

PERAN HUTAN MANGROVE SEBAGAI BIOFILTER DALAM PENGENDALIAN POLUTAN Pb DAN Cu DI HUTAN MANGROVE SUNGAI DONAN, CILACAP, JAWA TENGAH

Giska Parwa Manikasari¹, Ni Putu Diana Mahayani²

¹ Departemen Teknologi Hayati dan Veteriner, Sekolah Vokasi UGM
Email: ¹giska.parwa.m@mail.ugm.ac.id
² Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan UGM
Email: ²dianamahayani@yahoo.com

ABSTRACT

*Cilacap Oil Refinery that produces heavy metal waste containing Pb and Cu is located across to the mangrove forests along Donan river banks. This study aimed to recognize the role of mangrove forest as biofilters in controlling water pollutants of Pb and Cu that is predicted containing the mangrove rehabilitation areas along Donan River banks, Cilacap. The research site was grouped into four areas, which are control zone (three km before the point source), Inner Zone (at the point source), middle zone (one km point source), and outer zone (estuarine). Four plots were established to measure chemical water quality and mangrove tree density. Data collected were then analyzed using regression model to identify the relationship between mangrove tree density and Pb and Cu concentration in the water, substrate, roots, and leaves of *Rhizophora apiculata*. Analysis of variance were applied among four zones to find out the role of mangrove as biofilters for those heavy metals. The results showed that even though Pb and Cu concentration in the water was not significantly different, however, the concentrations of those heavy metals from the point source to the estuarine zones decreased, especially the concentration of Pb in the substrat highly reduced. Finally, the role of mangrove forest as biofilter was also recognized from the concentration of Pb and Cu detected in the roots and leaves of *Rhizophora apiculata*.*

Keywords: mangrove, *Rhizophora apiculata*, biofilter, Pb, Cu, Sungai Donan.

1. PENDAHULUAN

Hutan *mangrove* merupakan salah satu tipe ekosistem hutan yang hidup pada peralihan antara daratan dan lautan yang keberadaannya dipengaruhi oleh pergerakan ombak yang relatif kecil, berlumpur, dan adanya pasang surut air laut. Sebagai bagian dari ekosistem darat dan laut, hutan *mangrove* mampu berfungsi ganda, yaitu sebagai pelindung dan juga sebagai pendukung kedua ekosistem tersebut (Arief, 2003). Bagi ekosistem darat, hutan *mangrove* mampu melindungi pantai dari kemungkinan terjadinya abrasi, erosi, gelombang pasang, dan angin topan, sedangkan bagi ekosistem laut, hutan *mangrove* mempunyai arti penting karena mampu memberikan sumbangan bahan organik yang akan menunjang biota akuatik. Hal tersebut dapat dilihat dari adanya seresah yang berasal dari luruhan daun, ranting, dan bunga *mangrove* yang oleh mikroorganisme dan makroorganisme akan diuraikan menjadi partikel-partikel detritus yang merupakan sumber makanan penting bagi biota laut seperti plankton,

udang, kepiting, ikan kecil, dan lain-lain. Hutan *mangrove* juga merupakan ekosistem utama pendukung kehidupan penting wilayah pesisir dan lautan. Demikian pula dijelaskan oleh Arief (2003), salah satu fungsi fisik dan kimia ekosistem *mangrove* adalah pengolah bahan limbah. Dikatakan demikian karena hutan *mangrove* mempunyai kemampuan untuk mengakumulasi logam-logam berat yang terdapat dalam ekosistem perairan. Fachrul (2012) juga menyatakan bahwa pada saat berbahaya *mangrove* berfungsi menyaring pencemaran logam berat dari daratan sebelum masuk ke lautan.

Tumbuhan *mangrove* dapat digunakan sebagai indikator untuk mendeteksi pencemaran logam berat yang terjadi di dalam ekosistem *mangrove* maupun ekosistem sekitarnya (Brooks, 1992 dalam Supriyandono, 1999). Berdasarkan fungsi akumulasi, tumbuhan mampu mengantisipasi perubahan lingkungan dengan mengadakan respon tertentu apabila terdapat ion toksis. Ketahanan tumbuhan terhadap pengaruh toksisitas dilakukan dengan mekanisme penghindaran fenologis, eksklusi, ameliorasi, dan toleransi (Fitter dan Hay, 1991).

