

## Biosorpsi Ni<sup>2+</sup> oleh *Nannochloropsis Salina* pada Medium Terpapar Ca<sup>2+</sup>

Yusafir Hala<sup>1</sup>, Muhammad Zakir<sup>1</sup>, Emma Suryati<sup>2</sup> dan Karuniawati Azis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Kimia FMIPA Unhas, Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10, Makassar, 90245, Indonesia

<sup>2</sup>Balai Penelitian Perikanan Budidaya Air Payau, Jl. Makmur Dg. Sitaka, Maros, 90511, Indonesia

Email: [yusafirhala@gmail.com](mailto:yusafirhala@gmail.com)

Received: January 2015; Revised: February 2015; Accepted: May 2015; Available Online: August 2016

### Abstrak

Penelitian biosorpsi Ni<sup>2+</sup> oleh *Nannochloropsis salina* dalam medium terpapar Ca<sup>2+</sup> telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pertumbuhan dan efisiensi penyerapan *N. salina* terhadap Ni<sup>2+</sup> dalam Medium Conwy dengan tambahan Ca<sup>2+</sup>. Pemaparan campuran ion Ni<sup>2+</sup> 5 ppm dan Ca<sup>2+</sup> dengan variasi konsentrasi 10, 30, 50 ppm dilakukan pada awal pertumbuhan *N. salina*. Pertumbuhan *N. salina* diamati setiap hari dengan menghitung jumlah populasi *N. salina* menggunakan mikroskop dan hemositometer. Konsentrasi ion logam setelah pemaparan ditentukan menggunakan spektrofotometer serapan atom. Pertumbuhan *N. salina* dalam medium yang terpapar ion logam lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Efisiensi penyerapan maksimum Ni<sup>2+</sup> sebagai ion tunggal adalah 55.2%. Setelah pemaparan campuran Ni<sup>2+</sup> dan Ca<sup>2+</sup> dengan variasi konsentrasi 10, 30, 50 ppm, efisiensi penyerapan terhadap Ni<sup>2+</sup> berturut-turut adalah 17.6%; 17.8%; dan 19.6%; sementara efisiensi penyerapan maksimum *N. salina* terhadap Ca<sup>2+</sup> berturut-turut adalah 5.1%; 7.1%; dan 4.0%.

**Kata kunci :** *Nannochloropsis salina*, biosorpsi, Conwy, nikel, kalsium.

### Abstract

Research on biosorption of Ni<sup>2+</sup> by *N. salina* in Ca<sup>2+</sup> exposed medium has been done. This study aimed to determine the growth and efficiency of *N. salina* towards Ni<sup>2+</sup> in Conwy Medium with addition of Ca<sup>2+</sup>. Exposure of mixed ions of Ni<sup>2+</sup> 5 ppm and Ca<sup>2+</sup> with variation of concentrations 10, 30, 50 ppm was conducted at the beginning of the growth of *N. salina*. The growth of *N. salina* was observed every day by counting the number of *N. salina* population using a microscope and haemocytometer. The concentration of metal ions after the exposure was determined by atomic absorption spectrophotometer. The growth of *N. salina* in medium with exposed metal ions is lower than the control. The maximum sorption efficiency of Ni<sup>2+</sup> as a single ion is 55.2%. After exposure of mixed ions of Ni<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup> with variation of concentrations 10, 30, 50 ppm, the sorption efficiency of Ni<sup>2+</sup> in sequents are 17.6%; 17.8%; and 19.6%; while the maximum sorption efficiency of *N. salina* towards Ca<sup>2+</sup> are 5.1%; 7.1%; and 4.0% respectively.

**Keywords :** *Nannochloropsis salina*, biosorption, Conwy, nickel, calcium.

**DOI :** <http://dx.doi.org/10.15408/jkv.v0i0.3153>.

## 1. PENDAHULUAN

Masalah pencemaran logam berat di perairan dapat diselesaikan dengan metode biosorpsi menggunakan alga (Chekroun *et al.*, 2013), yang didasarkan pada kemampuannya mengakumulasi logam berat (Ahalya *et al.*, 2010). Keuntungan pemanfaatan mikroalga sebagai biosorben adalah daya adsorpsi logam

