

Pengaruh Tembaga Terhadap Kandungan Pigmen dan Pertumbuhan Mikroalga Merah *Porphyridium cruentum*

Reza Hafiz Pranajaya*, Ali Djunaedi dan Bambang Yulianto

Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Diponegoro. Jl. H. Prof. Sudarto, SH, Tembalang Semarang, Indonesia 50275
Email: pranajayareza@yahoo.com; Hp:085695496600

Abstrak

Logam berat tembaga (Cu) merupakan salah satu pencemar yang paling mengkhawatirkan di wilayah pesisir dan lautan. Berbagai metode telah banyak dikembangkan untuk mengatasi dan mengurangi pencemaran logam berat, baik secara fisika, kimia dan biologi. Masalah teknis dan biaya yang mahal menyebabkan manusia menggunakan cara biologis (bioremediasi). Salah satu diantaranya menggunakan mikroalga *Porphyridium cruentum*. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh tingkat konsentrasi logam berat Cu terhadap kandungan klorofil, pigmen fikobiliprotein dan pertumbuhan mikroalga *P. cruentum*. Bibit mikroalga diperoleh dari Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau Situbondo. Rancangan penelitian menggunakan metode eksperimental laboratorium. Konsentrasi logam berat Cu yang digunakan adalah 0 ppm sebagai kontrol, 1, 2, 3 dan 4 ppm. Logam berat Cu dianalisa menggunakan AAS dan pigmen (klorofil dan fikobiliprotein) menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa logam berat Cu dengan konsentrasi yang berbeda memberikan pengaruh yang sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap kandungan pigmen (klorofil dan fikobiliprotein), BCF dan pengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap laju pertumbuhan *P. cruentum*. Semakin tinggi logam berat Cu membuat laju pertumbuhan, kandungan pigmen (klorofil dan fikobiliprotein), dan BCF pada *P. cruentum* semakin menurun. Prosentase penyerapan logam berat Cu tertinggi sebesar 13,1 % (1 ppm), 8,2 % (2 ppm), 6,9 % (3 ppm), dan 2,6% (4 ppm). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *P. cruentum* berpotensi sebagai bioremediator.

Kata kunci: *Porphyridium cruentum*; pigmen; klorofil; fikobiliprotein; pertumbuhan; tembaga

Abstract

Effect of Copper on Pigments Content and Growth of Red Microalgae, *Porphyridium cruentum*

Copper (Cu) is one of heavy metals and the most pollutant at seawater ecosystem. Various methods have been developed to reduce heavy metal pollution with in physics, chemistry and biology method. Technical problems and high costs cause human use biological method (bioremediation). One of them used microalgae *Porphyridium cruentum*. This study aims to find out the influence of copper exposure levels on chlorophyll, pigment Phycobiliproteins, and the growth of microalgae *Porphyridium cruentum*. *P. cruentum* stock was collected from Main Center Brackish Water Aquaculture Development, Situbondo. The research design this study used an experimental laboratory. Concentrations of heavy metals Cu used are 0 ppm as control, 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, and 4 ppm. Heavy metals Cu analysed by AAS and measurement pigments (chlorophyll and phycobiliproteins) performed by spectrometric UV-Vis. The results showed that heavy metals Cu with different concentrations give a very effect influence ($P < 0.01$) to pigment (chlorophyll and phycobiliproteins) content, BCF, and effect influence ($P < 0.05$) to growth. The high Cu resulted decrease to growth of microalgae, cell density, pigments (chlorophyll and phycobiliproteins), and bio concentration factor *Porphyridium cruentum*. The highly percentage absorption of heavy metals Cu at 13.1% (1 ppm), 8.2% (2 ppm), 6.9% (3 ppm), and 2.6% (4 ppm). The results suggest that *P. cruentum* has the potential as bioremediator.

Keywords: *Porphyridium cruentum*; chlorophyll; phycobiliproteins; growth; copper

Pendahuluan

Logam berat yang sering ditemukan di lingkungan perairan adalah logam berat Pb, Cr, Cu,

Zn, dan Ni. Konsentrasi logam berat Cu di perairan meningkat sejalan dengan berkembangnya industrialisasi, pestisida, cat antifouling, fungisida, dan limbah buangan tambang (Zafer et al., 2007).

Limbah logam berat sulit didegradasi, apabila limbah tersebut masuk ke dalam perairan akan menyebabkan peningkatan jumlah ion logam dalam air. Bila konsentrasi logam berat Cu tersebut melebihi ambang batas yang diperbolehkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.3 tahun 2010 maka dapat menimbulkan bahaya karena tingkat toksisitasnya akan mengganggu organisme yang ada di perairan baik langsung maupun tidak langsung (Widowati et al., 2008).

Logam berat dapat dibagi menjadi dua kelompok, logam berat esensial dan non esensial. Logam berat non esensial meliputi Pb, Cd, Hg, Cr, dan Ag. Logam berat non esensial sangat beracun dan tanpa nilai gizi. Logam berat esensial seperti Fe, Mn, Cu, Mo, Zn dan Mg. Logam berat esensial penting sebagai mikronutrien pada sejumlah organisme tetapi beracun pada tingkat tinggi (Solisio et al., 2008). Pada konsentrasi 5 ppm, logam berat Cu dapat menurunkan laju pertumbuhan *P. cruentum* (Soeprbowati dan Haryati, 2013).