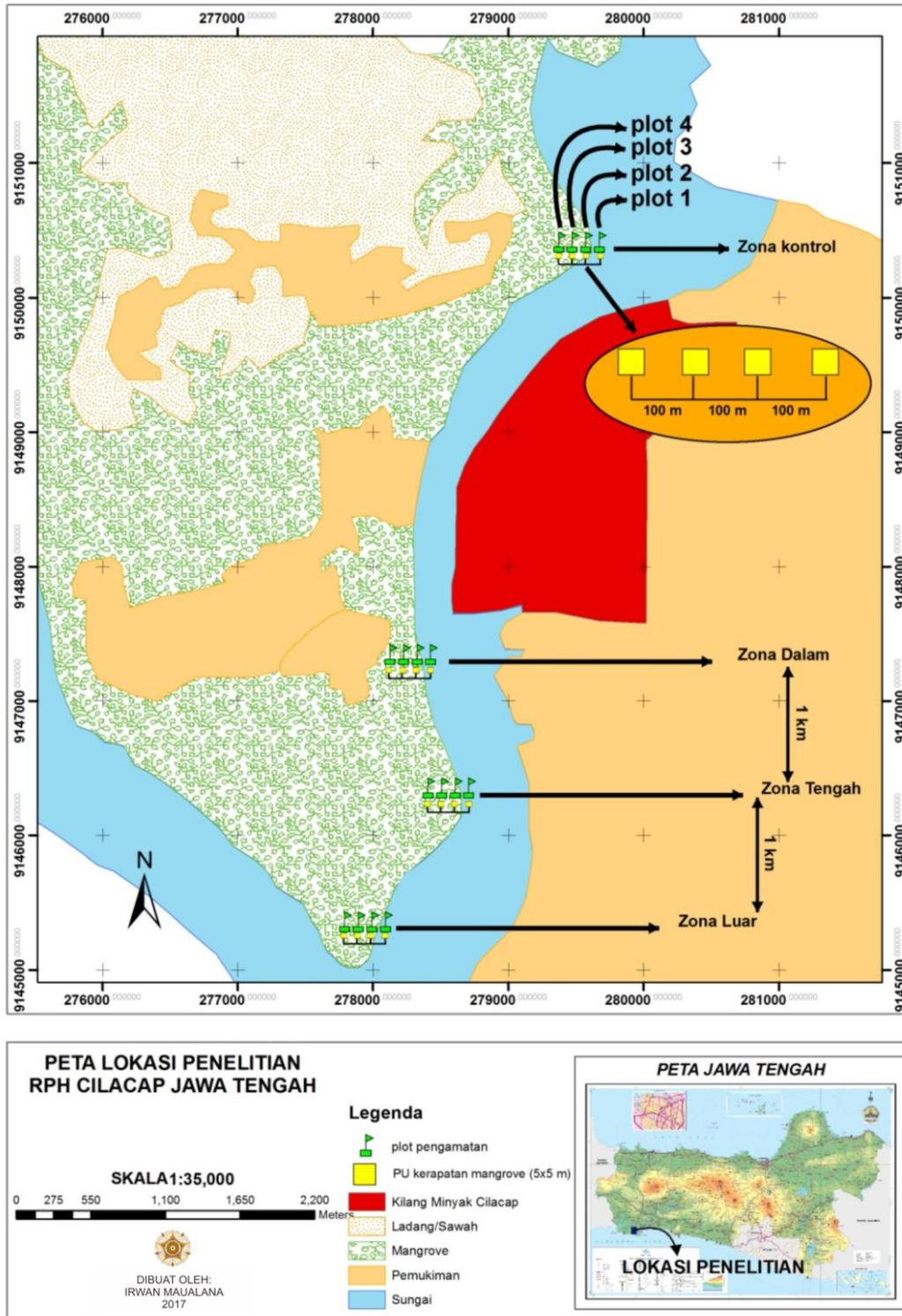
Lokasi penelitian ini dilaksanakan di kawasan rehabilitasi Hutan *Mangrove* Segara Anakan, tepatnya di tepi Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. Kawasan Pantai Cilacap merupakan muara dari sungai-sungai yang dijadikan tempat pembuangan limbah. Kawasan ini dikembangkan sebagai kawasan industri tempat dibangun berbagai industri dan beberapa diantaranya terletak di tepi Sungai Donan dan membuang limbahnya ke perairan sungai tersebut (Sugiharto, 2005). Berdasarkan hasil penelitian mengenai kualitas perairan di daerah Cilacap pada tahun 1984 oleh Bachtiar dan Prasetyo (1984) dalam Perdana (2006), keberadaan logam berat di perairan Cilacap sejak tahun 1977 sampai akhir 1983 tidak mengalami perubahan yang mencolok. Namun demikian, sejak tahun 1980 dapat dikatakan bahwa kandungan logam berat dan minyak di dalam perairan Sungai Donan telah melampaui nilai ambang batas yang ditentukan. Dalam penelitian tersebut juga disebutkan adanya kecenderungan kenaikan logam berat pada sedimen dari tahun ke tahun yang berkaitan erat dengan kegiatan industri di sekitar Sungai Donan terutama kegiatan Kilang Minyak Cilacap. Hasil penelitian lainnya, yaitu berdasarkan hasil pemantauan kualitas air yang dilakukan pada tahun 1988 sampai 2000 menunjukkan bahwa pencemaran sudah terjadi di Sungai Donan (Hardjosuwarno, 1988 dalam Soedradjad, 2000). Pencemaran tersebut apabila tidak langsung ditangani, dalam jangka panjang Sungai Donan dapat mengalami pencemaran yang kronis sebab proses fisik (pengadukan, pengenceran, dan pengendapan) yang terjadi akan mempengaruhi kualitas air dari suatu waktu ke waktu yang lain (Guzman dkk., 1991 dalam Soedradjad, 2003).