berat yang cukup tinggi, mudah didapat dan melimpah, murah, *sludge* sangat minim, dan tidak perlu nutrisi tambahan (Sembiring *et al.*, 2009). Salah satu mikroalga laut yang telah dimanfaatkan sebagai biosorben logam berat adalah *Nannochloropsis salina* (Hala *et al.*, 2012), karena dinding selnya mengandung gugus fungsi -COOH, -CO, -NH<sub>2</sub> dan -CONH<sub>2</sub> sebagai penyusun utama polisakarida

dan polipeptida yang berperan sebagai ligan dalam pengikatannya dengan logam berat. Mikroalga *N. salina* telah digunakan sebagai biosorben ion  $Pb^{2+}$  dan  $Cu^{2+}$  dengan efisiensi penjerapan sebesar 49.85% pada konsentrasi masing-masing 10 ppm (Wahab *et al.*, 2012). Mikroalga ini juga telah digunakan sebagai biosorben ion  $Ni^{2+}$  sebagai ion tunggal dengan efisiensi penjerapan sebesar 55.2% (Hala *et al.*, 2014).

Ion logam berat tidak dijumpai dalam keadaan tunggal di alam tetapi bercampur dan bersama-sama dengan ion lain, baik logam berat maupun logam ringan. Peneliti sebelumnya menunjukkan kemampuan mikroalga laut *N. salina* berinteraksi dengan dua logam (Hala *et al.*, 2013) dan biosorpsi ion logam berat pada campuran tiga logam (Hala *et al.*, 2014).

Ion logam yang mempengaruhi penjerapan ion logam lainnya dalam sistem larutan disebut ion kontra. Keberadaan ion kontra menurunkan kemampuan penjerapan ion logam (Fahmi, 2011). Kalsium merupakan unsur yang dibutuhkan oleh mikroalga dalam jumlah relatif besar (Amini dan Syamdidi, 2006). Ion  $Ca^{2+}$  berfungsi sebagai nutrisi dalam pembentukan sel, dan peningkatan konsentrasi  $Ca^{2+}$  dapat mempengaruhi pertumbuhan populasi mikroalga (Kurniasih 2014).

Hasil penelitian Biyantoro dan Basuki menunjukkan konsentrasi  $Ca^{2+}$  di Perairan Semenanjung Muria Jepara sebesar 365.25-368.65 ppm. Di samping itu, ion  $Ca^{2+}$  dapat juga berperan sebagai ion kontra terhadap penjerapan ion-ion logam berat karena jumlahnya yang relatif besar di perairan, serta menimbulkan efek kompetitif yang potensial terhadap penjerapan ion logam berat (Bongers dan Rusch, 2007).

Berdasarkan uraian tersebut, telah dilakukan penelitian tentang biosorpsi  $Ni^{2+}$  oleh *N. salina* dalam medium yang telah terpapar ion  $Ca^{2+}$ . Penambahan ion logam dilakukan di awal masa pertumbuhan. Hasil penelitian diharapkan menjadi alternatif pertimbangan dalam menyelesaikan masalah pencemaran logam berat di perairan laut.

## 2. METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah Medium Conwy, biakan murni *N. salina* yang diperoleh dari Balai Penelitian Perikanan Budidaya Air

Payau (BPP-BAP) Maros. Air laut steril disiapkan dengan menurunkan salinitas air laut alam dengan menambahkan akuabides, selanjutnya disaring dengan filter membran selulosa nitrat *Millipore* 0.45  $\mu$ m, lalu disterilkan dengan otoklaf. Larutan induk 10000 ppm  $Ni^{2+}$  dibuat dengan melarutkan 4.953 g  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  dengan 0.69 mL  $HNO_3$  p.a., diencerkan dengan akuabides dalam labu ukur 100 mL, sedang larutan induk 10000 ppm  $Ca^{2+}$  dibuat dengan melarutkan 5.8922 g  $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  dengan 0.69 mL  $HNO_3$  p.a., diencerkan dengan akuabides dalam labu ukur 100 mL, dan selanjutnya diencerkan sesuai kebutuhan.

Alat yang digunakan adalah aerator (Amara), hemositometer (Marienfeld LOT-No 4551), *hand counter*, mikroskop Nikon SE, oven (SPNISOSFD), sentrifus, yang merupakan peralatan Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia FMIPA Unhas, spektrofotometer serapan atom (*Buck Scientific* model 205 VGP) pada Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia FMIPA Unhas, otoklaf *All American* (No. 1925X), dan filter membran selulosa nitrat (*Millipore*) 0.45  $\mu$ m.

