

STUDI PEMANFAATAN FITOPLANKTON (*Chlorella* sp) DALAM MENGURANGI KADAR LOGAM BERAT MERKURI (Hg) DI LAUT

M. Natsir Djide, Roslinda Ibrahim, Ahmad Mangindara

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Kampus Teknik Gowa, Jl. Poros Malino Km 14.5 Telp. (0411) 587636 Gowa 92171

Abstrak

Salah satu pencemaran laut melalui buangan limbah adalah limbah yang mengandung logam berat. Kandungan logam berat dalam perairan berasal dari pelapukan batuan, namun konsentrasi yang lebih tinggi berasal dari industri. Pencemaran yang ditimbulkan oleh logam berat sampai tingkat tertentu dapat mengganggu perairan dan mutu air. Masalah yang ditimbulkan cukup rumit, karena logam memiliki sifat racun, tidak dapat dirombak atau hancur oleh organisme, dan dapat terakumulasi dalam tubuh organisme.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan logam berat Merkuri terhadap populasi *Chlorella* sp serta kapasitas penyerapan logam Merkuri. Rancangan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas perlakuan dengan konsentrasi 0, 4, 5, dan 6 ppm. Logam Merkuri tersebut dipaparkan pada *Chlorella* sp selama 4 hari dengan pengukuran kualitas air setiap hari. Selain itu dilakukan penghitungan jumlah sel. Masing-masing sampel dianalisa dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) pada hari ke-4 untuk uji serapannya.

Dari hasil penelitian menunjukkan *Chlorella* sp mampu bertahan hidup pada konsentrasi 4, 5, dan 6 ppm meskipun terjadi penghambatan pertumbuhannya dibanding control. Kemudian efektivitas penyerapan logam pada *Chlorella* sp meningkat seiring bertambahnya konsentrasi logam Merkuri. Efektivitas penyerapan tertinggi pada penelitian ini adalah konsentrasi 6 ppm.

Kata Kunci: Merkuri, *Chlorella* sp, Efektivitas penyerapan

Abstract

One of the marine pollution through waste disposal is waste containing heavy metals. The heavy metal content in the waters comes from weathering rocks, but higher concentrations come from the industry. Pollution caused by heavy metals to some extent can disrupt the waters and the quality of water. The problem is quite complicated, because the metal has a toxic nature, can not be overhauled or destroyed by the organism, and can accumulate in the body of the organism.

*This research aims to determine the effect of the addition of mercury heavy metals to the population of *Chlorella* sp and the absorption capacity of mercury metals. The design used in this research was Completely Randomized Design (RAL) consisting of treatment with concentrations of 0, 4, 5, and 6 ppm. The mercury metal is exposed to *Chlorella* sp for 4 days with daily water quality measurements. In*

addition, the cell count is calculated. Each sample was analyzed by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) on day 4 for its uptake test.

*The results showed *Chlorella* sp was able to survive at concentrations of 4, 5, and 6 ppm despite growth inhibition rather than control. Then the effectiveness of metal absorption in *Chlorella* sp increases with increasing concentration of mercury metal. The highest absorption effectiveness in this study was the concentration of 6 ppm.*

Keywords: Mercury, *Chlorella* sp, Effectiveness of absorption

I. Pendahuluan

Laut adalah kumpulan air asin dalam jumlah yang banyak dan luas yang menggenangi dan membagi daratan atas benua dan pulau. Karena memiliki genangan yang sangat luas, laut menjadi tempat pembuangan akhir berbagai jenis limbah, baik limbah domestik, industri, aktivitas pertambangan, dan lain-lain. Kondisi ini diperparah dengan kurangnya kesadaran dari pelaku industri dan masyarakat yang membuang limbah yang tidak sesuai dengan standar pengolahan limbah yang pada akhirnya membawa kerusakan pada ekosistem laut maupun manusia itu sendiri.

Logam berat diperlukan biota air dalam jumlah yang sangat sedikit, namun konsentrasi yang lebih tinggi berasal dari industri..