Ekosistem *mangrove* yang berada di tepi Sungai Donan dengan perakarannya yang khas memiliki potensi dalam mengakumulasi logam berat yang bersumber dari kegiatan industri di sepanjang Sungai Donan. Selain itu, lumpur di hutan *mangrove* memiliki kandungan bahan organik yang tinggi (Supriharyono, 2000). Connel dan Miller (1995) mengatakan bahwa semakin tinggi kandungan bahan organik, semakin tinggi kemampuannya dalam menyerap dan menetralkan bahan pencemar. Namun, ekosistem *mangrove* itu sendiri memiliki kemampuan yang terbatas dalam menyerap dan menetralkan bahan pencemar sehingga dapat mengancam keberadaan *mangrove* dan ekosistem sekitarnya yang berakibat pada kematian organisme-organisme penghuni ekosistem (Mahayani, 2005).

Berdasarkan hal tersebut diatas, keberadaan dan kondisi hutan *mangrove* memegang peranan penting dan strategis dalam memulihkan kerusakan lingkungan perairan melalui kemampuannya dalam mengakumulasi berbagai bahan pencemar. Oleh karena itu, penelitian tentang peranan hutan *mangrove* sebagai *biofilter* dalam pengendalian bahan pencemar lingkungan, khususnya logam berat Pb dan Cu perlu dilakukan.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian terbagi menjadi empat zona pengamatan dengan tiga zona ditempatkan berdasarkan jarak dari lokasi pembuangan limbah Kilang Minyak Cilacap dengan jarak masing-masing 1 km (Gambar 1). Selanjutnya diberi keterangan sebagai zona dalam, merupakan zona yang paling dekat dengan Kilang Minyak Cilacap, zona tengah, dan zona luar, yaitu zona yang paling dekat dengan muara. Selain ketiga zona di atas, juga ditempatkan zona pengamatan yang berada pada lokasi sejauh 3 km sebelum lokasi pembuangan limbah Kilang Minyak Cilacap yang disebut dengan zona kontrol. Pada tiap zona dibuat empat plot pengamatan, plot pertama terdapat di badan air (sungai) yang disebut Plot 1, sedangkan tiga plot lain ada dalam kawasan mangrove dengan nama Plot 2, 3, dan 4. Dalam setiap plot dibuat petak ukur 5 x 5 m untuk mengidentifikasi jumlah individu dan jenis *mangrove* (Plot 2 hingga 4) serta menjadi lokasi pengambilan sampel air, substrat, dan organ tumbuhan *mangrove* untuk analisis konsentrasi polutan Pb dan Cu (Plot 1 hingga 4).



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

A. Faktor biokonsentrasi (Bioconcentration Factor – BCF) dan faktor translokasi (Translocation Factor–TF)

Setelah kandungan logam berat dalam air dan substrat serta organ tumbuhan diketahui, maka data tersebut digunakan untuk menghitung kemampuan *Rhizophora apiculata* dalam menyerap logam berat Pb dan Cu dari lingkungan melalui tingkat *Bioconcentration Factor*

(BCF). Faktor terpenting kedua untuk melihat potensi tanaman sebagai fitoremediator adalah nilai *Translocation Factor* (TF). Nilai TF menunjukkan kemampuan tanaman dalam memindahkan logam dari akar ke tajuk (Wei et al., 2008). Dari nilai BCF dapat diketahui kemampuan tumbuhan yang diteliti dalam mengakumulasi logam berat di lingkungannya, sedangkan dari nilai TF dapat diketahui proses yang dilakukan tanaman dalam mengurangi keberadaan logam merupakan proses fitoekstraksi atau fitostabilisasi.

$$BCF \text{ Pb atau Cu } \left(\frac{l}{kg} \right) = \frac{\text{Logam berat Cu atau Pb tumbuhan } \left(\frac{mg}{kg} \right)}{\text{Logam berat Cu atau Pb dalam air } \left(\frac{mg}{l} \right)} \quad (1)$$

Jika nilai
 BCF > 1000 = kemampuan tinggi
 1000 > BCF > 250 = kemampuan sedang
 BCF < 250 = kemampuan rendah.

$$TF \text{ Pb atau Cu} = \frac{\text{Logam berat Cu atau Pb daun } \left(\frac{mg}{kg} \right)}{\text{Logam berat Cu atau Pb dalam akar } \left(\frac{mg}{kg} \right)} \quad (2)$$

Jika nilai
 TF < 1 = Mekanisme fitostabilisasi
 TF > 1 = Mekanisme fitoekstraksi.

B. Pengaruh kerapatan absolut vegetasi mangrove terhadap konsentrasi polutan Pb dan Cu

Untuk mengetahui pengaruh kerapatan absolut vegetasi mangrove terhadap konsentrasi polutan Pb dan Cu dalam air, substrat, serta organ tumbuhan (akar dan daun), dilakukan delapan analisis regresi dengan menggunakan software SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*) 17.0 for Windows dengan jumlah sampel sebanyak 16 sampel. Karena uji normalitas, uji homogenitas, dan uji linieritas sebagai asumsi analisis regresi terpenuhi, serta dengan hanya memiliki satu variabel prediktor, maka analisis yang digunakan adalah analisis regresi linear sederhana. Persamaan analisis regresi sederhana, yaitu

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X \quad (3)$$

dengan keterangan sebagai berikut.

