

***Spirulina platensis* Geitler sebagai Fikoremediator Logam Berat Pb Skala Laboratorium**

**Muhammad Sindhunata Prambodo, Riche Hariyati,
dan Tri Retnaningsih Soeprbowati**

Laboratorium Ekologi dan Biosistematik

Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

Jln Prof. Soedarto, SH, Semarang, 50275, Telp: (024)7474754; Fax (024) 76480923

Email : m.sindhunata.p@gmail.com; trisoeprowati@live.undip.ac.id; riche.hariyati@gmail.com

Abstract

Industrial waste contributes the heavy metals pollution in the environment, especially in the water. One of the heavy metals that pollute the environment is lead (Pb). Lead is a substance that is harmful to organisms, especially humans, both adults and children. Solutions to tackle Pb pollution is by remediation process. Physical and chemical remediation methods usually costly and ineffective. One of the alternative methods which is used is the bioremediation uses microalgae or called as phycoremediation. One of microalgae which is used as agents of phycoremediation is *Spirulina platensis* Geitler because it's easily cultured and it's abundant in nature. This study aims to assess the population growth and the percentage reduction of Pb after inoculated with the use of *Spirulina platensis* Geitler. The method which is to cultivate *S. platensis* Geitler in brackish water media with a salinity of 15 ppt which have been added Pb with a concentration of 1 mg, 3 mg, and 5 mg for 8 days and observed the population and the percentage reduction of Pb heavy metals. Environmental factors such as temperature, salinity, pH, light intensity are conditioned to remain stable. After 8 days of research, study was able to reduce Pb. Each treatment has different concentrations decrease. Treatment Pb 1 mg of 0.949 into 0.603 mg / L; Pb 3 mg of 2.894 to 2.46 mg / L; and Pb 5 mg of 4.88 to 4.31 mg / L, with each percentage decline of 36%, 15% and 12%. The Pb 3 mg treatment has higher cell population (129.367 cell / ml) than control (106.600 cell/ml) while 1 mg and 5 mg treatment has 93.700 cell / ml and 93.500 cell / ml.

Keywords: *Spirulina platensis*, phycoremediation, waste, lead.

Abstrak

Limbah industri berkontribusi dalam pencemaran logam berat pada lingkungan khususnya perairan. Salah satu logam berat yang mencemari lingkungan adalah timbal (Pb). Timbal merupakan senyawa yang berbahaya bagi organisme khususnya manusia, baik dewasa maupun anak-anak. Solusi untuk menanggulangi pencemaran Pb salah satunya yaitu dengan melakukan proses remediasi. Metode remediasi secara fisik dan kimia memerlukan biaya yang mahal dan tidak efektif, salah satu metode alternatif yang digunakan adalah dengan bioremediasi dengan menggunakan mikroalga atau disebut dengan fikoremediasi. Mikroalga yang digunakan sebagai agen fikoremediasi adalah *Spirulina platensis* Geitler karena mudah dikultur dan memiliki jumlah yang melimpah di alam. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pertumbuhan populasi dan persentase penurunan logam berat Pb setelah diinokulasikan dengan menggunakan *Spirulina platensis* Geitler. Metode yang digunakan adalah mengkultivasi *Spirulina platensis* Geitler dalam media air payau salinitas 15 ppt yang telah diberi Pb dengan konsentrasi 1 mg, 3 mg, dan 5 mg selama 8 hari dan diamati populasinya serta persentase penurunan logam berat Pb. Setiap perlakuan memiliki penurunan konsentrasi yang berbeda. Perlakuan Pb 1 mg dari 0,949 menjadi 0,603 mg/L; Pb 3 mg dari 2,894 menjadi 2,46 mg/L; dan Pb 5 mg dari 4,88 menjadi 4,31 mg/L, dengan persentase penurunan masing-masing sebesar 36%, 15%, dan 12%. Perlakuan Pb 3 mg memiliki jumlah sel yang lebih tinggi (129.367 sel/ml) dari control (106.600 sel/ml), sedangkan perlakuan Pb 1 mg dan Pb 5 mg memiliki jumlah sel masing-masing sebesar 93.700 sel/ml dan 93.500 sel/ml.