Merkuri (Hg) dikenal sebagai salah satu dari tiga jenis logam berat dengan tingkat bahaya paling tinggi terhadap makhluk hidup selain Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd). Merkuri (Hg) merupakan logam berat yang berbahaya dan tidak dapat terurai, maka tidak boleh diabaikan karena dalam jangka panjang dapat menimbulkan penyakit berbahaya (Gunawan dan Anwar, 2008)

Kandungan Merkuri (Hg) di beberapa perairan di Indonesia terus mengalami peningkatan. Pencemaran logam berat terjadi di pantai Losari, Makassar, berdasarkan hasil penelitian pada tahun 2015 menunjukkan bahwa kandungan Hg di perairan tersebut telah melebihi ambang batas yaitu diatas 0,02 ppm (Albaar, 2015)

Menurut Watzel, (2001) dalam Awalina, (2011) Fitoplankton adalah tumbuhan mikroskopis yang memiliki sedikit atau resistensi terhadap arus air dan hidup bebas mengambang dan tersuspensi dalam air. Fitoplankton dapat digunakan sebagai indikator kualitas lingkungan dengan mengetahui keseragaman jenis atau heterogenitasnya. Fitoplankton tidak hanya digunakan sebagai indikator kualitas lingkungan tapi juga layak digunakan sebagai

perangkat fitoremediasi untuk memperbaiki kualitas perairan karena kemampuannya membioakumulasi logam berat cukup tinggi. Salah satu jenis fitoplankton yang digunakan untuk mengurangi kadar logam berat di laut adalah *Chlorella* sp.

Menurut Yafeth dkk *Chlorella* sp dapat menyerap logam berat (Cu, Cd, Cr, Zn) dengan baik. Hal ini didukung dengan kemampuan tumbuh *Chlorella* sp pada lingkungan tercemar karena *Chlorella* sp memiliki Phytohormon dan Polyamine untuk adaptasi pada ekosistem air yang tercemar dengan logam berat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan logam berat Merkuri terhadap populasi *Chlorella* sp. dan kemampuan efisiensi penyerapan dari Fitoplankton (*Chlorella* sp) dalam menyerap logam berat Merkuri?

II. Metodologi

a. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Science Building, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar. untuk uji AAS dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Perikanan Universitas Hasanuddin.

b. Sterilisasi Alat dan Bahan

Sterilisasi air laut yang akan digunakan sebagai media kultur *Chlorella* sp. disaring menggunakan kertas saring 0,45 μ m dan *autoclave*. Penyaringan dibantu dengan alat *vakum pump*. Air yang telah disterilkan kemudian disimpan dalam wadah tertutup.

Sterilisasi alat-alat yang berbahan kaca dengan menggunakan *autoclave*. Sebelum digunakan, peralatan dicuci dengan sabun kemudian dibilas dengan air tawar, dikeringkan, kemudian dibungkus dengan aluminium foil. Setelah itu dimasukkan dan diatur rapi dalam *autoclave*, *autoclave* ditutup rapat dan dioperasikan dengan suhu 121°C dan tekanan 1 atm selama 15 menit. Setelah proses selesai, botol kultur dikeluarkan dari *autoclave* dan disimpan pada wadah yang bersih. Selang aerasi disterilisasi dengan cara disemprot alkohol 70%.

c. Persiapan stok fitoplankton

Bibit *Chlorella* sp. dimasukkan dalam botol-botol kultur yang berbahan kaca. Media kultur yang digunakan dalam penelitian adalah air laut sebanyak 500 mL dan media Walne sebanyak 1 mL/L dengan komposisi pada tabel 1 serta diberi aerasi. Bibit *Chlorella* sp. dimasukkan dalam botol masing-masing dengan kepadatan sebesar 1×10^6 (sel/mL) Lingkungan kultur yang diharapkan dalam penelitian adalah suhu 22-28°C, salinitas 30 ppt, pH 7-9 yang merupakan lingkungan kultur terbaik bagi fitoplankton. Penyinaran dengan menggunakan lampu neon 36 watt. Menurut Ekawati (2005), perhitungan jumlah bibit *Chlorella* sp. untuk kultur menggunakan rumus :

$$V1 = \frac{N2 \times V2}{N1}$$

Keterangan :