### Pertumbuhan *N. salina* pada Medium Terpapar $Ni^{2+}$ dan $Ca^{2+}$

Pertumbuhan *N. salina* pada medium yang tercemar  $Ni^{2+}$  dengan penambahan ion kontra  $Ca^{2+}$  dilakukan dengan menggunakan air laut steril, dan Medium Conwy, pada kondisi: salinitas medium 30%, intensitas cahaya 4000 lux, aerasi, pH netral dan suhu ruangan 20 °C.

Sebanyak 500 mL air laut steril dimasukkan masing-masing ke dalam 3 stoples, ditambahkan  $Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  dengan konsentrasi masing-masing 10, 30 dan 50 ppm, serta satu stoples sebagai kontrol. Masing-masing stoples ditambahkan 2 mL larutan Conwy, 3 tetes vitamin, dan 3.5 mL biakan *N. salina* dengan kepadatan awal sekitar  $30 \times 10^4$  sel/mL. Larutan dikocok perlahan dan dihubungkan dengan aerator. Pertumbuhan *N. salina* diamati setiap hari dengan mikroskop dan hemositometer, melalui 4 bidang pengamatan. Jumlah populasi sel dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\Sigma \text{ sel} = \frac{1+2+3+4}{4} \times 10^4 \text{ sel/mL} \quad (1)$$

### Pengukuran Konsentrasi Logam

Pengukuran konsentrasi logam dengan SSA dilakukan pada filtrat medium yang telah

dipaparkan campuran  $Ni^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  di awal pertumbuhan *N. salina*. Dengan menggunakan Persamaan (2), konsentrasi logam, C, dihitung berdasarkan nilai absorbansi, A, absorpsivitas molar a, dan tebal sampel b.

$$A = a \times b \times C \quad (2)$$

### Penentuan Efisiensi Penjerapan

Efisiensi penjerapan ( $E_p$ ) dihitung menggunakan Persamaan (4), yaitu perbandingan konsentrasi ion terjerap ( $C_s$ ) dengan konsentrasi mula-mula ( $C_o$ ), di mana  $C_s$  merupakan selisih antara  $C_o$  dengan konsentrasi ion dalam filtrat ( $C_f$ ).

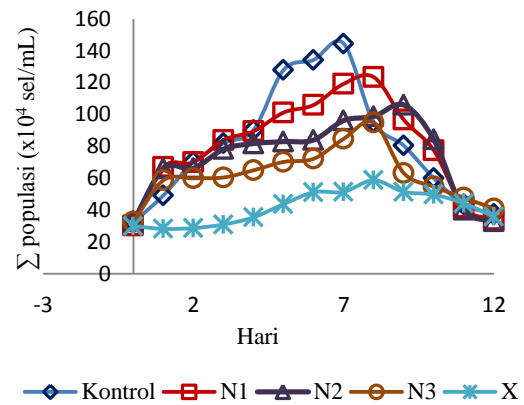
$$C_s = C_o - C_f \quad (3)$$

$$E_p = \frac{C_s}{C_o} \times 100 \% \quad (4)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pertumbuhan *N. salina* pada medium terpapar $Ni^{2+}$ dan $Ca^{2+}$

Gambar 1 menampilkan hasil pengamatan pertumbuhan *N. salina*, baik dalam medium kontrol, dalam medium yang terpapar  $Ni^{2+}$  maupun dalam medium yang terpapar campuran  $Ni^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  dengan masa pertumbuhan selama 12 hari. Gambar 1 menunjukkan bahwa waktu optimum pertumbuhan (WOP) *N. salina* pada medium kontrol terjadi pada hari ke-7 dengan jumlah populasi sebesar  $144.5 \times 10^4$  sel/mL, kemudian terjadi penurunan populasi mulai hari ke-8 dan berkelanjutan hingga hari ke-12 dengan jumlah populasi sebesar  $37.5 \times 10^4$  sel/mL. Pemaparan  $Ni^{2+}$  sebagai ion logam tunggal menunjukkan WOP *N. salina* pada hari ke-8 dengan jumlah populasi sebesar  $58.75 \times 10^4$  sel/mL, lebih rendah dibanding kontrol, kemudian juga mengalami penurunan mulai hari ke-9, dengan tren yang serupa dengan kontrol hingga hari ke-12. Penurunan jumlah populasi ini disebabkan oleh faktor ketersediaan nutrisi yang berkurang, seiring dengan meningkatnya jumlah populasi *N. salina* yang mengkonsumsi nutrisi tersebut.