Berbagai metode dikembangkan untuk mengurangi pencemaran logam berat, baik secara fisika, kimia dan biologi. Pencemaran logam berat Cu dapat diatasi dengan teknik bioremediasi (Hala et al., 2010). Teknik ini merupakan proses netralisasi secara biologis terhadap komponen lingkungan yang telah tercemar logam berat Cu. Metode secara biologis dikenal dengan fitoremediasi. Mikroalga berpotensi sebagai fitoremediator. Banyak keuntungan yang didapat menggunakan mikroalga *Porphyridium cruentum* sebagai fitoremediator logam berat Cu, diantaranya: efisiensi penyerapan logam berat relatif cepat, tidak berbahaya untuk lingkungan, simpel dan fleksibel dalam penggunaannya.

Mikroalga *P. cruentum* mengandung pigmen klorofil dan fikobiliprotein, protein (28-39%), polisakarida (40-57%) dan lipid (9-14%) (Madigan et al., 2009). Mikroalga *P. cruentum* memiliki tiga komponen utama pigmen yaitu: klorofil, fikobiliprotein, dan karetenoid. Pigmen fikobiliprotein dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu: fikoeritrin, fikosianin, dan allofikosianin. Abidin et al. (2010) mengatakan, pada mikroalga merah, pigmen utamanya fikoeritrin. *P. cruentum* kaya akan fikobiliprotein. Warna karakteristik masing-masing fikobiliprotein adalah : merah untuk fikoeritrin, biru untuk fikosianin, dan hijau-biru untuk pigmen allofikosianin.

Logam berat Cu merupakan mikronutrien yang dibutuhkan oleh *Porphyridium cruentum*, tetapi bila keberadaannya berlebihan bersifat toksik (Sbihi et al., 2012). *P. cruentum* dapat mengakumulasi

logam Cu tetapi menurut Thoncheva et al. (2006) ion logam, temperatur, dan cahaya mempengaruhi stabilitas pigmen. Dilaporkan bahwa Cu menurunkan kandungan pigmen dari beberapa mikroalga seperti *Rhodella reticulata* (Thoncheva et al., 2006) *Phorphyra haitensis* (Li, 2010), *Lyngbya putealis* (Kiran dan Thanasekaran, 2011), *Phormidium teneu* (Bakiyaraj et al., 2013). Disamping itu, peningkatan konsentrasi Cu berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroalga *Spirulina platensis* (Solisio et al., 2008), *Chaeroceros calcitrans* (Hala et al., 2010), dan *Planothidium lanceolatum* (Sbihi et al., 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tingkat konsentrasi logam berat Cu terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil, dan pigmen fikobiliprotein mikroalga *Porphyridium cruentum*.

Materi dan Metode

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret sampai Agustus 2013. Pengamatan dilaksanakan di Laboratorium Mikroalga Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Diponegoro, Teluk Awur, Jepara. *P. cruentum* diperoleh dari BBPBAP Sitobondo. Logam berat Cu yang digunakan adalah $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang diperoleh dari Laboratorium Kimia Analitik UNDIP. Penelitian ini menggunakan perlakuan penambahan Cu yakni A (tanpa penambahan sebagai kontrol), B (1 ppm), C (2 ppm), D (3 ppm), dan E (4 ppm) dengan tiga ulangan (Soeprbowati dan Haryati, 2013).

Kultur *P. cruentum*

Mikroalga *P. cruentum* dikultur pada media kultur yang diperkaya pupuk Walne dengan salinitas 30 ppt, pH 7, dan aerasi secara terus menerus. Air laut yang sudah disterilisasi digunakan untuk media kultur. *P. cruentum* dikultur pada erlenmeyer 1 liter. kepadatan awal *P. cruentum* 97×10^4 sel.mL⁻¹. Kultur *P. cruentum* dilakukan selama 9 hari. Untuk mengetahui laju pertumbuhan mikroalga dihitung densitasnya setiap hari menggunakan haemocytometer. Hasil perhitungan diplotkan pada grafik dengan umur kultur (hari) sebagai sumbu x dan laju pertumbuhan (sel.mL⁻¹) sebagai sumbu y. Laju pertumbuhan mikroalga dihitung menurut Chrismadha et al. (1997).

Total klorofil dan fikobiliprotein

Metode yang digunakan dalam ekstraksi menghitung klorofil menggunakan (Lichtenthaler dan Wellburn, 1985) dan untuk menghitung fikobiliprotein dengan (Kursar et al., 1983). Sampel

kering sebanyak 100 mg hari dilarutkan ke dalam pelarut sebanyak 10 ml. Untuk klorofil menggunakan pelarut aseton dan fikobiliprotein menggunakan pelarut aquades. Selanjutnya homogenisasi menggunakan vortex dan disimpan di refrigerator selama 24 jam. Sampel kemudian dicentrifuge selama 30 menit 3000 rpm. Absorbansi sampel dibaca dengan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang pada panjang gelombang (645 dan 662) untuk klorofil dan (500, 645, dan 651) untuk fikobiliprotein.