V1 : volume bibit untuk penebaran awal (mL)

N1 : kepadatan bibit / stok *Clorella* sp. (sel/mL)

V2 : volume media kultur yang dikehendaki (mL)

N2 : kepadatan *Clorella* sp. yang dikehendaki (sel/mL)

Tabel 1. Komposisi Media Walne

No.	Media Walne (gram)	
1.	Larutan Nurtrien	Per 100 ml
	FeCl3.6H2O	1.3 g
	MnCl2.4H2O	0.36 g
	H3BO3	33.6 g
	EDTA(Disodium salt)	45.0 g
	NaH2PO4.2H2O	20.0 g
	NaNO3	100.0 g
	TMS (Trace Metal Solution)	1 ml
2.	Larutan Trace Metal	Per 1 liter
	ZnCl2	2,1 g
	CoCl2.6H2O	2,0 g
	(NH4)6Mo7O24.4H2O	0,9 g
	CuSO4.5H2O 2.0 g	2,0 g
3.	Vitamin	Per 100 ml
	Vitamin B12. (Cyanocobalamin)	10.0 mg
	Vitamin B1 (Thiamine.HCl)	10.0 mg
	Vitamin H (Biotin)	200.0 μ g

d. Penyiapan Logam Merkuri

Larutan Merkuri (Hg) yang dibuat yaitu larutan stok dengan konsentrasi 4, 5, dan 6 ppm. Senyawa Merkuri (Hg) yang digunakan sebagai larutan stok pada penelitian ini berupa HgCl2. Larutan stok dibuat adalah larutan induk 1000 ppm dengan cara menimbang HgCl2 sebanyak 0,6768 mg kemudian dilarutkan dalam 500 ml akuades dalam labu ukur.

Larutan stok Merkuri (Hg) digunakan dalam penelitian dengan cara pengenceran. Pengambilan stok Merkuri (Hg) yang akan diperlakukan menggunakan rumus berikut (Gunawati, 2011):

$$V1.N1 = V2.N2$$

Keterangan :

V1 = volume stok yang dicari

N1 = konsentrasi stok yang dicari

V2 = volume stok yang diketahui

N2 = konsentrasi stok yang diketahui

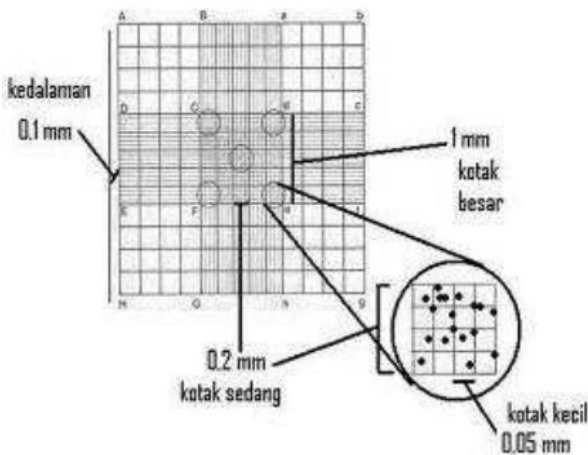
e. Perlakuan

Biakan *Chlorella* sp. dimasukkan ke dalam masing-masing botol transparan yang sudah berisi air media dengan

volume total setiap botol 500 ml, kepadatan awal *Chlorella* sp. yang digunakan adalah 1×10^6 sel/mL. Kemudian masing-masing biakan *Chlorella* sp. diberi perlakuan Merkuri (Hg) dengan konsentrasi 0, 4, 5, dan 6 ppm. Biakan *Chlorella* sp. dikultur selama lebih dari 4 hari dan diberi cahaya dengan lampu neon 36 watt. Pengukuran parameter kualitas air perlu dilakukan, seperti pengukuran salinitas, suhu, dan pH.