Kata kunci: *Spirulina platensis*, fikoremediasi, limbah, timbal

PENDAHULUAN

Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (PP No.82 tahun 2001). Salah satu pencemaran air yaitu pencemaran logam berat timbal (Pb). Timbal terdapat dalam limbah cair industri yang pada proses produksinya menggunakan timbal, seperti industri pembuatan baterai, industri cat, dan industri keramik.

Hasil penelitian Naria (1999) menemukan bahwa pada kandungan timbal tanaman pada umur 26 hari setelah tanam adalah 1,98 mg/L untuk bayam, 2,72 mg/L untuk selada, dan 1,80 mg/L untuk kangkung. Tanaman tersebut setiap hari disiram dengan air sungai yang mengandung timbal rata-rata 0,063 mg/L. Masuknya timbal ke dalam tanaman tersebut berarti munculnya resiko kesehatan pada manusia ketika mengkonsumsi tanaman tersebut.

Usaha remediasi untuk mengatasi masalah pencemaran logam berat bisa dilakukan secara fisik, kimia, dan biologi. Banyaknya kendala dan biaya yang mahal menyebabkan manusia menggunakan cara biologis sebagai salah satu alternatif penanganan limbah logam berat. Remediasi secara biologis dinamakan bioremediasi. Bioremediasi merupakan penggunaan mikroorganisme yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan tersebut (Priadie, 2012).

Fikoremediasi merupakan salah satu proses bioremediasi dengan menggunakan mikroalga (Rao *et al.*, 2011). Salah satu mikroalga yang dapat meremediasi logam berat adalah *Spirulina platensis*. Penelitian yang dilakukan Maulana (2013) menyebutkan bahwa semakin besar populasi *S. platensis* maka semakin besar penyerapan logam Cu oleh sel. Penelitian yang dilakukan Soeprbowati dan Hariyati (2014) menyebutkan bahwa *Spirulina* mampu untuk mengikat logam berat (konsentrasi tinggi) pada ion Cr^{+3} , Cu^{+2} , Cd^{+2} , dan Pb^{+2} .

Berdasarkan fakta dan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana

pengaruh Pb terhadap pertumbuhan populasi *S. platensis*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang positif bagi ilmu pengetahuan dan pemerintah. Hasil positif dari penelitian ini bisa dijadikan pedoman bagi penelitian selanjutnya, agar mendapatkan hasil yang lebih baik khususnya pada efisiensi proses bioremediasinya sehingga dapat membantu pihak pemerintah dalam melakukan proses pengawasan dan penanggulangan limbah logam berat, khususnya timbal atau Pb yang masih terjadi di lingkungan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Ekologi dan Biosistematik, Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Matematika UNDIP, bulan November - Desember 2013.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : biakan fitoplankton *Spirulina platensis*, air laut salinitas 15 ppt, aquades, logam berat $PbNO_3$, dan pupuk Walne.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : toples kaca, pH meter, aerator, lampu neon, termometer, mikroskop, *Sedgewick Rafter Counting Cell*, refraktometer, luxmeter, dan DO meter.

Penyiapan bibit *Spirulina platensis*

Bibit awal *Spirulina platensis* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari laboratorium Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara. Populasi awal *Spirulina platensis* sebagai inokulum adalah 10.000 sel/ml. Stok kultur dihitung populasinya menggunakan mikroskop perbesaran 10x dengan *Sedgewick Rafter Counting* (SRC) dengan rumus: N_1 (sel/ml) = $\{(C \times 1000)/(A \times F)\} / R$ dengan :

N_1 = Kelimpahan Sel

C = Jumlah sel terhitung

A = Konstanta (3,14)

R = Pengenceran

F = Jumlah bidang pandang

Setelah diketahui populasi *Spirulina platensis* pada stok kultur kemudian ditentukan volume inokulum dari stok kultur yang dibutuhkan untuk

kultur 1 liter. Dihitung menggunakan rumus : $V_1N_1 = V_2N_2$ dengan :

