

POTENSI MIKROALGA LAUT *Nannochloropsis salina* SEBAGAI BIOSORBEN Ni^{2+} , Cu^{2+} , DAN Zn^{2+} DALAM MEDIUM CONWY TERKONTAMINASI CAMPURAN TIGA LOGAM

Yusafir Hala¹, Paulina Taba¹, Asmawati¹ dan Febrianti Rut Langan¹

¹Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin

ABSTRACT

Hala et al., 2014. Potential of marine microalgae of *Nannochloropsis salina* as biosorbent for Ni^{2+} , Cu^{2+} , and Zn^{2+} in Conwy Medium contaminated mix of three metals

This study aimed to determine the pattern of growth, adsorption efficiency, and functional groups involved in the adsorption of *Nannochloropsis salina* on a single metal ions (Ni^{2+} , Cu^{2+} , and Zn^{2+}) and mix of three metals (CTL). Exposure of Ni^{2+} , Cu^{2+} , and Zn^{2+} was done at the beginning of the *N. salina* growth. The growth of the microalgae was observed every day by counting the number of populations using a hemocytometer. The concentration of metal ions after exposure was determined by atomic absorption spectrophotometer, and the identification of functional groups was carried out by fourier transform infra-red. The results showed that the growth of *N. salina* exposed to the medium containing single metal of Ni^{2+} , Cu^{2+} , and Zn^{2+} was greater than that containing the CTL. The maximum value of a single metal adsorption efficiency of Ni^{2+} , Cu^{2+} , and Zn^{2+} is 52.00; 50.00; 94.07%, respectively, while the efficiency adsorption of the three ions in CTL was 31.43; 32.73; 45.12%, correspondingly. The dominant functional group involved in biosorption of *N. salina* in single metal and CTL was carboxyl group.

Keywords: Biosorption, *Nannochloropsis salina*, a single metal, CTL

ABSTRAK

Hala dkk., 2014. Potensi mikroalga laut *Nannochloropsis salina* sebagai biosorben Ni^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dalam Medium Conwy terkontaminasi campuran tiga logam

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pola pertumbuhan, efisiensi penjerapan, dan gugus fungsi yang terlibat dalam penjerapan *Nannochloropsis salina* pada ion tunggal Ni^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dan campuran tiga logam (CTL). Pemaparan Ni^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dilakukan pada awal pertumbuhan *N. salina*. Pengamatan pertumbuhan dilakukan setiap hari dengan menghitung jumlah populasi menggunakan hemocytometer. Konsentrasi ion logam setelah pemaparan ditentukan dengan spektrofotometer serapan atom, dan identifikasi gugus fungsi dilakukan dengan *fourier transform infra-red*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan *N. salina* pada medium yang dipapar logam tunggal Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} lebih besar jika dibandingkan dengan CTL. Nilai efisiensi penjerapan maksimum logam tunggal Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} secara berturut-turut adalah 52,00; 50,00; 94,07%, sedangkan efisiensi penjerapan pada CTL secara berturut-turut 31,43; 32,73; 45,12%. Gugus fungsi yang dominan berperan dalam biosorpsi *N. salina* pada logam tunggal dan CTL adalah gugus karboksil.

Kata kunci: Biosorpsi, *Nannochloropsis salina*, logam tunggal, CTL

PENDAHULUAN

Pencemaran perairan oleh ion logam berat telah dilaporkan oleh beberapa peneliti (Rochyatun & Rozak, 2007; Andarani dan Roosmini, 2009; Tarigan dkk., 2003; Rahma, 2006). Kontribusi industri menyebabkan peningkatan konsentrasi ion logam berat akibat masuknya limbah ke perairan (Lin dkk., 2008).

