

**HUBUNGAN AKUMULASI TEMBAGA (Cu) PADA SEDIMEN, AKAR DAN
DAUN LAMUN *Enhalus acoroides* DI PERAIRAN LAMONGAN, JAWA TIMUR**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

Oleh:

RULI HIKMA SAFITRI

125080601111036



PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2016

**HUBUNGAN AKUMULASI TEMBAGA (Cu) PADA SEDIMEN, AKAR DAN
DAUN LAMUN *Enhalus acoroides* DI PERAIRAN LAMONGAN, JAWA TIMUR**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

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

Universitas Brawijaya

Oleh:

RULI HIKMA SAFITRI

125080601111036



PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN

HUBUNGAN AKUMULASI TEMBAGA (Cu) PADA SEDIMEN, AKAR DAN DAUN LAMUN *Enhalus acoroides* DI PERAIRAN LAMONGAN, JAWA TIMUR

Oleh:

RULI HIKMA SAFITRI

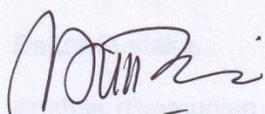
125080601111036

Telah dipertahankan di depan penguji

Pada tanggal 22 Juni 2016

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Penguji I



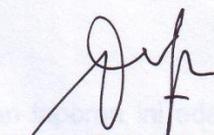
(Nurin Hidayati, ST., M.Sc)

NIP. 19781102 200502 2 001

Tanggal : 14 JUL 2016

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

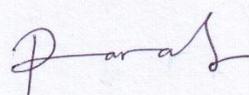


(Defri Yona, S.Pi., M.Sc. Stud., D.Sc)

NIP. 19781229 200312 2 002

Tanggal : 14 JUL 2016

Dosen Penguji II

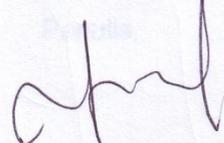


(Rarasrum Dyah K. S.Kel., M.Si., M.Sc)

NIK. 2013048 60915 2 002

Tanggal : 14 JUL 2016

Dosen Pembimbing II



(Syarifah Hikmah J S, S.Pi., M.Sc)

NIP. 19840720 201404 2 001

Tanggal : 14 JUL 2016

**Mengetahui,
Ketua Jurusan**



(Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP)

NIP. 19630608 198703 1 003

Tanggal : 14 JUL 2016



PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Ruli Hikma Safitri

NIM : 125080601111036

Program Studi : Ilmu Kelautan

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenar benarnya bahwa dalam Skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri yang dibimbing oleh dosen pembimbing di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya yang pernah ditulis, pendapat, atau dibentuk orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan ini adalah hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 2016

Penulis,

Ruli Hikma Safitri
NIM. 125080601111036

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, karena Ridho dan RahmatNya sehingga saya bisa melaksanakan penelitian dan menyelesaikan laporan tugas akhir (Skripsi) dengan lancar dan tepat waktu.
2. Ibu dan Bapak (Kistiah dan Darmanto), Nenek (Wakiran & Kamsirah), adik-adik saya (Lisa dan Ichsan) serta kakak (Kariyani) yang telah memberikan doa, dukungan, memberikan semangat dan menjadi motivasi dalam pelaksanaan dan penyusunan tugas akhir saya.
3. Ibu Defri Yona, S.Pi., M.Sc.Stud., D.Sc selaku dosen pembimbing I dan Ibu Syarifah Hikmah J. S, S.Pi., M.Sc selaku pembimbing II yang memberikan masukan, pengarahan, dan bimbingan selama proses pelaksanaan hingga penyusunan tugas akhir.
4. Ibu Nurin Hidayati, ST., M.Sc selaku dosen penguji I dan Ibu Rarasrum Dyah K., S.Kel, M.Sc, M.Si selaku dosen penguji II yang memberikan masukan, saran serta koreksi dalam ujian tugas akhir.
5. Hanafi, Desi, Aris, Sigit, Rifki sebagai tim penelitian Lamongan, tim sampling serta tim pengembira dalam pelaksanaan tugas akhir.
6. Yullita, Titik, Nuril, Wilda, Uswah, teman-teman kos sebagai tim penyemangat dan tim pembantu.
7. Teman-teman seperbimbingan dan teman-teman Ilmu Kelautan UB 2012 yang senantiasa memberikan bantuan, dukungan dan semangat selama pelaksanaan dan penyusunan tugas akhir.

Malang, 2 Juni 2016

Penulis

RINGKASAN

RULI HIKMA SAFITRI. Hubungan Akumulasi Tembaga (Cu) pada Sedimen, Akar dan Daun Lamun *Enhalus Acoroides* di Perairan Lamongan, Jawa Timur. (dibawah bimbingan **Defri Yona, S.Pi., M.Sc.Stud., D.Sc** dan **Syarifah Hikmah J S, S.Pi., M.Sc**).

Kabupaten Lamongan memiliki wilayah pesisir cukup luas dan terdapat beberapa kegiatan seperti perikanan tangkap, pelabuhan, perkapalan, pariwisata maupun pemukiman penduduk. Banyaknya aktivitas tersebut, menyebabkan pemasukan polutan logam berat ke perairan semakin bertambah termasuk tembaga (Cu). Perairan pesisir Lamongan ditumbuhi lamun *Enhalus acoroides* yang tumbuh monospesifik, menyebar dan masih memiliki kerapatan relatif tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi Cu dalam kolom air, sedimen, akar dan daun lamun *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan. Hubungan konsentrasi Cu di perairan dan di bagian *Enhalus acoroides* dianalisis untuk mengetahui hubungan antar bagian lamun dengan perairan yang terpapar tembaga (Cu). Selain itu, kemampuan lamun *Enhalus acoroides* dalam mengakumulasi dan translokasi Cu yang ada di stasiun pengamatan juga dianalisis untuk mengetahui lamun *Enhalus acoroides* dapat dijadikan sebagai akumulator logam berat di perairan Lamongan.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari hingga Mei 2016. Pengambilan sampel di lapang dilaksanakan pada bulan Maret 2016 di perairan Lamongan yang ditumbuhi lamun *Enhalus acoroides*. Sampel air, sedimen, akar dan daun lamun diambil dari 4 stasiun yang berbeda, yaitu (1) industri perkapalan PPI Brondong, (2) pemukiman warga Desa Tunggul (3) perairan Desa Kemantren dan (4) perairan pasar ikan Kranji. Analisis statistik yang digunakan adalah pengukuran BCF, TF dan korelasi *pearson* antara konsentrasi Cu pada sedimen, akar dan daun lamun *Enhalus acoroides*. Hasil pengukuran Cu pada air, sedimen, akar dan daun lamun menunjukkan nilai yang bervariasi. Konsentrasi Cu pada air laut adalah tt (tidak terdeteksi) karena MDL alat cukup tinggi yaitu <0,0209 ppm. Konsentrasi Cu pada sedimen, akar dan daun secara berturut-turut 0,212–0,301 ppm; 0,1–0,355 ppm; dan 0,199–0,431 ppm. Variasi nilai konsentrasi pada sedimen, akar dan daun lamun tersebut disebabkan pengaruh sumber Cu, sifat fisiologis lamun dan kondisi lingkungan yang berbeda-beda pada setiap stasiun. Berdasarkan nilai BCF akar (<1), dapat disimpulkan bahwa lamun *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan bersifat excluder terhadap Cu dan bersifat fitoekstraksi berdasarkan nilai TF (>1). Terdapat korelasi positif kuat yang signifikan antara konsentrasi logam berat Cu pada sedimen dan akar, namun tidak ada korelasi nyata antara konsentrasi Cu pada daun dengan sedimen dan akar lamun.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Yang Maha Esa atas limpahan Rahmat serta Hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyusun tugas akhir (Skripsi) ini yang membahas tentang akumulasi logam berat pada air, sedimen dan organ lamun *Enhalus acoroides*. Tugas akhir ini berjudul "*Hubungan Akumulasi Tembaga (Cu) pada Sedimen, akar dan daun Lamun Enhalus Acoroides di Perairan Lamongan, Jawa Timur*".

Tugas akhir ini disusun bertujuan untuk memenuhi persyaratan tugas akhir. Kemudian saya ucapkan terimakasih kepada Ibu Defri Yona, S.Pi., M.Sc., D.Sc dan Ibu Syarifah Hikmah J S, S.Pi., M.Sc yang telah membimbing, memberikan saran dan ide dalam penyusunan laporan tugas akhir ini sehingga saya dapat menyelesaikannya dengan tepat waktu.

Saya menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak saya harapkan untuk kelanjutan penulisan yang akan datang. Harapan saya semoga bermanfaat, menambah wawasan dan informasi bagi semua.

Malang, Juni 2016

Ruli Hikma Safitri

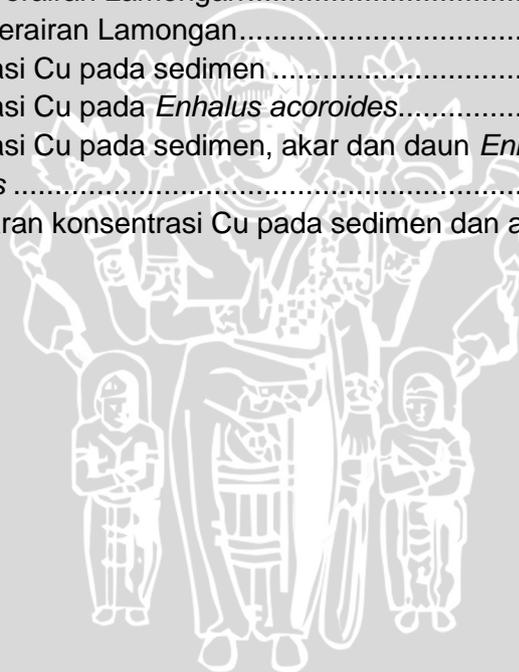
DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kabupaten Lamongan	6
2.2 Lamun	7
2.2.1 Ekologi Lamun	7
2.2.2 Fungsi Lamun	8
2.2.3 Lamun <i>Enhalus acoroides</i>	10
2.3 Tembaga (Cu)	11
2.4 Logam Berat pada Lamun	13
2.5 Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Lamun	14
2.6 Logam Berat pada Sedimen	15
2.7 Keterkaitan Logam Berat pada Lamun dan Lingkungan	16
2.8 Biokonsentrasi	17
2.9 Translokasi	17
3. METODE PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Prosedur Penelitian	20
3.4 Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel	21
3.5 Pengambilan Data Lapang	22
3.5.1 Pengukuran Parameter Lingkungan	22
3.5.2 Pengambilan Sampel Logam Berat	23

3.6 Analisis Laboratorium	24
3.6.1 Pengukuran Cu pada Air Laut	24
3.6.2 Pengukuran Cu pada Sedimen	25
3.6.3 Pengukuran Cu pada <i>Enhalus acoroides</i>	25
3.7 Analisis Data	26
3.7.1 Analisis Deskriptif	26
3.7.2 Perhitungan Nilai BCF dan TF Akar dan Daun	26
3.7.3 Analisis Statistik	27
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian	29
4.2 Kondisi Parameter Lingkungan Perairan Pesisir Lamongan	33
4.2.1 Suhu	34
4.2.2 Kedalaman	35
4.2.3 Salinitas	37
4.2.4 Oksigen Terlarut (DO)	39
4.2.5 pH	41
4.3 Konsentrasi Tembaga (Cu)	42
4.3.1 Tembaga (Cu) pada Air dan Sedimen di Perairan Pesisir Lamongan	42
4.3.2 Tembaga (Cu) pada Akar dan Daun Lamun <i>Enhalus acoroides</i> di Perairan Pesisir Lamongan	46
4.4 Kemampuan Akumulasi Cu pada Lamun <i>Enhalus acoroides</i> di Perairan Lamongan	51
4.4.1 <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF)	51
4.4.2 <i>Translocation Factor</i> (TF)	53
4.5 Hubungan Konsentrasi Cu pada Sedimen, Akar dan Daun <i>Enhalus acoroides</i>	55
5. PENUTUP	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	65

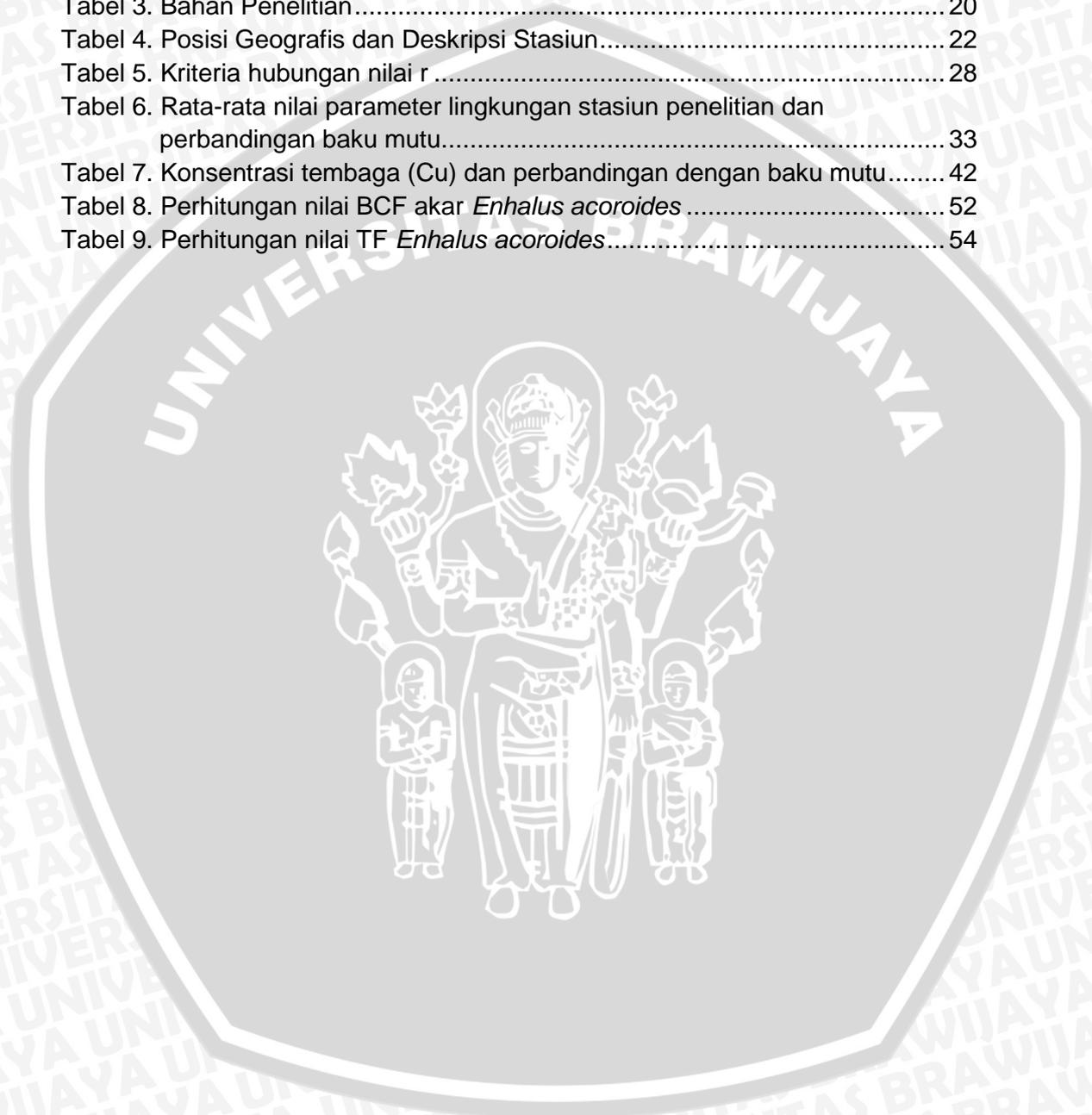
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. <i>Enhalus acoroides</i> (Seagrasswatch, 2016)	11
Gambar 2. Prosedur Penelitian	21
Gambar 3. Lokasi Pengambilan Sampel	22
Gambar 4. Bagian <i>Enhalus acoroides</i> (dokumentasi pribadi)	24
Gambar 5. <i>Enhalus acoroides</i> Perairan Pesisir Lamongan (a) Kemantren (b) Tunggul (dokumentasi pribadi)	29
Gambar 6. Lokasi Stasiun 1 (dokumentasi pribadi)	31
Gambar 7. Lokasi Stasiun 2 (dokumentasi pribadi)	31
Gambar 8. Lokasi Stasiun 3 (dokumentasi pribadi)	32
Gambar 9. Lokasi Stasiun 4 (dokumentasi pribadi)	33
Gambar 10. Nilai suhu perairan Lamongan	34
Gambar 11. Nilai kedalaman perairan pesisir Lamongan	36
Gambar 12. Nilai salinitas perairan Lamongan	38
Gambar 13. Nilai DO perairan Lamongan	39
Gambar 14. Nilai pH perairan Lamongan	41
Gambar 15. Konsentrasi Cu pada sedimen	44
Gambar 16. Konsentrasi Cu pada <i>Enhalus acoroides</i>	47
Gambar 17. Konsentrasi Cu pada sedimen, akar dan daun <i>Enhalus acoroides</i>	53
Gambar 18. Pola sebaran konsentrasi Cu pada sedimen dan akar	56



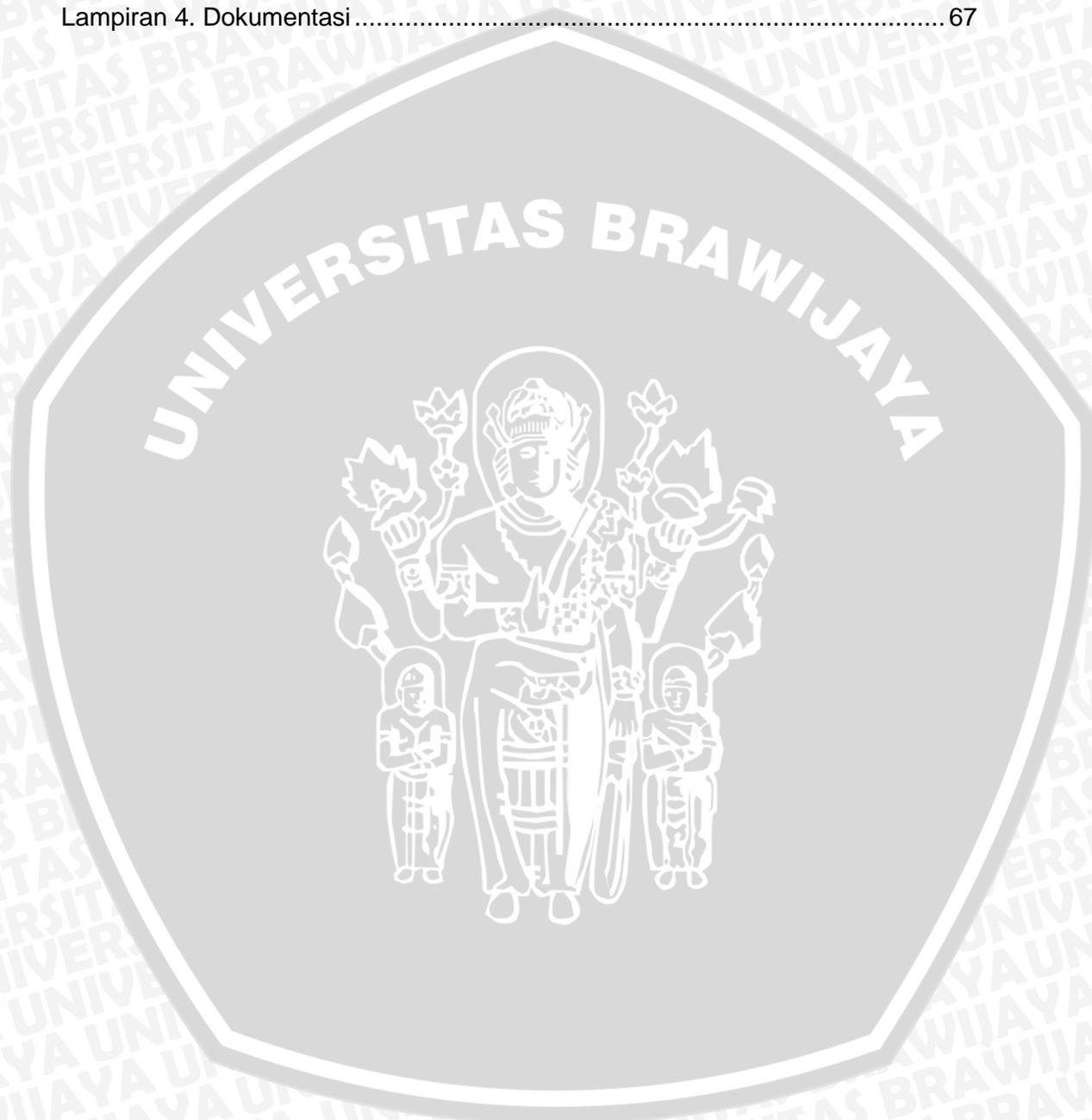
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Konsentrasi Cu pada <i>Enhalus acoides</i> dari Berbagai Hasil Penelitian .	13
Tabel 2. Alat Penelitian	19
Tabel 3. Bahan Penelitian.....	20
Tabel 4. Posisi Geografis dan Deskripsi Stasiun.....	22
Tabel 5. Kriteria hubungan nilai r	28
Tabel 6. Rata-rata nilai parameter lingkungan stasiun penelitian dan perbandingan baku mutu.....	33
Tabel 7. Konsentrasi tembaga (Cu) dan perbandingan dengan baku mutu.....	42
Tabel 8. Perhitungan nilai BCF akar <i>Enhalus acoroides</i>	52
Tabel 9. Perhitungan nilai TF <i>Enhalus acoroides</i>	54