- 1) Variabel respon (*variable dependent*), yaitu variabel yang keberadaannya dipengaruhi oleh variabel lainnya dan dinotasikan dengan Y_i .
- 2) Variabel prediktor (*variable independent*), yaitu variabel yang bebas tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya dan dinotasikan dengan X .
- 3) β_0 , yaitu konstanta.

4) β_1 , yaitu koefisien regresi dengan masing-masing persamaan sebagai berikut.

$$\text{Konsentrasi Polutan Pb dalam air} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Kerapatan absolut vegetasi mangrove} \quad (4)$$

$$\text{Konsentrasi Polutan Pb dalam substrat} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Kerapatan absolut vegetasi mangrove} \quad (5)$$

$$\text{Konsentrasi Polutan Pb dalam akar} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Kerapatan absolut vegetasi mangrove} \quad (6)$$

$$\text{Konsentrasi Polutan Pb dalam daun} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Kerapatan absolut vegetasi mangrove} \quad (7)$$

$$\text{Konsentrasi Polutan Cu dalam air} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Kerapatan absolut vegetasi mangrove} \quad (8)$$

$$\text{Konsentrasi Polutan Cu dalam substrat} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Kerapatan absolut vegetasi mangrove} \quad (9)$$

$$\text{Konsentrasi Polutan Cu dalam akar} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Kerapatan absolut vegetasi mangrove} \quad (10)$$

$$\text{Konsentrasi Polutan Cu dalam daun} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Kerapatan absolut vegetasi mangrove.} \quad (11)$$

C. Perbedaan konsentrasi polutan Pb dan Cu di keempat zona pengamatan

Data konsentrasi polutan Pb dan Cu dalam air dan substrat dengan jumlah sampel masing-masing 16 sampel (satu kali ulangan) dengan empat perlakuan berupa zona pengamatan dengan unit eksperimen berupa plot pengamatan kemudian dianalisis secara statistik dengan menggunakan uji *One way Anova (Analysis of Variance)* atau analisis sidik ragam satu faktor untuk mengetahui perbedaan konsentrasi polutan Pb dan Cu pada tiap zona pengamatan. Analisis sidik ragam satu faktor digunakan karena hanya memperhitungkan satu faktor yang menimbulkan variansi, yaitu zona pengamatan, serta terpenuhinya uji normalitas dan uji kesamaan variansi. Untuk mengetahui secara lebih detail bagian yang berbeda, digunakan uji lanjut *Least Significant Difference (LSD)* atau disebut uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) karena asumsi kesamaan variansi telah terpenuhi dan jumlah sampel tiap variabel adalah sama. Pengujian BNT dilakukan berdasarkan dua nilai baku (α) pembandingan terhadap perbedaan rata-rata, yaitu $LSD(\alpha=5\%)$ dan $LSD(\alpha=1\%)$, yang diperoleh dengan mengalikan nilai t-sudent dengan nilai galat baku rerata deviasi ($S\delta$).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Biokonsentrasi (Bioconcentration Factor – BCF) dan Faktor Translokasi (Translocation Factor TF) Logam Pb dan Cu

Akumulasi logam bisa dilihat dengan cara membandingkan konsentrasi antar organ tumbuhan *mangrove*. Baker dan Brooks (1989) dalam Hamzah dan Setiawan (2010) menyatakan bahwa tumbuhan mampu mengakumulasi logam berat hingga $> 1000 \text{ mg/kg}$ dan dikenal sebagai hiperakumulator. *Bioconcentration factors (BCF)* dan *Translocation factors (TF)* bisa digunakan untuk menduga tumbuhan yang bisa dijadikan sebagai fitoremediasi. Melalui hasil analisis konsentrasi polutan Pb dan Cu pada masing-masing zona maka dapat dihitung nilai BCF untuk melihat sejauh mana *Rhizophora apiculata* mampu mengakumulasi

polutan tersebut dalam air dengan kata lain untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi logam pada daun dan akar yang berasal dari lingkungan (MacFarlane et al., 2003), sedangkan dari nilai TF dapat diketahui proses yang dilakukan *Rhizophora apiculata* dalam mengurangi keberadaan logam apakah merupakan proses fitoekstraksi atau fitostabilisasi.