Biosorpsi merupakan metode penjerapan ion logam berat yang lebih efektif,

ekonomis, dan dapat diterapkan dalam skala kecil maupun besar (Hashim, 2008; Hala dkk., 2013). *Nannochloropsis salina* telah digunakan sebagai biosorben karena mampu mengakumulasi logam berat di tubuhnya dan toleran terhadap konsentrasi logam di perairan (Doshi dkk., 2008). Efisiensi penjerapan *N. salina* terhadap Ni^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} berturut-turut sebesar 64,80 %; 96,90 %; dan 94,10 % (Sarubang dkk., 2013; Hala dkk., 2011; Hala dkk., 2012a).

Ion logam berat tidak dijumpai dalam keadaan tunggal di alam tetapi bercampur dan bersama-sama dengan ion lain. Peneliti sebelumnya menunjukkan kemampuan mikroalga berinteraksi dengan dua logam (Suadi, 2012; Sam, 2012; Hala dkk., 2012b; Hala dkk., 2013). Meskipun penelitian tentang biosorpsi ion logam oleh *N. salina* telah banyak dilakukan, biosorpsi tentang ion logam pada campuran tiga logam (CTL) belum banyak diteliti.

Berdasarkan uraian di atas telah dilakukan penelitian tentang biosorpsi dengan *N. salina* pada CTL, Ni²⁺, Cu²⁺, dan Zn²⁺ dengan konsentrasi tertentu yang dilakukan pada awal pertumbuhan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan terhadap proses biosorpsi menggunakan mikroalga dan sekaligus menjadi alternatif untuk mengatasi pencemaran oleh ion logam berat di perairan laut.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan adalah Medium Conwy (Hala dkk., 2012a), air laut steril, dan biakan murni *N. salina* yang diperoleh dari Balai Penelitian Pengembangan Budidaya Air Payau (BPP-BAP) Maros. Air laut steril diperoleh dari air laut alam yang diturunkan salinitasnya dengan akuabides dan disaring dengan filter membran selulosa nitrat *Millipore* 0,45 µm lalu disterilkan dengan otoklaf. Larutan induk 10.000 ppm Ni²⁺, Cu²⁺, dan Zn²⁺ dibuat dengan melarutkan secara berturut-turut 4,953 g Ni(NO₃)₂ · 6H₂O; 3,801 g Cu(NO₃)₂ · 3H₂O; 4,547 g Zn(NO₃)₂ · 6H₂O dengan 0,69 mL HNO₃ p.a., diencerkan dengan akuabides dalam labu ukur 100 mL, dan selanjutnya diencerkan sesuai kebutuhan.

Alat yang digunakan adalah alat gelas yang umum, aerator merek Amara, hemositometer merek Marienfeld LOT-No 4551, *hand counter*, mikroskop Nikon SE, oven merek SPNISOSFD, sentrifus, merupakan alat-alat pada Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia FMIPA Unhas, spektrofotometer serapan atom (SSA) *Buck Scientific* model 205 VGP pada Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia FMIPA Unhas, Spektrofotometer *fourier transform infra-red* (FT-IR) Shimadzu model IR Prestige-21, instrumen analisis Laboratorium Kimia

Terpadu Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, otoklaf *All American* model No. 1925X dan filter membran selulosa nitrat merek *Millipore* ukuran 0,45 µm.

Pertumbuhan *N. salina* pada medium yang terpapar Ni²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, dan CTL

Pertumbuhan *N. salina* dilakukan pada Medium Conwy yang terpapar campuran logam Ni²⁺, Cu²⁺, dan Zn²⁺. Mengacu pada penelitian sebelumnya (Hala dkk., 2012a), kondisi kultivasi *N. salina* diatur pada pH 7, suhu 20 °C, salinitas 25‰, pencahayaan kontinu (≈ 4.000 lux), dan aerasi.

Air laut steril dimasukkan ke dalam 5 buah stoples 1 L, 3 diantaranya ditambahkan masing-masing logam tunggal Ni²⁺, Cu²⁺, dan Zn²⁺ berturut-turut 5; 10; dan 10 ppm; 1 stoples ditambahkan campuran ion Ni²⁺, Cu²⁺, dan Zn²⁺ dengan konsentrasi sama dengan logam tunggal, dan 1 stoples sebagai kontrol. Selanjutnya, pada setiap stoples ditambahkan 2 mL Medium Conwy, 4 mL biakan *N. salina* dengan kepadatan awal 30 x 10⁴ sel/mL, lalu volume larutan dalam stoples dicukupkan 1 L dengan air laut steril.