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Hasil Pengukuran Parameter Lingkungan	65
Lampiran 2. Hasil Lengkap Pengukuran Konsentrasi Cu	65
Lampiran 3. Hasil analisis korelasi pearson	66
Lampiran 4. Dokumentasi	67



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perairan pesisir sering mengalami pencemaran logam berat seperti yang terjadi di perairan laut utara Jawa. Kabupaten Lamongan memiliki wilayah pesisir yang terletak di Kecamatan Paciran dan Kecamatan Brondong dengan kegiatan perikanan yang cukup besar. Kegiatan-kegiatan yang ada di wilayah pesisir Lamongan yaitu perikanan tangkap, pelabuhan, perkapalan, pariwisata maupun pemukiman penduduk. Pada tahun 1996-2002 telah terjadi peningkatan jumlah rumah tangga nelayan (Bappeda, 2006). Sejalan dengan peningkatan jumlah nelayan, kegiatan kapal perikanan dan industri kapal juga semakin meningkat dengan diperluasnya pelabuhan PPN Brondong. Banyaknya kegiatan tersebut menyumbangkan konsentrasi logam berat ke perairan Lamongan. Menurut Tarigan et al (2010), logam berat yang sering mencemari lingkungan perairan adalah Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Hg dan Ni dalam bentuk senyawa toksik. Logam berat yang masuk ke perairan akan menyebar terbawa arus dan semakin lama akan terakumulasi pada sedimen akibat pengendapan.

Salah satu logam berat yang berpotensi terdapat di perairan Lamongan akibat kegiatan-kegiatan tersebut adalah tembaga (Cu). Menurut Palar (1994), Cu digunakan dalam proses produksi pada industri galangan kapal untuk campuran bahan pengawet, industri kayu, buangan limbah rumah tangga dan sebagainya. Cu bersifat esensial dibutuhkan untuk pertumbuhan jaringan tumbuhan terutama pada jaringan daun dalam pembentukan klorofil pada proses fotosintesis. Selain itu, Cu juga berfungsi sebagai mikronutrien yang dibutuhkan mitokondria dan kloroplas, proses sintesis maupun metabolisme karbohidrat dan protein serta sebagai dinding sel lignin (Hamzah, 2010). Berdasarkan hasil penelitian Risandi (2014), konsentrasi Cu tertinggi yang ada di sedimen perairan

Lamongan sebesar 2,798 mg/L. Kadar Cu pada perairan Lamongan diduga berasal dari kegiatan perkapalan, industri kapal maupun limbah domestik.

Cu terdapat di perairan secara alami melalui berbagai proses alam, tetapi jumlahnya akan semakin meningkat karena kegiatan-kegiatan di pesisir yang menyumbang Cu pada perairan laut. Bertambahnya pemasukan Cu di perairan laut akan mengakibatkan peningkatan kadar Cu pada perairan dan akan bersifat toksik jika melebihi batas toleransi. Menurut Rochyatun et al (2006), peningkatan kadar logam berat pada air akan mengakibatkan logam berat yang semula dibutuhkan untuk berbagai proses metabolisme dapat berubah menjadi racun dan menimbulkan efek toksik pada biota. Lamun juga membutuhkan Cu seperti tumbuhan pada umumnya. Cu diserap dan menyebar melalui akar dan daun, tetapi jika jumlahnya berlebih Cu akan diakumulasi pada akar serta dinding sel.

Wilayah perairan pesisir Lamongan ditumbuhi lamun *Enhalus acoroides* yang tumbuh monospesifik, menyebar dan masih memiliki kerapatan relatif tinggi. Lamun jenis ini memiliki karakteristik yang lebih toleran terhadap perubahan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kemampuan *Enhalus acoroides* sebagai akumulator Cu pada air dan sedimen perairan pesisir Lamongan. Mengingat penduduk lokal tidak memanfaatkan *Enhalus acoroides* secara ekonomis dan tidak mengetahui fungsinya pada wilayah pesisir, oleh sebab itu *Enhalus acoroides* pada perairan pesisir Lamongan cenderung rusak akibat sering dilalui kapal. Dengan demikian, lamun *Enhalus acoroides* dipilih dalam penelitian ini sebagai akumulator Cu agar masyarakat mengetahui bagaimana fungsi dan pentingnya ekosistem lamun *Enhalus acoroides* pada perairan tersebut. Thangaradjou et al (2010) telah melakukan penelitian menggunakan indikator lamun *Enhalus acoroides* yang dapat mengakumulasi polutan Cu hingga 36,5 ppm yang berasal dari lingkungannya.

Lamun dianggap sebagai bio-indikator yang baik untuk logam berat diperairan laut dengan mengakumulasi logam berat dari air dan sedimen ke jaringan daun dan akar/rimpangnya. Konsentrasi logam berat pada jaringan lamun dapat mencerminkan bio-konsentrasi logam berat di sedimen dan air (Whelan III et al., 2011). Cu pada sedimen juga akan dikaji untuk mengetahui hubungannya dengan Cu pada lamun, mengingat kadar logam pada sedimen semakin lama akan mengalami peningkatan karena proses pengendapan. Oleh sebab itu, penelitian dilakukan untuk mengetahui kadar dan hubungan Cu pada air, sedimen dan *Enhalus acoroides* di perairan pesisir Lamongan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis kemampuan *Enhalus acoroides* dalam mengakumulasi Cu sehingga dapat dijadikan sebagai akumulator ataupun bio-indikator polutan Cu di Perairan pesisir Lamongan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pencemaran Cu bersamaan dengan logam berat lainnya seperti Pb, Cd dan Hg merupakan permasalahan yang serius dan banyak dihadapi wilayah pesisir Utara Jawa. Pencemaran Cu dapat berasal dari berbagai kegiatan manusia di pesisir laut. Wilayah pesisir Lamongan memiliki kegiatan perikanan, perkapalan, wisata maupun domestik yang sangat tinggi dan berpotensi mengalami pencemaran Cu. Cu yang dihasilkan kegiatan perkapalan di pelabuhan akan berdampak pada pencemaran air meliputi kualitas air, kehidupan biota dan keberlangsungan lingkungan. Salah satu upaya untuk mengetahui status pencemaran yang ada di perairan pesisir Lamongan adalah memanfaatkan lamun yang berpotensi sebagai bio-indikator pencemaran Cu. Lamun dapat menyerap Cu yang ada di perairan dan sedimen yang diakumulasi pada akar dan daun. Lamun yang ditemukan pada perairan Lamongan adalah jenis *Enhalus acoroides* yang masih memiliki kerapatan relatif tinggi yang menyebar pada perairan pesisir Lamongan pada Desa Kemantren, Tunggul dan

Brondong. Kemampuan *Enhalus acoroides* dalam mengakumulasi logam berat telah diketahui, namun kadar dan kemampuannya dalam menyerap Cu pada perairan pesisir Lamongan belum diketahui. Oleh sebab itu, penelitian ini memusatkan penggunaan lamun untuk mengetahui kadar Cu pada lamun *Enhalus acoroides* dan kemampuannya dalam mengakumulasi logam berat dari lingkungan. Berdasarkan uraian diatas rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa konsentrasi Cu dalam kolom air laut, sedimen, akar dan daun lamun *Enhalus acoroides* di perairan pesisir Lamongan?
2. Bagaimana kemampuan lamun *Enhalus acoroides* dalam mengakumulasi Cu yang ada di stasiun pengamatan sehingga dapat dijadikan akumulator Cu di perairan pesisir Lamongan?
3. Bagaimana hubungan konsentrasi Cu pada kolom air dan sedimen serta konsentrasi Cu pada lamun dan sedimen di perairan pesisir Lamongan?

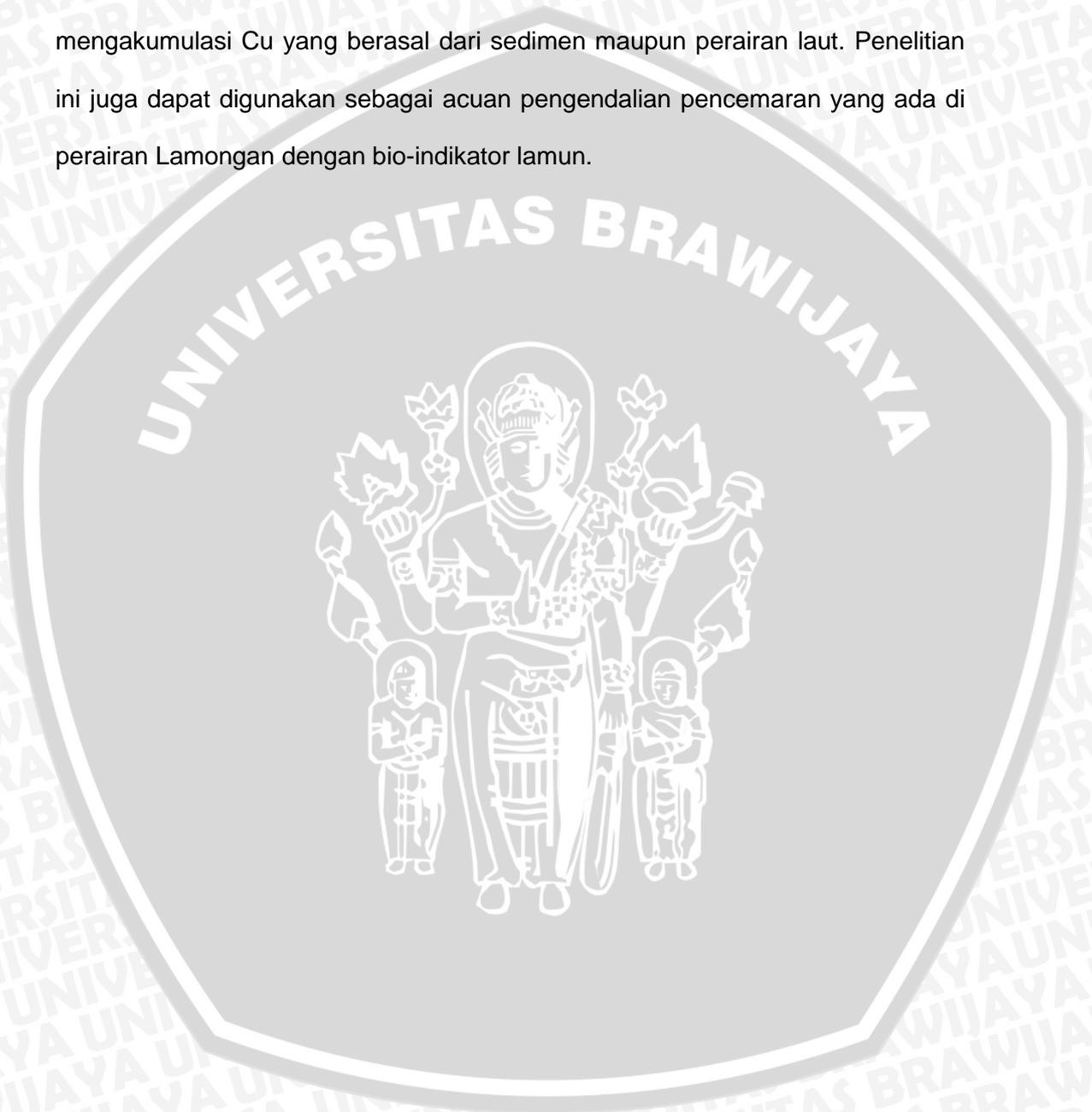
1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui konsentrasi Cu dalam kolom air laut, sedimen, akar dan daun lamun *Enhalus acoroides* di perairan pesisir Lamongan.
2. Menganalisis kemampuan lamun *Enhalus acoroides* dalam mengakumulasi dan translokasi Cu yang ada di stasiun pengamatan sehingga dapat dijadikan akumulator Cu di perairan pesisir Lamongan.
3. Menganalisis hubungan konsentrasi Cu pada kolom air dan sedimen serta konsentrasi Cu pada lamun dan sedimen di perairan pesisir Lamongan.

1.4 Manfaat

Manfaat dari hasil penelitian ini dapat memberikan informasi tentang hubungan konsentrasi Cu pada kolom air dan sedimen. Selain itu juga dapat memberikan informasi tentang kemampuan lamun *Enhalus acoroides* dalam mengakumulasi Cu yang berasal dari sedimen maupun perairan laut. Penelitian ini juga dapat digunakan sebagai acuan pengendalian pencemaran yang ada di perairan Lamongan dengan bio-indikator lamun.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kabupaten Lamongan

Bedasarkan letak geografisnya, Kabupaten Lamongan terletak di selatan Laut Jawa dengan wilayah pesisir yang cukup luas. Menurut Pemerintah Kabupaten Lamongan (2015), Kabupaten Lamongan memiliki garis pantai sepanjang 47 Km yang berada di Kecamatan Kranji dan Brondong. Batas-batas administratif wilayah Kabupaten Lamongan adalah sebagai berikut:

- a. Sebelah utara berbatasan dengan Laut Jawa
- b. Sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Gresik
- c. Sebelah selatan berbatasan dengan Kab. Jombang dan Kab. Mojokerto
- d. Sebelah barat berbatasan dengan Kab. Bojonegoro dan Kab. Tuban

Luasnya wilayah pesisir di Kabupaten Lamongan membuat pesisir Kabupaten ini berpotensi menjadi andalan perekonomian wilayah melalui pengembangan budidaya ikan dan pendapatan dalam sektor perikanan laut. Keberadaan Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong mendukung adanya potensi wilayah pesisir tersebut. Namun, karena wilayah pesisir Kabupaten Lamongan telah banyak digunakan untuk pelabuhan, pemukiman, pasar, pabrik maupun tempat wisata membuat perairan pesisir Lamongan cukup keruh dan banyak sampah yang terbuang ke perairan Laut. Kekerusuhan dan banyaknya sampah pada perairan laut ini semakin meningkat ketika musim penghujan. Sampah dari pemukiman akan terbawa aliran sungai maupun saluran air pemukiman warga menuju ke perairan laut.

Kabupaten Lamongan memiliki iklim tropis dengan musim penghujan dan musim kemarau. Curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Desember hingga bulan Maret, sedangkan pada bulan-bulan lain curah hujan relatif rendah. Rata-rata curah hujan pada Tahun 2010 hari hujan tercatat sebanyak 72 hari (Pemerintah Kabupaten Lamongan, 2015). Berdasarkan penelitian Sari et al. (2015) kondisi

hidro-oseanografi perairan Paciran Lamongan memiliki pola arus non-pasut dengan pergerakan yang cenderung tidak teratur. Pada saat surut menuju pasang kecepatan maksimum berkisar 0,2851-0,5623 m/s bergerak ke arah tenggara, dan kecepatan minimum berkisar 0,0197-0,2733 m/s bergerak ke arah tenggara. Selanjutnya pada saat pasang menuju surut kecepatan maksimum berkisar 0,0530-0,565 m/s bergerak ke arah barat laut dan kecepatan minimum 0,0067-0,0525 m/s bergerak ke arah barat laut.

2.2 Lamun

2.2.1 Ekologi Lamun

Lamun (*seagrasses*) adalah jenis tumbuhan *angiospermae* (berbunga) satu-satunya yang dapat hidup di lingkungan laut. Tumbuhan ini hidup diperairan dangkal yang masih mendapatkan penetrasi cahaya matahari untuk melakukan proses fotosintesis. Karakteristik tumbuhan lamun sama dengan rumput darat yaitu memiliki tunas daun yang tegak dan tangkai yang merambat untuk berkembangbiak dengan cara memperbanyak diri serta memiliki bunga, buah dan biji (Romimohtarto and Juwana, 2009). Selain dengan cara memperbanyak diri, lamun memiliki kemampuan khusus untuk melakukan penyerbukan melalui media air yang disebut dengan *hydrophilous pollination*.

Indonesia memiliki keragaman jenis lamun yang cukup banyak dibandingkan dengan negara tropis lainnya. Terdapat 12 jenis lamun yang telah ditemukan adalah *Syringodium isoetifolium*, *Halophila ovalis*, *Halophila spinulosa*, *Halophila minor*, *Halophila decipiens*, *Halodule pinifolia*, *Halodule uninervis*, *Thalassodendron ciliatum*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides*. Tujuh dari 12 genus yang ada merupakan lamun penghuni perairan tropis termasuk *family Hydrocharitaceae* yaitu *Enhalus*, *Thalassia*, *Halodule*, *Cymodocea* dan *Syringodium*. Lamun *Enhalus* hanya memiliki satu spesies yaitu *Enhalus acoroides* yang banyak

dijumpai pada perairan tropis dan memiliki penyebaran yang cukup luas (Kiswara and Hutomo, 1985).

Padang lamun juga dapat mengalami permasalahan-permasalahan serius yang dapat merusak. Permasalahan utama yang sering dialami padang lamun adalah kerusakan akibat adanya reklamasi pantai (pengerukan dan penimbunan), pencemaran air, penyakit, sedimentasi, kegiatan perkapalan maupun budidaya laut. Kerusakan padang lamun tidak hanya berakibat pada lamun sendiri tetapi juga akan berakibat pada lingkungan, biota asosiasi maupun biota laut lainnya. Melihat fungsi lamun sebagai pemecah gelombang setelah terumbu karang serta penangkap dan penstabil sedimen, kerusakan lamun terhadap lingkungan adalah terjadinya pengikisan pantai karena ombak dan arus serta sedimentasi (Kaswadji et al., 2014).