Tabel 1. Nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF) Pb dan Cu di Keempat Zona Pengamatan

Zona	Konsentrasi Pb			Konsentrasi Cu		
	Tumbuhan (Akar dan Daun) (mg/kg)	Air (mg/l)	BCF Pb (l/kg)	Tumbuhan (Akar dan daun) (mg/kg)	Air (mg/l)	BCF Cu (l/kg)
Kontrol	2.44	0.004	668.95	4.67	0.017	274.44
Dalam	4.35	0.015	297.64	7.96	0.04	198.29
Tengah	1.66	0.004	455.25	5.49	0.022	251.21
Luar	2.02	0.007	276.33	5.58	0.023	241.18

Tabel 2. Nilai Faktor Translokasi (TF) Pb dan Cu di Keempat Zona Pengamatan

Zona	Pb dalam Daun (mg/kg)	Pb dalam Akar (mg/kg)	TF Pb	Cu dalam Daun (mg/kg)	Cu dalam Akar (mg/kg)	TF Cu
Kontrol	0.384	2.06	0.19	2.22	2.44	0.91
Dalam	0.855	3.49	0.24	3.58	4.38	0.82
Tengah	0.156	1.51	0.10	2.47	3.02	0.82
Luar	0.170	1.85	0.09	2.54	3.03	0.84

Berdasarkan hasil perhitungan nilai Faktor Biokonsentrasi (BCF) dalam air diketahui nilai BCF Cu Zona Kontrol sebesar 274,44 l/kg dan Zona Tengah sebesar 251, 21 l/kg dikategorikan memiliki kemampuan sedang sementara Zona Dalam dan Zona Luar termasuk dalam kategori rendah karena nilai BCF Cu lebih kecil dari 250 l/kg. Sementara itu, nilai BCF Pb termasuk dalam kategori sedang untuk semua zona. Nilai BCF tertinggi sebesar 668,95 (Pb) dan terendah 198,29 (Cu) sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa kemampuan *Rhizophora apiculata* dalam mengakumulasi logam berat dalam air berupa Pb lebih besar daripada logam Cu.

Data BCF tersebut menunjukkan bahwa pohon *Rhizophora apiculata* mempunyai kecenderungan untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat yang terdapat dalam ekosistem habitatnya. Perbedaan konsentrasi logam berat pada organ tumbuhan tertentu berkaitan dengan proses fisiologis tumbuhan tersebut. Menurut Rosmarkam dan Nasih (2002) bahwa ada tiga jalan yang dapat ditempuh oleh air dan ion-ion yang terlarut bergerak menuju sel-sel xylem dalam akar, yaitu (1) melalui dinding sel (apoplas) epidermis dan sel-sel korteks, (2) melalui sistem sitoplasma (simplas) yang bergerak dari sel ke sel, dan (3) melalui sel hidup pada akar, dimana sitosol dari setiap sel membentuk suatu jalur.

Brooks (1997) dalam Hamzah dan Setiawan (2010) mengatakan akumulasi logam ke dalam akar tumbuhan melalui bantuan transpor molekul dalam membran akar kemudian akan membentuk transpor logam kompleks yang menembus xilem dan terus menuju sel daun. Setelah sampai di daun, logam akan melewati plasmalemma, sitoplasma, dan tonoplasma untuk memasuki vakuola. Di dalam vakuola transpor, molekul kompleks bereaksi dengan akseptor terminal molekul untuk membentuk akseptor kompleks logam kemudian transpor molekul dilepas dan akseptor kompleks logam terakumulasi dalam vakuola yang tidak akan berhubungan dengan proses fisiologi sel tumbuhan.

Kapasitas transfer logam dari akar ke daun dihitung dengan menggunakan perhitungan faktor translokasi (*Translocation Factor*–TF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai TF dari akar ke daun bervariasi antara 0,09 – 0,91. Menurut sifatnya, logam berat Pb merupakan logam yang memiliki daya translokasi yang rendah (Hamzah dan Setiawan, 2010) sehingga nilai TF Pb lebih kecil dari Cu yang biasanya mengalami translokasi pembentukan khelat dengan asam-asam poliamino-polikarboksilik. Dengan kata lain, logam Pb lebih lambat ditranslokasikan ke tajuk dibandingkan dengan logam Cu. Hasil ini juga menunjukkan bahwa *Rhizophora apiculata* bukanlah tumbuhan hiperakumulator sebab untuk menjadi tumbuhan hiperakumulator, besar faktor translokasi harus lebih dari satu ($TF > 1$) (Lorestani et al., 2011 dalam Siahaan et al., 2013). Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang dapat mengakumulasi logam dengan konsentrasi yang sangat tinggi pada jaringan permukaan (*aboveground*) di habitat alamiahnya (Baker dan Brooks, 1989). Nilai $TF < 1$ menunjukkan *Rhizophora apiculata* pada hutan *mangrove* di tepi Sungai Donan mengalami mekanisme fitostabilisasi. Fitostabilisasi adalah penghentian kontaminan di tanah melalui absorpsi dan akumulasi oleh akar. Fitostabilisasi sangat berguna untuk pengolahan timbal, arsenik, cadmium, kromium, tembaga, dan seng. Hal tersebut menunjukkan bahwa *Rhizophora apiculata* akan menghambat mobilitas logam dalam sedimen dan terbawa aliran air.