Pengamatan pertumbuhan *N. salina* dilakukan di bawah mikroskop dengan cara menghitung jumlah sel *N. salina* per milliliter medium setiap hari dengan menggunakan hemositometer. Jumlah populasi dihitung berdasarkan persamaan (1), di mana A, B, C, dan D adalah bidang pengamatan.

$$\sum \text{sel} = \frac{A+B+C+D}{4} \times 10^4 \text{ sel mL}^{-1} \quad (1)$$

Pengukuran konsentrasi logam dan efisiensi penjerapan

Filtrat dan residu *N. salina* dipisahkan dengan sentrifugasi. Selanjutnya, 5-10 mL filtrat diukur absorbansinya dengan SSA dan konsentrasi logam dalam filtrat ditentukan berdasarkan kurva baku. Efisiensi penjerapan (E_p) dihitung berdasarkan persamaan (3), yaitu perbandingan konsentrasi ion yang terjerap (C_s) dengan konsentrasi mula-mula (C_o). Konsentrasi ion yang terjerap (C_s) dihitung menggunakan persamaan (2), yaitu selisih konsentrasi mula-mula (C_o) dengan konsentrasi logam pada filtrat (C_f).

$$C_s = C_o - C_f \quad (2)$$

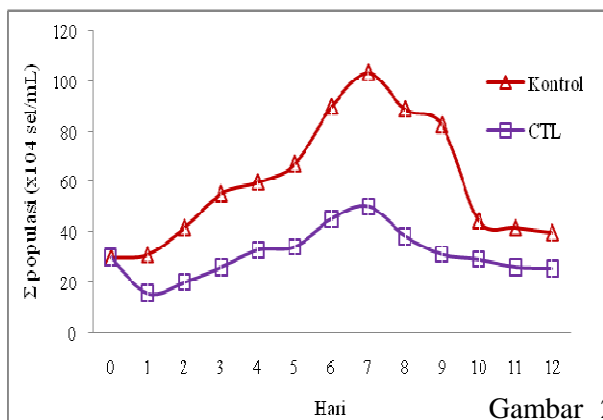
$$E_p = \frac{C_s}{C_o} \times 100 \% \quad (3)$$

Identifikasi gugus fungsi

Residu total *N. salina* yang diperoleh dikeringkan di dalam oven selama 1 jam pada suhu 35 °C. Residu kering dihaluskan di dalam lumpang dan dicampurkan dengan serbuk KBr (5-10 % sampel dalam serbuk KBr). Selanjutnya, ditentukan menggunakan *diffuse reflectance measuring* (DRS-8000) yang dipasang pada tempat sampel. Serbuk KBr dimasukkan ke dalam *sample pan* untuk menentukan *background*. Spektrum sampel ditentukan dengan memasukkan sampel bercampur KBr pada *sample pan*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan *N. salina* pada kontrol dan CTL Ni^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} ditampilkan pada Gambar 1.



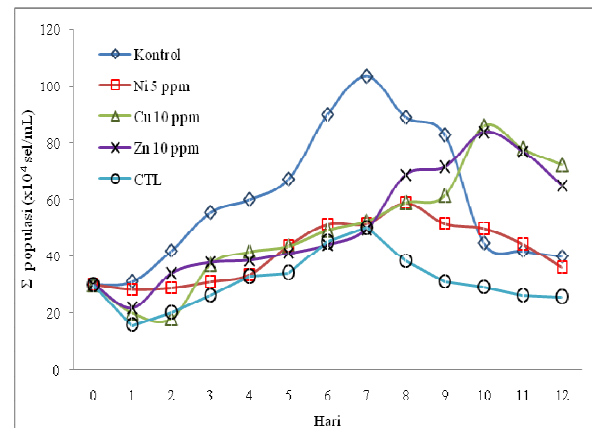
Gambar 1. Grafik pertumbuhan *N. salina* pada kontrol dan CTL