2.2.2 Fungsi Lamun

Padang lamun memiliki peran penting untuk ekosistem perairan dangkal. Fungsi ekologis padang lamun adalah sebagai produsen primer, habitat biota, pendaur unsur hara, penstabil substrat dan penangkap sedimen, *blue carbon sink* serta tempat berlindung organisme laut lainnya. Lamun juga memiliki keterkaitan dengan ekologi terumbu karang dan mangrove yang saling berhubungan untuk pengelolaan perairan pantai secara terpadu (Hartati et al., 2012).

a. Produsen primer

Kondisi perairan pada padang lamun memiliki karakteristik sirkulasi yang baik untuk mentranspor unsur hara dan oksigen serta mengangkut hasil metabolisme lamun pada lingkungan sekitarnya. Lamun termasuk ekosistem dengan produktifitas yang tinggi sehingga dapat mendukung potensi sumberdaya perairan yang tinggi. Lamun merupakan makanan utama untuk

beberapa hewan seperti *manatee*, dugong, penyu hijau (Li and Huang, 2012).

b. Habitat dan tempat berlindung biota

Padang lamun merupakan habitat penting untuk hewan maupun tumbuhan laut lainnya. Lamun dapat tumbuh luas menjadi padang lamun dan cukup terlindungi, sehingga banyak biota yang hidup berasosiasi dan hidup di padang lamun. Biota tersebut memanfaatkan lamun untuk tempat tinggal, berlindung, mencari makan maupun melakukan pemijahan. Padang lamun yang luas ini digunakan oleh berbagai biota laut lainnya untuk berlindung (Hartati et al., 2012).

c. Pendaaur unsur hara

Padang lamun memiliki peran penting dalam proses daur ulang zat hara di perairan laut dangkal. Daun lamun yang telah gugur dan membusuk akan diurai oleh jamur maupun bakteri menjadi nutrient untuk makanan mikroorganisme dan plankton (Mc Kenzie, 2008)

d. Penstabil substrat dan penangkap sedimen

Struktur lamun dapat menstabilkan dan menahan sedimen dibawahnya, bahkan jika terjadi badai besar atau angin topan maupun badai tropis. Daun lamun dapat memecah dan memperlambat arus air dan gelombang, selain itu lamun menyumbangkan bahan organik maupun partikulat anorganik pada sedimen (Kiswara, 1994a).

e. Penyerap Karbon/*Blue carbon sink*

Blue carbon sink adalah bentuk penyerapan karbon oleh laut maupun organismenya. Tiga ekosistem laut yang penting dalam penyerapan dan mengurangi emisi karbon yaitu mangrove, padang lamun dan *salt marsh*. Sebagai salah satu komponen ekosistem pesisir, keberadaan padang lamun penting bagi siklus karbon di pesisir. Hasil penyerapan karbon oleh lamun

dalam proses fotosintesis disimpan atau disalurkan ke beberapa bagian. Salah satu hasilnya disimpan dalam bentuk biomassa, baik di atas atau bawah substrat. Penyimpanan karbon pada bagian lamun yang berada didalam sedimen akan disimpan untuk jangka waktu lama. Kandungan karbon dalam biomassa pada waktu tertentu disebut sebagai stok karbon (Hutomo et al., 2014).

2.2.3 Lamun *Enhalus acoroides*

Bentuk dan sebaran lamun *Enhalus acoroides* memiliki kerapatan dan luasan yang tinggi dengan kanopi tertutup yang merupakan habitat penting untuk spesies lain. Spesies ini biasanya nampak jelas pada saat air surut karena daunnya yang panjang-panjang. *Enhalus acoroides* mempunyai panjang daun dapat mencapai 2 m yang dapat diidentifikasi dengan bentuk bengkokan dibagian tepi. Panjang daun bervariasi 30-200 cm dan lebar 1.2-2 cm. Rimpang tertutup bulu tebal berwarna hitam dengan ketebalan sekitar 1,5 cm. Bunga jantan dan betina muncul pada tumbuhan yang berbeda. Tegakan lamun *Enhalus acoroides* ditunjukkan pada Gambar 1. Lamun jenis ini diklasifikasikan (Waycott et al., 2004) sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Divisio : Magnoliophyta (Angiospermae)

Class : Liliopsida

Sub-class : Alismatidae

Order : Alismatales

Family : Hydrocharitaceae

Genus : *Enhalus*

Spesies : *Enhalus acoroides*



Gambar 1. *Enhalus acoroides* (Seagrasswatch, 2016)

Lamun jenis *Enhalus acoroides* merupakan jenis lamun yang sering mendominasi komunitas padang lamun. *Enhalus acoroides* hidup dominan pada substrat dasar berpasir maupun pada substrat pasir berkarang. Lamun jenis ini adalah jenis lamun yang paling toleran terhadap lingkungan. Lamun ini juga dapat tumbuh pada substrat berlumpur dengan pengadukan yang tinggi serta dapat tumbuh monospesifik menjadi padang lamun yang luas dengan tegakan yang tinggi. Menurut Takaendengan dan Muhammad (2010), di Pulau Talise, Sulawesi Utara Secara keseluruhan tutupan lamun berkisar antara 20-100% yang didominasi oleh jenis *Talassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides*. Persebaran lamun *Enhalus acoroides* secara umum hanya terbatas pada bagian pinggir pantai yang paling dangkal, sehingga bila ada proses kekeruhan, sebagian penetrasi cahaya masih dapat mencapai dasar perairan sehingga tetap memberikan kesempatan bagi lamun jenis ini untuk tumbuh dan berfotosintesis (Bengen, 2001).

2.3 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) termasuk ke dalam logam esensial yang dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah tertentu, tetapi jika kadar tembaga melebihi kadar toleransi akan berubah menjadi racun. Menurut Sanusi dan Putranto (2009), efek letal Cu pada ikan berkisar antara 0,017-1 mg/l. Selain itu, pada manusia Cu

dapat menyebabkan gejala keracunan seperti sakit perut, mual, muntah, diare, serta dapat mengakibatkan gagal ginjal dan kematian (Darmono, 1995).

Tembaga (Cu) masuk kedalam lingkungan melalui berbagai sumber alami maupun antropogenik (kegiatan manusia). Sumber masukan tembaga paling banyak ke lingkungan adalah melalui kegiatan-kegiatan perindustrian, limbah rumah tangga, serta mobilitas bahan bakar. Sumber lain dari tembaga adalah dari limbah aliran air perkotaan, limbah pertanian (pupuk). Sumber unsur tembaga yang terjadi secara alami yakni dari proses pelapukan yang larut didalam tanah kemudian dapat di absorpsi oleh organisme perairan (Liantira et al., 2015).

Menurut Palar (1994), Cu pada perairan laut dan pesisir yang disebabkan oleh aktivitas manusia dapat berasal dari:

- a. Buangan rumah tangga berupa limbah cair dan domestik.
- b. Kegiatan pelabuhan.
- c. Industri galangan kapal yang menggunakan Cu sebagai campuran bahan pengawet cat.
- d. Buangan sisa industri.
- e. Lumpur minyak yang terbuang ke laut.

Di alam tembaga tidak berbentuk murni sebagai Cu, tetapi dalam bentuk atau mengalami ikatan dengan zat lainnya. Di perairan alami tembaga (Cu) ada dalam bentuk partikulat, koloid dan terlarut. Fase terlarut Cu merupakan ion Cu^{2+} bebas dan membentuk ikatan kompleks dengan ligan organik maupun anorganik. Ikatan kompleks Cu dengan ligan organik tersebut memiliki sifat yang stabil. Namun, bentuk ikatan kompleks Cu di sedimen memiliki stabilitas yang tinggi dibandingkan dengan yang terbentuk pada kolom air laut stabilitasnya paling rendah (Sanusi and Putranto, 2009).

2.4 Logam Berat pada Lamun

Logam berat yang terkandung pada bagian-bagian lamun memiliki kadar yang berbeda-beda (Marín-Guirao et al., 2005). Tiap bagian lamun perlu dianalisis kandungan logam berat untuk mengetahui pada bagian mana logam berat banyak diakumulasi. Kadar logam berat yang tinggi berada pada bagian daun lamun. Hal ini menunjukkan bahwa daun merupakan akumulator utama untuk logam berat dari suatu lingkungan laut dangkal. Lamun juga berperan dalam perpindahan logam berat atau transakumulator pada biota laut lainnya yang berasosiasi pada lamun maupun yang memakan lamun (Kiswara, 1994b).

Berdasarkan penelitian Efendi (2015), tingkat akumulasi Cu pada lamun *Enhalus acoroides* memiliki kadar yang paling tinggi dibandingkan dengan Pb dan Cd. Pada sedimen dan air, Cu juga memiliki kadar yang paling tinggi. Berdasarkan bagian lamun, kadar tembaga dalam daun lamun relatif lebih tinggi dibandingkan pada akar dan batang lamun, sedangkan Pb kadarnya lebih tinggi pada bagian akar lamun. Beberapa peneliti telah melakukan pengukuran kadar logam Cu pada lamun *Enhalus acoroides* yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi Cu pada *Enhalus acoides* dari Berbagai Hasil Penelitian

Nama	Lokasi	Daun	Rimpang	Akar
Li dan Huang (2012)	Teluk Xincun Pulau Hainan China Selatan	12,32 ppm	*	*
		12,3 ppm	*	*
		20,27 ppm	*	*
	Rata-rata	14,96 ppm	*	*
Fitriani (2013)	Perairan Bojonegara Teluk Banten	0,238 ppm	0,515 ppm	*
		0,296 ppm	0,103 ppm	*
		0,212 ppm	0,201 ppm	*
	Rata-rata	0,2487 ppm	0,273 ppm	*
Triadi (2014)	Pulau Bonetambung	*	*	2,510 ppm
		*	*	0,559 ppm
	Rata-rata	*	*	2,510 ppm
	Gusung Tallang	*	*	1,465 ppm
		*	*	4,560 ppm

Nama	Lokasi	Daun	Rimpang	Akar
	Rata-rata	*	*	3,013 ppm
Efendi (2015)	Teluk Lampung	0,0049 ppm	0,001 ppm	0,004 ppm
		0,038 ppm	0,025 ppm	0,014 ppm
		0,01 ppm	0,007 ppm	0,0098 ppm
	Rata-rata	0,0176 ppm	0,011 ppm	0,0093 ppm

Keterangan: *: tidak dilakukan pengukuran bagian lamun tersebut

2.5 Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Lamun

Logam berat pada perairan secara alami bersumber dari proses pelapukan kerak bumi. Selain dari proses alam, logam berat pada sedimen juga berasal dari berbagai sumber dari darat dan mengendap. Alur serapan utama logam ke dalam lamun adalah sedimen menuju akar/rimpang dan air menuju daun/melalui epifit. Penyerapan logam berat ini dapat melalui proses-proses penyerapan pasif atau fisiologis aktif yang akan menentukan perilaku akumulasi akhir dari organisme/tumbuhan yang relatif terhadap tingkat logam berat (Schlacher-Hoenlinger and Schlacher, 1998).

Menurut Priyanto dan Prayitno (2004), penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan melalui akar dibagi menjadi tiga proses yaitu:

1. Penyerapan logam berat oleh akar,
Senyawa yang larut dan mengendap pada sedimen diserap oleh akar bersamaan dengan penyerapan nutrisi dan air. Penyerapan akar melalui pembentukan zat khelat yang disebut fitoderofor. Fitoderofor mengikat logam esensial seperti Fe, Cu, Zn, Mn dan dibawa ke sel akar melalui transpor aktif.
2. Translokasi logam berat dari akar ke bagian tumbuhan lain,
Logam masuk ke dalam sel akar ditranslokasi/diangkut melalui jaringan xilem dan floem menuju bagian atas tumbuhan seperti rimpang dan daun. Efisiensi pengangkutan bisa melalui pengikatan oleh molekul khelat.

3. Lokalisasi logam pada Jaringan.

Penimbunan pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan dan untuk mencegah keracunan logam pada sel. Tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi dengan menyimpan logam di dalam organ tertentu seperti akar.

Penyerapan logam berat lamun tidak hanya melalui akar. Daun lamun juga memiliki kemampuan untuk menyerap nutrisi dari kolom air. Penyerapan logam berat esensial (Cu) terjadi secara bersamaan dengan nutrisi melalui kutikula dan diikat dengan fitokelatin menuju epidermis untuk proses fotosintesis. Anatomi yang khas dari daun lamun adalah tidak memiliki stomata, tetapi memiliki kutikula yang tipis. Kutikula daun yang tipis tidak dapat menahan pergerakan ion dan difusi karbon sehingga daun lamun dapat menyerap nutrisi langsung dari air laut (Thomlinson, 1980; Tupan, 2012).

2.6 Logam Berat pada Sedimen

Akumulasi logam berat pada sedimen merupakan hasil dari paparan jangka panjang, sedangkan konsentrasi logam berat yang ada di perairan merupakan konsentrasi jangka pendek yang masuk ke perairan. Logam berat yang masuk ke dalam perairan akan mengendap di sedimen dan menyebar ke perairan dengan pengaruh kondisi geografis dan parameter lingkungan. Parameter lingkungan yang mempengaruhi penyebaran logam berat yaitu curah hujan, arus laut dan lain-lain, sedangkan kondisi geografis akan mempengaruhi distribusi logam berat pada sedimen di seluruh dunia (Govindasamy et al., 2011).

Kadar Cu dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan air laut, hal ini menunjukkan adanya akumulasi Cu dalam sedimen (Ahmad, 2009). Berdasarkan penelitian Azhar et al. (2012), Cu pada perairan Wedung, Demak diperoleh nilai yaitu sebesar 0,07–0,14 ppm, sedangkan pada sedimen yaitu sebesar 13,0624–

17,6040 ppm. Kadar logam Cu pada sedimen lebih tinggi berlipat-lipat dibandingkan pada air karena melalui proses pengendapan yang panjang.

Keberadaan logam berat untuk organisme sangat dipengaruhi oleh keadaan fraksi penyusun sedimen terutama fraksi yang dapat mengadsorpsi atau bereaksi dengan logam tertentu. Fraksi-fraksi yang mengikat logam berat diantaranya fraksi penukar ion, karbonat, pereduksi Fe/Mn oksida dan hidroksida, material organik dan sulfida, material kristal. Pada penelitian sebelumnya Cahyadi (2000) dalam Indra Yanti et al. (2013) telah melaporkan bahwa Cu yang terikat pada sedimen yang terdapat di pelabuhan Benoa terikat paling besar pada fraksi organik sebagai senyawa sulfida.

2.7 Keterkaitan Logam Berat pada Lamun dan Lingkungan

Padang lamun adalah perantara unsur hara dan nutrisi untuk hewan laut. Padang lamun menangkap dan menyerap unsur-unsur logam berat di sedimen dan juga air laut. Dari proses penyerapan tersebut, logam berat akan ada dan terakumulasi dalam organ lamun yaitu pada akar, batang maupun daun. Konsentrasi logam berat pada perairan tercemar logam berat dapat terakumulasi pada lamun dan logam berat yang sering ditemukan adalah timbal dan tembaga (Ambo-Rappe et al., 2007).

Berdasarkan penelitian Efendi (2015), konsentrasi Cu yang terdapat pada daun lamun lebih besar dari pada konsentrasi yang terdapat pada batang dan akar. Cu diikat oleh tanaman melalui proses fitokimia dan lebih cepat mengalami keseimbangan dibandingkan dengan kadar di alam maupun perairan. Remobilisasi Cu lebih cepat terjadi setelah turunnya kadar zat yang sama di lingkungannya. Keberadaan Cu di perairan adalah sumber Cu pada tanaman maupun hewan dan sangat dipengaruhi oleh keberadaan bahan organik di perairan. Bahan organik berperan dalam mengakumulasi logam berat dari

perairan ke sedimen. Setelah mengendap, logam berat pada sedimen juga akan diserap atau diakumulasi melalui akar.

2.8 Biokonsentrasi

Biokonsentrasi adalah rasio antara konsentrasi logam berat pada jaringan organisme atau tumbuhan dengan konsentrasi logam berat pada lingkungannya (FOCS, 2008). Zainuri et al. (2011) menyatakan bahwa biomagnifikasi secara biologi dapat terjadi karena proses makan-memakan pada rantai makanan sehingga pada tingkatan yang lebih tinggi konsentrasi logam berat juga semakin meningkat. Faktor biokonsentrasi (BCF) digunakan untuk menghitung distribusi logam berat antara sedimen dan biota yang didefinisikan sebagai rasio antara konsentrasi logam berat di biota dan konsentrasi logam berat di sedimen (Mountouris et al., 2002). BCFs dihitung dengan membagi konsentrasi logam berat pada bagian tanaman (jaringan daun) dengan konsentrasi logam berat dalam sedimen. (Marín-Guirao et al., 2005).

Bioconcentration Factor dapat dikatakan sebagai kemampuan tanaman untuk mengakumulasi logam berat tertentu sebagai respon terhadap konsentrasi logam berat yang berada di dalam suatu substrat/sedimen. *Bioconcentration Factor* (BCF) ditentukan oleh rasio logam berat di akar dengan yang terdapat di dalam tanah/sedimen. Nilai BCF >1 menunjukkan spesies tersebut potensial sebagai akumulator. Nilai BCF <1 menunjukkan tanaman excluder dan tanaman indikator dengan nilai BCF mendekati 1 (Baker, 1981; Susana and Suswati, 2013).

2.9 Translokasi

Translokasi adalah bentuk penimbunan senyawa polutan atau logam berat oleh tumbuhan pada salah satu bagian atau jaringan tertentu. Polutan tersebut akan ditimbun pada bagian/jaringan yang lebih tinggi seperti batang atau daun. Rasio perbandingan antara konsentrasi logam berat pada daun dan akar yang

dikenal sebagai *Translocation Factors* (TF). Nilai TF dihitung untuk mengetahui perpindahan akumulasi logam berat dari akar ke tunas (Hamzah, 2010). Translokasi faktor menunjukkan bagaimana sifat suatu tanaman dalam menyerap dan menyimpan bahan polutan dari lingkungannya. Jika nilai BCF >1 dan TF <1 , disebut mekanisme fitostabilisasi dan sebaliknya, jika nilai BCF <1 dan TF >1 maka disebut fitoekstraksi (Sopyan et al., 2014).

