di lokasi penelitian masih baik untuk mendukung kehidupan mangrove.

Menurut Selayar *et al.* (2015) salinitas dapat mempengaruhi keberadaan konsentrasi logam berat yang ada di perairan. Pada perairan dengan salinitas tinggi, maka kelarutan dan toksisitas logam berat di perairan semakin kecil. Sebaliknya pada perairan dengan salinitas rendah menyebabkan peningkatan kelarutan dan toksisitas logam berat. Hal ini karena diketahui bahwa pada perairan yang bersalinitas tinggi biasanya diikuti dengan peningkatan pH, sebaliknya pada perairan bersalinitas rendah maka pH juga rendah. Sebagaimana peningkatan pH perairan diikuti dengan semakin kecilnya

kelarutan dari logam Cu, sebaliknya penurunan pH akan diikuti dengan peningkatan kelarutan logam Cu diperairan.

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

Pada umumnya, tumbuhan mempunyai kemampuan menyerap dan mengakumulasi logam berat yang ada di lingkungan. Untuk mengetahui kemampuan tumbuhan mangrove dalam menyerap logam berat dapat dilakukan dengan cara menghitung nilai dari Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF) dan Fitoremediasi (FTD). Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF), Faktor Translokasi (TF) dan Fitoremediasi (FTD)

Ulangan	<i>S. caseolaris</i>			<i>A. alba</i>		
	BCF	TF	FTD	BCF	TF	FTD
1	2.170	0.347	1.823	1.696	0.260	1.436
2	2.258	0.357	1.901	1.820	0.264	1.556
3	2.353	0.366	1.987	1.912	0.266	1.645
Rata-rata	±2.260	±0.357	±1.904	±1.809	±0.263	±1.546

Berdasarkan data pada tabel 4, didapatkan nilai rata-rata BCF *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* adalah 2.260 dan 1.809. Hal ini menunjukkan bahwa *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* mempunyai kemampuan menyerap dan mengakumulasi logam berat yang ada di ekosistem habitatnya. Dimana *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* tergolong akumulator tinggi. Hal ini sesuai dengan menurut Malayeri *et al.* (2008) bahwa nilai BCF 1-10 menunjukkan tumbuhan tergolong akumulator tinggi, 0,1-1 menunjukkan tumbuhan tergolong akumulator sedang, 0,01-0,1 menunjukkan tumbuhan tergolong akumulator rendah dan <0,01 menunjukkan tumbuhan tergolong non akumulator.

Selain faktor biokonsentrasi, perhitungan nilai Faktor Translokasi (TF) juga dilakukan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan untuk mentranslokasi logam berat dari akar ke seluruh bagian tumbuhan. Berdasarkan data yang ada pada tabel 4, menunjukkan bahwa nilai rata-rata TF *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* adalah 0.357 dan 0.263. Menurut Kaewtubetim *et al.* (2015), nilai $TF < 1$ menunjukkan bahwa translokasi logam berat dari akar ke daun rendah. Jenis tumbuhan yang berbeda tentunya memiliki fisiologi yang berbeda pula, hal ini mengakibatkan kemampuan translokasi yang dilakukan juga berbeda. Menurut Susana dan Suswati (2013), nilai nilai $TF < 1$ mengindikasikan bahwa logam berat Cu tertahan pada jaringan akar dan hanya sedikit yang ditransfer ke bagian lainnya. Logam berat dipindahkan dari akar menuju daun melalui jalur transportasi tumbuhan (xylem), tetapi tingkat transportasi berbeda pula tiap unsur dan tiap tumbuhan. Tumbuhan yang mengakumulasi logam berat Cu pada akar lebih besar dari yang ditransfer ke daun menunjukkan bahwa tumbuhan tersebut dapat mengenali Cu sebagai unsur toksik.

Fitoremediasi dapat digunakan untuk mengurangi kandungan logam berat di lingkungan dengan menggunakan tumbuhan sebagai sarannya. Pada tabel 4, menunjukkan nilai rata-rata FTD pada *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* adalah 1.904 dan 1.546. Menurut Yoon *et al.* (2006) bahwa kriteria fitoremediator yang baik adalah tumbuhan yang memiliki nilai BCF lebih tinggi tetapi nilai TFnya rendah. Demikian juga menurut Puspita *et al.* (2013), fitoremediasi (FTD) akan maksimal jika faktor biokonsentrasi (BCF) lebih tinggi dan faktor translokasi rendah (TF). Nilai fitoremediasi (FTD) yang tinggi menunjukkan kemampuan tumbuhan mangrove untuk mengurangi pergerakan polutan di dalam perairan dan tanah karena efektivitas akumulasi logam terjadi pada akar. Proses ini mampu mengubah kondisi lingkungan tercemar berat menjadi sedang bahkan ringan. Selain itu juga dapat mengurangi pergerakan logam di dalam tumbuhan

dan mengurangi logam masuk ke dalam sistem rantai makanan. Sehingga dapat dikatakan bahwa tumbuhan mangrove *Sonneratia caseolaris* dan *Avicennia alba* adalah fitoremediator yang baik.