Pertumbuhan maksimum *N. salina* pada kontrol dicapai pada hari ke-7 dengan jumlah populasi sebesar $103,5 \times 10^4$ sel/mL, kemudian terjadi penurunan jumlah populasi secara teratur hingga hari ke-12. Penurunan populasi ini disebabkan oleh semakin berkurangnya nutrisi dalam medium pertumbuhan seiring dengan meningkatnya jumlah populasi *N. salina* yang mengkonsumsi nutrisi tersebut. Adanya residu mikroalga mati yang mengendap ke dasar medium menjadi kompetitor baru bagi *N. salina* hidup dalam mengkonsumsi oksigen terlarut (Hala dkk., 2013).

Waktu optimum pertumbuhan *N. salina* pada CTL terjadi pada hari ke-7 dengan jumlah populasi $50,25 \times 10^4$ sel/mL, yang signifikan jika dibandingkan dengan

kontrol. Penurunan populasi ini dipengaruhi oleh paparan ion logam berkonsentrasi tinggi, sehingga mengganggu proses pertumbuhan. Widowati (2008) menyatakan bahwa ion logam Ni^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dalam jumlah kecil termasuk ion logam esensial, yang dibutuhkan organisme. Ion Ni^{2+} berperan sebagai stabilisator protein, Cu^{2+} membantu enzim hemoglobin sintetase, katalase, peroksidase, sitokrom oksidase, β -hidroksilase, sedang ion Zn^{2+} berperan dalam fungsi saraf, reproduksi, dan proses katalitik, struktur, serta pengaturan. Akan tetapi dalam jumlah yang lebih besar dapat menimbulkan efek toksik bagi organisme (Hala dkk, 2012b).

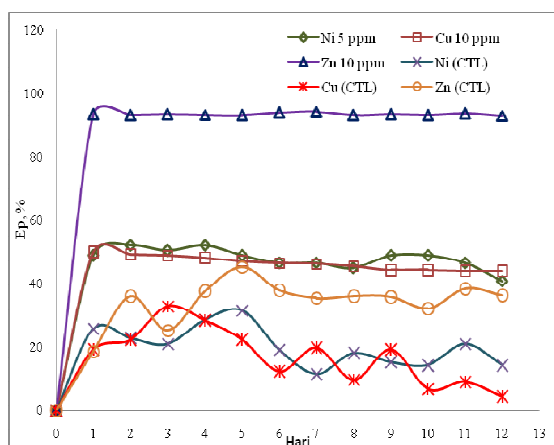
Pola pertumbuhan pada medium yang dipapar ion tunggal Ni^{2+} 5 ppm, Cu^{2+} 10 ppm dan Zn^{2+} 10 ppm jika dibandingkan dengan CTL dan kontrol ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik pertumbuhan *N. salina* pada kontrol, paparan logam tunggal Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , dan CTL

Populasi optimum pada kontrol lebih tinggi dibanding medium yang terpapar logam tunggal dan CTL. Jumlah populasi optimum untuk ion tunggal Ni^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} berturut-turut adalah 58,75; 86; dan 83,75 ($\times 10^4$ sel/mL). Jumlah populasi terendah dijumpai pada medium terpapar ion Ni^{2+} 5 ppm, sebab dalam Medium Conwy tidak ada Ni^{2+} , sedangkan Cu^{2+} dan Zn^{2+} bagian dari komponen medium. Pertumbuhan *N. salina* pada medium terpapar ion tunggal Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} dan CTL