Fitoekstraksi merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dari air atau tanah kemudian diakumulasi dalam jaringan daun atau batang tanaman. Tanaman yang memiliki sifat fitoekstraksi dapat juga berpotensi sebagai tanaman hiperakumulator. Tanaman hiperakumulator sendiri merupakan tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat dengan konsentrasi lebih dari 100 kali melebihi tanaman normal, dimana tanaman normal mengalami keracunan logam berat dan penurunan produksi. Proses penyerapan polutan pada tanaman fitoekstraksi mengikuti aliran penyerapan air dan nutrisi (Putri et al., 2014). Namun, fitostabilisasi adalah suatu fenomena diproduksinya senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah rizosfer (Priyanto and Prayitno, 2004).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Perairan Kecamatan Paciran dan Brondong, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. Kegiatan penelitian ini terdiri dari proses pengambilan sampel dan pengukuran konsentrasi logam berat. Pengambilan sampel dilakukan tanggal 15 Maret 2016. Sampel di bawa ke Laboratorium untuk pengukuran konsentrasi logam berat pada tanggal 17 Maret 2016 dan dilakukan pengukuran logam berat di Laboratorium Kimia dan Fisika Universitas Negeri Malang pada tanggal 6 April 2016.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk pengambilan sampel di lapang dan pengukuran konsentrasi logam berat di laboratorium. Pengukuran parameter kualitas air fisika dan kimia menggunakan alat pengukuran parameter modern dan manual yang diperoleh dari Laboratorium Ilmu Kelautan FPIK UB. Alat dan bahan yang diperlukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Alat Penelitian

No	Alat	Fungsi
1	GPS Garmin 76CSX	Menentukan titik koordinat lokasi sampling
2	Refraktometer	Mengukur salinitas perairan
3	Termometer Digital	Mengukur suhu perairan
4	pH pen	Mengukur pH perairan
5	DO meter	Mengukur kadar oksigen perairan
6	Pipa PVC	Mengambil sampel sediman
7	Spektrofotometer Serapan Atom (AA-6800)	Mengukur konsentrasi logam berat
8	Kertas saring 0,45 μm	Menyaring sampel air
9	Alat Penyaring dan Vacum	Menyaring sampel air
10	<i>Automatic pipet</i>	Mengambil sampel larutan
11	Erlenmeyer	Wadah sampel saat pemanasan
12	Gelas ukur 100 ml & 50 ml	Preparing sampel untuk pengujian
13	Lampu Katoda Cu	Indikator logam berat
14	Komputer dengan software AA-WizzArd	Pengolahan data
15	Vurnis	Memanaskan dan pembakaran sampel
16	Corong	Membantu penyaringan sampel

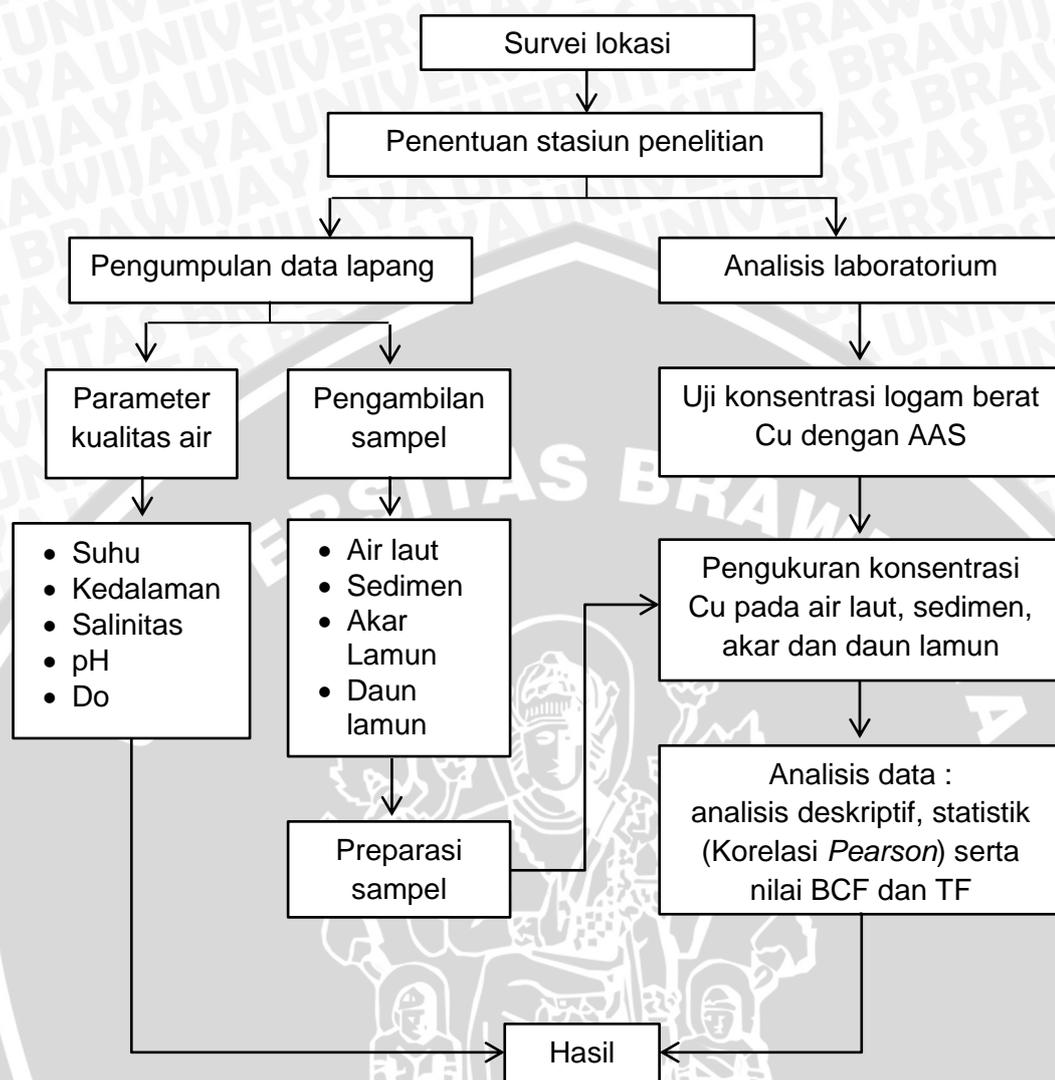
No	Alat	Fungsi
17	Pipet volume 10 ml	Pipeting HNO ₃
18	Bola hisap	Pipeting HNO ₃
19	Oven	Memanaskan sampel lamun
20	Botol semprot	Wadah aquades
21	Kamera	Dokumentasi
22	Coldbox	Menyimpan sampel dari lapang ke Lab.
23	Botol polietilen tereflalat	Wadah sampel air
24	Crusabletank	Penjepit cawan
25	Cawan Porselen	Wadah sampel untuk pemanasan
26	Timbangan	Menimbang sampel
27	Labu Takar 50 ml	Menakar larutan sampel
28	Alu & Mortar	Menghaluskan sampel
29	Pisau Stainlees	Memotong-motong sampel
30	Stirrer	Menghomogenkan larutan sampel

Tabel 3. Bahan Penelitian

No	Bahan	Fungsi
1	Lamun <i>E. acoroides</i>	Bahan yang diuji
2	Air laut	Bahan yang diuji
3	Sedimen	Bahan yang diuji
4	HNO ₃ pekat (pa)	Pengikat logam berat dan pengondisian asam
5	HNO ₃ teknis	Starilisasi wadah uji
6	HCl pekat	Untuk membantu proses destruksi logam berat
7	Larutan Standart Logam	Pembanding dalam analisis
8	(Hollow Cathode Lamp) HCL 5 M	Katoda pemancar cahaya Cu
9	Aquades	Sterilisasi dan pengencer
10	Kertas label	Memberi label pada sampel agar tidak tertukar
13	Tissue	Membersihkan area yang kotor
12	Plastik	Tempat sampel sedimen dan lamun

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini melalui 3 tahapan kegiatan. Tahap pertama adalah survey lokasi dan penentuan stasiun. Tahap kedua adalah pengumpulan data lapang yang terdiri dari pengambilan sampel dan pengukuran parameter lingkungan kualitas air. Tahap ketiga adalah pengukuran konsentrasi Cu dan analisis data. Tahapan atau prosedur yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur Penelitian

3.4 Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel

Penentuan lokasi pengambilan sampel dalam penelitian ini ditentukan secara *purposive method* berdasarkan penggunaan wilayah pesisir Lamongan dan yang ditumbuhi lamun *Enhalus acoroides*. Sampel uji air, sedimen dan lamun *Enhalus acoroides* dari setiap stasiun penelitian diambil secara acak (*Random Sampling*). Posisi geografis tiap stasiun ditunjukkan pada Tabel 4 dan lokasi stasiun pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 4. Posisi Geografis dan Deskripsi Stasiun

Stasiun	Posisi Geografis	Lokasi
1	6°52'14.86"S dan 112°18'0.64"T	Industri Kapal PPI Brondong
2	6°52'25.67"S dan 112°22'24.84"T	Perairan Desa Tunggul
3	6°52'25.19"S dan 112°22'46.38"T	Perairan Desa Kemantren
4	6°52'26.19"S dan 112°22'55.89"T	Perairan pasar ikan Kranji



Gambar 3. Lokasi Pengambilan Sampel

3.5 Pengambilan Data Lapangan

3.5.1 Pengukuran Parameter Lingkungan

Pengukuran parameter lingkungan pada tiap stasiun dilakukan langsung pada badan perairan. Parameter lingkungan yang diukur meliputi suhu, kedalaman, salinitas, DO dan pH. Pengukuran parameter kualitas air dilakukan secara digital dan manual. Suhu diukur dengan thermometer digital, salinitas diukur dengan refraktometer, DO diukur dengan DO meter dan pH diukur dengan pH pen. Pengukuran seluruh parameter lingkungan tersebut dilakukan pada pukul 05.20-09.40 WIB sebelum pengambilan sampel lamun, sedimen dan air laut pada setiap stasiun.

3.5.2 Pengambilan Sampel Logam Berat

3.5.2.2 Air Laut

Pengambilan sampel air laut dilakukan dengan metode *composite sampling*. *Composite sampling* adalah metode pengambilan sampel campuran yang dilakukan pada tempat yang sama dengan waktu yang berbeda. Biasanya dilakukan dengan selang waktu 10-15 menit. Pada setiap stasiun, dilakukan pengulangan 2 kali agar hasil dari konsentrasi logam berat dapat mewakili kondisi wilayah tersebut. Sampel air laut diambil langsung dengan botol polyetilen 500 ml. Botol polyetilen dibenamkan pada kedalaman 15–20 cm ke dalam kolom perairan kemudian diangkat dan diasamkan dengan HNO₃ pekat sampai pH 2. Berdasarkan APHA (1992), pengawetan sampel air yang akan diuji konsentrasi logam beratnya perlu dilakukan penambahan HNO₃ pekat (3 ml HNO₃/L sampel air) kemudian didinginkan pada suhu 4°C. Pemberian HNO₃ pada sampel bertujuan untuk mengikat logam berat terlarut pada sampel tersebut. Sampel selanjutnya disimpan pada *coldbox* untuk dibawa ke laboratorium untuk pengukuran konsentrasi Cu.

3.5.2.2 Sedimen

Sampel sedimen diambil dengan “*core*” atau PVC yang berukuran panjang 50 cm dengan diameter 5 cm. Sampel sedimen juga diambil secara *composite* agar mewakili keadaan lokasi setiap stasiun. *Core* ditekan kedalam sedimen hingga kedalaman 30-35 cm. Setelah mencapai kedalaman yang ditentukan, *core* diangkat dan sedimen ditekan keluar untuk dihomogenkan. Setelah homogen, sedimen dimasukkan kedalam plastik dan disimpan dalam *coldbox* untuk dibawa ke laboratorium analisis konsentrasi Cu. Berdasarkan APHA (1992), pengawetan sampel sedimen uji konsentrasi logam berat disimpan pada suhu 4°C. Pada setiap stasiun penelitian dilakukan pengambilan sampel sedimen

2 kali ulangan dengan tujuan hasil konsentrasi logam berat dapat mewakili kondisi daerah tersebut.

3.5.2.3 Lamun *Enhalus acoroides*

Sampel lamun *Enhalus acoroides* diambil secara acak/random sampling di Perairan pesisir Lamongan. Pengambilan sampel di setiap stasiun penelitian dilakukan pengulangan 2 kali agar mewakili lamun pada tiap stasiun penelitian. Lamun yang telah diambil, kemudian dipisahkan antara daun dan akarnya. Daun yang diambil adalah daun dengan panjang 20-25 cm. Akar dan daun lamun dibersihkan dari sedimen dan epifit yang menempel dan dicuci dengan air laut. Sampel lamun yang telah dicuci dimasukkan kedalam plastik dan diberikan label sesuai stasiun. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam *coldbox* dan dibawa ke laboratorium untuk uji konsentrasi Cu. Gambar Morfologi lamun ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagian *Enhalus acoroides* (dokumentasi pribadi)

3.6 Analisis Laboratorium

3.6.1 Pengukuran Cu pada Air Laut

Sampel air laut diukur konsentrasi Cu terlarutnya dengan menggunakan AAS (*Atomic Adsorbation Spectrofotometer*). Sampel air laut yang digunakan sebanyak 100 ml dan sebelum dituang harus dikocok dahulu. Preparasi sampel

air sebelum diuji pada AAS hanya melewati 1 kali proses destruksi tanpa pemanasan dengan penambahan HNO_3 pekat (1 ml) pada pH dibawah 2. Nilai yang ditunjukkan pada AAS dinyatakan sebagai hasil dari konsentrasi logam berat pada sampel air.

3.6.2 Pengukuran Cu pada Sedimen

Prosedur pengukuran konsentrasi Cu pada sedimen dilakukan dengan alat AAS dengan metode preparasi sampel ekstraksi asam/destruksi basah. Sampel sedimen dipanaskan pada suhu 60°C dengan tujuan dipanaskan pada suhu tersebut adalah untuk menghindari penguapan logam berat pada sedimen. Setelah dipanaskan, sampel sedimen ditimbang untuk mengetahui berat keringnya. Proses preparasi sampel yaitu ekstraksi sampel dengan menambahkan 10 ml *aqua regia* ($3 \text{ HNO}_3 + 1 \text{ HCl}$) pada ± 2 gram sampel dan ditutup dengan kaca arloji untuk mendestruksi sampel. Sampel yang telah larut, ditambahkan H_2O_2 hingga 50 ml. Akhir dari proses ekstraksi larutan sampel disaring ke dalam labu ukur 50 ml dan diencerkan hingga mencapai tanda 50 ml. Pengukuran kadar logam berat dilakukan dengan AAS (EPA-Ohio, 2001).

3.6.3 Pengukuran Cu pada *Enhalus acoroides*

Pengukuran konsentrasi Cu pada lamun dilakukan dengan AAS sesuai prosedur pada Laboratorium Fisika dan Kimia Universitas Negeri Malang. Preparasi sampel dilakukan dengan membersihkan sampel lamun (akar serta daun) dari kotoran dan epifit yang menempel. Setelah bersih sampel lamun dipotong kecil-kecil ($\pm 0,5$ gr berat kering). Lamun dikeringkan dengan vurnis pada suhu $\pm 400-500^\circ\text{C}$ sampai mencapai berat konstan selama ± 2 jam. Setelah pemanasan selama 2 jam, sampel lamun diambil setelah suhu vurnis turun dan ditunggu hingga panasnya stabil atau setara dengan suhu ruang yaitu ± 24 jam. Sampel lamun yang telah kering selanjutnya ditumbuk dengan alu dan mortar

hingga halus. Setelah itu, sampel ditimbang $\pm 0,5$ gr dan dilarutkan dengan larutan HNO_3 2N untuk proses destruksi hingga volume 25 ml hingga larut. Setelah larut, ditambahkan lagi HNO_3 2N hingga mencapai volume 50 ml dan dihomogenkan dengan stirrer. Setelah homogen, larutan sampel disaring untuk menghilangkan endapan dan diukur konsentrasi Cu dengan AAS.

3.7 Analisis Data

3.7.1 Analisis Deskriptif

Hasil pengukuran parameter lingkungan dan konsentrasi logam berat pada air, sedimen, akar dan daun lamun *Enhalus acoroides* dilakukan secara deskriptif. Analisis deskriptif yang dilakukan adalah dengan menjelaskan nilai dari hasil parameter lingkungan dan konsentrasi Cu pada air, sedimen, akar dan daun lamun *Enhalus acoroides* setiap stasiun penelitian. Analisis parameter lingkungan dibandingkan dengan Baku Mutu Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 dan kondisi lingkungan untuk lamun pada wilayah tropis Indonesia. Konsentrasi Cu pada air, sedimen, akar dan daun *Enhalus acoroides* di analisis fluktuasi nilai konsentrasi Cu pada tiap stasiun penelitian.

3.7.2 Perhitungan Nilai BCF dan TF Akar dan Daun

Perhitungan nilai BCF (*Bioconcentration Factor*) dilakukan untuk mengetahui kemampuan akar dan daun lamun untuk mengakumulasi logam berat pada sedimen dan air laut. Faktor Biokonsentrasi (BCF) digunakan berdasarkan konsentrasi logam berat pada sampel sedimen dan jaringan lamun dengan modifikasi Lewis et al. (2007); Li dan Huang (2012) sebagai berikut:

$$\text{BCF} = \frac{\text{Ca}}{\text{Cb}}$$

BCF juga dapat mewakili logam berat dalam air laut (mg/L) dan jaringan lamun ($\mu\text{g/g}$ berat kering) dengan rumus berikut:

$$BCF = \frac{C_a}{C_m}$$

Keterangan:

C_a : konsentrasi logam berat dalam jaringan lamun ($\mu\text{g/g}$ berat kering)

C_b : konsentrasi logam berat dalam sedimen ($\mu\text{g/g}$ berat kering)

C_m : konsentrasi logam berat dalam air laut (mg/l)

Dimana jika nilai BCF >1 menunjukkan tanaman tersebut berpotensi/memiliki kemampuan sebagai fitoremediasi/akumulator logam berat (Susana and Suswati, 2013).

Faktor translokasi (TF) digunakan untuk mengetahui kemampuan lamun dalam mentranslokasikan logam berat yang terakumulasi pada akar dan daun. Dimana jika nilai TF >1 menunjukkan tumbuhan tersebut termasuk dalam tumbuhan bersifat fitoekstraksi, sedangkan jika nilai TF <1 menunjukkan sifat fitostabilisasi. TF dilihat berdasarkan perhitungan proses translokasi logam berat dari akar ke daun, dihitung dengan rumus:

$$TF = \frac{C_d}{C_a}$$

Keterangan:

TF : Faktor translokasi

C_d : Konsentrasi logam berat pada daun

C_a : Konsentrasi logam berat pada akar

3.7.3 Analisis Statistik

Analisis data statistik yang digunakan adalah korelasi *pearson* dengan *software* SPSS 16.0. *Pearson correlation* adalah statistik bivariat yang mengandung tingkat hubungan linear diantara dua variabel kuantitatif. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui korelasi atau hubungan antara logam berat pada kolom air dengan sedimen, korelasi antara sedimen dan akar lamun

serta korelasi antara air dan daun lamun. Jika terjadi kenaikan pada suatu variabel diikuti dengan kenaikan variabel lain, maka kedua variabel tersebut berkorelasi positif ($r = 1$). Tetapi jika kenaikan suatu variabel diikuti dengan penurunan variabel, maka kedua variabel tersebut berkorelasi negatif ($r = -1$). Jika tidak ada perubahan pada suatu variabel meskipun variabel lain berubah maka kedua variabel tersebut tidak berhubungan/*uncorelated* ($r = 0$). Nilai r juga menunjukkan kriteria hubungan antar variabel tersebut (Nurd, 2013). Kriteria hubungan nilai r ditunjukkan pada Tabel 5.

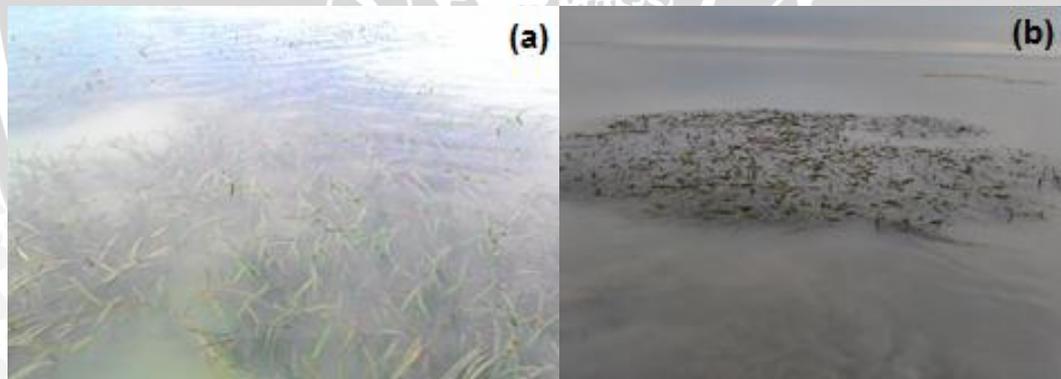
Tabel 5. Kriteria hubungan nilai r

Nilai r	Kriteria Hubungan
0-0,09	Tidak ada Korelasi/diabaikan
0,1-0,29	Korelasi lemah
0,3-0,49	Korelasi moderat
0,5-0,7	Korelasi sedang
0,7 - 1	Korelasi kuat/erat
1	Korelasi sempurna

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Perairan pesisir Lamongan ditumbuhi lamun yang didominasi jenis *Enhalus acoroides*. Lamun *Enhalus acoroides* tumbuh secara bergerombol dengan ketinggian, kerapatan dan luasan yang berbeda-beda. Lamun jenis ini menyebar dari Desa Kemantren, Tunggul dan Brondong. Namun, luasan paling tinggi berada di perairan Desa Kemantren. Lamun pada perairan pesisir Lamongan belum dimanfaatkan secara ekonomi sehingga keberadaannya masih alami sesuai dengan kondisi alam, lingkungan dan pengaruh kegiatan masyarakat. Keberadaan lamun di perairan pesisir Lamongan bagi masyarakat lokal merupakan tumbuhan rumput yang kurang berguna. Pemahaman tersebut yang membuat kapal nelayan sering melewati padang lamun, sehingga kondisi morfologi daunnya sering ditemukan patah dan rusak akibat dilalui kapal. Kondisi lamun pada perairan pesisir Lamongan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Enhalus acoroides* Perairan Pesisir Lamongan (a) Kemantren (b) Tunggul (dokumentasi pribadi)

Pengambilan sampel dan pengukuran parameter lingkungan dilaksanakan pada musim penghujan. Data curah hujan pada wilayah Lamongan pada bulan Maret cukup tinggi (Pemerintah Kabupaten Lamongan, 2015). Lokasi penelitian terletak pada zona intertidal (pasang surut) yang dipengaruhi langsung oleh pasang surut air laut. Kondisi lokasi ketika pengambilan sampel, terjadi surut

tertinggi dengan kenaikan muka air laut lebih cepat dibandingkan dengan kondisi saat survei lokasi penelitian. Penetrasi cahaya pada saat pengambilan sampel pada stasiun 1 dan stasiun 2 belum mempengaruhi perairan karena dilakukan pada pukul 05.20-08.30 WIB, sedangkan pada stasiun 3 dan 4 penetrasi cahaya matahari sudah tampak dan mempengaruhi perairan yang dilakukan pengambilan sampel pada pukul 08.30-09.40 WIB.