f. Penghitungan Kepadatan Populasi Fitoplankton

Penghitungan kepadatan fitoplankton dilakukan setiap hari sejak awal hingga akhir penelitian. Penghitungan dilakukan dengan menggunakan *haemocytometer* dan untuk memudahkan penghitungan digunakan *handtally counter*. Sampel plankton diteteskan dengan menggunakan pipet tetes sebanyak 1 tetes (0,05 ml) pada *haemocytometer* dan diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 100 kali. Rumus penghitungan fitoplankton (Joko dkk, 2014):



Gambar 1. Grid Pada Haemocytometer (Sumber: Ryan dan Zulaikha, 2014)

$$\text{Kepadatan (sel/mL)} = (nA + nB + nC + nD + nE) \times 5 \times 10^4$$

Keterangan :

nA, nB, nC, nD, nE : jumlah sel fitoplankton pada kotak A, B, C, D dan E

5 : jumlah kotak kecil yang dihitung

10^4 : Volume setiap kotak pengamatan *haemocytometer*

G. Pengambilan Data Kemampuan *Chlorella* sp dalam Menyerap Logam Berat Merkuri (Hg)

Pengukuran konsentrasi Merkuri (Hg) pada air media diuji dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi Merkuri (Hg) yang tersisa pada media kultur *Chlorella* sp. Konsentrasi Merkuri (Hg) yang tersisa pada air media pemeliharaan plankton pada akhir penelitian menunjukkan sisa Merkuri (Hg) yang tidak terserap oleh fitoplankton.

I. Analisis Data

Data penelitian dianalisis menggunakan rumus efisiensi penyerapan Menurut Wiyarsi dan Priyambodo (2013),

penghitungan efisiensi penyerapan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Eff = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

Eff : efisiensi penyerapan

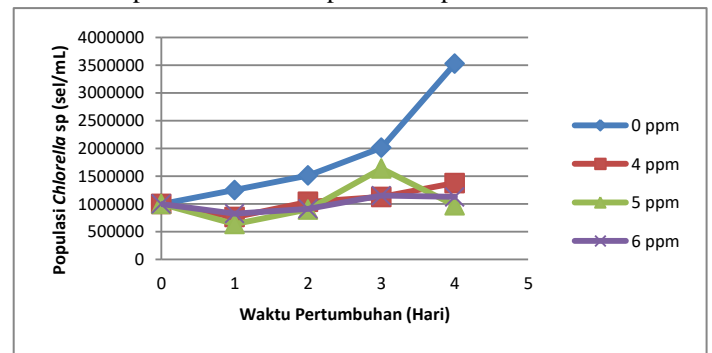
C0 : konsentrasi logam mula-mula

C1 : konsentrasi logam setelah penyerapan

III. Hasil dan Pembahasan

A. Pertumbuhan *Chlorella* sp setelah Pemaparan Logam Berat Merkuri (Hg)

Jumlah populasi awal *Chlorella* sp. pada konsentrasi 0, 4, 5, dan 6 ppm sebesar 1 juta sel/mL. Pengamatan terhadap pertumbuhan *Chlorella* sp dengan kondisi salinitas awal sebesar 30 ppt. Pengamatan atas laju pertumbuhan sel *Chlorella* sp selama 4 hari dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Pertumbuhan sel *Chlorella* sp setelah pemaparan logam berat Merkuri (Hg)

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa semua perlakuan masih berada pada fase lag kecuali perlakuan dengan konsentrasi 0 ppm, pada fase ini *Chlorella* sp masih mengalami proses penyesuaian diri dengan lingkungannya. Pada perlakuan konsentrasi 0 ppm, populasi cenderung mengalami kenaikan dan memasuki fase logaritmik pada hari ke -2. hal ini dikarenakan *Chlorella* sp tidak mendapat pengaruh dari Logam berat Merkuri (Hg). Kemudian, perlakuan dengan konsentrasi 4 ppm, populasi *Chlorella* sp mengalami kenaikan sampai hari ke-4 setelah hari pertama mengalami penurunan. kenaikan populasi terjadi karena *Chlorella* sp sudah resistensi terhadap logam berat merkuri (Hg) hal ini dibuktikan dengan jumlah populasi pada hari pertama di atas 50%. Menurut Ryan dan Zulaika (2014), fitoplankton dikatakan resistensi apabila populasi dari fitoplankton lebih dari 50% sel yang hidup setelah pemaparan logam berat lebih dari 5 jam. Pada konsentrasi 5 ppm dan 6 ppm pada hari pertama mengalami penurunan populasi, hari ke-2 dan ke-3 mengalami kenaikan, dan pada hari ke-4 kembali mengalami penurunan.