Rumus perhitungan klorofil :

$$[Ca] = 11.75 A_{662} - 2,350 A_{645}$$

$$[Cb] = 18.61 A_{645} - 3.960 A_{662}$$

$$\text{Total klorofil} = [Ca] + [Cb]$$

Rumus perhitungan fikobiliprotein:

$$[APC] = 181,3 A_{651} - 22.3 A_{614}$$

$$[PC] = 151.1 A_{614} - 99.1 A_{651}$$

$$[PE] = 155.8 A_{498,5} - 40,0 A_{614} - 10.5 A_{651}$$

Penyerapan dan akumulasi Cu

Efisiensi penyerapan logam berat Cu oleh *P. cruentum* dihitung menggunakan rumus Hala et al. (2010). Sedangkan faktor biokonsentrasi *P. cruentum* mengakumulasi logam berat Cu (BCF), dengan rumus menurut Soeprbowati dan Haryati (2013).

Analisa data

Uji anova one way pada perangkat lunak SPSS 16 digunakan untuk menghitung pengaruh logam berat Cu terhadap data laju pertumbuhan,

kandungan klorofil, pigmen fikobiliprotein, dan BCF *P. cruentum*.

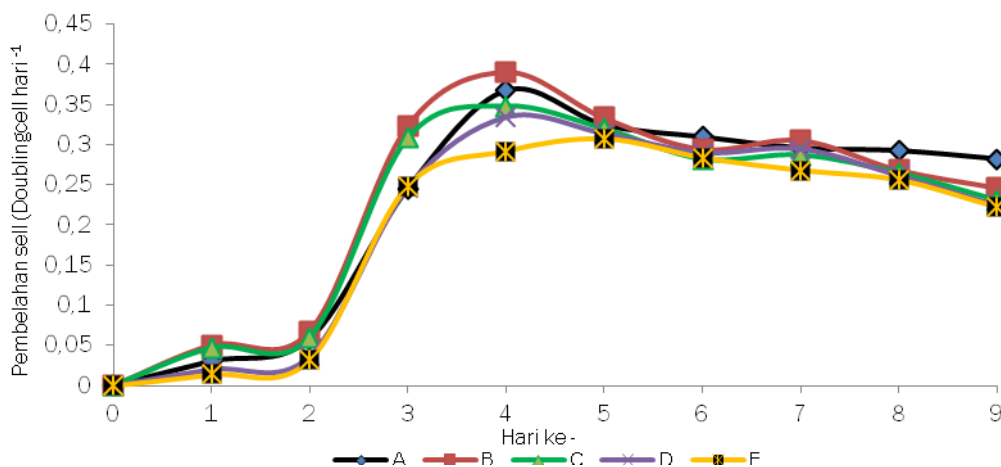
Hasil dan Pembahasan

Pertumbuhan *P. cruentum*

Mikroalga P. cruentum yang dikultur dengan penambahan logam berat Cu, tampak bahwa semua perlakuan pada hari pertama hingga hari ke-9 mengalami pola pertumbuhan yang cenderung mengikuti pola pertumbuhan A (kontrol). Secara alami pertumbuhan *Porphyridium* sp. berlangsung dari kepadatan rendah, kemudian mencapai kepadatan maksimum dan akhirnya mengalami penurunan kepadatan populasi (Gambar 1). Kepadatan *P. cruentum* maksimal pada hari ke-4 pada kontrol : 0,367; B: 0,391; C: 0,348; D: 0,334. Sedangkan pada perlakuan E, kepadatan maksimal pada hari kelima sebesar 0,307.

Pertumbuhan mikroalga dapat dilihat dari warna pada media kultur. Pada awal kultur sampai hari ke-2, *P. cruentum* berwarna merah muda. Kultur pada hari ke-5 sudah mulai berwarna lebih merah dibandingkan dengan awal kultur. Kultur pada hari ke-9 berwarna merah tua (merah pekat), dibandingkan kultur diawal dan kultur hari ke-5. Warna semakin pekat seiring dengan lamanya waktu kultur.

Mikroalga *P. cruentum* mengalami fase adaptasi selama 2 hari. Laju pertumbuhan yang sedikit merupakan ciri khas dari fase adaptasi (Gambar 1) Pertumbuhan yang sangat kecil dikarenakan mikroalga menyesuaikan diri pada lingkungan yang baru (Soeprbowati et al., 2013).



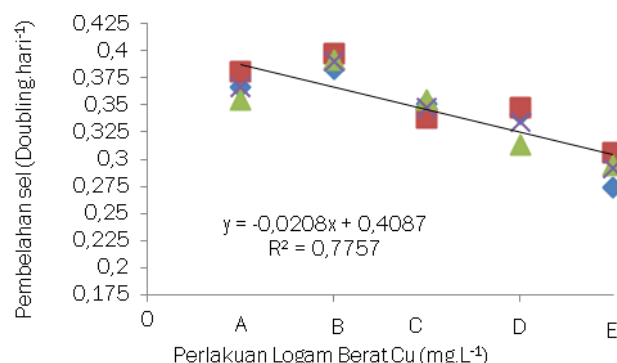
Gambar 1. Laju pertumbuhan *Porphyridium cruentum* (doubling cell. hari⁻¹) pada perlakuan perbedaan konsentrasi logam berat Cu. A (kontrol), B (1 ppm), C (2 ppm), D (3 ppm), E (4 ppm).