Lokasi penelitian dipilih berdasarkan penggunaan wilayah pesisir dan keberadaan vegetasi lamun *Enhalus acoroides*. Empat lokasi stasiun penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

a. Stasiun 1

Lokasi pengambilan sampel stasiun 1 merupakan wilayah industri perkapalan di Perairan Brondong. Industri perkapalan pada wilayah ini meliputi produksi pembuatan kapal, pemeliharaan kapal, perbaikan kapal hingga pengecatan atau pemberian *antifouling* kapal. Stasiun 1 ini dekat dengan lokasi pelelangan ikan PPI Brondong, sehingga terdapat kapal yang lalu-lalang untuk menurunkan ikan dari laut. Selain itu, stasiun ini juga dekat dengan tempat persandaran kapal, yaitu di bagian timur stasiun. Lamun *Enhalus acoroides* pada lokasi tumbuh tepat didepan lokasi perbaikan kapal dan dekat dengan laut lepas. Morfologi lamun pada stasiun ini memiliki luasan daun yang lebih sempit dan berwarna kecoklatan dibandingkan dengan stasiun lainnya. Selain itu, akar *Enhalus acoroides* pada stasiun ini banyak walaupun dengan morfologi yang pendek. Kondisi lokasi stasiun 1 ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Lokasi Stasiun 1 (dokumentasi pribadi)

b. Stasiun 2

Lokasi stasiun kedua terletak di perairan Desa Tunggul tepatnya didepan kantor Kelurahan Tunggul. Perairan stasiun ini, berada diantara bangunan sekolah, tempat budidaya lobster skala kecil dan perumahan warga. Pada stasiun ini juga terdapat beberapa kapal kecil yang melalui maupun berlabuh diperairan tersebut. Selain itu, stasiun ini juga merupakan muara dari saluran buangan air limbah domestik dari pemukiman warga Desa Tunggul. Lamun *Enhalus acoroides* yang ada diperairan ini tumbuh bergerombol-gerombol dengan lebar dan kerapatan yang berbeda-beda. Morfologi daun *Enhalus acoroides* pada stasiun ini memiliki luasan yang lebar dan berwarna hijau muda hingga hijau tua. Akar *Enhalus acoroides* pada stasiun ini jumlahnya banyak dan relatif lebih panjang dibandingkan akar *Enhalus acoroides* pada stasiun lainnya. Kondisi lokasi stasiun 2 ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Lokasi Stasiun 2 (dokumentasi pribadi)

c. Stasiun 3

Lokasi stasiun 3 terletak di perairan Desa Kemantren yang masih berdekatan dengan stasiun 4 tetapi dibatasi oleh *break water*. Stasiun 3 merupakan perairan terbuka yang masih dipengaruhi oleh laut lepas. Stasiun ini berada dibelakang klinik, perumahan warga dan terdapat beberapa kapal yang lalu-lalang maupun berlabuh di perairan tersebut. Selain itu, lokasi stasiun ini juga dekat dengan wilayah pembibitan mangrove. Lamun *Enhalus acoroides* pada stasiun ini tumbuh menyebar paling luas diantara stasiun lainnya dengan kerapatan sedang. Morfologi daun *Enhalus acoroides* pada stasiun ini berukuran sedang berwarna hijau muda hingga hijau tua, namun banyak mengalami patahan. Akar *Enhalus acoroides* pada stasiun ini sedikit, tetapi relatif panjang untuk mengikatkan diri pada substrat berpasir. Kondisi lokasi stasiun 3 ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Lokasi Stasiun 3 (dokumentasi pribadi)

d. Stasiun 4

Stasiun 4 juga merupakan perairan Desa Kemantren yang terletak dibelakang pasar ikan dan pasar tradisional Kranji. Stasiun ini merupakan perairan semi tertutup yang tertutup oleh *break water* sehingga perairannya cukup tenang. Pada perairan ini juga terdapat kapal ikan yang berlabuh dan ketika surut terdapat perbaikan kapal, pengecatan maupun pemberian *antifouling*. Lamun *Enhalus acoroides* pada stasiun ini ditemukan hanya 1

gerombol dan memiliki kerapatan yang sedang. Morfologi daunnya sedang berwarna hijau tua hingga kecoklatan dan akarnya pendek dan sedikit dibandingkan dengan *Enhalus acoroides* pada stasiun lainnya. Kondisi lokasi stasiun 3 ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Lokasi Stasiun 4 (dokumentasi pribadi)

4.2 Kondisi Parameter Lingkungan Perairan Pesisir Lamongan

Parameter lingkungan yang diukur pada saat penelitian adalah parameter fisika dan kimia air laut. Parameter fisika yang diukur meliputi suhu dan kedalaman, sedangkan parameter kimia meliputi salinitas, oksigen terlarut (DO) dan pH. Hasil lengkap pengukuran parameter lingkungan pada setiap stasiun ditunjukkan pada Tabel 6 dan grafik nilai rata-rata sebaran parameter lingkungan ditunjukkan pada Gambar 10 sampai Gambar 14.

Tabel 6. Rata-rata nilai parameter lingkungan stasiun penelitian dan perbandingan baku mutu

Stasiun	Parameter Fisika		Parameter Kimia		
	Suhu (°C) Rata-Rata ± Stdev	Kedalaman (cm) Rata- Rata ± Stdev	Salinitas (‰) Rata-Rata ± Stdev	DO (mg/l) Rata-Rata ± Stdev	pH Rata-Rata ± Stdev
1	31,03 ± 0,15	74,67 ± 4,16	30 ± 0	3,7 ± 0,35	7,6 ± 0
2	31,17 ± 0,15	82,33 ± 4,04	30,50 ± 0,71	3,63 ± 0,44	7,6 ± 0
3	31,07 ± 0,31	85,33 ± 4,16	30,33 ± 0,58	4,56 ± 0,12	7,6 ± 0
4	31,23 ± 0,21	83,67 ± 3,21	30,67 ± 0,58	3,17 ± 0,2	7,6 ± 0
Rata- Rata ± Stdev	31,13 ± 0,09	81,5 ± 4,72	30,38 ± 0,28	3,76 ± 0,58	7,6 ± 0

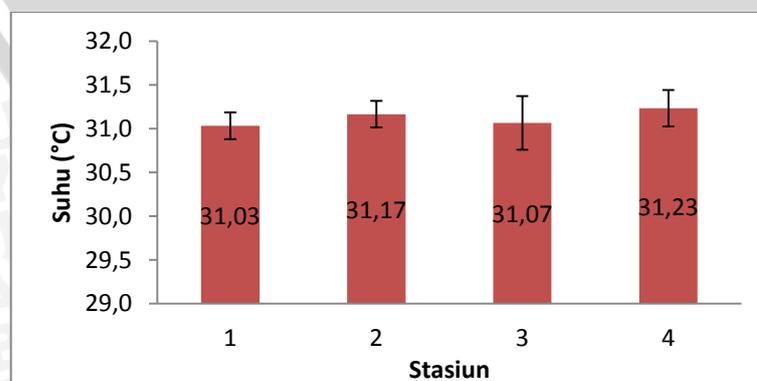
Stasiun	Parameter Fisika		Parameter Kimia		
	Suhu (°C) Rata-Rata ± Stdev	Kedalaman (cm) Rata- Rata ± Stdev	Salinitas (‰) Rata-Rata ± Stdev	DO (mg/l) Rata-Rata ± Stdev	pH Rata-Rata ± Stdev
KLH 2004*	Alami ³ : 28-32 ^(c) Lamun : 28- 30 ^(c)	-	Alami ³ : <34 (e) Lamun : 33- 34 ^(e)	>5	7 – 8,5 ^(d)
Hartati et al. (2012)	28-32	73-400	10–40‰	4,8-5,2	7-<8

Keterangan :

- (*) : Baku Mutu Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut untuk biota laut
- (3) : Alami adalah kondisi normal suatu lingkungan, bervariasi setiap saat (siang, malam dan musim).
- (c) : Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <2°C dari suhu alami
- (d) : Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <0,2 satuan pH
- (e) : Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <5% salinitas rata-rata musiman

4.2.1 Suhu

Suhu perairan di stasiun penelitian menunjukkan hasil yang relatif stabil, dimana rata-rata suhu pada perairan pesisir Lamongan adalah 31,13±0,09°C. Suhu permukaan perairan tiap stasiun secara berturut-turut mulai dari stasiun 1 sampai 4 dapat dilihat pada Tabel 6. Suhu tertinggi terdapat pada stasiun 4 yaitu 31,23±0,21°C, sedangkan suhu terendah terdapat di stasiun 1 yaitu 31,07±0,31°C. Namun, nilai suhu perairan seluruh stasiun penelitian cenderung homogen dengan kisaran 31,03-31,23°C. Grafik nilai sebaran suhu permukaan pada setiap stasiun penelitian ditunjukkan pada gambar 10.

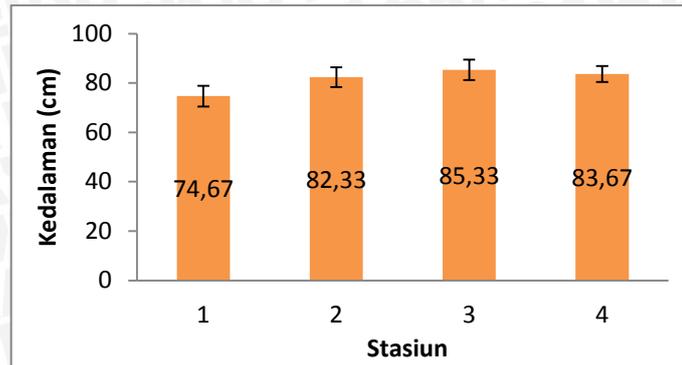


Gambar 10. Nilai suhu permukaan Lamongan

Pertumbuhan maupun keberadaan lamun juga dipengaruhi oleh suhu perairan. Suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas metabolisme maupun perkembangan organisme, dengan adanya perubahan suhu perairan akan berdampak pada keberadaan dan penyebaran biota laut di suatu perairan. Hasil pengukuran suhu perairan dari seluruh stasiun penelitian ini menunjukkan suhu pada perairan Lamongan masih memenuhi standart Baku Mutu Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun (2004) tentang Baku Mutu Air Laut untuk biota laut yaitu 28-32°C dan khusus untuk lamun suhu tersebut sudah melebihi toleransi yaitu 28-30°C. Namun, Hartati et al. (2012) menyatakan bahwa pada wilayah beriklim tropis lamun dapat tumbuh optimal pada suhu 28-32°C. Lamun *Enhalus acoroides* termasuk lamun yang paling toleran terhadap perubahan lingkungan, sehingga dengan suhu tersebut lamun *Enhalus acoroides* pada perairan Lamongan masih dapat tumbuh optimal.

4.2.2 Kedalaman

Kedalaman perairan pada setiap stasiun penelitian mengalami kenaikan berturut-turut dari stasiun 1 hingga stasiun 4. Nilai kedalaman dari stasiun 1 sampai stasiun 4 dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 11. Kedalaman perairan pada seluruh stasiun penelitian cepat mengalami perubahan karena berada pada zona pasang surut (intertidal). Kedalaman perairan dari stasiun 1 menuju stasiun 4 semakin naik karena adanya pengaruh dari pasang surut. Jauhnya jarak stasiun 1 dengan stasiun 2, 3 dan 4 yang membutuhkan waktu untuk menuju stasiun lainnya mempengaruhi kenaikan permukaan air laut akibat pasang. Dengan demikian kedalaman tertinggi terjadi pada stasiun 3 yaitu 85,33±4,16 cm dan terendah pada stasiun 1 yaitu 74,67±4,16 cm dengan rata-rata 81,5±4,72 cm.



Gambar 11. Nilai kedalaman perairan pesisir Lamongan

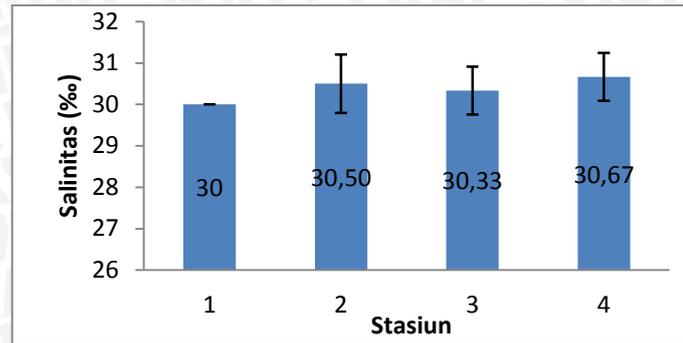
Adanya faktor jarak antar stasiun dan pasang surut ini menyebabkan selisih kedalaman pada seluruh stasiun penelitian memiliki selisih yang nyata antara stasiun 1 dengan ketiga stasiun lainnya. Selisih antara stasiun 1 dengan stasiun 2, 3 dan 4 adalah 7,66 cm; 10,66 cm; dan 9 cm. Selisih kedalaman tertinggi terjadi antara stasiun 1 dengan stasiun 3. Kisaran kedalaman perairan pesisir Lamongan yaitu antara 74,67-85,33 cm pada kurun waktu 05.20-09.45 WIB. Selain adanya pengaruh pasang surut dan jarak, kedalaman juga dipengaruhi oleh adanya sedimentasi. Sedimentasi pada stasiun 1 cukup tinggi karena bedekatan dengan muara sungai yang membawa sedimen dan terperangkap pada batu karang. Aliran sungai yang menuju muara membawa material sedimen yang berasal dari daerah hulu. Sedimen yang terbawa akan menumpuk pada muara sungai dan dipengaruhi oleh faktor fisika oseanografi (arus, pasang surut dan topografi dasar perairan) selama proses transport sedimen ke perairan laut (Hariyadi et al., 2014). Homogennya tiga stasiun lainnya (2, 3 dan 4) disebabkan karena jauh dengan muara sungai dan tepi pantainya sudah menjadi bangunan permanen, sehingga ketiga stasiun tersebut tidak mengalami sedimentasi.

Menurut Hartati et al (2012), lamun tumbuh subur terutama di daerah pasang surut terbuka dan perairan pantai pada sedimen berupa lumpur, pasir, kerikil, dan patahan karang mati dengan kedalaman 0,73-4 m. Kedalaman dari

seluruh stasiun penelitian menunjukkan nilai <1 m, hal ini dikarenakan pengukuran dilakukan pada saat surut tertinggi. Namun, pada seluruh stasiun penelitian memiliki kedalaman ± 2 m ketika pasang (hasil informasi penduduk setempat), sehingga lamun *Enhalus acoroides* pada seluruh stasiun dapat tumbuh optimal. Hal ini sesuai dengan Khasim et al. (2013) yang menyatakan bahwa *Enhalus acoroides* ditemukan dengan tutupan tinggi di perairan Desa Berakit Kabupaten Bintan Provinsi Kepulauan Riau dengan kedalaman $3 < d \leq 2$ m. Perbedaan kedalaman suatu perairan akan sangat berpengaruh terhadap keberadaan dan persebaran suatu organisme termasuk lamun. Menurut Hakimz (2014), kedalaman dapat membatasi pertumbuhan lamun secara vertikal (pertumbuhan daun). Lamun tumbuh di zona intertidal bawah dan subtidal atas hingga mencapai kedalaman 30 m. Selain itu, kedalaman perairan juga berpengaruh terhadap kerapatan dan pertumbuhan lamun.

4.2.3 Salinitas

Nilai rata-rata salinitas pada tiap stasiun penelitian mengalami kenaikan tetapi masih berada pada kisaran yang homogen. Rata-rata salinitas perairan Lamongan adalah $30,38 \pm 0,28\%$. Salinitas perairan tiap stasiun secara berturut-turut mulai dari stasiun 1 sampai 4 dapat dilihat pada Tabel 6. Grafik sebaran nilai salinitas tiap stasiun ditunjukkan pada Gambar 12. Grafik ini menunjukkan nilai salinitas tertinggi berada pada stasiun 4 yaitu $30,67 \pm 0,58\%$ dan terendah pada stasiun 1 yaitu $30 \pm 0\%$.



Gambar 12. Nilai salinitas perairan Lamongan

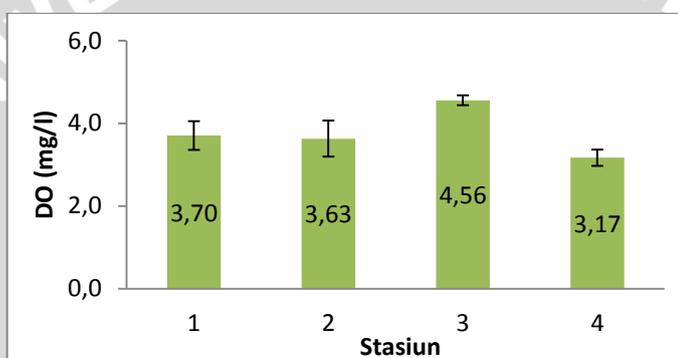
Dekatnya stasiun 1 dengan muara sungai membuat nilai salinitas pada stasiun ini sedikit lebih rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya yaitu $30 \pm 0\%$. Aliran sungai mempengaruhi salinitas karena adanya masukan air tawar melalui muara sungai yang menyebabkan kelarutan kadar garam/salinitas semakin menurun. Berbeda dengan stasiun 2 dan 3 yang juga mendapat aliran air tawar dari buangan limbah rumah tangga tetapi salinitasnya lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 1. Hal ini dikarenakan debit air tawar buangan limbah rumah tangga lebih sedikit dibandingkan dengan debit air tawar yang dibawa oleh aliran sungai. Selain itu, fluktuasi salinitas perairan laut dipengaruhi oleh beberapa faktor lain seperti penguapan dan curah hujan (Fujaya and Alam, 2012).

Tingginya nilai salinitas pada stasiun 4 dikarenakan tipe perairan stasiun ini merupakan perairan semi tertutup dan minim sekali sirkulasi perairan maupun pemasukan air tawar. Minimnya sirkulasi tersebut membuat salinitas stasiun ini lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya. Berdasarkan Baku Mutu Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 (2004), tentang Baku Mutu Air Laut untuk biota, nilai rata-rata salinitas dari seluruh stasiun penelitian berada dibawah kisaran baku mutu untuk lamun. Namun, menurut Hartati et al. (2012) salinitas normal yang masih mampu ditolerir oleh lamun adalah pada kisaran $10\text{--}40\%$ dan optimum pada salinitas 35% . Dengan demikian, *Enhalus acoroides* pada

perairan Lamongan masih dapat tumbuh dengan baik pada kadar salinitas tersebut.