menunjukkan bahwa *N. salina* mengalami tahap adaptasi terhadap lingkungan baru, sehingga di awal pertumbuhannya berjalan lambat, tetapi pada hari berikutnya, *N. salina* mulai menyesuaikan diri dengan lingkungan dan mengalami pertumbuhan yang cepat. Pola pertumbuhan logam tunggal dibanding CTL menunjukkan perbedaan populasi yang signifikan, logam tunggal cenderung lebih cepat dibandingkan CTL. Perbedaan ini disebabkan karena konsentrasi ion yang tinggi akan menghambat pertumbuhan sel, karena sistem perlindungan organisme tidak mampu lagi mengimbangi efek toksik logam. Meningkatnya konsentrasi logam menyebabkan penurunan pertumbuhan *N. salina* yang signifikan karena lapisan lemak sel yang mengandung gugus fungsi seperti N-terminal dari gugus $-NH_2$, C-terminal dari gugus $-COO^-$, S-terminal dari gugus $-SH$, dan gugus fungsi rantai samping lainnya, berpotensi mengikat ion logam pada permukaan sel mikroalga (Hala dkk., 2013). Ion logam dalam medium pertumbuhan menghambat sel *N. salina* melakukan reproduksi. Lingkungan yang terkontaminasi ion logam berat membuat sel mikroalga tertekan sehingga terjadi kompetisi dalam penyerapan ion logam di situs-situs aktif pada permukaan sel (Lesage et al., 2007).



Gambar 3. Grafik E_p pada logam tunggal Ni²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺ dan CTL

Gambar 3 menunjukkan E_p untuk logam tunggal Ni²⁺ 5 ppm berbeda dengan CTL. Nilai E_p logam tunggal cenderung naik di hari ke-1 tetapi tetap di hari ke-2 hingga ke-12. Sementara pada CTL E_p Ni²⁺ 5 ppm cenderung fluktuatif tetapi jauh lebih rendah dibanding logam tunggal. Demikian juga halnya dengan kecenderungan Cu²⁺ dan Zn²⁺, nilai E_p logam tunggal tertinggi dicapai oleh Zn²⁺. Fakta ini

menunjukkan bahwa penyerapan meningkat sejalan dengan meningkatnya ketersediaan ion logam dalam medium. Nilai E_p berbanding terbalik dengan konsentrasi ion yang dipaparkan, karena pada logam tunggal tidak terjadi kompetisi antar logam dalam medium, berbeda dengan CTL. Konsentrasi logam yang tinggi berdampak pada meningkatnya toksisitas, malampai kemampuan adaptasi *N. salina* (Hala dkk., 2013).

Adanya Zn²⁺ menyebabkan penurunan daya jerap Ni²⁺ dan Cu²⁺, karena jari-jari ion Zn²⁺ lebih kecil dari Cu²⁺ dan Ni²⁺, sehingga Zn²⁺ cenderung terdifusi lebih awal ke dalam membran sel dan diikat secara kimia oleh protein, sebagai situs pertukaran ion dalam sel. Secara umum Ni²⁺, Cu²⁺ dan Zn²⁺ merupakan logam esensial yang dibutuhkan dalam jumlah yang relatif kecil bagi mikroalga, akan tetapi tingkat kebutuhan akan Zn²⁺ lebih besar dibanding Ni²⁺ dan Cu²⁺, sehingga ion logam Zn²⁺ terjerap lebih banyak.

Hasil perhitungan E_p memberikan gambaran bahwa penyerapan logam tunggal maupun CTL oleh *N. salina* cenderung terjadi di awal waktu kontak karena sejumlah situs mengikat pada mikroalga menunjukkan terjadinya hambatan sterik gugus fungsi di permukaan setelah penyerapan awal terjadi, sehingga dibutuhkan waktu relatif lama untuk mencapai kesetimbangan (Murphy dkk., 2007).