Pada hari ke-2 sampai ke-4 memasuki fase eksponensial, dapat dilihat pertumbuhan sel yang semakin meningkat. Pada hari ke-5 sampai hari ke-7 kepadatan sel mengalami fase stasioner. Fase ini ditandai adanya keseimbangan kematian dan tingkat pertumbuhan. Pada hari ke-8 sampai hari ke-9, perlakuan A pertumbuhannya tetap sedangkan perlakuan B sampai E mengalami penurunan (fase kematian). Terjadinya kematian disebabkan karena nutrisi media kultur yg berkurang dan konsentrasi logam berat Cu yang semakin toksik. Menurut Wood et al. (2005) laju pertumbuhan sel mikroalga pada media kultur harus sebanding dengan nutriennya.

Berdasarkan uji Anova satu arah menunjukkan bahwa pemberian konsentrasi logam berat Cu yang berbeda berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap kepadatan sel *Porphyridium cruentum*. Pada perlakuan A, media kultur tidak terdapat logam berat Cu. Hal ini sesuai dengan media kultur mikroalga sehingga mikroalga dapat tumbuh dengan normal. Pada perlakuan B sampai E, media kultur mikroalga terdapat logam berat Cu, sehingga mikroalga harus beradaptasi terhadap lingkungan kultur. Mikroalga yang tidak dapat beradaptasi akan mengalami kematian. Wang and Chen (2011) menyatakan bahwa mikroalga memiliki mekanisme perlindungan terhadap logam berat dengan protein seluler tanpa mengubah aktivitasnya. Pada konsentrasi logam berat Cu yang semakin tinggi, logam berat Cu telah mengurangi laju pertumbuhan *P. cruentum* karena tidak dapat mengimbangi toksisitas logam berat Cu.

Grafik analisis regresi (gambar 2) hubungan laju pertumbuhan maksimal *P. cruentum* dengan perlakuan konsentrasi logam berat Cu yang berbeda menunjukkan bahwa perlakuan (B) dengan penambahan logam berat 1 ppm dibutuhkan untuk pertumbuhan tetapi semakin tinggi konsentrasi logam berat Cu yang diberikan maka semakin rendah kepadatan *Porphyridium* sp. Torres (2008) dan Banvalvi (2011) mengatakan, logam berat Cu merupakan logam esensial dan mikronutrien yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan. Pada konsentrasi rendah diperlukan oleh mikroalga untuk transfer elektron fotosintesis, metabolisme sel, respirasi, dan kofaktor enzim yang membantu kerja enzim pada reaksi-reaksi tertentu dalam sel seperti fotosintesis (Andrade et al., 2004) tetapi beracun dalam konsentrasi yang lebih tinggi. Konsentrasi logam yang tinggi dapat mengganggu pertumbuhan sel karena sistem perlindungan organisme tidak mampu mengimbangi efek toksisitas logam. Perales Vela et al. (2007) mengatakan, kematian sel akibat keracunan diawali proses rusaknya kloroplas. Kerusakan kloroplas menyebabkan terhambatnya proses fotosintesis. Terganggunya aktivitas fotosintesis menyebabkan kemampuan sel untuk

memperbanyak diri menjadi berkurang. Hal ini menyebabkan pertumbuhan dan penambahan jumlah sel menjadi terhambat.



Gambar 2. Grafik analisis regresi pengaruh konsentrasi logam berat Cu terhadap laju pertumbuhan maksimal *Porphyridium* sp. A (ontrol), B (1 ppm), C (2 ppm), D (3 ppm), E (4 ppm). Keterangan : ◆ = Ulangan 1, ■ = ulangan 2, ▲ = ulangan 3

Analisis klorofil dan pigmen fikobiliprotein

Efek toksik dari logam berat Cu menurunkan pigmen klorofil dan fikobiliprotein (fikoeritrin, fikosianin, dan allofikosianin) pada *Phoryridium cruentum*. Konsentrasi logam berat Cu yang semakin tinggi mengubah struktur fikobiliprotein dan klorofil, dan perubahan ini mengakibatkan penurunan energi cahaya yang diserap, sehingga menghambat fotosintesis.

Pada pengukuran kandungan klorofil dan pigmen fikobiliprotein *Porphyridium cruentum*, perlakuan A (kontrol) memiliki nilai kandungan tertinggi dibandingkan dengan perlakuan pemaparan Cu 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm dan 4 ppm. Hal ini diperkuat dengan uji anova bahwa logam berat sangat berpengaruh nyata terhadap kandungan pigmen klorofil dan fikobiliprotein ($P < 0,01$).

Tabel 1. Kandungan klorofil dan pigmen fikobiliprotein

Perlakuan	Kandungan Total Klorofil dan Pigmen Fikobiliprotein (mg.L ⁻¹)			
	Chl	PE	PC	APC
A	4,349	64,464	26,981	57,799
1 ppm	3,273	40,015	14,004	30,713
2 ppm	3,080	31,367	10,783	24,577
3 ppm	2,518	27,023	9,184	15,812
4 ppm	2,244	25,638	8,648	14,336

Hal ini diduga akibat semakin tinggi logam berat yang diberikan dapat merusak kloroplas. Hal tersebut terjadi karena kloroplas merupakan organ

yang paling sensitif terhadap logam berat. Akibatnya, Pigmen klorofil dan fikobiliprotein menjadi terdegradasi (rusak). Hou et al. (2007) menyatakan bahwa terjadinya perbedaan kandungan pigmen di setiap perlakuan terjadi pada klorofil dan pigmen fikobiliprotein mikroalga *P. cruentum* adalah logam berat Cu menghambat langkah-langkah jalur biosintesis pigmen, logam berat Cu langsung menghancurkan struktur dan fungsi kloroplas, dan logam berat Cu mempercepat proses dekomposisi pigmen.