4.2.4 Oksigen Terlarut (DO)

Kadar Oksigen terlarut (DO) perairan empat stasiun penelitian memiliki rata-rata sebesar $3,76 \pm 0,58$ mg/l. Nilai DO berturut-turut dari stasiun 1 sampai stasiun 4 dapat dilihat pada Tabel 6 dan Grafik nilai DO pada stasiun penelitian ditunjukkan pada Gambar 13. Grafik gambar 11 menunjukkan nilai DO tertinggi berada pada stasiun 3 yaitu $4,56 \pm 0,12$ mg/l dan nilai terendah berada pada stasiun 4 yaitu sebesar $3,17 \pm 0,2$ mg/l.



Gambar 13. Nilai DO perairan Lamongan

Perubahan nilai DO dari seluruh stasiun penelitian kurang dari Baku Mutu Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 (2004) tentang Baku Mutu Air Laut untuk biota laut yaitu >5 mg/l. Menurut Wirespathi dan Raharjo (2012), proses penguraian/dekomposisi terjadi secara aerobik sehingga membutuhkan DO lebih banyak. DO digunakan oleh bakteri untuk mendekomposisi atau mendegradasi bahan-bahan organik sehingga menyebabkan berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam air. Hal ini diduga terjadi pada stasiun 1, 2 dan 4 yang memiliki DO rendah akibat banyaknya bahan organik limbah rumah tangga maupun dari aliran sungai (Sittadewi, 2011). Tingginya bahan organik yang masuk ke perairan ketiga stasiun tersebut akan meningkatkan proses dekomposisi bahan organik

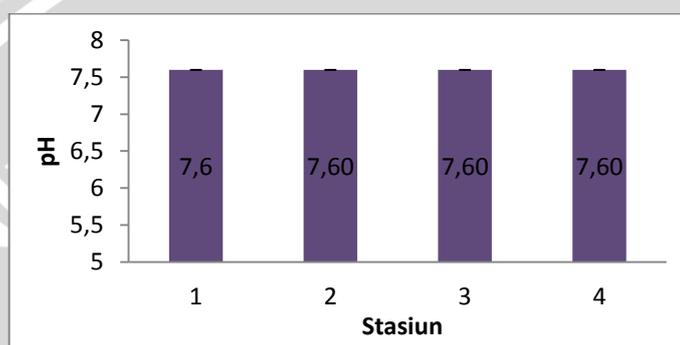
oleh bakteri aerob sehingga oksigen banyak digunakan dan pada perairan kadarnya rendah.

Selain itu, rendahnya DO pada tiap stasiun dipengaruhi oleh tingkat kekeruhan yang tinggi pada perairan Lamongan. Stasiun 1, 2 dan 4 memiliki kedalaman yang lebih dangkal dari stasiun 3 (Gambar 11) yaitu 74,67; 82,33 dan 83,67 cm, sedimentasi lumpur serta perairan yang keruh. Keruhnya perairan ketiga stasiun tersebut dikarenakan pengadukan sedimen lebih tinggi akibat arus dan gelombang. Kekeruhan akibat pengadukan oleh arus dan gelombang pada perairan dangkal lebih tinggi dibandingkan dengan perairan yang lebih dalam. Jika perairan cenderung keruh, penetrasi cahaya yang masuk pada perairan ketiga stasiun tersebut juga lebih sedikit dibandingkan pada stasiun 3. Minimnya penetrasi cahaya yang masuk juga akan menurunkan tingkat fotosintesis lamun maupun fitoplankton, sehingga DO ketiga perairan tersebut lebih rendah dibandingkan stasiun 3.

Menurut Parawita dan Nugraha (2009), ketersediaan oksigen terlarut di estuaria dan muara dipengaruhi oleh masuknya air tawar dan air laut secara teratur, pendangkalan/sedimentasi perairan, pengadukan, kekeruhan dan pencampuran oleh angin serta proses fotosintesis. Tingginya konsentrasi oksigen terlarut pada stasiun 3 dikarenakan perairan pada stasiun ini cenderung paling jernih dibandingkan dengan ketiga stasiun lainnya. Pada perairan yang jernih, DO akan lebih tinggi karena penetrasi cahaya dapat masuk secara optimal untuk lamun maupun fitoplankton untuk berfotosintesis. Selain itu, karena sedimen pada stasiun 3 merupakan pasir yang menyebabkan DO lebih tinggi. Sedimen pasir memiliki daya ikat yang rendah terhadap bahan organik dan kekeruhan lebih rendah dibandingkan dengan sedimen lumpur. Akibat rendahnya kekeruhan dan bahan organik tersebut, DO pada perairan bersedimen pasir cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan perairan bersedimen lumpur.

4.2.5 pH

Nilai pH pada tiap stasiun penelitian berturut-turut berada pada nilai yang sangat stabil. Hasil pengukuran pada seluruh stasiun penelitian memiliki nilai pH yang sama yaitu 7,6. Nilai pH dari perairan seluruh stasiun penelitian masih baik karena masuk dalam kisaran Baku Mutu Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 (2004) tentang Baku Mutu Air Laut untuk biota laut yaitu 7-8,5. Grafik sebaran nilai pH pada seluruh stasiun penelitian ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Nilai pH perairan Lamongan

Menurut Sanusi dan Putranto (2009), gas CO_2 dalam laut akan membentuk reaksi kesetimbangan kimia yang dikenal sebagai sistem karbonat (CO_2 -System) atau disebut juga dengan sistem buffer. Adanya reaksi kesetimbangan buffer tersebut membuat pH perairan laut relatif stabil dan mencegah terjadinya perubahan pH laut secara drastis akibat adanya proses fotosintesis dan respirasi. Namun, jika terjadi perubahan suhu yang dratis akan mempengaruhi nilai pH di laut. Suhu tinggi menyebabkan penurunan pH karena berhubungan dengan proses atau siklus CO_2 dan H^+ di perairan. Semakin tinggi suhu akan menyebabkan banyaknya CO_2 terlarut dan menimbulkan pelepasan ion H^+ sehingga nilai pH semakin asam atau mengalami penurunan.

Nilai pH pada seluruh stasiun menunjukkan nilai dibawah pH normal air laut yaitu 8. Lebih rendahnya nilai pH perairan Lamongan dari pH normal air laut karena banyaknya pemasukan air tawar (pH air taawar 6,8-7,6) melalui aliran sungai maupun buangan limbah rumah tangga. Selain itu, penelitian ini juga

dilakukan pada musim hujan. Air hujan bersifat asam dengan pH 5 atau 6, sehingga pemasukan air hujan secara terus menerus pada perairan laut akan menimbulkan penurunan pH air laut bersamaan dengan pemasukan air tawar maupun air limbah. Curah hujan tertinggi pada Kabupaten Lamongan terjadi pada bulan Desember hingga bulan Maret, sedangkan pada bulan-bulan lain curah hujan relatif rendah. Rata-rata curah hujan pada Tahun 2010 dari hasil pemantauan 25 stasiun pengamatan hujan tercatat sebanyak 2.631 mm dan hari hujan tercatat 72 hari (Pemerintah Kabupaten Lamongan, 2015)

4.3 Konsentrasi Tembaga (Cu)

Konsentrasi tembaga (Cu) diukur pada air, sedimen, akar dan daun lamun *Enhalus acoroides* yang diambil pada tiap stasiun penelitian di perairan pesisir Lamongan. Hasil pengukuran konsentrasi Cu ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Konsentrasi tembaga (Cu) dan perbandingan dengan baku mutu

Stasiun	Konsentrasi Cu (ppm)			
	Akar Rata-Rata ± Stdev	Daun Rata-Rata ± Stdev	Sedimen Rata-Rata ± Stdev	Air Rata-Rata ± Stdev
1	0,230 ± 0,043	0,199 ± 0,142	0,250 ± 0,017	<0,0209*
2	0,355 ± 0,089	0,279 ± 0,000	0,274 ± 0,033	<0,0209*
3	0,100 ± 0,002	0,355 ± 0,186	0,212 ± 0,020	<0,0209*
4	0,322 ± 0,227	0,431 ± 0,360	0,301 ± 0,014	<0,0209*
Rata-Rata ± Stdev	0,252 ± 0,114	0,316 ± 0,099	0,259 ± 0,037	-
KLH 2004 Biota Laut**	-	-	-	0,008
CCME*** (mg/kg)	-	-	ISQG** : 18,7 PEL** : 108	-

Keterangan :

(*) : Tidak terdeteksi/kadar <MDL (MDL Cu air laut <0,0209 ppm)

(**) : Baku Mutu Kementerian Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut

(***) : Baku mutu sedimen CCME : ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines*) dan PEL (*Probable Effect Levels*)

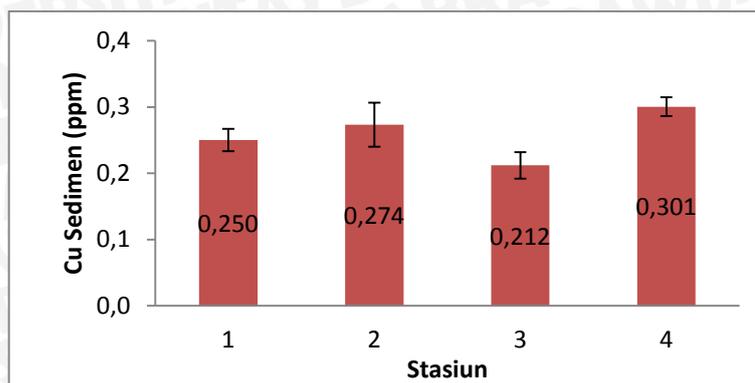
4.3.1 Tembaga (Cu) pada Air dan Sedimen di Perairan Pesisir Lamongan

Hasil pengukuran konsentrasi tembaga (Cu) pada air laut perairan pesisir Lamongan adalah tidak terdeteksi atau <0,0209 ppm. Nilai konsentrasi Cu pada

sampel air laut tidak terdeteksi disebabkan karena nilai MDL alat AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) yang digunakan cukup tinggi. Nilai MDL (*Method Detection Limit*) adalah *range* atau batas nilai deteksi alat AAS dapat mendeteksi konsentrasi logam berat tertentu. Alat AAS yang digunakan untuk mengukur konsentrasi Cu adalah AAS Simadzu AA-6800. Nilai MDL pada alat AAS dapat bervariasi sesuai dengan *range* deteksi yang dibuat pada alat AAS yang digunakan. Nilai MDL Cu dalam pengukuran konsentrasi Cu pada air laut adalah $<0,0209$ ppm, sehingga jika kadar Cu pada air laut $<0,0209$ ppm, maka AAS tidak dapat mendeteksi konsentrasinya.

Faktor lain yang mempengaruhi konsentrasi Cu pada perairan lebih rendah dari sedimen adalah sumber Cu pada seluruh stasiun masih sedikit. Selain faktor tersebut, bentuk Cu terlarut pada perairan juga mempengaruhi rendahnya konsentrasi Cu pada perairan. Menurut Sanusi dan Putranto (2009), Cu terlarut pada perairan berbentuk Cu^{2+} bebas yang berikatan dengan ligan organik. Ikatan tersebut terjadi karena adanya elemen Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang mensubstitusi Cu sehingga membentuk ikatan kompleks dengan ligan humus/organik. Namun, bentuk ikatan kompleks Cu di sedimen memiliki stabilitas yang tinggi dibandingkan dengan yang terbentuk pada kolom air laut stabilitasnya paling rendah.

Hasil pengukuran konsentrasi Cu pada sedimen menunjukkan hasil yang berbeda dengan air laut. Konsentrasi Cu pada sedimen di setiap stasiun penelitian berada pada kisaran antara 0,212–0,301 ppm dengan rata-rata $0,259 \pm 0,037$ ppm. Grafik nilai rata-rata konsentrasi Cu pada sedimen setiap stasiun ditunjukkan pada Gambar 15. Konsentrasi Cu pada sedimen tertinggi terletak pada stasiun 4 yaitu $0,301 \pm 0,014$ ppm dan konsentrasi terendah terletak pada stasiun 3 yaitu $0,212 \pm 0,020$ ppm.



Gambar 15. Konsentrasi Cu pada sedimen

Berdasarkan grafik sebaran konsentrasi Cu pada sedimen, stasiun 1, 2 dan 4 memiliki konsentrasi yang tidak jauh berbeda dibandingkan dengan stasiun 3. Tingginya konsentrasi Cu pada sedimen stasiun 4 dibandingkan dengan stasiun lainnya yaitu 0,301 ppm disebabkan karena lokasi stasiun tersebut merupakan lokasi pasar ikan yang terdapat aktivitas kapal perikanan dan perbaikan kapal ketika surut. Perbaikan yang paling sering dilakukan adalah pengecatan kembali atau pemberian *antifouling* pada kapal perikanan. Kegiatan perbaikan kapal seperti pengecatan akan meningkatkan konsentrasi Cu pada perairan maupun sedimen. Hal ini sesuai dengan pernyataan Azhar et al (2012), yang menyatakan bahwa Cu diduga berasal dari aktivitas dermaga, transportasi nelayan dan pembuatan/perbaikan kapal. Selain aktivitas perkapalan, buangan limbah domestik rumah tangga yang langsung dibuang pada perairan laut juga mempengaruhi keberadaan Cu. Hal ini sesuai dengan pernyataan Liantira et al (2015), bahwa sumber masukan tembaga paling banyak ke lingkungan adalah melalui kegiatan-kegiatan perindustrian, persawahan serta limbah rumah tangga. Limbah rumah tangga ini dapat meliputi sampah maupun korosi bahan peralatan rumah tangga.

Konsentrasi logam berat pada sedimen cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi pada air laut. Hal ini disebabkan karena masukan Cu pada perairan laut akan menyebar atau terakumulasi pada sedimen

melalui proses pengendapan yang semakin lama akan terus meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Fitriyah et al. (2013), yang mengukur konsentrasi Cu di sungai Surabaya ditemukan lebih tinggi yaitu 78 X daripada di air.

Stasiun 1, 2 dan 4 memiliki konsentrasi Cu pada sedimen yang tidak jauh berbeda. Hal ini disebabkan karena ketiga stasiun tersebut memiliki tipe sedimen berupa lumpur. Sedimen pada stasiun 1 dan 2 berupa lumpur berpasir dan stasiun 4 hanya lumpur berwarna hitam pekat yang lebih banyak mengikat senyawa organik. Komposisi atau tekstur sedimen yang berupa lumpur berwarna hitam mempengaruhi tingginya konsentrasi logam berat pada sedimen karena memiliki pori-pori yang cukup kecil. Menurut Rochyatun et al. (2006), pori-pori yang kecil menyebabkan daya adsorpsi logam berat cukup tinggi. Pori-pori yang kecil pada sedimen mengikat lebih banyak partikulat organik sehingga proses adsorpsi logam berat pada air maupun sedimen terjadi secara bersamaan dengan pengikatan partikulat organik.

Kandungan lumpur yang tinggi pada stasiun 1, 2 dan 4 cenderung meningkatkan proses dekomposisi bahan organik dan menyebabkan rendahnya kandungan oksigen terlarut (DO). Nilai DO akan mempengaruhi keberadaan logam berat di perairan, dimana jika DO mengalami penurunan maka akan menyebabkan bioakumulasi dan toksisitas logam berat pada sedimen semakin besar (Ginting et al., 2014). Rendahnya DO membuat bakteri pendekomposisi partikulat organik menurun, sehingga ikatan Cu dengan partikulat organik meningkat. Selain itu, konsentrasi logam berat terlarut pada perairan cepat hilang dari perairan karena berikatan atau menempel pada permukaan partikulat organik maupun anorganik melalui beberapa ikatan permukaan yang berbeda (ikatan koloid, adsorpsi, dan presipitasi). Pembentukan/pengikatan partikulat dengan logam berat menyebabkan dekomposisi dan penambahan konsentrasinya di dalam sedimen (proses sedimentasi).

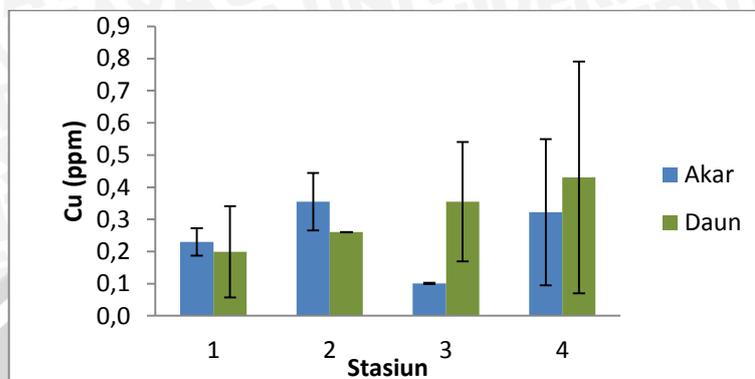
Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa pada stasiun 1, 2 dan 4 dengan nilai DO yang rendah menyebabkan akumulasi Cu pada sedimen lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 3 yang memiliki nilai DO tertinggi (Gambar 13). Selain itu, tipe perairan stasiun 4 juga mempengaruhi akumulasi Cu pada sedimen karena termasuk perairan semi tertutup yang terhalang oleh *break water*. Pergerakan air pada perairan semi tertutup cukup tenang dan pengaruh dari sirkulasi laut lepas sangat sedikit, sehingga logam berat terjebak dan diduga terakumulasi tinggi pada sedimen.

Rendahnya konsentrasi Cu pada sedimen stasiun 3 disebabkan karena stasiun ini memiliki tipe sedimen pasir dengan ukuran dan pori-pori yang besar. Besarnya ukuran partikel dan pori-pori sedimen pasir mengakibatkan daya ikat dan adsorpsi logam berat oleh sedimen menjadi lebih kecil daripada stasiun lainnya. Logam berat di perairan biasanya membentuk ikatan kompleks dengan bahan organik seperti asam humus. Menurut Maslukah (2013), presentase bahan organik pada sedimen halus (lumpur) lebih tinggi daripada dalam sedimen yang kasar (pasir). Menurut Sanusi dan Putranto (2009), ikatan kompleks asam humus-Cu pada sedimen laut paling tinggi dibandingkan pada air laut dan sungai. Hal ini disebabkan karena ikatan kompleks Cu pada air laut memiliki stabilitas paling rendah dibandingkan dengan ikatan kompleks Cu pada sedimen laut yang bersifat paling stabil.

4.3.2 Tembaga (Cu) pada Akar dan Daun Lamun *Enhalus acoroides* di Perairan Pesisir Lamongan

Pengukuran konsentrasi Cu pada *Enhalus acoroides* dilakukan pada bagian akar dan daun. Hasil pengukuran konsentrasi Cu pada bagian akar lamun memiliki rentang nilai 0,100–0,355 ppm dengan rata-rata $0,252 \pm 0,114$ ppm dan pada bagian daun memiliki rentang 0,199–0,431 ppm dengan rata-rata

0,316±0,099 ppm. Nilai konsentrasi Cu pada lamun *Enhalus acoroides* di setiap stasiun dapat dilihat pada Tabel 7 dan grafik sebaran nilainya ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Konsentrasi Cu pada *Enthalus acoroides*

Berdasarkan grafik sebaran konsentrasi Cu pada akar dan daun lamun *Enthalus acoroides* di perairan Lamongan, pada stasiun 1 dan 2 memiliki karakteristik yang sama, yaitu konsentrasi Cu pada akar lebih tinggi dibandingkan pada bagian daun. Selanjutnya stasiun 3 dan 4 sama-sama memiliki konsentrasi Cu yang lebih tinggi pada bagian daun daripada pada bagian akar. Namun, pada stasiun 3 rentang konsentrasi Cu pada akar dengan daun cukup jauh akibat konsentrasi Cu pada sedimen stasiun ini juga rendah. Berdasarkan perbedaan hasil dari seluruh stasiun menunjukkan konsentrasi Cu pada akar dan daun lamun *Enthalus acoroides* bervariasi sesuai dengan kondisi lingkungan maupun kondisi fisiologis *Enthalus acoroides* itu sendiri. Karakteristik tiap stasiun yang dimaksud adalah sumber pencemar, kondisi parameter lingkungan dan kondisi lingkungan.