V_1 = Volume inokulum yang diinginkan

V_2 = Volume medium kultur (1.000ml)

N_1 = Kelimpahan stok (sel/ml)

N_2 = Kelimpahan sel yang diinginkan (10.000)

Pengukuran Faktor Abiotik

Penelitian dilakukan selama 8 hari. Faktor eksternal: salinitas, pH, suhu, DO dan intensitas cahaya dijaga selalu setiap harinya. Jumlah populasi *Spirulina platensis* dihitung setiap harinya dengan rentang waktu 24 jam hingga delapan hari penelitian. Pengambilan sampel untuk analisis konsentrasi Pb di dalam medium dan *S. platensis* dilakukan pada hari ke-0 dan ke-7..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu kultur saat penelitian rata-rata 28 °C. Suhu ini tidak membahayakan sel *S. platensis* karena masih dalam kisaran suhu optimal pertumbuhan *S. platensis*. Menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995), *Spirulina platensis* dapat tumbuh dengan baik pada kisaran suhu antara 25-35 °C. Mikroalga memiliki berbagai enzim yang digunakan untuk proses fotosintesis. Bagian protein enzim yang disebut apoenzimsangat menentukan fungsi biokatalisator dari enzim. Bagian ini akan rusak pada suhu terlampau panas atau bersifat termolabil (Bergmeyer, 1984).

Derajat keasaman (pH) kultur saat penelitian rata-rata berada pada angka 7. Isnansetyo dan Kurniastuty (1995) menerangkan bahwa pH yang baik untuk pertumbuhan berkisar antara 7,2 - 9,5. Menurut Suantika dan Hendrawandi (2009), kenaikan nilai pH disebabkan oleh bertambahnya ion hidroksil dalam kultur akibat asimilasi CO₂ dan HCO³⁻ oleh *S. platensis*. Bertambahnya periode kultur mengakibatkan penurunan jumlah bikarbonat dan terjadi akumulasi karbonat dalam kultur. Akumulasi karbonat inilah yang akan meningkatkan nilai pH pada kultur karena karbonat merupakan senyawa paling basa diantara senyawa C lainnya (HCO³⁻ dan CO₂). Penelitian menemukan bahwa pH maksimum saat penelitian sebesar 8, tidak melebihi batas maksimal yang dapat mengganggu pertumbuhan sel *S. platensis*.

Salinitas kultur saat penelitian berkisar 15-17 ppt. Menurut Hariyati (2008), salinitas yang

optimal untuk pertumbuhan *Spirulina platensis* adalah berkisar antara 15 - 20 ppt. Pertumbuhan sel saat penelitian mengalami peningkatan dengan ditandai oleh kenaikan jumlah sel. Hal ini menandakan bahwa *S. platensis* dapat menyesuaikan diri dengan kondisi salinitas kultur. Menurut Hariyati (2008), kebanyakan alga memperlihatkan terjadinya hambatan proses fotosintesis setelah dipindahkan pada medium dengan salinitas yang lebih tinggi atau tekanan osmotik yang lebih tinggi.

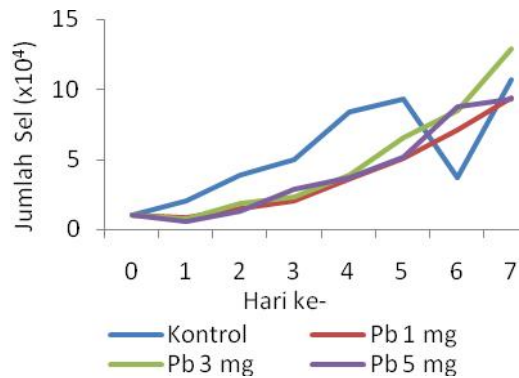
Spirulina platensis merupakan organisme fotoautotrof yang memerlukan cahaya untuk melakukan fotosintesis. Saat penelitian warna kultur semakin lama semakin berwarna hijau pekat. Hal ini menandakan bahwa terjadi proses fotosintesis yang baik bagi pertumbuhan sel *S. platensis*. Menurut Mohanty *et al.*, (1997), *Spirulina* mempunyai kemampuan untuk berfotosintesis dan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk karbohidrat. Dalam penelitian ini, sumber cahaya berasal dari lampu berdaya 40 watt yang menghasilkan energi sebesar 2800 lux. Soong (1980) menyebutkan bahwa *Spirulina* dapat tumbuh optimal dengan intensitas cahaya sebesar 1500-3000 lux.