Hasil Analisa regresi (gambar 4) hubungan logam berat dengan klorofil dan pigmen fikobiliprotein *P. cruentum* menunjukkan semakin tinggi konsentrasi logam berat Cu yang diberikan maka kandungan klorofil dan pigmen fikobiliprotein semakin berkurang. Masuk dan bertambahnya konsentrasi logam berat Cu kedalam tubuh mikroalga mengubah kandungan klorofil dan pigmen fotosintesis fikobiliprotein, meskipun logam berat Cu merupakan logam berat esensial. Penurunan klorofil pada mikroalga *Porphyridium cruentum*, disebabkan karena masuknya logam berat secara berlebihan akan mengurangi asupan Mg dan Fe dan logam berat Cu dapat menggantikan unsur Mg dalam klorofil. Unsur Mg termasuk unsur penyusun molekul klorofil. Unsur Mg termasuk paling kalah bersaing dengan kation lainnya. Hal ini menyebabkan konsentrasi klorofil dan pigmen fikobiliprotein berkurang. Membran tilakoid adalah bagian dari kloroplas dimana tempat terjadi proses fotosintesis berlangsung. Kerusakan pada membran tilakoid berimplikasi hilangnya aktivitas fotosintesis dan pigmen (Olivares, 2003).

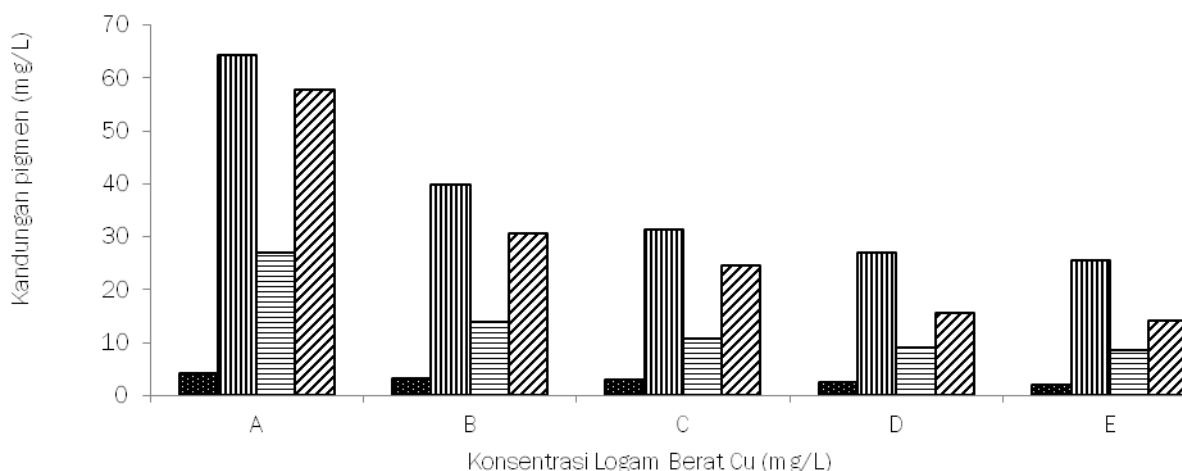
Konsentrasi logam berat yang berlebihan dapat menyebabkan degradasi membran tilakoid,

menghambat produksi ATP dan NADPH mengganggu kerja molekul plastoquinone, enzim ribulosa bifosfat karboksilase dan Carbonic Anhydrase (CA), serta menyebabkan klorosis (Purbonegoro, 2008). Selain itu, sensitivitas mikroalga terhadap logam berat yang berbeda-beda tiap spesiesnya mengganggu proses fisiologis dan menghambat fotosintesis. Polutan yang masuk ke dalam sel mesofil akan memberi pengaruh pada tingkat molekuler menyebabkan perubahan dalam respon stomata, struktur kloroplas, fiksasi CO₂.