Konsentrasi Cu tertinggi pada bagian akar *Enthalus acoroides* yaitu 0,431±0,360 ppm pada stasiun 4. Konsentrasi tertinggi Cu pada akar lamun ini disebabkan karena stasiun 4 memiliki karakteristik sedimen berlumpur yang terdapat kandungan Cu cukup tinggi yaitu 0,274±0,033 ppm. Akar *Enthalus acoroides* menyerap Cu yang berada di sedimen bersamaan dengan nutrisi,

sehingga jika konsentrasi Cu pada sedimen tinggi maka konsentrasi Cu pada akar juga tinggi. Konsentrasi Cu pada sedimen akan berhubungan langsung dengan konsentrasi Cu pada akar. Hal ini dikarenakan lamun menyerap Cu melalui akar dan ditranslokasikan menuju bagian atas daun atau yang disebut dengan penyerapan aktif. Hal ini sesuai dengan pernyataan Schlacher-Hoenlinger dan Schlacher (1998) yang menyatakan bahwa, alur serapan utama logam berat ke dalam lamun adalah sedimen-akar/rimpang dan air-daun/epifit. Proses penyerapan logam berat secara pasif maupun fisiologi aktif yang akan menentukan perilaku akumulasi akhir dari organisme.

Konsentrasi Cu terendah pada akar lamun *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan terletak pada stasiun 3 yaitu $0,100 \pm 0,002$ ppm. Rendahnya konsentrasi Cu pada akar lamun stasiun ini disebabkan karena berada pada sedimen pasir dengan konsentrasi Cu terendah dari seluruh stasiun penelitian, sehingga Cu yang diserap oleh akar juga sedikit. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Triadi (2014) yang mengukur konsentrasi Cu pada perakaran *Enhalus acoroides* di Pulau Bonetabung dan Gusung Talang menunjukkan bahwa konsentrasi Cu pada lamun Pulau Gusung Talang lebih tinggi daripada di Pulau Bonetabung. Hal ini disebabkan karena ukuran partikel sedimen pada Gusung Talang lebih kecil daripada Bonetabung. Namun, konsentrasi Cu pada perakaran *Enhalus acoroides* kedua lokasi tersebut memiliki nilai yang lebih tinggi daripada di perairan Lamongan. Masing-masing konsentrasi Cu pada perakaran *Enhalus acoroides* di Pulau Gusung Talang dan Bonetabung yaitu 0.559 ppm dan 1.465 ppm.

Berbeda dengan bagian akar, pada bagian daun memperoleh Cu melalui transfer akar maupun penyerapan langsung dari kolom air. Anatomi yang khas dari daun lamun adalah tidak memiliki stomata, tetapi memiliki kutikula yang tipis. Kutikula daun yang tipis tidak dapat menahan pergerakan ion dan difusi karbon

sehingga daun lamun dapat menyerap nutrisi langsung dari air laut (Thomlinson, 1980; Tupan, 2012). Logam berat dapat secara cepat diserap oleh daun lamun bersamaan dengan penyerapan nutrisi.

Konsentrasi Cu pada bagian daun tertinggi yaitu $0,431 \pm 0,360$ ppm pada stasiun 4 dan konsentrasi terendah yaitu $0,199 \pm 0,142$ ppm pada stasiun 1. Konsentrasi Cu pada daun lamun tertinggi pada stasiun 4 disebabkan karena konsentrasi Cu pada sedimen juga memiliki nilai tertinggi dari seluruh stasiun penelitian. Selain itu, stasiun 4 merupakan perairan semi tertutup yang diduga konsentrasi Cu pada kolom air juga tinggi. Secara mekanis atau fisiologis, lamun secara aktif dapat mengurangi penyerapan logam berat ketika konsentrasi logam berat di sedimen tinggi. Hal ini dimungkinkan terjadi pada stasiun 4 dengan konsentrasi Cu pada sedimen tertinggi (Gambar 15) namun pada bagian daun lamun lebih tinggi dibandingkan dengan akarnya. Akar lamun stasiun 4 membatasi penyerapan Cu dari sedimen, namun daunnya masih terus menyerap Cu dari air.

Jumlah konsentrasi Cu pada *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan secara keseluruhan lebih tinggi pada bagian daun dibandingkan dengan bagian akar. Cu diikat oleh tanaman melalui proses fitokimia (penyerapan aktif dan pasif) yang cepat mengalami kesetimbangan dibandingkan pada alam (Efendi, 2015). Seperti penjelasan sebelumnya bahwa Cu di perairan mengalami pengikatan dengan bahan organik perairan dan mengendap di sedimen. Jika perairan cenderung jernih dan bersedimen pasir Cu akan lebih tinggi pada badan perairan. Perairan stasiun 3 merupakan perairan paling jernih dibandingkan dengan ketiga stasiun lainnya. Rendahnya partikulat organik pada stasiun ini menyebabkan logam berat tidak banyak yang berikatan dan mengendap ke sedimen, sehingga menyebabkan akumulasi Cu pada daun lebih tinggi daripada

akar. Mengingat bahwa logam berat ada secara terus menerus, walaupun sedikit semakin lama akan terus diserapan dan terakumulasi pada jaringan daun lamun.

Hasil penelitian Efendi (2015) di Teluk Lampung, Fitriani (2013) di Teluk Banten dan Ahmad et al. (2015) dari perairan Indonesia juga menunjukkan konsentrasi Cu pada *Enhalus acoroides* lebih tinggi pada daun. Hal ini dikarenakan remobilisasi/penyerapan Cu oleh kutikula daun lebih cepat terjadi jika konsentrasi pada air tinggi. Selain itu, tingginya konsentrasi Cu pada daun *Enhalus acoroides* juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan sumber pencemarnya (Fitriani, 2013). Pada penelitian ini, konsentrasi Cu pada daun yang lebih rendah daripada akar terjadi pada stasiun 1 dan stasiun 2. Hal ini terjadi diduga disebabkan karena kondisi lingkungan dan sumber pencemar. Konsentrasi logam berat Cu pada sedimen stasiun ini relatif tinggi yaitu $0,250 \pm 0,017$ ppm dan $0,274 \pm 0,033$ ppm (Gambar 16). Tingginya konsentrasi pada sedimen stasiun ini diduga mobilitas Cu pada lingkungan cenderung lebih mengendap karena bersedimen lumpur berpasir. Selain itu, perairan stasiun ini juga dipengaruhi oleh laut lepas sehingga Cu pada perairan cenderung menyebar. Berbeda dengan stasiun 4 yang memiliki konsentrasi Cu pada sedimen paling tinggi, namun konsentrasi pada daun juga tinggi. Hal ini dikarenakan tipe perairan yang semi tertutup sehingga logam berat terjebak pada perairan dan sedimen. Terjebaknya logam berat pada perairan dan sedimen menyebabkan lamun pada stasiun ini menyerap Cu melalui akar dengan daun secara bersamaan dan akar mentranslokasikan Cu pada bagian daun. Akibat dari kondisi lingkungan tersebut, konsentrasi Cu pada akar stasiun 1 dan 2 lebih tinggi dibandingkan pada bagian daun.

Akumulasi logam berat pada lamun dipengaruhi oleh berbagai macam faktor seperti sumber pencemar, penyerapan aktif maupun pasif, spesies lamun, kondisi lingkungan dan fisiologis lamun (Ahmad et al., 2015). Morfologi tumbuhan

kurang mampu menunjukkan perbedaan konsentrasi logam berat yang terdapat pada lamun. Berdasarkan hasil penelitian Thangaradjou et al (2010) juga menunjukkan konsentrasi logam berat pada daun sebagian besar dipengaruhi oleh sifat fisiologis tanaman daripada karakter morfologi. Daun lamun yang luas seperti *E. acoroides*, *T. Hemprichii* dan *C. rotundata* yang seharusnya memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam berat lebih tinggi, namun yang terjadi adalah sebaliknya yaitu spesies lamun berdaun yang lebih kecil memiliki konsentrasi logam berat yang lebih tinggi dibandingkan lamun berdaun luas. Lebih jelasnya bahwa ukuran tanaman/daun lamun tidak berperan utama dalam akumulasi logam berat dan faktor-faktor lain lebih berperan penting dalam menentukan akumulasi logam berat.

Pengaruh logam berat dari lingkungan perairan terhadap lamun memiliki dampak yang kompleks dan dapat berubah sesuai keadaan lingkungan. Sedikit yang diketahui tentang bagaimana cara lamun menanggapi adanya polutan logam berat melalui mekanisme resistensinya. Pengetahuan tentang efek yang ditimbulkan akibat akumulasi logam berat pada lamun masih sedikit. Menurut Ambo-Rappe et al. (2007), hanya diketahui perubahan morfologi berupa penyempitan luasan daun merupakan dampak dari polutan.

4.4 Kemampuan Akumulasi Cu pada Lamun *Enhalus acoroides* di Perairan Lamongan

4.4.1 Bioconcentration Factor (BCF)

Faktor biokonsentrasi (BCF) adalah kemampuan suatu organisme termasuk lamun dalam mengakumulasi logam berat dari sedimen atau kolom perairan. Melalui hasil analisis konsentrasi Cu pada lamun *Enhalus acoroides* dari 4 stasiun, selanjutnya digunakan untuk mengetahui dapatkah lamun *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan mengakumulasi Cu. Berdasarkan rumus BCF modifikasi Li dan Huang (2012), BCF daun lamun *Enhalus acoroides* pada

penelitian ini tidak dapat dihitung karena konsentrasi Cu pada air tidak terdeteksi.

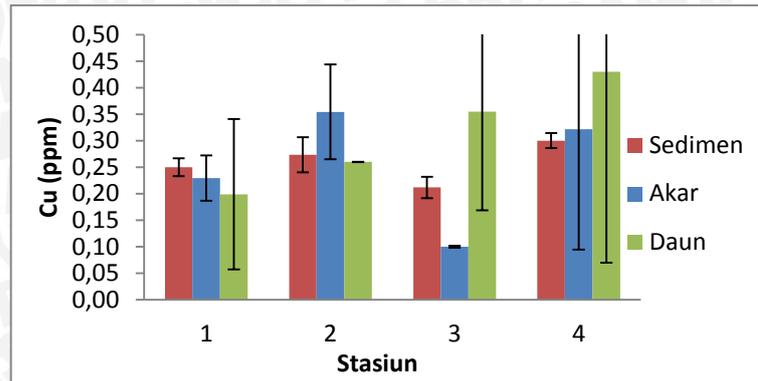
Namun, BCF dapat dihitung melalui konsentrasi Cu pada akar dengan sedimen.

Perhitungan nilai BCF akar *Enhalus acoroides* ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan nilai BCF akar *Enhalus acoroides*

Stasiun	BCF Akar
1	$BCF = \frac{0,23}{0,25} = 0,92$
2	$BCF = \frac{0,36}{0,27} = 1,30$
3	$BCF = \frac{0,10}{0,21} = 0,47$
4	$BCF = \frac{0,32}{0,30} = 1,07$
Rata-rata	0,94

Berdasarkan nilai BCF akar tiap stasiun penelitian menunjukkan stasiun 1 dan 3 memiliki nilai <1, sedangkan stasiun 2 dan 4 memiliki nilai >1. Hal ini disebabkan karena berbagai faktor yang telah disebutkan pada pembahasan sebelumnya. Perbedaan nilai BCF ini dipengaruhi oleh kondisi fisiologi lamun, lingkungan dan sumber pencemar. Nilai BCF pada akar *Enhalus acoroides* stasiun 1 dan 3 ini disebabkan karena jumlah Cu di sedimen lebih rendah daripada stasiun lainnya. Rendahnya Cu pada sedimen akan berpengaruh pada konsentrasi Cu dan daya serap oleh akar. Stasiun 2 dengan nilai BCF tertinggi dikarenakan perakarannya yang paling banyak dan panjang serta jumlah Cu pada sedimen juga tinggi. Banyaknya perakaran diduga akan memberikan kesempatan yang lebih luas untuk akumulasi Cu. Nilai BCF pada stasiun 4 dipengaruhi oleh tingginya konsentrasi Cu pada sedimen (Gambar 17) sehingga penyerapan akar akan lebih tinggi.



Gambar 17. Konsentrasi Cu pada sedimen, akar dan daun *Enhalus acoroides*

Meskipun nilai BCF bervariasi, namun hasil rata-rata nilai BCF akar lamun *Enhalus acoroides* terhadap Cu adalah sebesar 0,94 (akar). Jika dikategorikan berdasarkan Baker (1981), nilai BCF pada akar lamun *Enhalus acoroides* pada perairan Lamongan adalah sebesar <1 , sehingga memiliki sifat excluder terhadap Cu. Namun hasil penelitian Li dan Huang (2012) di perairan Pulau Andaman nilai dari BCF lamun *Enhalus acoroides* terhadap Cu menunjukkan nilai yang lebih tinggi yaitu 3,72 yang menunjukkan sifat bioakumulator. Perbedaan sifat tersebut, akibat adanya faktor lokal lokasi, keadaan lingkungan maupun stressor lainnya yang berbeda dapat mempengaruhi daya serap Cu. Akar lamun *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan bersifat excluder terhadap Cu.

4.4.2 Translocation Factor (TF)

Faktor translokasi adalah rasio konsentrasi logam berat pada bagian permukaan/daun terhadap bagian akar. Nilai TF digunakan untuk mengetahui bagaimana sifat lamun *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan terhadap Cu. Nilai TF menunjukkan kemampuan tanaman untuk mentransfer logam berat dari akar menuju bagian atas tanaman yaitu daun. Perhitungan nilai TF *Enhalus acoroides* ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan nilai TF *Enhalus acoroides*

Stasiun	TF
1	$TF = \frac{0,20}{0,23} = 0,87$
2	$TF = \frac{0,26}{0,36} = 0,73$
3	$TF = \frac{0,36}{0,10} = 3,54$
4	$TF = \frac{0,43}{0,32} = 1,34$
Rata-rata	1,62

Nilai TF pada stasiun 1 dan 2 menunjukkan hasil <1 sedangkan stasiun 3 dan 4 dengan TF >1. Namun, stasiun 3 menunjukkan nilai TF tertinggi, hal ini disebabkan karena rentang konsentrasi antara daun dan akar cukup tinggi. Tingginya konsentrasi pada daun, diduga berasal dari penyerapan melalui air yang diasumsikan berkonsentrasi lebih tinggi daripada ketiga stasiun lainnya. Selain itu, faktor-faktor lain yang telah disebutkan pada penjelasan sub bab sebelumnya juga akan mempengaruhi nilai TF pada *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan. Faktor tersebut seperti kondisi fisiologi lamun, lingkungan dan sumber pencemar.

Rata-rata hasil perhitungan nilai TF pada lamun *Enhalus acoroides* seluruh stasiun adalah 1,62 (>1). Hal ini menunjukkan bahwa lamun *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan bersifat fitoekstraksi. Pada dasarnya BCF dan TF merupakan indikator yang dapat membedakan mekanisme akumulasi antara fitostabilisasi dan fitoekstraksi. Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Liong et al. (2009) dan Sopyan et al. (2014), jika nilai BCF >1 dan TF <1, disebut mekanisme fitostabilisasi dan sebaliknya, jika nilai BCF <1 dan TF >1 maka disebut fitoekstraksi. Lamun *Enhalus acoroides* pada perairan Lamongan memiliki nilai BCF akar <1 dan nilai TF >1. Fitoekstraksi adalah salah satu proses atau rangkaian fitoremediasi oleh tumbuhan. Sifat fitoekstraksi merupakan penyerapan polutan logam berat oleh tanaman air yang selanjutnya akan

diakumulasi pada bagian daun atau batang dan dapat berpotensi sebagai tanaman hiperakumulator (Hidayati, 2013).

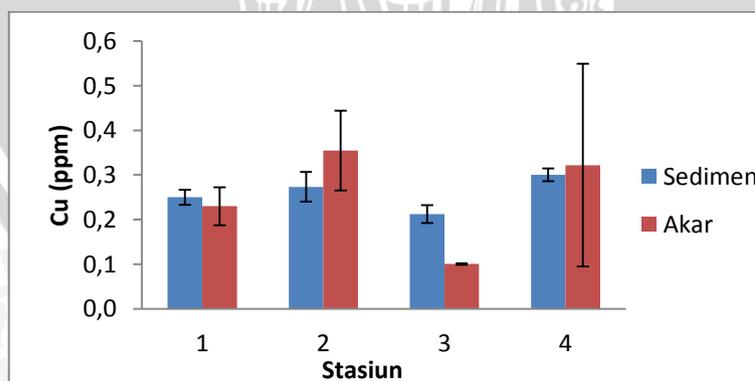
Lamun *Enhalus acoroides* menyerap logam berat melalui akar bersamaan dengan penyerapan nutrisi. Logam berat selanjutnya akan ditransfer melalui jaringan sel dan ditransfer ke bagian permukaan (daun/rhizome) lamun. Bagian daun juga menyerap melalui air dengan kutikulanya. Susana dan Suswati (2013) menyatakan bahwa logam berat dipindahkan dari akar ke bagian pucuk/daun melalui jalur transpirasi tanaman (xylem) dengan tingkat transportasi unsur yang berbeda-beda pada tiap unsur dan tiap jenis tanaman. Pada umumnya tanaman mengakumulasi logam berat pada jaringan akar. Namun, mengingat logam berat Cu dibutuhkan oleh tumbuhan lamun untuk fotosintesis, translokasi maupun akumulasi logam berat lebih banyak terjadi pada bagian daun. Selain itu, daun memiliki kutikula yang tipis sehingga penyerapan maupun akumulasi dari air lebih cepat daripada transfer melalui akar.

4.5 Hubungan Konsentrasi Cu pada Sedimen, Akar dan Daun *Enhalus acoroides*

Pada suatu ekosistem perairan, kondisi lingkungan dan biota akan saling berhubungan satu sama lain. Lamun dalam ekosistemnya memiliki fungsi penting dalam menyediakan nutrisi maupun tempat tinggal untuk biota lainnya. Keberadaan dan kelangsungan lamun akan sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik maupun kimia perairan. Tidak lepas dari pengaruh lingkungan terhadap lamun, keberadaan Cu pada perairan akan terakumulasi pada lamun. Lamun jenis *Enhalus acoroides* dapat tumbuh pada perairan keruh, pertumbuhannya lebih cepat dan ukurannya lebih besar daripada lamun lainnya. Kondisi tersebut membuat lamun jenis ini sering menjadi akumulator logam berat pada perairan laut. Lamun bertindak sebagai akumulator Cu melalui perairan dan sedimen. Cu secara alami berada di perairan dan akan mengalami peningkatan akibat

aktivitas buangan limbah rumah tangga, aktivitas kapal dan industri. Keberadaan Cu merupakan salah satu komponen penting sebagai mikronutrien dari berbagai protein di perairan yang dibutuhkan oleh lamun terutama untuk proses/mekanisme fotosintesis pada daun. Thangaradjou et al (2010) telah melakukan penelitian menggunakan indikator lamun *Enhalus acoroides* yang dapat mengakumulasi polutan Cu hingga 36,5 ppm yang berasal dari lingkungannya (Li and Huang, 2012).