Kehidupan *S. platensis* juga ditunjang oleh ketersediaan nutrisi, baik mikro maupun makro. Menurut Vonshak *et al.*, (2004) dan Sanchez-Luna *et al.*, (2006) kualitas kandungan nutrisi *Spirulina platensis* berkaitan dengan komposisi nutrisi di media kultur dan parameter kualitas airnya. Media walne yang mengandung makronutrien dan mikronutrien yang lengkap bagi mikroalga, digunakan pada penelitian ini sebagai sumber nutrisi bagi *Spirulina platensis* karena mengandung nutrisi yang lengkap. Mikronutrien berupa Fe, Mo, Cu, Ca, Mn, Zn, dan Co serta makronutrien N, P, S, K, Si dan Ca dibutuhkan untuk menunjang pertumbuhan *S. platensis*.

Pertumbuhan *Spirulina platensis*

Pertumbuhan *S. platensis* diamati selama 8 hari karena berdasarkan penelitian tahun 2008 yang dilakukan Widianingsih *et al.*, pertumbuhan *S. platensis* mengalami fase akhir (fase stasioner) dalam kurun waktu 6 hari. Penelitian dilakukan 8 hari karena peneliti ingin mengetahui perubahan jumlah sel setelah *S. platensis* mengalami fase

stasioner. Pertumbuhan sel *S. platensis* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik rata-rata populasi *Spirulina platensis* Geitler.

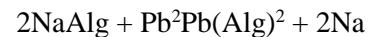
Pada Gambar 1 di atas, terjadi kenaikan jumlah sel pada kontrol dan semua perlakuan. Populasi yang mengalami kenaikan jumlah sel tertinggi di akhir penelitian yaitu perlakuan Pb 3 mg, sedangkan jumlah sel terendah dialami oleh kontrol yang tidak ditambahkan logam Pb. Kenaikan jumlah sel juga terjadi pada perlakuan logam Pb 1 mg dan 5 mg.

Siklus hidup mikroalga terdiri dari lima fase, antara lain fase lag, eksponensial, deklinasi, stasioner, dan kematian. Fase lag atau adaptasi dimulai diawal pertumbuhan. Menurut Edhy *et al.*, (2003), selama fase ini penambahan massa atau pertumbuhan jumlah sel belum begitu terjadi, sehingga kurva fase ini umumnya mendatar.

Pada penelitian, kontrol mengalami fase adaptasi yang lebih cepat dari perlakuan Pb 1 mg, Pb 3 mg, dan Pb 5 mg. Hal ini ditandai dengan pertumbuhan jumlah sel di hari ke-1 yang mencapai dua kali lipat, dari 10.000 sel/ml menjadi 19.900 sel/ml. Penelitian yang dilakukan Widianingsih *et al.*, (2008), memperlihatkan kesamaan pada kontrol, yaitu fase pertumbuhan *S. platensis* dimulai sejak hari ke-0.