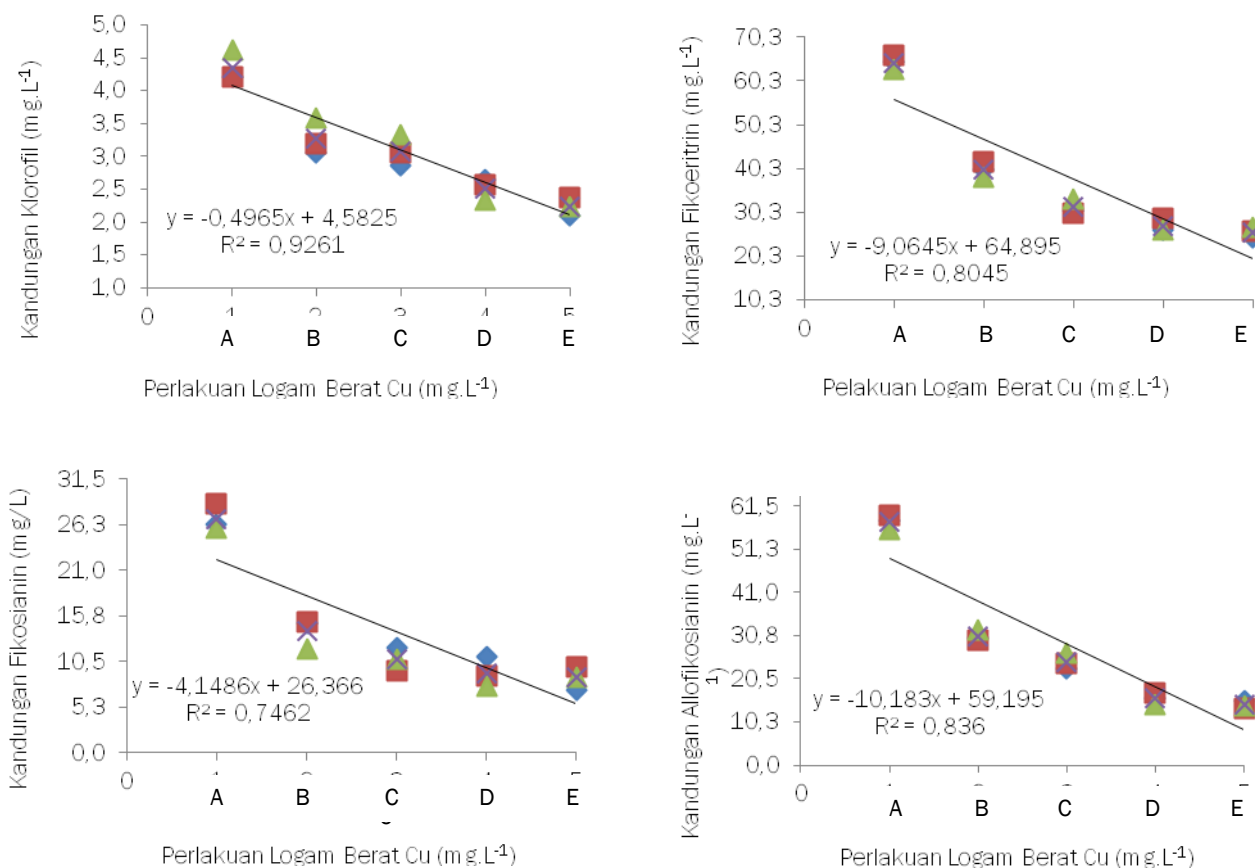
Pinto et al. (2003) berpendapat, kerusakan tersebut mengakibatkan proses respirasi terhambat. Hal ini menyebabkan energi yang dihasilkan tidak mencukupi untuk melakukan metabolisme. Konsentrasi logam berat Cu yang tinggi menyebabkan fotosintesis depresi dan merusak dinding sel, sitoplasma, mitokondria, serta kloroplas (Cavet et al., 2003). Membran tilakoid adalah bagian dari kloroplas dimana tempat terjadi proses fotosintesis berlangsung. Kerusakan pada membran tilakoid berimplikasi hilangnya aktivitas fotosintesis dan pigmen (Surosz dan Palinska, 2004).

Efisiensi penyerapan logam berat cu dan faktor biokonsentrasi

Pada penelitian yang dilakukan selama 9 hari, mikroalga *P. cruentum* sukses menyerap logam berat Cu (Gambar 5). Penyerapan tertinggi terjadi pada perlakuan B (13,1%) dan terendah pada perlakuan E (2,57%). Semakin tinggi konsentrasi logam berat Cu yang diberikan, maka presentasi penyerapan logam berat Cu oleh *P. cruentum* semakin kecil. Hal itu disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi Cu yang diberikan menimbulkan



Gambar 3. Rerata kandungan klorofil dan pigmen fikobiliprotein *Porphyridium cruentum* (mg.L⁻¹) pada tiap perlakuan logam berat Cu. A (Kontrol), B (1 ppm), C (2 ppm), D (3 ppm), E (4 ppm).
Keterangan : ■ = Klorofil, □ = Fikoeitritin, ▨ = Fikosianin, ▩ = Allofikosianin

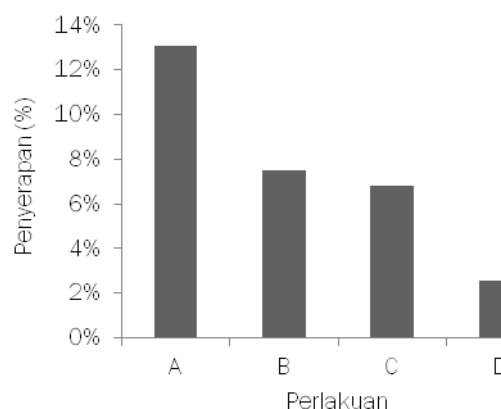


Gambar 4. Pengaruh konsentrasi logam berat Cu terhadap kandungan klorofil dan pigmen fikobiliprotein. A (kontrol), B (1 ppm), C (2 ppm), D (3 ppm), E (4 ppm). Keterangan : ◆ = Ulangan 1, ■ = ulangan 2, ▲ = ulangan 3