Beberapa gugus fungsi yang potensial terlibat pada biosorpsi adalah karboksil, amina, amida, dan gugus amino. Gugus fungsi yang berperan dalam proses penyerapan oleh *N. salina* dapat dilihat pada Tabel 1. Spektrum FT-IR pada residu *N. salina* pada CTL menunjukkan bahwa terjadi pergeseran regang C=O pada gugus karboksil dengan bilangan gelombang 1764,87 cm⁻¹ sedangkan pada residu kontrol puncak regang C=O adalah 1734,01 cm⁻¹. Hal ini berarti pemaparan Ni²⁺, Cu²⁺, dan Zn²⁺ pada CTL menyebabkan pergeseran bilangan gelombang sekitar 30 cm⁻¹. Pergeseran puncak ini menunjukkan adanya proses pengikatan ion logam pada gugus fungsi yang terdapat pada *N. salina*. Gugus karboksil dan amina berpotensi mengikat ion logam karena mempunyai pasangan elektron bebas. Regang O-H, regang C-O dan lentur O-H juga terdeteksi, tetapi tidak menunjukkan pergeseran yang berarti. Sementara untuk regang C=O pada gugus karboksil logam tunggal dibanding kontrol,

menunjukkan pergeseran yang tidak signifikan ($\approx 3 \text{ cm}^{-1}$).

Ikatan antara logam dan gugus fungsi terjadi melalui reaksi pertukaran ion yang terjadi ketika ion monovalen atau divalen seperti Na, Ca dan Mg yang terdapat pada dinding sel digantikan oleh logam berat. Gugus fungsi pada dinding dan dalam sel juga berpotensi membentuk kompleks dengan logam berat (Onrizal, 2005). Spektrum residu *N. salina* pada kontrol menunjukkan regang O-H pada gugus karboksil dengan bilangan gelombang $3421,72 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan pada logam tunggal Ni^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} berturut-turut sebesar $3392,79$; 3419 ; dan $3421,72 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini menunjukkan terjadi pergeseran bilangan gelombang pada Ni^{2+} sekitar 29 cm^{-1} , sedangkan untuk dua logam lain sangat kecil, bahkan cenderung tidak bergeser. Sementara pada regang C-O bilangan gelombang pada kontrol mencapai $1247,94 \text{ cm}^{-1}$, logam tunggal

Ni^{2+} , Cu^{2+} dan Zn^{2+} mencapai $1234,44$; $1261,45$; dan $1246,02 \text{ cm}^{-1}$. Berarti pemaparan Ni^{2+} dan Cu^{2+} menyebabkan pergeseran bilangan gelombang cukup besar sekitar 13 cm^{-1} . Regang C-N gugus amina pada kontrol dijumpai bilangan gelombang $1313,52 \text{ cm}^{-1}$ sedangkan pada logam tunggal Ni^{2+} tidak ditemukan, sementara logam tunggal Cu^{2+} , Zn^{2+} , dan CTL berturut-turut $1315,45$; $1313,52$ dan $1315,45 \text{ cm}^{-1}$. Pergeseran ini relatif tidak berarti. Pergeseran puncak pada regang N-H relatif besar untuk logam tunggal Ni^{2+} (29 cm^{-1}) sedangkan untuk sampel yang lain relatif tidak berarti. Pergeseran puncak pada gugus amina tidak signifikan untuk semua sampel jika dibandingkan dengan kontrol. Hal ini disebabkan karena elektronegatifitas nitrogen lebih kecil dibanding oksigen sehingga afinitas untuk mengikat logam juga kecil.

Tabel 1. Bilangan gelombang yang dominan pada spektrum FT-IR

Gugus Fungsi	Kontrol	Ni^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	CTL
<i>Karboksil</i>					
Regang O-H	3421,72	3392,79	3419,79	3421,72	3419,79
Regang C=O	1734,01	-	1737,86	1737,88	1764,87
Regang C-O	1247,94	1234,44	1261,45	1246,02	-
Lentur O-H	1419,61	1409,96	1415,75	1411,89	-
<i>Amina</i>					
Regang N-H	3421,72	3392,79	3419,79	3421,72	3419,79
Lentur N-H	1645,28	1643,35	1643,35	1653,00	1627,92
Regang C-N	1313,52	-	1315,45	1313,52	1315,45
<i>Amida</i>					
Regang N-H	3421,72	3392,79	3419,79	3421,72	3419,79
Regang C-O	1645,28	1643,35	1643,35	1653,00	1627,92
<i>Amino</i>					
Regang C-H	2922,16	2924,09	2924,09	2922,16	2920,23
C-O	1541,12	1543,05	1539,20	1543,05	1543,05
Lentur N-H	1645,28	1643,35	1643,05	1653,05	1627,92