Fase adaptasi yang lebih cepat pada kontrol menandakan bahwa kondisi lingkungan kontrol lebih baik dari ketiga perlakuan lain yang ditambahkan logam berat. Menurut Aksu dan Donmez (2006) mikroalga mampu secara selektif menyerap dan menyerap logam dari media cair

dan mengakumulasi logam tersebut dalam selnya. Penambahan logam berat pada perlakuan Pb 1 mg, Pb 3 mg, dan Pb 5 mg membuat sel-sel *S. platensis* melakukan adaptasi sehingga memerlukan waktu lebih lama pada fase hidupnya. Siswati *et al.*, (2011) menyebutkan bahwa dinding sel jasad hidup baik prokariotik maupun eukariotik tersusun dari polisakarida, salah satu polisakarida yang terkandung dalam dinding sel adalah senyawa alginat yang mempunyai ikatan ionik dengan mekanisme sebagai berikut :



Berdasarkan reaksi di atas, polisakarida berupa senyawa alginat yang menyusun dinding sel *S. platensis*, berikatan dengan logam berat Pb. Logam berat Pb dan nutrisi kultur bersaing untuk dapat berikatan dengan permukaan sel *S. platensis* yang berupa senyawa alginat.

Fase adaptasi sel *S. platensis* terhadap logam berat terjadi pada perlakuan selain kontrol. Hal ini dapat dilihat dari penambahan jumlah sel perlakuan Pb 1 mg, Pb 3 mg, dan Pb 5 mg dihari ke-2 penelitian, yang merupakan awal fase eksponensial. Pertambahan jumlah sel tersebut antara lain : perlakuan Pb 1 mg naik dari 8.100 menjadi 14.983 sel/ml; perlakuan Pb 3 mg naik dari 7.420 menjadi 18.333 sel/ml; dan perlakuan 5 mg naik dari 5.277 menjadi 12.683 sel/ml.

Pertambahan jumlah sel di atas menandakan bahwa fase hidup *S. platensis* sudah memasuki fase eksponensial. Gambar 1 memperlihatkan bahwa fase eksponensial terjadi hingga hari ke-7 penelitian. Kontrol mencapai fase puncak dengan waktu paling cepat yaitu lima hari. Penelitian Widianingsih *et al.*, (2008) menyatakan bahwa fase puncak dicapai setelah 4,5 hari penelitian atau lebih cepat 12 jam daripada kontrol pada penelitian ini. Penyebab perbedaan periode fase tersebut bisa diakibatkan oleh faktor nutrisi. Vonshak *et al.* (2004) mengatakan bahwa pertumbuhan sel akan dipengaruhi oleh ketersediaan unsur utama dalam lingkungan kultur yaitu berupa C, H, O, N, P, K, S, Ca, Fe, Mg dan keberadaan unsur mikro nutrisi.

Konsentrasi Pb pada kultur *Spirulina platensis* Geitler

Tabel 1 memperlihatkan bahwa telah terjadi perubahan konsentrasi logam Pb kecuali pada sel *S. platensis* pada kontrol yang di awal penelitian tidak dicampurkan Pb. Konsentrasi Pb di air pada kontrol mengalami perubahan dari 0,002 mg/l di hari ke-0 menjadi 0,001 dihari ke-7, sedangkan konsentrasi Pb di sel *S. platensis* tidak mengalami perubahan yaitu tetap sebesar 0,002 mg/l. Logam Pb yang terkandung pada control merupakan logam Pb alami yang memang sudah terkandung di air payau sebelum digunakan untuk penelitian, oleh karena itu kandungannya sangat kecil yaitu sebesar 0,002 mg/l. Kadar Pb alami di dalam air payau sebesar 0,002 mg/l yang digunakan dalam penelitian masih dalam kategori normal. Arifin *et al.*, (2012) menyatakan bahwa baku mutu logam Pb yang telah ditetapkan pemerintah dalam air laut sebesar 0,005 mg/l.

Tabel 1. Konsentrasi logam berat Pb dan jumlah sel *S. platensis*.