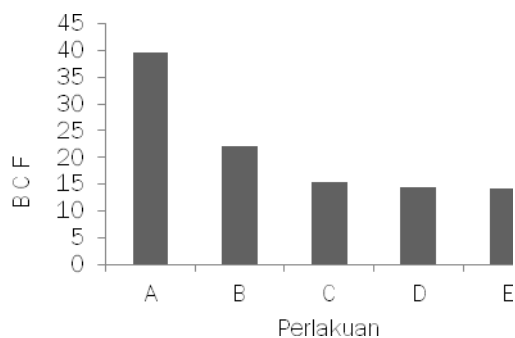
efek toksik. *P. cruentum* membutuhkan logam berat Cu untuk fotosintesis dan laju pertumbuhan selnya. Sanchez *et al.* (2008) menyatakan, di alam produktivitas *P. cruentum* memerlukan elemen makronutrien (C, N, P, K, S, Mg, Na, Cl, Ca) dan mikronutrien (Fe, Zn, Cu, Ni, dan Co). Mekanisme masuknya logam berat Cu ke sel dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi. Pada pengukuran BCF *P. cruentum*, perlakuan A (kontrol) memiliki nilai kandungan tertinggi tertinggi dari tiap perlakuan (B sampai E). Berdasarkan uji anova, pemberian logam berat Cu sangat berpengaruh ($P < 0,01$) terhadap nilai BCF *P. cruentum* (Gambar 6).

Hal tersebut terjadi karena konsentrasi logam berat Cu yang semakin tinggi membuat mikroalga memerlukan proses adaptasi sehingga menghambat penyerapan logam berat Cu. Pada penelitian Soeprbowati dan Haryati (2013), terjadi perbedaan presentase penyerapan dan biokonsentrasi faktor penyerapan logam berat Cu oleh mikroalga. Semakin lama waktu yang digunakan prosentase penyerapan dan biokonsentrasi faktor menurun. Levy *et al.* (2007) berpendapat bahwa terdapat beberapa faktor yang

membuat mikroalga sensitif menyerap logam Cu antara lain jenis dinding sel, ukuran sel mikroalga, jenis atau spesies dari mikroalga tersebut dan konsentrasi logam berat Cu. Semakin rendah logam Cu semakin mudah terserap dan semakin tinggi konsentrasi membuat mikroalga stres dan memerlukan proses detoksifikasi interseluler.



Gambar 5. Persentase penyerapan logam berat Cu oleh *Porphyridium cruentum*. A (kontrol), B (1 ppm), C (2 ppm), D (3 ppm), E (4 ppm).



Gambar 6. Rerata nilai BCF *P. cruentum* pada setiap perlakuan logam berat Cu. A (kontrol), B (1 ppm), C (2 ppm), D (3 ppm), E (4 ppm).

Proses bioakumulasi melibatkan dua tahap, yang pertama penyerapan terhadap permukaan sel (adsorpsi) dan yang kedua merupakan proses pengangkutan aktif melalui membran sel ke bagian dalam sel (absorpsi). Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan mikroalga *P. cruentum* memiliki kandungan protein dan polisakarida (Wang & Chen, 2009) Selanjutnya, pada dinding sel terdapat protein dan polisakarida yang dapat mengikat ion logam. Untuk dapat melintasi membran sel, ion logam berat tersebut mengalami proses difusi. Protein membran sel berikatan dengan ion logam berat sehingga ion logam berat tersebut dapat melintasi lapisan membran sel. Thoncheva *et al.* (2006) dan Anantharaj *et al.* (2011)

Kesimpulan

Pemaparan konsentrasi 1 ppm pada kultur mikroalga *P. cruentum* menunjukkan nilai penyerapan sebesar 13,1% dan terendah pada perlakuan 4 ppm dengan nilai 2,57%. Semakin rendah konsentrasi logam berat Cu maka semakin mudah untuk terserap oleh mikroalga. .

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Ir. Sri Sedjati, M.Si, Ir. Ervia Yudiati, Muhammad Rizky Santoso, Fahd Abdul Jalil, dan Staf Laboratorium Marine Station Teluk Awur, FPIK Universitas Diponegoro yang telah memberikan saran, bantuan, dan fasilitas selama penelitian ini

Daftar Pustaka

Abidin, D., F.S. Rondonuwu & M. Zainuri. 2010. Analysis of photosynthetic pigments and

proximate content at *Porphyridium cruentum*. Proceeding of Natural Pigments Conference For South East Asia. Malang. p. 231-237.

Andrade, L.R., M. Farina & A.M. Filho. 2004. Effects of Copper on *Enteromorpha flexuosa* (Chlorophyta) in vitro. *Ecotoxicol. Environ. Safe.* 58:117-125.

Anantharaj, K., C. Govindasamy, G. Natanamurugaraj & S. Jeyachandran. 2011. Effect of Heavy Metals on Marine Diatom *Amphora coffeaeformis* (Agardh. Kutz). *Glob. J. Envi. Res.* 3:112-117.

Bakiyaraj, R., L. Baskaran & T. Senthilkumar. 2013. Effect of Heavy Metal Copper on the Marine Cyanobacterium *Phormidium tenue* (Mench.) Gomont. *Int. J. Pharm. & Biol. Arch.* 4(4):781-786.

Banfalvi, G. 2011. Cellular effects of heavy metals. Springer. London, pp. 364.

Cavet, J.S., G.P. Borrelly & N.J. Robinson. 2003. Zn, Cu and Co in cyanobacteria: selective control of metal availability. *FEMS Microbiol. Rev.*, 27:165-181.

Chrimadha, T., S.H. Nasution, Y. Mardiaty & Rosidah. 1997. Respon tumbuh alga *Ankistrodesmus convolutus* dan *Chorella* sp. terhadap intensitas cahaya. *Limnotex.* 4(1):11-19.