Hal yang sama dijumpai pada gugus amida, terutama pada regang N-H dan lentur N-H. Sementara untuk gugus amino terjadi pergeseran yang sangat kecil, berkisar 2 cm^{-1} untuk regang C-H pada semua sampel. Lentur N-H tidak menunjukkan pergeseran yang berarti pada spektrum sampel yang dipapar logam tunggal Ni^{2+} dan Cu^{2+} , sedangkan sampel yang dipaparkan Zn^{2+} menunjukkan pergeseran lebih besar, yaitu sekitar 8 cm^{-1} .

Setelah membandingkan spektrum IR antara residu *N. salina* pada kontrol dan CTL dengan CTL, gugus fungsi yang dominan berperan dalam proses penyerapan logam adalah gugus karboksil, terutama pada regang C=O, sementara logam tunggal Ni^{2+} , Cu^{2+} dan Zn^{2+} yang dominan secara berturut adalah regang O-H dan regang C-O. Gugus fungsi dapat berperan sebagai ligand untuk membentuk khelat dengan logam. Kompleks antara logam

dan gugus fungsi dapat terbentuk jika ligand memiliki pasangan elektron bebas untuk disumbangkan ke ion logam sebagai atom pusat akseptor pasangan elektron bebas (Yefrida & Yuniatris, 2007).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Hassanudin yang telah mendanai penelitian ini pada hibah *Post Doctoral* 2014 dengan kontrak No. 16195/UN.42/PL.09/2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Andarani, P., & Roosmini, D. 2009. *Profil Pencemaran Logam Berat (Cu, Cr, dan Zn pada Air Permukaan dan Sedimen di Sekitar Industri Tekstil PT X (Sungai Cikijing)*, www.fts.itb.ac.id/kk/teknologi/PI-pertiwi-andarani-15305045.pdf, [19 Juni 2014].
- Doshi, H., Seth, C., Ray, A. & Kothari, I.L. 2008. Bioaccumulation of Heavy Metals by Green Algae, *Curr. Microbiol.* 56, 246-255.
- Hala, Y., Suryati, E., Syahrul, M., Taba, P. & Soekamto, N.H. 2011, Biosorpsi Cu^{2+} Menggunakan *Nannochloropsis salina* dalam Medium Conwy, Prosiding Seminar Nasional Kimia Kalimantan Timur, Samarinda 3 Desember 2011, ISBN. 978-602-19421-0-9, pp. 149-156.
- Hala, Y., Syahrul, M., Suryati, E., & Taba, P., 2012a, *Biosorpsi of Zn^{2+} With Nannochloropsis salina*, Proceeding The 2nd International Seminar on New Paradigm and Innovation on Natural Sciences and its Application (INSPINSA 2), ISBN: 978-602-18940-0-2, Diponegoro University, October 4, 2012 Semarang, Indonesia, 295-299.
- Hala, Y., Suryati, E. & Taba, P., 2012b, Biosorpsi Campuran Logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} oleh *Chaetoceros calcitrans*, *Chem. Prog.*, 5, 86-92.
- Hala, Y., Syahrul, M., Suryati E., Taba, P. & Soekamto, N.H., 2013, Biosorption of Zn^{2+} and Cd^{2+} in a Two-Metal System by *Nannochloropsis salina*, *Eur. Chem. Bull.*, 2, 238-241.