Hari ke-	Kontrol	Pb 1mg	Pb 3mg	Pb 5mg
Hari ke-0 air	0.002	0.949	2.894	4.88
Hari ke-7 air	0.001	0.603	2.46	4.31
Hari ke- 0 sel	0.002	0.002	0.003	0.003
Hari ke-7 sel	0.002	0.342	0.431	0.549
Penurunan Pb hari ke-7		36%	15%	12%
Jumlah sel dihari ke-7	106.600	93.700	129.367	93.500

Peristiwa penurunan konsentrasi Pb di air dan kenaikan konsentrasi Pb di dalam sel, yang terjadi pada perlakuan Pb 1 mg, Pb 3 mg, dan Pb 5 mg menunjukkan bahwa adanya penyerapan Pb di dalam air oleh sel *S. platensis*. Perez-Rama *et al* (2002) menyatakan bahwa pada saat pertumbuhan alga berlangsung, logam di lingkungan sel diserap dan diakumulasi di dalam sel, baik secara proses nonmetabolik (adsorption) ataupun metabolik (absorbtion). Selain penyerapan oleh alga, penurunan kadar logam berat juga dapat diakibatkan oleh penguapan dimana logam Pb terbawa oleh air yang menguap. Penguapan diakibatkan oleh suhu kultur.

Presentase penurunan kadar Pb masing-masing sebesar 36%, 15%, dan 12%. Penelitian yang dilakukan oleh Soeprobowati dan Hariyati (2014) menyatakan bahwa *S. platensis* yang dikultur selama 14 hari ke dalam logam berat mampu menurunkan konsentrasi hingga 88% pada Pb, 85% pada Cd, 89 % pada Cu, dan 88% pada Cr. Berdasarkan penelitian tersebut maka waktu kultivasi *S. platensis* sebaiknya diperpanjang selama 14 hari untuk meningkatkan persentase penyerapan logam berat.

Penelitian ini menggunakan media air payau, nilai BCF untuk perlakuan Pb 1 mg, 3 mg, dan 5 mg masing-masing 0,5; 0,1; dan 0,1. Menurut Chojnacka *et al.* (2005), proses biosorpsi pada *Spirulina* sangat dipengaruhi oleh pH. Peningkatan nilai pH terjadi pada saat penelitian dari 7 menjadi 8 di hari ke-7. Kondisi ini menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995), masih merupakan kondisi pH yang ideal bagi pertumbuhan *S. platensis* dan meningkatkan kemampuan serap logam Pb oleh sel.

Pada gambar 1, perlakuan Pb 1 mg, 3 mg, dan 5 mg memasuki fase puncak lebih lama dari kontrol. Perlakuan Pb 1 mg, 3 mg, dan 5 mg memasuki fase puncak dihari ke-7, sedangkan Kontrol dihari ke-5. Perbedaan periode mencapai fase puncak tersebut disebabkan oleh keberadaan logam berat di dalam media kultur. Keberadaan Pb dan Cd di dalam suatu media akan mengakibatkan pertumbuhan mikroalga menjadi terhambat karena kedua logam tersebut menginduksi aktivitas enzim peroksida yang berperan penting ke dalam degradasi Indolasam asetat (IAA). Hormon IAA adalah hormon yang menstimulasi pertumbuhan dan pembelahan mikroalga (Lamai *et al.*, 2005).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian selama 8 hari, *S. platensis* mampu tumbuh pada media air payau yang telah ditambahkan logam berat timbal (Pb). Pertumbuhan kontrol lebih cepat dari perlakuan logam Pb, namun jumlah sel perlakuan logam berat Pb 3 mg pada fase puncak (129.367 sel/ml) lebih banyak dari control (106.600 sel/ml). Hal ini menandakan bahwa logam Pb pada konsentrasi tertentu (3 mg/L) memberikan pengaruh pada peningkatan jumlah sel *S. platensis*. Jumlah sel

pada perlakuan Pb 1 mg dan Pb 5 mg masing-masing sebanyak 93.700 sel/ml dan 93.500 sel/ml.