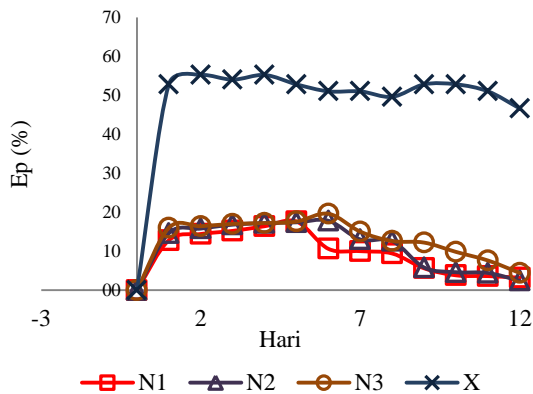
**Gambar 1.** Kurva pertumbuhan dan WOP *N. salina* pada kontrol, medium terpapar  $Ni^{2+}$ , serta medium terpapar campuran  $Ni^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  ( $N_1 = Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  10 ppm;  $N_2 = Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  30 ppm;  $N_3 = Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  50 ppm, X =  $Ni^{2+}$  5 ppm)

Selain itu adanya bahan organik, yang berasal dari mikroalga yang mati, akan mengendap ke dasar medium. Bahan-bahan ini kemudian berperan sebagai kompetitor baru bagi mikroalga yang masih hidup dalam media pertumbuhan (Hala *et al.*, 2014). Penambahan campuran ion  $Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  dengan variasi konsentrasi 10, 30 dan 50 ppm menunjukkan pertumbuhan awal *N. salina* yang relatif hampir sama dengan pertumbuhan kontrol. Pemaparan campuran  $Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  10 ppm menunjukkan terjadinya kecenderungan peningkatan populasi sampai hari ke-8 dengan jumlah populasi sebesar  $123.5 \times 10^4$  sel/mL. Demikian juga untuk campuran  $Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  30 ppm dan campuran  $Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  50 ppm, menunjukkan peningkatan jumlah populasi sampai hari ke-9 dan ke-8 dengan jumlah populasi berturut-turut  $106 \times 10^4$  sel/mL dan  $95 \times 10^4$  sel/mL.

Penambahan ion  $Ca^{2+}$  meningkatkan jumlah populasi *N. salina*. Hal ini dapat dilihat pada jumlah populasi *N. salina* pada campuran ion logam lebih besar dibandingkan jumlah populasi pada medium yang terpapar  $Ni^{2+}$  sebagai ion tunggal.

**Efisiensi Penjerapan *N. salina* terhadap  $Ni^{2+}$  dengan paparan  $Ca^{2+}$**

Perhitungan  $E_p$  menggunakan Persamaan (4) berdasarkan hasil penentuan SSA terhadap konsentrasi ion logam dalam filtrat medium, baik pada kontrol,  $Ni^{2+}$  sebagai ion tunggal, maupun campuran  $Ni^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  yang terjerap oleh *N. salina* setelah dipaparkan ke dalam medium pertumbuhan. Profil  $E_p$  tersebut ditampilkan pada Gambar 2.



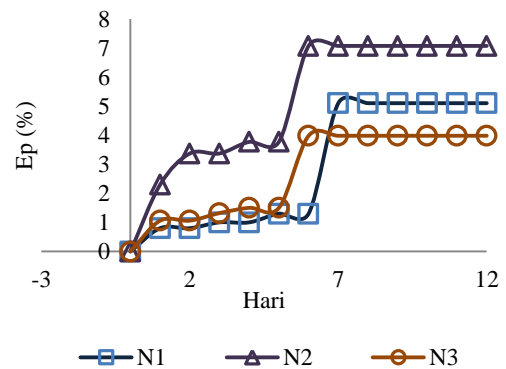
**Gambar 2.** Kurva  $E_p$  *N. salina* terhadap  $Ni^{2+}$  setelah paparan campuran  $Ni^{2+}$  dengan  $Ca^{2+}$  ( $N_1= Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  10 ppm;  $N_2= Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  30 ppm,  $N_3= Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  50 ppm, X=  $Ni^{2+}$  5 ppm).