Pengaruh Kerapatan Absolut Vegetasi Terhadap Konsentrasi Logam Berat

Tabel 3. Hasil Analisis Regresi untuk Variabel Kerapatan Absolut Vegetasi Mangrove

Xi	Variabel		Koefisien Determinasi	Hasil Analisis Regresi	
	Yi			Signifikansi	Persamaan
Kerapatan absolut vegetasi <i>mangrove</i>	Konsentrasi Pb	dalam air	0,615	0,002	$Y_i = 1,078 * 10^{-6} X_i$
		dalam sedimen	0,847	0,000	$Y_i = 0,001 X_i$
		dalam daun	0,476	0,013	$Y_i = 1,444 + X_i$
		dalam akar	0,729	0,000	$Y_i = 1,419 * 10^{-5} X_i$
	Konsentrasi Cu	dalam air	0,798	0,000	$Y_i = 3,300 * 10^{-6} X_i$
		dalam sedimen	0,843	0,000	$Y_i = 0,001 X_i$
		dalam daun	0,899	0,000	$Y_i = X_i$

Xi	Variabel		Hasil Analisis Regresi		
	Yi		Koefisien Determinasi	Signifikansi	Persamaan
	dalam akar		0,918	0,000	$Y_i = 2,023 * 10^{-5} X_i$

Tabel di atas memberikan informasi tentang model persamaan regresi yang diperoleh serta signifikansi dari koefisien regresi. Hal ini dapat dilihat dari nilai signifikansi yang diperoleh. Nilai signifikansi dari variabel bebas (kerapatan absolut vegetasi *mangrove*) lebih kecil dari 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh variabel bebas tersebut signifikan atau terdapat pengaruh kerapatan absolut vegetasi *mangrove* terhadap konsentrasi logam berat baik Pb maupun Cu dalam air, substrat, serta organ tumbuhan berupa akar dan daun. Nilai koefisien determinasi menyatakan besarnya kontribusi variabel X (kerapatan absolut vegetasi *mangrove*) terhadap perubahan variabel Yi (Konsentrasi polutan Pb dan Cu). Nilai koefisien determinasi pada Tabel 3 tidak ada yang menunjukkan nilai 1, berarti ada variabel lain selain kerapatan absolut vegetasi *mangrove* yang memengaruhi konsentrasi polutan Pb dan Cu di kawasan tersebut.

Pengaruh kerapatan absolut vegetasi *mangrove* terhadap konsentrasi logam Pb dan Cu di perairan menunjukkan nilai koefisien positif. Hal tersebut berarti semakin tinggi nilai kerapatan absolut vegetasi *mangrove* semakin tinggi pula konsentrasi logam berat dalam perairan. Sebagai contoh salah satu persamaan di bawah ini.

Konsentrasi Pb dalam air = $1,079 * 10^{-6}$ kerapatan absolut vegetasi *mangrove*.

Persamaan di atas memiliki arti pada tiap kenaikan 1 pohon/ha menyebabkan kenaikan konsentrasi Pb dalam air yang terperangkap dalam kawasan *mangrove* sebesar $1,079 * 10^{-6}$ mg/l. Hal tersebut terkait dengan keberadaan ekosistem *mangrove* di suatu kawasan, ekosistem *mangrove* selain mampu menahan sedimen juga mampu menahan air yang memasuki kawasannya. Semakin rapat kawasan *mangrove* semakin banyak pula air yang terperangkap dalam kawasan tersebut. Air yang terperangkap adalah air permukaan bagian bawah, bentuk logam berat yang berupa partikel menyebabkan logam berat berada pada bagian tersebut sehingga semakin rapat suatu kawasan, semakin banyak pula kandungan logam berat dalam air di kawasan tersebut. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa *mangrove* di tepi Sungai Donan berperan dalam mengurangi konsentrasi logam berat dalam air yang keluar dari kawasan tersebut.

Pengaruh kerapatan absolut vegetasi *mangrove* terhadap konsentrasi Pb dan Cu dalam sedimen juga menunjukkan nilai koefisien positif atau dapat dikatakan bahwa semakin tinggi

kerapatan absolut vegetasi *mangrove* semakin tinggi pula konsentrasi polutan Pb dan Cu dalam sedimen di kawasan tersebut. Hal tersebut berkaitan dengan kemampuan akar *mangrove* dalam mengikat sedimen. Jadi, semakin banyak individu dalam suatu kawasan semakin banyak pula sedimen yang terikat oleh akar *mangrove*. Jika kawasan tersebut tercemar oleh logam berat Pb atau Cu, dalam sedimen tersebut akan terkandung logam berat Pb atau Cu karena bentuk Pb dan Cu yang berupa partikel mempercepat logam tersebut terakumulasi dalam sedimen. Nybakken (1982) dalam Marasabessy dkk (2009) menjelaskan bahwa sekali mengendap sedimen tidak akan dialirkan lagi keluar. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen (mengandung logam berat) yang terbawa aliran akan tertahan pada perakaran *mangrove* sehingga semakin lama sedimen yang terbawa aliran akan berkurang dari lokasi satu ke lokasi lain sepanjang aliran sungai. Berdasarkan hal tersebut, ekosistem *mangrove* terbukti mampu mengurangi konsentrasi polutan Pb dan Cu yang keluar dari kawasan tersebut.