Menurut Hala (2012), bahwa mikroalga umumnya memiliki mekanisme perlindungan terhadap logam beracun untuk mempertahankan hidupnya. Jika konsentrasi logam

demikian tinggi, akumulasi dapat menghambat pertumbuhan sel karena sistem perlindungan organisme tidak mampu lagi mengimbangi efek toksik logam. Hal ini membuktikan bahwa penambahan logam berat Merkuri (Hg) mempengaruhi pertumbuhan *Chlorella sp.*

Nuzzi (1972) dalam Supriharyono (2002) mengemukakan bahwa merkuri organik dengan konsentrasi 0,06 ppm telah menghambat pertumbuhan diatom *phaeodactylum tricorutum*. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan logam berat Merkuri (Hg) dengan konsentrasi 4, 5, dan 6 ppm berpengaruh terhadap pertumbuhan *Chlorella sp.* Hal ini menunjukkan bahwa Merkuri (Hg) dengan konsentrasi 4, 5, dan 6 ppm menghambat pertumbuhan *Chlorella sp* karena konsentrasi Merkuri (Hg) yang ditambahkan pada media kultur terlalu tinggi.

B. Efisiensi Penyerapan Logam Berat Merkuri (Hg) oleh *Chlorella sp*

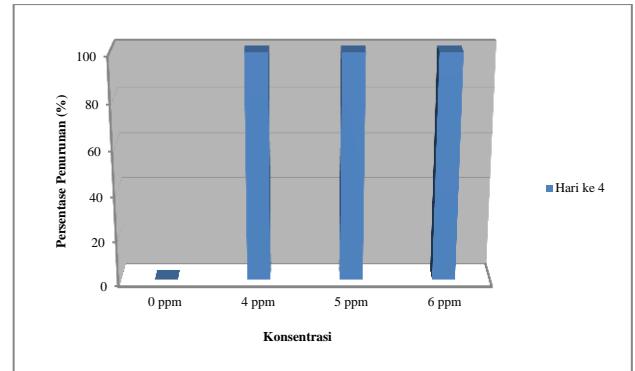
Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat Merkuri (Hg) dalam air media kultur *Chlorella sp.* menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi. Analisa kandungan logam berat Merkuri (Hg) juga dilakukan terhadap media kultur sebelum penambahan Merkuri (Hg). Hasil analisis menunjukkan bahwa pada media kultur *Chlorella sp.* tidak terdeteksi adanya logam berat Merkuri (Hg). Hasil pengujian logam berat pada media kultur *Chlorella sp.* dengan penambahan logam berat Merkuri (Hg) 4, 5, dan 6 ppm terdapat Merkuri (Hg) dengan konsentrasi rata-rata akhir berturut-turut 0,00775 ppm, 0,0055 ppm, dan 0,00595 ppm. Data rata-rata efisiensi penyerapan logam berat Merkuri (Hg) pada media kultur dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata efisiensi penyerapan Logam Berat Merkuri (Hg) dalam Air Media Kultur *Chlorella sp.*

Perlakuan	Konsentrasi Merkuri (ppm)		Total Penyerapan (ppm)	Efisiensi penyerapan (%)	*Baku Mutu
	Awal	Akhir			
0 ppm	0	0	0	0	0,002
4 ppm	4	0,00775	3,99225	99,80625	0,002
5 ppm	5	0,0055	4,9945	99,89	0,002
6 ppm	6	0,00595	5,99405	99,90083	0,002

Keterangan * = Menurut PP (Peraturan Pemerintah) No. 82 tahun 2001

Efisiensi penyerapan logam merkuri oleh *Chlorella sp* dapat dilihat pada Grafik efisiensi penyerapan logam berat Merkuri (Hg) pada media kultur *Chlorella sp.* akhir penelitian disajikan pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik efisiensi penyerapan logam berat Merkuri (Hg) pada media kultur *Chlorella sp.*