Analisis korelasi hubungan antara konsentrasi logam berat Cu pada sedimen dengan daun lamun, sedimen dengan akar dan akar dengan daun dilakukan untuk mengetahui variabel mana yang saling berhubungan. Berdasarkan hasil analisis korelasi, keberadaan konsentrasi logam berat Cu memiliki hubungan positif kuat yang signifikan adalah konsentrasi pada sedimen dan akar. Korelasi positif kuat merupakan hubungan antar dua variabel jika salah satu variabel mengalami kenaikan maka variabel lainnya juga mengalami kenaikan, sedangkan jika salah satu variabel mengalami penurunan maka variabel lain juga akan menurun. Hubungan positif kuat ini ditunjukkan dengan nilai r sebesar 0,715 (Lampiran 4). Konsentrasi Cu pada sedimen dengan daun dan akar dengan daun saling berhubungan tetapi tidak secara langsung.



Gambar 18. Pola sebaran konsentrasi Cu pada sedimen dan akar

Hasil analisis ini didukung dengan hasil penelitian pada seluruh stasiun penelitian. Pada stasiun 1 dan 3 ketika konsentrasi Cu pada sedimen mengalami

penurunan, maka konsentrasi Cu pada akar juga mengalami penurunan. Begitu juga dengan stasiun 2 dan 4 ketika konsentrasi Cu pada sedimen mengalami kenaikan, maka konsentrasi Cu pada akar juga mengalami kenaikan (Gambar 18). Hubungan antara konsentrasi Cu pada akar dan sedimen ini signifikan dan positif karena akar lamun menyerap nutrisi yang dibutuhkan melalui akar. Ketika akar menyerap nutrisi dari sedimen, unsur logam berat akan ikut diserap bersamaan dengan penyerapan nutrisi dan kemudian akan ditransfer ke bagian atas lamun (rhizome dan daun).



5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh uraian dan rangkaian penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengukuran konsentrasi Cu pada air, sedimen, akar dan daun lamun *Enhalus acoroides* bervariasi sesuai dengan sumber pencemar, penyerapan aktif maupun pasif, kondisi lingkungan dan fisiologis lamun. Konsentrasi Cu pada lingkungan dan bagian *Enhalus acoroides* berturut-turut yaitu $< 0,0209$ ppm (air), $0,212 - 0,301$ ppm (sedimen), $0,1 - 0,355$ ppm (akar) dan $0,199 - 0,431$ ppm (daun).
2. Berdasarkan nilai BCF akar (<1), lamun *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan bersifat excluder terhadap Cu dan bersifat fitoekstraksi berdasarkan nilai TF (>1).
3. Terdapat korelasi positif kuat yang signifikan antara konsentrasi Cu pada sedimen dan akar, namun tidak ada korelasi nyata antara konsentrasi Cu pada daun dengan sedimen dan akar lamun.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Penelitian lanjutan dengan jangka waktu yang lebih lama dan tidak hanya dengan sekali sampling serta pengukuran Cu pada air laut dengan alat AAS yang memiliki MDL lebih rendah.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan pengukuran konsentrasi Cu pada stadia umur daun lamun yang berbeda secara periodik seta penelitian untuk mengetahui respon lamun *Enhalus acoroides* di perairan Lamongan terhadap akumulasi Cu.

3. Perlunya sosialisasi pada masyarakat pentingnya vegetasi lamun dipesisir Lamongan untuk mendegradasi logam berat termasuk Cu dilingkungan (perairan maupun sedimen).



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F., 2009. Tingkat pencemaran logam berat dalam air laut dan sedimen di perairan Pulau Muna, Kabaena, dan Buton Sulawesi Tenggara. *Makara Sains* 13, 117–124.
- Ahmad, F., Azman, S., Said, M.I.M., Baloo, L., 2015. Tropical Seagrass as a Bioindicator of Metal Accumulation. *Sains Malays.* 44, 203–210.
- Ambo-Rappe, R., Lajus, D.L., Schreider, M.J., 2007. Translational Fluctuating Asymmetry and Leaf Dimension in Seagrass, *Zostera capricorni* Aschers in a Gradient of Heavy Metals. *Environ. Bioindic.* 2, 99–116. doi:10.1080/15555270701457752
- APHA, 1992. Standart Method for The Examination of Water and Wastewater. 18th edition, Washington.
- Azhar, H., Widowati, I., Suprijanto, J., 2012. Studi Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Cd, Cr Pada Kerang Simpson (*Amusium pleuronectes*), Air Dan Sedimen Di Perairan Wedung, Demak Serta Analisis Maximum Tolerable Intake Pada Manusia. *J. Mar. Res.* 1, 35–44.
- Baker, A.J., 1981. Accumulators And Excluders-Strategies In The Response Of Plants To Heavy Metals. *J. Plant Nutr.* 3, 1–4.
- Bappeda, 2006. Lamongan Dalam Angka. Bappeda-BPS Kabupaten Lamongan 6
- Bengen, D.G., 2001. Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir Laut. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan IPB, Bogor.
- Darmono, 1995. Logam dalam Sistem Mahluk Hidup. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Efendi, E., 2015. Akumulasi Logam Cu, Cd dan Pb Pada Meiofauna Intertidal Dan Epifit Di Ekosistem Lamun Monotipic (*Enhalus Acoroides*). *Aquasains* 3.
- EPA-Ohio, 2001. Sediment Sampling Guide and Methodologies 2nd edition. Environmental Protection Agency, State of Ohio.
- Fitriani, S.D., 2013. Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Stadia Umur Lamun di Perairan Bojonegara Teluk Banten. Universitas Padjajaran, Jatinangor.
- Fitriyah, A.W., Utomo, Y., Kusumaningrum, I.K., 2013. Analisis Kandungan Tembaga (Cu) dalam Air dan Sedimen di Sungai Surabaya.
- FOCS, 2008. Bioaccumulation (Focus on chlorine science, issue 08), in: 8. Eurochlor cevic, Europe Union.
- Fujaya, Y., Alam, N., 2012. Pengaruh kualitas air, siklus bulan, dan pasang surut terhadap molting dan produksi kepiting cangkang lunak (Soft Shell Crab)

di tambak komersil. Makal. Dipresentasikan Pada Pertem. Ilm. Tah. Ikat. Sarj. Oseanologi Indones. 21–23.

Ginting, T., Irwanmay, I., Budiulianto, E., 2014. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) di Aliran Air Sungai Belumai, Kecamatan Tanjung Morawa (Analysis of The Content of Heavy Metals Lead (Pb) and Copper (Cu) In River Water Flow Belumai, District of Tanjung Morawa). *Aquacoastmarine* 5.

Govindasamy, C., Arulpriya, M., Ruban, P., Jenifer, L.F., Ilayaraja, A., 2011. Concentration of heavy metals in seagrasses tissue of the Palk Strait, Bay of Bengal. *Int. J. Environ. Sci.* 2, 145–153.

Hakimz, A., 2014. Media Penyuluhan Perikanan: Parameter Lingkungan Penting Untuk Lamun (seagrass). *Media Penyul. Perikan.*

Hamzah, F., 2010. Accumulation of Heavy Metals Pb, Cu, and Zn in The Mangrove Forest of Muara Angke, North Jakarta. *J. Ilmu Dan Teknol. Kelaut. Trop.* 2.

Hariyadi, H., Rochaddi, B., others, 2014. Sebaran Konsentrasi Sedimen Tersuspensi Di Perairan Larangan, Kabupaten Tegal Menggunakan Model Matematik 2 Dimensi SED2D. *J. Oceanogr.* 3, 124–134.

Hartati, R., Junaedi, A., Hariyadi, H., Mujiyanto, M., 2012. Struktur Komunitas Padang Lamun di Perairan Pulau Kumbang, Kepulauan Karimunjawa (Seagrass Community Structure of Kumbang Waters-Karimunjawa Islands). *ILMU Kelaut. Indones. J. Mar. Sci.* 17, 217–225.

Hidayati, N., 2013. Heavy Metal Hyperaccumulator Plant Physiology Mechanism. *J. Tek Lingkung.* 14, 75–82.

Hutomo, M., Supriadi, Kaswadji, R.F., Bengen, D.G., 2014. Carbon Stock of Seagrass Community in Barranglompo Island, Makassar. *Ilmu Kelaut.* 19, 1–10.

Indra Yanthy T, K., Sahara, E., Kunti Sri Panca Dewi, I.G., others, 2013. Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Tembaga (Cu) pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen di Kawasan Pantai Sanur. *J. Chem.* 7.

Kaswadji, R.F., Bengen, D.G., Hutomo, M., others, 2014. Komunitas Lamun di Pulau Barranglompo Makassar: Kondisi dan Karakteristik Habitat. *Maspri J.* 4, 148–158.

Khasim, M., Pratomo, A., Muzahar, 2013. Struktur Komunitas Padang Lamun Pada Kedalaman Yang Berbeda Di Perairan Desa Berakit Kabupaten Bintan. *Marit. Raja Ali Haji Univ.*

Kiswara, W., 1994a. A Review: Seagrass Ecosystem Studies In Indonesia Waters. Presented at the Third Asean-Australia Symposium on Living Coastal Resources, Chulalongkorn University, Bangkok Thailand, pp. 259–281.

- Kiswara, W., 1994b. Perbandingan Logam Berat (Cd, Cu, Pb dan Zn) dalam Lamun di Perairan Tropis dan Subtropis.
- Kiswara, W., Hutomo, M., 1985. Habitat Dan Sebaran Geografik Lamun. *Oseana*. *Oseana* 5, 21–30.
- KLH, 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut, 51.
- Lewis, M.A., Dantin, D.D., Chancy, C.A., Abel, K.C., Lewis, C.G., 2007. Florida seagrass habitat evaluation: A comparative survey for chemical quality. *Environ. Pollut.* 146, 206–218. doi:10.1016/j.envpol.2006.04.041
- Li, L., Huang, X., 2012. Three tropical seagrasses as potential bio-indicators to trace metals in Xincun Bay, Hainan Island, South China. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 30, 212–224. doi:10.1007/s00343-012-1092-0
- Liantira, Litaay, M., Soekendarsi, E., 2015. Perbandingan Kandungan Kadar Logam Berat Tembaga (Cu) Keong Mas *Pomacea canaliculata* Pada Berbagai Lokasi Di Kota Makassar. *Submit J. Sainsmat* 1–15.
- Liong, S., Noor, A., Taba, P., Zubair, H., 2009. Dinamika Akumulasi Kadmium Pada Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea reptans* Poir). *Indones. Chim. Acta* 2.
- Marín-Guirao, L., Atucha, A.M., Barba, J.L., López, E.M., Fernández, A.J.G., 2005. Effects of mining wastes on a seagrass ecosystem: metal accumulation and bioavailability, seagrass dynamics and associated community structure. *Mar. Environ. Res.* 60, 317–337. doi:10.1016/j.marenvres.2004.11.002
- Maslukah, L., 2013. Hubungan antara Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dengan Bahan Organik dan Ukuran Butir dalam Sedimen di Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang. *Bul. Oseanografi Mar.* 2, 55–62.
- Mc Kenzie, L., 2008. Seagrass. Northern Fisheries Centre, Australia.
- Mountouris, A., Voutsas, E., Tassios, D., 2002. Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments: the importance of bioavailability. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 1136–1141. doi:10.1016/S0025-326X(02)00168-6
- Nurd, D., 2013. Statsdata: Analisis Korelasi [WWW Document]. URL <http://www.statsdata.my.id/2012/04/analisis-korelasi.html> (accessed 6.2.16).
- Palar, H., 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta, Jakarta.
- Parawita, D., Nugraha, W.A., 2009. Analisis Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) di Muara Sungai Porong. *J. Kelaut.* 2.
- Pemerintah Kabupaten Lamongan, 2015. Gambaran Umum Kabupaten Lamongan.

- Priyanto, B., Prayitno, J., 2004. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan [WWW Document]. URL <http://ftl.bppt.tripod.com/sublab/lflora1.htm> (accessed 2.19.16).
- Putri, Y.D., Holik, H.A., Musfiroh, I., Aryanti, A.D., 2014. Pemanfaatan Tanaman Eceng-Ecengan (Ponteridaceae) sebagai Agen Fitoremediasi dalam Pengolahan Limbah Krom. *IJPST* 1, 20–25.
- Risandi, M.R., 2014. Distribusi Konsentrasi Logam Berat Merkuri (Hg) dan Tembaga (Cu) dalam Air Laut dan Sedimen di Pantai Paciran Kabupaten Lamongan. Universitas Brawijaya, Malang.
- Rochyatun, E., Kaisupy, M.T., Rozak, A., 2006. Distribusi logam berat dalam air dan sedimen di perairan muara sungai Cisadane. *Makara Sains* 10, 35–40.
- Romimohtarto, K., Juwana, S., 2009. *Biologi Laut*. Djambatan, Jakarta.
- Sanusi, H.S., Putranto, S., 2009. *Kimia Laut & Pencemaran : Proses Fisik Kimia dan Interaksi Dengan Lingkungan*. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Sari, Y.K., Indrayanti, E., Purwanto, P., 2015. Pola Arus di Perairan Paciran Jawa Timur pada Musim Peralihan Awal. *J. Oceanogr.* 4, 350–349.
- Schlacher-Hoenlinger, M.A., Schlacher, T.A., 1998. Accumulation, contamination, and seasonal variability of trace metals in the coastal zone - patterns in a seagrass meadow from the Mediterranean. *Mar. Biol.* 131, 401±410.
- Seagrasswatch, 2016. *Tropical Seagrass Identification* [WWW Document]. URL http://www.seagrasswatch.org/id_seagrass.html (accessed 2.9.16).
- Sittadewi, E.H., 2011. Fungsi strategis Danau Tondano, Perubahan ekosistem dan masalah yang terjadi. *J. Teknol. Lingkung.* 9.
- Sopyan, S., Sikanna, R., Sumarni, N.K., 2014. Fitoakumulasi Merkuri oleh Akar Tanaman Bayam Duri (*Amarantus spinosus* linn) pada Tanah Tercemar. *Online J. Nat. Sci. FMIPA* 3.
- Susana, R., Suswati, D., 2013. Bioakumulasi dan Distribusi Cd pada Akar dan Pucuk 3 jenis Tanaman Famili Brassicaceae Implementasinya untuk Fitoremediasi. *J. Mns. Dan Lingkung.* 20, 221–228.
- Takaendengan, K., Azkab, M.H., 2010. Struktur komunitas lamun di Pulau Talise, Sulawesi Utara. *Oseanologi Dan Limnol.* 36, 85–95.
- Tarigan, Z., Rozak, A., others, 2010. Kandunga Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn dan Ni dalam Air Laut dan Sedimen di Muara Sungai Membramo, Papua dalam Kaitannya dengan Kepentingan Budidaya Perikanan. *Makara Sci. Ser.* 7.

- Thangaradjou, T., Nobi, E.P., Dilipan, E., Sivakumar, K., Susila, S., 2010. Heavy metal enrichment in seagrasses of Andaman Islands and its implication to the health of the coastal ecosystem. *Indian J. Mar. Sci.* 39, 85–91.
- Thomlinson, P., 1980. Leaf morphology and anatomy in seagrasses. *Handbook of seagrass biology: an ecosystem perspective*. Garland STPM, New York and London.
- Triadi, J., 2014. Konsentrasi Logam Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Pada Lamun *Enhalus acoroides* Dan Sedimen Di Pulau Bonetambung Dan Gusung Tallang. Universitas Hassanudin, Makassar.
- Tupan, C.I., 2012. Profil Logam Berat Timbal (Pb) di Perairan Pulau Ambon dan Dampaknya Terhadap Respon Struktur Anatomi dan Fisiologi Lamun *Thalassia hemprichii* (Ehrenberg) Ascherson. Universitas Brawijaya, Malang.
- Waycott, M., K, M., J, M., A, C., D, K., 2004. *A Guide Tropical Seagrasses of The Indo-West Pacific*. Townsville, James Cook University.
- Whelan III, T., Van Tussenbroek, B.I., Barba Santos, M.G., 2011. Changes in trace metals in *Thalassia testudinum* after hurricane impacts. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2797–2802. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.09.007
- Wirespathi, E.A., Raharjo, W.B., 2012. Pengaruh Kromium Heksavalen (VI) terhadap Tingkat Kelangsungan Hidup Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *LenteraBio* 1, 75–79.
- Zainuri, M., Sudrajat, Siboro, E.S., 2011. Kadar Logam Berat Pb pada Ikan Beronang (*Siganus* sp), Lamun, Sedimen dan Air di Wilayah Pesisir Bontang-Kalimantan Timur. *J. Kelaut.* 4, 102–118.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengukuran Parameter Lingkungan

Stasiun	Parameter Fisika		Parameter Kimia			Deskripsi Stasiun
	Suhu (°C)	Kedalaman (cm)	Salinitas (‰)	DO (mg/l)	pH	
1	30,9	70	30	3,3	7,6	Perairan PPI Brondong
	31	76	30	3,89	7,6	
	31,2	78	30	3,92	7,6	
Rata-Rata	31,03	74,67	30,00	3,70	7,6	
2	31	78	30	3,32	7,6	Perairan Tunggul
	31,2	83	31	3,94	7,6	
	31,3	86	31	4	7,6	
Rata-Rata	31,17	82,33	30,67	3,75	7,6	
3	30,8	82	30	4,47	7,6	Perairan Kemantren
	31	84	30	4,64	7,6	
	31,4	90	31	4,8	7,6	
Rata-Rata	31,07	85,33	30,33	4,64	7,6	
4	31	80	30	3,03	7,6	Perairan Pasar Ikan Kranji
	31,3	85	31	3,31	7,6	
	31,4	86	31	3,6	7,6	
Rata-Rata	31,23	83,67	30,67	3,31	7,6	

Lampiran 2. Hasil Lengkap Pengukuran Konsentrasi Cu

Stasiun	Konsentrasi Cu (ppm)							
	Akar		Daun		Sedimen		Air	
	a	b	a	b	a	b	a	b
1	0,2602	0,1997	0,2996	0,099	0,2382	0,262	< 0,0209	< 0,0209
2	0,2914	0,4178	0,2791	0,2785	0,2501	0,2969	< 0,0209	< 0,0209
3	0,099	0,1017	0,4865	0,2236	0,2263	0,1979	< 0,0209	< 0,0209
4	0,4829	0,1613	0,1759	0,6853	0,2904	0,3106	< 0,0209	< 0,0209

Lampiran 3. Hasil analisis korelasi pearson

1. Daun dengan sedimen

Correlations

		Sedimen Cu	Daun Cu
Sedimen Cu	Pearson Correlation	1	-.239
	Sig. (2-tailed)		.569
	N	8	8
Daun Cu	Pearson Correlation	-.239	1
	Sig. (2-tailed)	.569	
	N	8	8

2. Sedimen dengan Akar

Correlations

		Sedimen Cu	Akar Cu
Sedimen Cu	Pearson Correlation	1	.715*
	Sig. (2-tailed)		.046
	N	8	8
Akar Cu	Pearson Correlation	.715*	1
	Sig. (2-tailed)	.046	
	N	8	8

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

3. Daun dengan Akar

Correlations

		Cu daun	Cu Akar
Cu daun	Pearson Correlation	1	-.404
	Sig. (2-tailed)		.321
	N	8	8
Cu Akar	Pearson Correlation	-.404	1
	Sig. (2-tailed)	.321	
	N	8	8

Lampiran 4. Dokumentasi

1. Pengambilan Sampel



Pengambilan sampel lamun



Kalibrasi alat



Pengukuran Kedalaman



Pengukuran salinitas



Enhalus Acoroides



Salah satu saluran buangan limbah rumah tangga

2. Pengukuran Konsentrasi Cu



Pemisahan bagian akar dan daun

Penyimpanan dan pelabelan sampel



Pemotongan sampel daun



Pemanasan sampel dengan vurnis



Larutan sampel



Penyaringan larutan sampel



Uji dengan AAS