KESIMPULAN

Potensi mikroalga laut *N. salina* sebagai penjerap ion Ni^{2+} , Cu^{2+} dan Zn^{2+} relatif besar, dengan Ep logam tunggal Ni^{2+} , Cu^{2+} dan Zn^{2+} beturut-turut adalah 55,15; 51,08 dan 98,67%, sedangkan pada CTL secara berturut-turut adalah 31,43; 37,52 dan 61,31%. Pertumbuhan *N. salina* yang dipapar logam tunggal Ni^{2+} , Cu^{2+} dan Zn^{2+} lebih baik dibanding dengan CTL. Gugus fungsi yang berperan dominan dalam biosorpsi logam tunggal dan CTL oleh *N. salina* adalah karboksil.

- Hashim, M.S. 2008. *Removal of Nickel from Aqueous Solution by Using Dried Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes)*, Skripsi dipublikasikan, Chemical Engineering, Faculty of Chemical Engineering Natural Resources, University Malaysia Pahang, <http://umpir.ump.edu.my/528/1/Norhaslin Hashom.pdf>, [30 Mei 2014].
- Lesage, E., Mundia C., Rousseau, D.P.L., Van de Moortel, A.M.K., Du Laing G., Meers, E., Tack, F.M.G., De Pauw N. & Verloo, M.G. 2007. Sorption of Co, Cu, Ni, and Zn from Industrial Effluents by The Submerged Aquatic Macrophyte *Myriophyllum spicatum* L., *Ecol. Eng.* 30, 320-325.
- Lin, C., He, M., Zhou, Y., Guo, W. & Yang, Z. 2008. Distribution and Contamination assessment of Heavy Metal in Sediment of Second Songhua River, China, *Environ Monit Assess (Springer)*. 137, 329-342.
- Murphy, V., Hughes, H. & Mcloughlin, P. 2007. Cu(II) Binding by Dried Biomass of Red, Green and Brown Macroalga, *Wat. Res.* 41, 731-740.
- Onrizal, 2005, *Restorasi Lahan Terkontaminasi Logam Berat*, http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/955/1/hutan_onrizal6.pdf, [25 April 2014].
- Rahma, M., 2006, *Kandungan Fe, Cu, Zn, dan Pb, dalam Sedimen Perairan Pesisir Sekitar Kawasan Industri Gresik*, Skripsi dipublikasikan, Departemen Kimia, FMIPA, Institut

- Pertanian Bogor,
<http://repository.ipb.ac.id/bitstream/handle/12345678/46329/G06mra.pdf>, [11 Juni 2014].
- Rochyatun, E. & Rozak, A. 2007, Pemantauan Kadar Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta, *Makara Sains*. 11, 28-36.
- Sam, N.A., 2012, *Interaksi Bi-logam Cu^{2+} dan Zn^{2+} dengan *Nannochloropsis salina* dalam Medium Conwy*, Skripsi Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Sarubang, G.I., Taba, P. & Hala, Y. 2013, Pemanfaatan *Nannochloropsis salina* Sebagai Biosorben untuk Mengatasi Pencemaran Ni^{2+} , <http://repository.unhas.ac.id/bitstream/handle/123456789/9266/jurnal%20grace.pdf?sequence=1> [4 September 2014].
- Suadi, A., 2012, *Interaksi Bi-logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} dengan *N. salina* dalam Medium Conwy*, Skripsi Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Tarigan, Z., Edward & Rozak, A. 2003. Kandungan Logam Berat pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni dalam Air Laut dan Sedimen di Muara Sungai Mambro, Papua dalam Kaitannya dengan Kepentingsn Budidaya Perikanan, *Makara Sains*. 7, 119-127.
- Widowati, W., Sastiono, A. & Yusuf, R. 2008. *Efek Toksik Logam: pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*, Andi Yogyakarta, Yogyakarta, pp 2-13.
- Yefrida & Yuniartis, 2007, *Regenerasi dan Pemanfaatan Kembali Serbuk Gergaji sebagai Penyerap Ion Logam Cd, Cu, dan Cr dalam Air*, http://repository.unand.ac.id/3676/1/Laporan_Yefrida.MSI.pdf, [12 Agustus 2014].