Pada grafik diatas menunjukkan efisiensi penyerapan terbesar terdapat pada perlakuan 6 ppm yakni sebesar 99,9%. Hal tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi mempengaruhi penyerapan logam berat Merkuri (Hg). Semakin tinggi konsentrasi logam yang diberikan maka semakin besar penyerapan logam merkuri tersebut, sebaliknya jika konsentrasinya rendah maka kemampuan *Chlorella sp* dalam menyerap logam tersebut juga rendah. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Widiyani, P. dan Rita. (2014) mengatakan bahwa, peningkatan kemampuan biosorpsi logam berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi. Hal ini berkaitan dengan adanya efek cekaman yang terjadi sehingga meningkatkan semua transfer ionik dan mengakibatkan adsorpsi ion logam lebih tinggi.

Suhendrayatna (2001) menyatakan bahwa secara alami di mana kondisi tanpa kendali, proses bioremoval ion logam berat umumnya terdiri dari dua mekanisme yang melibatkan proses active uptake dan passive uptake. Pada saat ion logam berat tersebar pada permukaan sel, ion akan mengikat pada bagian permukaan sel berdasarkan kemampuan daya afinitas kimia yang dimilikinya. Passive uptake dikenal dengan istilah proses biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion di mana ion monovalent dan divalent seperti Na, Mg, dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan *functional groups* seperti *carbonyl*, *amino*, *thiol*, *hydroxy*, *phosphate* dan *hydroxy-carboxyl* yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak baik dan cepat. Proses bolak balik ikatan ion logam berat di permukaan sel ini dapat terjadi pada sel mati dan sel hidup dari suatu biomass. Aktif uptake dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme atau akumulasi intraselular ion logam tersebut.

C. Kualitas Air

Hasil analisis kualitas air selama penelitian menunjukkan bahwa kondisi salinitas, suhu, dan pH masih berada dalam

kondisi optimal. Salinitas selama kultur berkisar antara 30-35 ppt, kenaikan salinitas selama penelitian terjadi karena pengaruh laju penguapan air. Kisaran ini termasuk dalam kisaran normal untuk pertumbuhan *Chlorella* sp. *Chlorella* sp. dapat tumbuh optimum pada salinitas 15-35 ppt (Hirata, 1981 dalam Prabowo, 2009).

Suhu selama penelitian berkisar antara 22-24°C. Suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas metabolisme organisme, selain itu suhu sangat berpengaruh terhadap kehidupan dan pertumbuhan biota air. Secara umum laju pertumbuhan meningkat sejalan dengan kenaikan suhu, namun peningkatan suhu yang ekstrim dapat menyebabkan kematian (Rizky, 2010 dalam Hermanto dkk., 2011). Hal ini sesuai dengan pendapat Fachrullah (2011), bahwa perubahan suhu berpengaruh terhadap proses kimia, biologi dan fisika, peningkatan suhu dapat menurunkan suatu kelarutan bahan dan dapat menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi mikroalga di perairan.

Hasil pengukuran pH selama penelitian adalah 7-9. Nilai pH ini sesuai untuk media hidup *Chlorella* sp. adalah 7-9 (Hulatt dan Thomas (2010) dalam Joko dkk (2014). Menurut Demon (1989) dalam Haryoto (2004), bahwa penyerapan logam oleh mikro alga akan meningkat seiring dengan kenaikan pH medium. Proses penyerapan logam oleh fitoplankton *Chlorella* sp merupakan gabungan proses aktif yang melibatkan metabolisme dan proses pasif tidak melibatkan metabolisme. Sel fitoplankton *Chlorella* sp melalui proses aktif dapat mensintesis protein pengkkelat logam fitokhelatin untuk merespon pengaruh negatif dari logam berat (How dkk,1992 dalam Haryoto, 2004).