Hala, Y., P. Taba & M. Mariani. 2010. Fitosorpsi bi-logam Cd(II) dan Cu(II) oleh *Chaetoceros Calcitrans* dalam Medium Conwy. *Marina Chimica Acta.* 11(1):30-35.

Hou, W.H., G.L. Song, Q.H. Wang & C.C. Chang. 2007. Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*). *Pl. Physiol. Biochem.* 45:2-69.

Sbihi, K.O., A.E. Cherifi, Gharmali, B. Oudra & F. Aziz. 2012. Accumulation and toxicological effects of cadmium, copper and zinc on the growth and photosynthesis of the freshwater diatom *Planothidium lanceolatum* Lange-Bertalot: A laboratory study. *J. Mater. Environ. Sci.* 3(3):497-506.

Kiran, B. & K. Thanasekaran. 2011. Metal tolerance of an indigenous cyanobacterial strain, *Lyngbya putealis*. *Int. Biodet. Biodegr.* 65:1128-1132.

Kursar TA, J. van Der Meer & R.S. Alberte. 1983. Light Harvesting System of the Red Alga

- Gracilaria tikvahiae*. *Plant Physiol.* 73:361-369.
- Levy J, J.L. Stauber & D.F. Jolley. 2007. Sensitivity of marine microalgae to copper: The effect of biotic factors on copper adsorption and toxicity. *Sci. Total Envi.* 387(1-3):141-154.
- Lichtenthaler, H.K. & A.R. Wellburn. 1985. Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls A and B of Leaf in Different Solvents. *Biol. Soc. Trans.* 11:591-592.
- Li, Y.X., S.Z. Feng, J. Zhao, Y. Liu, P.P. Fan & G.C. Wang. 2010. Physiological Response of *Phopyra haitanesis* to Different Copper and Zinc Concentrations. *Brazilian J. Oceanogr.* Vol 58(4):261-267. doi: 10.1590/S1679-8759201000400001
- Madigan T.D., J.M. Martinko & J. Parker. 2009. Brock Biology of Microorganism. Ed ke-12. San Francisco: Pearson/Benjamin Cummings.
- Olivares, E. 2003. The Effect of Lead on Phytochemistry of *Tithonia diversifolia*: Exposed to Roadside Automotive Pollution or Grown in Pots of Pb Supplemented Soil. *Braz. J. Plant. Physl.* 15(3):149-158.
- Perales-Vela, H.V., S. González-Moreno, C. Montes-Horcasitas & R.O. Cañizares-Villanueva. 2007. Growth, photosynthetic and respiratory responses to sub-lethal copper concentrations in *Scenedesmus incrassatulus* Chlorophyceae). *Chemosphere.* 67:2274-2281.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 Tahun 2010 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri.
- Pinto, E.T., S. Kutner, M.A. Leitao, O.K Okamoto, D. Morse & P. Colepico. 2003. Heavy metal induced oxidative stress in algae. *J. Phycol.* 39:1008-1012.
- Priyadarshani I, D. Sahu & B. Rath. 2011. Microalgae bioremediation: current practices and perspectives. *J. Biochem. Tech.* 3(3):299-304.
- Purbonegoro T. 2008. Effects of Cadmium (Cd) on Metabolism and Photosynthesis in Marine Environment. *Oseña.* XXXIII(1):25-31.
- Sanchez M., J. B. Castillo, C. Rozo & I. Rodriguez. 2008. *Spirulina* (Arthrospira): An-Edible Microorganism. A Review. Departamento de Quimica Facultad de Ciencias Pontificia Universidad Javeriana Cra. 7:43-88.
- Soeprbowati, T.R, Hariyati & Riche. 2013. Bioaccumulation of Pb, Cd, Cu, and Cr by *Porphyridium cruentum* (S.F. Gray) Nageli. *Int. J. Mar. Sci.* 3:212-218.
- Solisio C, A. Lodi, D. Soletto & A. Converti. 2008. Copper biosorption on *Spirulina platensis* biomass. *Bioresource Tech.* 99:5933-5937.
- Surosz, W. & K.A. Palinsk. 2004. Effects of heavy-metal stress on cyanobacterium *Anabaena flosaquae*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 48: 40-48.
- Thoncheva, P.M., R. Merakchiyska, J. Djingova, M. Ivanova, S. Sholeva & S. Paunova. 2006. Effect of Cu²⁺ on the Red Microalgae *Rhodella reticulata*. *Gen. Appl. Plant Physiology, Spec. Issue:*53-60.
- Torres, F.J., M.P. Barros, S.C.G. Campos, E. Pinto, S. Rajamani & P. Colepico. 2008. Biochemical biomarkers in algae and marine pollution: A review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 71:1-15.
- Wang J. & C. Chen. 2009. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnol. Advanced.* 27:195-226.
- Wenny, D.D.R & A. Aunorohim. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) oleh *Chaetoceros calcitrans* pada Konsentrasi Sublethal. *J. Sains Seni Pomits.* 2(2):202-206.
- Widowati, W. 2008. Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Wood A., M. Everroad & L.M. Wingard. 2005. In Algal Culturing Techniques, R.A. Andersen ed., Elsevier Acad. Press, Amsterdam. 269-286.
- Zafer, A., G. Ekmekci, S. Vahdet & M. Ozmen, 2007. Heavy metal accumulation in water, sediments and fishes of Nallihan Bird Paradise. *Turkey. J. Environ. Biol.* 28:545-549.