Pengaruh kerapatan absolut vegetasi *mangrove* terhadap konsentrasi Pb dan Cu dalam organ tumbuhan (akar dan daun) menunjukkan nilai koefisien yang positif artinya terjadi hubungan positif antara kerapatan absolut vegetasi *mangrove* dengan konsentrasi Pb dan Cu dalam organ tumbuhan, semakin rapat *mangrove* di suatu kawasan maka semakin meningkatkan konsentrasi Pb dan Cu dalam organ tumbuhan. Hal tersebut terkait dengan kemampuan *mangrove* dalam menyerap logam berat melalui akar yang kemudian didistribusikan ke bagian tubuh yang lain seperti cabang dan daun serta melalui stomata pada daun (Wittig, 1993 dalam Munawar dan Rina, 2010).

Berdasarkan beberapa persamaan regresi di atas, dapat disimpulkan bahwa keberadaan hutan *mangrove* memiliki peran dalam mengurangi polutan logam berat, baik dalam skala ekosistem (penahan sedimen dan air) maupun sebagai vegetasi yang memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat. Semakin rapat *mangrove* di suatu kawasan, semakin tinggi pula konsentrasi polutan yang tersimpan dalam kawasan tersebut sehingga semakin berkurang pula konsentrasi polutan yang keluar kawasan.

Kemampuan Hutan Mangrove sebagai Biofilter Dalam Pengendalian Polutan Pb dan Cu

Kandungan logam berat yang diuji adalah logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) yang terdapat di air dan sedimen (lumpur). Pengukuran polutan Pb dan Cu sama halnya dengan pengukuran kualitas fisik dan kimia habitat lainnya, yaitu pada empat zona berupa Zona Kontrol, Zona Dalam, Zona Tengah, dan Zona Luar. Untuk mengetahui peran hutan

mangrove sebagai *biofilter* dalam pengendalian polutan Pb dan Cu, analisis sidik ragam dilakukan dengan hasil berikut ini.

Tabel 4. Analisis Sidik Ragam untuk Variabel Konsentrasi Polutan Pb dan Cu dalam Air Serta Sedimen pada Tiap Zona Pengamatan

Variabel	Perlakuan	Signifikansi
Konsentrasi Pb dalam air		0,310
Konsentrasi Pb dalam sedimen	Antar Zona	0,046*
Konsentrasi Cu dalam air		0,361
Konsentrasi Cu dalam sedimen		0,493

Tabel di atas menunjukkan nilai signifikansi (Sig.) masing-masing variabel polutan Pb dan Cu dalam air dan sedimen. Nilai signifikansi dari variabel polutan Pb dalam air serta polutan Cu dalam air dan sedimen lebih dari 0,05, H_0 diterima, menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan konsentrasi polutan Pb dalam air maupun konsentrasi polutan Cu dalam air dan sedimen di antara ke empat zona pengamatan. Sementara itu, konsentrasi logam Pb dalam sedimen menunjukkan nilai signifikansi 0,046 yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai tingkat signifikansi 5% (0,05) berarti ada perbedaan konsentrasi Pb dalam sedimen yang signifikan diantara ke empat zona tersebut. Selanjutnya, dilakukan analisis perbandingan ganda untuk melihat zona mana saja yang berbeda dan zona mana saja yang relatif sama dengan uji lanjut BNT (Beda Nyata Terkecil). Uji lanjut BNT dipilih karena setiap variabel yang dianalisis telah memenuhi asumsi kesamaan variansi dimana sig. > 0,05 (terdapat variasi) serta jumlah data tiap variabel adalah sama.

Tabel 5. Hasil Uji Lanjut BNT untuk Variabel Polutan Pb dalam Sedimen Tiap Zona Pengamatan

(I) Zona	(J) Zona	Signifikansi
Kontrol	Dalam	0,029*
	Tengah	0,721
	Luar	0,862
Dalam	Kontrol	0,029*
	Tengah	0,015*
	Luar	0,021*
Tengah	Kontrol	0,721
	Dalam	0,015*
	Luar	0,854
Luar	Kontrol	0,862
	Dalam	0,021*
	Tengah	0,854

*Berbeda signifikan pada taraf uji 0,05

Hasil uji lanjut BNT (Tabel 5) untuk perbedaan konsentrasi polutan Pb dalam zona menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada Zona Dalam terhadap Zona

Tengah, Zona Luar, dan Zona Kontrol sedangkan Zona Tengah dan Zona Luar tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap Zona Kontrol. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin menjauhi Kilang Minyak Pertama konsentrasi polutan Pb-nya semakin mendekati nilai konsentrasi Pb di Zona Kontrol. Dengan kata lain, keberadaan *mangrove* di tepi Sungai Donan mampu mengurangi polutan Pb melalui mekanisme pengendapan logam berat dalam lumpur.