Nilai  $E_p$  *N. salina* terhadap  $Ni^{2+}$  setelah dipaparkan ion tunggal menunjukkan peningkatan yang signifikan di hari pertama, kemudian mencapai puncak di hari ke-4 dengan nilai 55.2% dan mengalami penurunan di hari berikutnya. Sementara  $E_p$  *N. salina* terhadap  $Ni^{2+}$  setelah dipaparkan campuran ion logam pada sampel  $N_1$  menunjukkan kenaikan di hari pertama dan mencapai maksimum pada hari ke-5 sebesar 17.6% kemudian mengalami penurunan di hari berikutnya. Demikian juga halnya dengan sampel  $N_2$  dan  $N_3$  yang mencapai nilai  $E_p$  maksimum pada hari ke-6 dengan nilai  $E_p$  masing-masing 17.8% dan 19.6%. Gambar 2 juga menunjukkan terjadinya proses desorpsi setelah mencapai nilai  $E_p$  maksimum.

Desorpsi merupakan proses pelepasan kembali logam  $Ni^{2+}$  dari adsorben ke dalam suatu larutan. Menurut Sinaga *et al.*, (2015), desorpsi dapat disebabkan jika kondisi medium asam, menyebabkan gugus karboksil, karbonil, atau hidroksil pada adsorben mengalami

protonasi dan melepas ion logam yang bermuatan positif ke dalam larutan.

Hasil penentuan  $E_p$  *N. salina* terhadap  $Ca^{2+}$  setelah paparan campuran ion logam dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai  $E_p$  *N. salina* pada filtrat yang dipaparkan campuran  $Ni^{2+}$  5 ppm dengan  $Ca^{2+}$  10 ppm mengalami kenaikan mulai hari pertama hingga mencapai nilai  $E_p$  maksimum sebesar 5.1% di hari ke-7. Pada filtrat yang dipaparkan campuran  $Ni^{2+}$  5 ppm dengan  $Ca^{2+}$  30 ppm juga mengalami kenaikan sejak hari pertama hingga hari ke-6, dengan  $E_p$  maksimum sebesar 7.07%. Hal yang sama juga terjadi pada campuran  $Ni^{2+}$  5 ppm dengan  $Ca^{2+}$  50 ppm yang mencapai nilai  $E_p$  maksimum sebesar 3.98% pada hari ke-6.



**Gambar 3.** Kurva  $E_p$  *N. salina* terhadap  $Ca^{2+}$  setelah paparan campuran  $Ni^{2+}$  dengan  $Ca^{2+}$  ( $N_1= Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  10 ppm;  $N_2= Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  30 ppm,  $N_3= Ni^{2+}$  5 ppm dan  $Ca^{2+}$  50 ppm)

Perbedaan nilai  $E_p$  dapat dipengaruhi oleh perbedaan massa atom. Menurut Cheng *et al.*, (2012), berdasarkan hukum periodik unsur, ion dengan massa yang lebih kecil berpotensi lebih mudah dijerap oleh bakteri *magnetotactic*. Ion  $Ca^{2+}$  mempunyai massa atom lebih rendah dibandingkan  $Ni^{2+}$ . Oleh karena itu, ion  $Ca^{2+}$  lebih mudah terikat pada situs aktif *N. salina* dibanding  $Ni^{2+}$ . Kurva yang ditampilkan dalam Gambar 3 menunjukkan  $E_p$  *N. salina* terhadap  $Ca^{2+}$  dalam campuran ion logam lebih rendah dibanding  $E_p$  terhadap  $Ni^{2+}$  (Gambar 2). Hal ini disebabkan oleh karakter orbital *d* pada  $Ni^{2+}$  yang mengambil peran lebih dominan dalam pembentukan kompleks dengan situs-situs aktif pada dinding sel *N. salina*, berupa gugus fungsi kaya elektron yang berperan sebagai ligand, yang tidak dijumpai pada  $Ca^{2+}$ . Berbeda dengan

kompetisi yang terjadi saat  $Ni^{2+}$  dipapar bersama-sama  $Cu^{2+}$  dan  $Zn^{2+}$ , dengan massa yang relatif sama, tetapi jari-jari ion  $Zn^{2+}$  lebih kecil dari  $Cu^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$ , sehingga  $Zn^{2+}$  cenderung terdifusi lebih awal ke dalam membran sel dan diikat secara kimia oleh gugus-gugus fungsi protein, sebagai situs pertukaran ion dalam sel (Hala et al., 2014).