IV. Kesimpulan dan Saran

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan Logam Berat Merkuri mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan dari *Chlorella* sp
2. *Chlorella* sp memiliki kemampuan yang tinggi dalam mereduksi kadar logam berat Merkuri (Hg) di laut. Kemampuan penyerapan logam berat Merkuri (Hg) tertinggi berada pada konsentrasi 6 ppm yakni sebesar 99,9% setelah kultur 4 hari.

B. Saran

Saran yang diperoleh untuk penelitian selanjutnya berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Penelitian selanjutnya perlu melakukan pengujian terhadap variasi waktu
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu melakukan variasi populasi awal

Albaar, Alfadlun Ludia. 2015. *Analisis Tingkat Pencemaran Logam Hg (Air Raksa) Di Pantai Losari Makassar*. Skripsi tidak diterbitkan. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Awalina. 2011. Bioakumulasi Ion Logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Fitoplankton pada beberapa perairan Situ di sekitar Kabupaten Bogor. Tesis tidak diterbitkan. Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Program Magister Kimia Universitas Hasanuddin.

Ekawati, A. W. 2005. Diktat Kuliah Budidaya Pakan Alami. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang.

Fachrullah, M. R. 2011. Laju Pertumbuhan Mikroalga Penghasil *Biofuel* Jenis *Chlorella* sp. dan *Nannochloropsis* sp. yang Dikultivasi Menggunakan Air Limbah Hasil Penambangan Timah di Pulau Bangka. Skripsi tidak diterbitkan. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. <http://www.repository.ipb.ac.id>.

Gunawan, H. dan C. Anwar. 2008. Kualitas Perairan dan Kandungan Merkuri (Hg) dalam Ikan pada Tambak Empang Parit di Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan Ciasem-Pamanukan, Kesatuan Pemangkuan Hutan Purwakarta, Kabupaten Subang, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. Vol. V. No. 1. Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam. 10 hal.

Gunawati, W. D. 2011. Bioremoval oleh *Spirulina plantensis*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Airlangga.

Haryoto dan Agustono W. 2004. Kinetika Bioakumulasi Logam Berat Kadmium oleh Fitoplankton *Chlorella* sp Lingkungan Perairan Laut. *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi* Vol. 5 No.2. Fakultas Farmasi Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta. 89-103

Hermanto, M. B., Sumardi, L. C. Hawa, S. M. Fiqtinovri. 2011. Perancangan Bioreaktor untuk Pembudidayaan Mikroalga. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12 (3), 153-162. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Malang. 9 hal.

Prabowo, D.A. 2009. *Optimasi Pengembangan Media untuk Pertumbuhan Chlorella sp. pada Skala Laboratorium*. Skripsi tidak diterbitkan. Bogor : Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Kelautan. Institut Pertanian Bogor.

- Prayitno, Joko. et al. 2014. Fotobioreaktor Teknologi Penyerapan Emisi Karbon Secara Biologi. BPPT press. Jakarta
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan (*Heavy Metal Bioremoval by Microorganism: A Literature Study*). Makalah. disampaikan pada Seminar On-Air Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21. 1-14 Februari 2001. Sinergy Forum – PPI Tokyo Institute of Technology.
- Supriharyono. 2002. Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Tropis. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Wiyarsi, A. dan E. Priyambodo. 2013. Pengaruh Konsentrasi Kitosan dari Cangkang Udang terhadap Efisiensi Penyerapan Logam Berat. Skripsi tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Widi Anggar Kusuma, Ryan dan Zulaika, Enny. 2014. Potensi *Chlorella* sp. sebagai Bioakumulator Logam Berat Kadmium. *Jurnal Sains dan Seni Pomits Vol.3, No.2*. Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Surabaya. 4 hal.
- Widiyani, Puput., dan Dewi, Endah Rita Sulistya. 2014. Penurunan Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) dan Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella Vulgaris* Pada Media Kultur. *Bioma, Vol. 3, No.2*, FPMIPATI Universitas PGRI Semarang. 10 hal
- Wetipo, Yafeth S., Mangimblude, Jubhar Ch, dan Rondonuwu, Ferdy S. Potensi *Chlorella Sp* sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat di Air. PPs Magister Biologi Fakultas Sains dan Matematika Universitas Kristen Satya Wacana. Salatiga