Di sisi lain, berdasarkan Tabel 4, hutan *mangrove* di tepi Sungai Donan, Cilacap belum mampu mengurangi konsentrasi polutan Pb dalam air serta polutan Cu dalam air dan sedimen secara signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa peranan hutan *mangrove* di tepi Sungai Donan sebagai *biofilter* tidak berfungsi maksimal. Walaupun konsentrasi polutan Cu dalam sedimen masih di bawah baku mutu yang ditetapkan, tetapi ketidakmampuan ekosistem *mangrove* dalam meminimalisir konsentrasi polutan Cu dalam sedimen secara signifikan lama kelamaan dapat menyebabkan perubahan status cemar air menjadi lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Peranan hutan *mangrove* sebagai *biofilter* dalam pengendalian polutan Pb dan Cu di perairan *mangrove* di tepi Sungai Donan, Cilacap dapat disimpulkan bahwa Hutan *mangrove* di tepi Sungai Donan berperan dalam mengurangi konsentrasi polutan Pb dalam air dan substrat dari sumber polutan keluaran terutama konsentrasi polutan Pb dalam substrat yang berkurang secara signifikan. Hutan *mangrove* di tepi Sungai Donan juga berperan dalam mengurangi konsentrasi polutan Cu dalam air dan substrat dari sumber polutan ke luaran walaupun tidak berbeda signifikan. Kemampuan *mangrove* sebagai *biofilter* juga dibuktikan dengan terdapatnya kandungan Pb dan Cu dalam organ tumbuhan *Rhizophora apiculata* baik akar maupun daun yang terdapat pada kawasan tersebut.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Arief, A. (2003). *Hutan Mangrove Fungsi dan Manfaatnya*. Yogyakarta: Kanisius.
- Baker AJM, Brooks RR. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metal elements- a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1:81-126.
- Connel, D.W. dan Greg M. (1995). *Kimiawi dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Jakarta: UI Press.
- Fachrul, M.F. (2012). *Metode Sampling Bioekologi* (Cetakan Ketiga). Jakarta: Bumi Aksara.
- Fitter, A.H., dan Hay R.K. (1991). *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Hamzah, F dan Agus, S. (2010). Akumulasi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn di Hutan Mangrove Muara Angke, Jakarta Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. Vol. 2 (2): 41-52
- Macfarlane, G.R., Pulkownik, A., Burchett M.D. (2003). Accumulation and distribution of heavy metal in grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk) Vierh Biological Indication Potential. *Journal of Environmental Pollution* (123): 139.
- Mahayani, N.P.D. (2005). *Kemampuan Hutan Mangrove sebagai Biofilter Terhadap Pencemaran Lingkungan (Studi Kasus di Hutan Mangrove Ngurah Rai Prapat Benoa, Bali)*. Yogyakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Universitas Gadjah Mada.
- Marasabessyi, M.D., Edward., dan Febriana L.V. (2009). Pemantauan Konsentrasi Logam Berat dalam Air Laut dan Sedimen di Perairan Pulau Bacan, Maluku Utara. *Makara Sains*. Vol 14: 32-38.
- Munawar, A dan Rina. (2010). *Kemampuan Tanaman Mangrove untuk Menyerap Logam Berat Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb)*. Dalam: www.scholar.google.co.id/ Accessed 18.04. 17
- Perdana, A.D. (2006). *Pengenalan Tipe-Tipe Hutan*. Dalam: www.adhisuryaperdana.wordpress.com/ Accessed 18.04. 17
- Rosmakam, A dan Nasih W. Y. (2002). *Ilmu Kesuburan Tanah*. Yogyakarta: Kanisius.
- Siahaan, M. T. A., Ambariyanto, Bambang Y. (2013). Pengaruh Pemberian Timbal (Pb) dengan Konsentrasi Berbeda terhadap Klorofil, Kandungan Timbal pada Akar dan Daun, serta Struktur Histologi Jaringan Akar Anakan Mangrove *Rhizophora mucronata*. *Journal of Marine Research*. Vol. 2 (2): 111-119.
- Soedradjad, R. (2000). *Konsentrasi pencemar minyak dan fenol di estuari Sungai Donan, Cilacap*. Laporan penelitian Universitas Jember, Jember. 44-58.
- Soedradjad, R. (2003). *Fungsi Model Hidrodinamika Estuari Dalam Pengelolaan Ekosistem Mangrove (Studi Kasus Pencemaran Minyak di Estuari Sungai Donan Cilacap)*. Berkala Penelitian Hayati Universitas Airlangga. Vol. 8: 81-86.
- Sugiharto. (2005). *Analisis Keberadaan Dan Sebaran Komunitas Larva Pelagis Ikan pada Ekosistem Pelawangan Timur Segara Anakan – Cilacap* (Tesis).
- Supriharyono. (2000). *Pelestarian dan Pengelolaan Sumberdaya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Supriyandono. (1999). *Lahan Hutan Untuk Mendaur Air Limbah Suatu Peluang yang Mengarah ke Kebutuhan Lingkungan*. Buletin Kehutanan. Vol.38: 61-68.
- Wei, S., Qixing Z., dan Shiny M. 2008. *A newly found cadmium accumulator Taraxacum mongolicum*. *Journal of Hazardous Materials*. 159: 544-547.