Penambahan ion logam dengan konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan meningkatnya toksisitas ion logam tersebut dalam medium pertumbuhan. Akibatnya, mikroalga seperti *N. salina* tidak mampu mengimbangi toksisitas ion logam tersebut, dan menyebabkan penurunan nilai  $E_p$  seiring dengan meningkatnya waktu pertumbuhan.

#### 4. SIMPULAN

Populasi optimum *N. salina* yang dipapar campuran ion  $Ni^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  lebih rendah dibandingkan jumlah populasi optimum kontrol. Ion  $Ca^{2+}$  cenderung berperan sebagai ion kontra terhadap biosorpsi  $Ni^{2+}$  dalam pertumbuhan *N. salina*.

Pemaparan  $Ni^{2+}$  sebagai ion tunggal menghasilkan  $E_p$  maksimum 55.2%, sedang pada campuran ion logam  $E_p$  maksimum terhadap sampel  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  nilai  $E_p$  berturut-turut adalah 17.6%; 17.8%; dan 19.6%. Nilai  $E_p$  maksimum *N. salina* terhadap  $Ca^{2+}$  10; 30; dan 50 ppm pada campuran ion logam berturut-turut adalah 5.1%; 7.1%; dan 4.0%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahalya N, Ramachandra TV, Kanamadi RD. 2010. Biosorption of Heavy Metals. *Research Journal of Chemistry and Environment*. 7(4):2.
- Amini Sri, Syamdidi. 2006. Konsentrasi Unsur Hara pada Media dan Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dengan Pupuk Anorganik Teknis dan Analis. *Jurnal Perikanan*.7(2): 201-206.
- Biyantoro Dwi, Basuki Kris Tri. 2007. *Pengukuran dan Analisis Unsur-unsur pada Air Laut Muria untuk Air Primer PWR*. Prosiding PPI-PDIPTN Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Yogyakarta (ID): BATAN.
- Bongers Marina, Rusch Ben, Cornelis AM, Van Gestel. 2004. The Effect of Counterion and Percolation on The Toxicity of Lead for The Springtail *Folsomia candida* in Soil. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 23(1): 195-199.
- Chekroun KB, Baghour M. 2013. The Role of Algae in Phytoremediation of Heavy Metals. *Journal of Materials Environment Science*. 4(6):873-880.
- Cheng Huaigang, Song Huiping, Cheng Fangqin. 2012. The Effect of Ion Charge-Mass Ratio on Adsorption of Heavy Metals on Magnetotactic Bacteria. *African Journal of Microbiology Research*. 6(50): 7564-7571.
- Fahmi Arifin. 2011. Dinamika Jerapan Permukaan Kompleks Fe Oksida-Senyawa Humat. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 5 (2): 75-82.
- Hala Yusafir, Syahrul Muhammad, Suryati Emma, Taba Paulina. 2012. Biosorpsi of  $Zn^{2+}$  With *Nannochloropsis salina*. Di dalam: Aminin Agustina LN, editor. *Proceedings of International Seminar on New Paradigm and Innovation on Natural Sciences and its Application (INSPINSA-2)*; Semarang, Indonesia. Semarang (ID): Faculty of Science and Mathematics Diponegoro University. hlm 295.
- Hala Yusafir, Taba Paulina, Asmawati, Ruth Langan Febryanti. 2014. Potensi Mikroalga Laut *Nannochloropsis salina* Sebagai Biosorben  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ , dan  $Zn^{2+}$  dalam Medium Conwy Terkontaminasi Campuran Tiga Logam. *Chemistry Progress*. 7(2): 51-57.
- Kurniasih Dora. 2014. *Penambahan Nutrisi Magnesium dari Magnesium Sulfat ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) dan Nutrisi Kalsium dari Kalsium Karbonat ( $CaCO_3$ ) pada Kultivasi *Tetraselmis chuii* untuk Mendapatkan Kandungan Lipid Maksimum*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin. Jakarta (ID): Universitas Trisakti.
- Sembiring Z, Buhani, Suharso, Sumadi. Isoterm Adsorpsi Ion Pb(II), Cu(II) dan Cd(II) pada Biomassa *Nannochloropsis* sp. yang Dienkapsulasi Akuagel Silika. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9(1):1-5.
- Sinaga Ria Septiani, Purwonugroho Dinar, Darjito. 2015. Adsorpsi Seng(II) oleh Biomassa *Azolla microphylla* Diesterifikasi dengan Asam Sitrat: Kajian Desorpsi Menggunakan Larutan HCl. *Kimia Student Journal*.1(1): 629-635.