Presentasi penurunan konsentrasi logam berat Pb dalam media kultur *S. platensis* antara lain sebesar 36% (Pb 1 mg), 15 % (Pb 3 mg), dan 12% (Pb 5 mg). Kontrol memiliki presentasi penurunan logam Pb sebesar 50%, namun tidak ditambahkan logam Pb diawal penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksu, Z & Donmez, G. 2006. Binary biosorption of cadmium(II) and nickel(II) onto dried *Chlorella vulgaris* : co-ion effect on monocomponent isotherm parameter. *Journal of Process Biochem.*
- Arifin, B., Deswati, & Loekman, U. 2012. Analisis kandungan logam Cd, Cu, Cr & Pb dalam air laut di sekitar Perairan Bungus Teluk Kabung Kota Padang. *Jurnal Teknik Lingkungan Unand.* Padang.
- Chojnacka, K., A. Chojnacka, & H. Gorecka. 2005. Biosorption of Cr³⁺, Cd²⁺ & Cu²⁺ ions by blue-green algae *Spirulina sp.*: kinetics, equilibrium & the mechanism of the process. *Chemosphere.*
- Edhy, W.A., Januar, & Kurniawan. 2003. Plankton di Lingkungan PT. Central Pertiwi Bahari. Laboratorium Central Department. Aquaculture Division PT. Central Pertiwi Bahari. Tulang Bawang.
- Hariyati, R. 2008. Pertumbuhan Dan Biomassa *Spirulina sp* dalam skala Laboratoris. *Bioma.* Laboratorium Ekologi & Biosistematik Jurusan Biologi FMIPA. UNDIP. Semarang.
- Isnansetyo, A & Kurniastuty. 1995. Teknik Kultur Phytoplankton Zooplankton Pakan Alam untuk Pembenihan Organism Laut. Kanisius. Yogyakarta.
- Lamai C. Kruatrachue M., Pokethitiyook P., Upatham E.S., & V. Soonthornsarathool. 2005. Toxicity and Accumulation of Lead & Cadmium in the Filamentous Green Alga *Cladophora fracta* (O.F. Muller ex Vahl) Kutzing: A Laboratory Study. *Science Asia.*
- Maulana, D. 2013. Pertumbuhan Populasi Mikroalga *Spirulina Platensis* (Geitler) pada Konsentrasi Logam Berat Tembaga (Cu). *Skripsi.* Semarang.
- Mohanty, P., Srivastava, M., & Krishna, K.B. 1997. The Photosynthetic Apparatus of *Spirulina*: Electron transport & Energi Transfer. Di dalam: Vonshak A, editor. *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology & Biotechnology.* Taylor & Francis Ltd. Bristol, USA.
- Naria, E. 2005. Mewaspadai Dampak Bahan Pencemar Timbal (Pb) Di Lingkungan Terhadap Kesehatan. *Jurnal Komunikasi Penelitian.*
- Perez-Rama, M., Alonso, J.A., Lopez, C.H., and Vaamonde, E.T. 2002. Cadmium removal by living cells of the marine microalga *Tetraselmis suecica*. *Bioresour.*
- Rao, R., Kumar, R., Raghavan, B.G., & Subramanian, V.V., 2011. Application of phycoremediation technology in the treatment of wastewater from a leather-processing chemical manufacturing facility. Department of Plant Biology & Plant Biotechnology, R.K.M. Vivekananda College. Chennai.
- Siswati, N., Tenti I., & Rahmah, M. 2011. Biosorpsi Logam Berat Plumbum (Pb) Menggunakan Biomassa *Phanerochaete chrisosporium*. *Skripsi.* Jurusan Teknik Kimia UPN Veteran. Surabaya.
- Soong, P. 1980. Production & Development of *Chlorella* & *Spirulina* in Taiwan Algal Biomass. *Elsevier.* Amsterdam.
- Soeprbowati, T.R. & Hariyati, R. 2013. Bioaccumulation of Pb, Cd, Cu, and Cr by *Porphyridium cruentum* (S.F. Gray) Nägeli. *International Journal of Marine Science.*
- Vonshak, A. S., Boussiba, A. Abeliovich, & A. Richmond. 2004. Production of *Spirulina platensis* biomass: Maintenance of monoalgal culture outdoors. *Biotech and Bioengineering.*
- Widianingsih, Ridho, A., Hartati, R., & Harmoko. 2008. Kandungan Nutrisi *Spirulina platensis* yang Dikultur pada Media yang Berbeda. *Jurnal Ilmu Kelautan.* UNDIP. Semarang.

