

Fikoremediasi Dalam Menunjang Ketahanan Pangan: Peluang Dan Tantangan

Tri Retnaningsih Soeprbowati

Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Matematika UNDIP
Jl. Prof. Sudharto, SH Tembalang Semarang 50275
E-mail : trsoeprbowati@yahoo.co.id

ABSTRAK

Salah satu problem pencemaran perairan adalah eutrofikasi, suatu proses pengkayaan perairan oleh nitrogen dan fosfor sehingga menyebabkan pertumbuhan tidak terkontrol dari tumbuhan air. Sebagai akibatnya maka fungsi utama badan air menjadi terganggu, seperti pendangkalan. Salah satu alternatif penanganan problem eutrofikasi adalah dengan fikoremediasi. Fikoremediasi adalah pemanfaatan mikroalga untuk perbaikan lingkungan. Penelitian ini dirancang untuk mengkaji landasan pengembangan fikoremediasi dalam menunjang ketahanan pangan. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan mengembangkan kultur mikroalga (*Chlorella*) yang ditumbuhkan dalam air limbah yang kaya nitrogen dan fosfor. Populasi *Chlorella* diamati setiap hari, demikian halnya dengan kandungan klorofil-a dan kandungan Total Nitrogen (TN) dan Total Fosfor (TP) untuk kemudian dikaji korelasi dengan kandungan klorofil-a. Untuk fikoremediasi, maka *Chlorella* lebih efisien meremediasi nitrogen dibandingkan dengan fosfor. Berdasarkan hasil penelitian ini maka ada hubungan $y = 2,8196x - 4,1246$. Setelah proses remediasi nutrien perairan, *Chlorella* dapat dipanen dan dijadikan sebagai pakan alami benih ikan sehingga menunjang ketahanan pangan. Waktu pemanenan yang tepat dalam fikoremediasi adalah antara hari ke-6 sd ke-7. Namun, *Chlorella* juga merupakan bioakumulator logam berat, sehingga merupakan suatu tantangan guna pemanfaatan yang aman setelah dipanen dari fikoremediasi logam berat. Setelah remediasi logam berat, maka *Chlorella* harus ditimbun dan tidak boleh digunakan bahkan sebagai pupuk sekalipun.

Keyword: fikoremediasi, eutrofikasi, *Chlorella*, ketahanan pangan

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan penduduk yang sedemikian pesat, maka problem lingkungan menjadi permasalahan serius yang perlu segera diatasi dan diantisipasi agar tidak lebih buruk lagi. Perairan darat Indonesia mengalami krisis yang sangat serius sehingga merupakan bencana perairan. Hal ini diindikasikan dengan sering terjadinya banjir, sementara di wilayah lainnya terjadi kekeringan, berkurangnya kualitas dan kuantitas air tanah, pencemaran di daerah estuari dan pesisir, degradasi perairan tawar, kematian massal ikan, eutrofikasi yang berdampak pada *blooming* mikroalga dan tumbuhan air, serta penurunan produktivitas perikanan [1]. Problem utama perairan darat Indonesia adalah eutrofikasi sehingga mengakibatkan fungsi utama danau menjadi terganggu [2].

Eutrofikasi adalah proses pengkayaan badan air oleh nutrien terutama nitrogen dan fosfor namun juga elemen lainnya seperti silika, potasium, kalsium dan mangan [3] maupun bahan organik khususnya ratio karbon organik terlarut dengan nitrogen organik terlarut (dissolved organic carbon to dissolved organic nitrogen, DOC:DON) [4] sehingga mengakibatkan pertumbuhan tidak terkontrol dari tumbuhan air. Peranan eutrofikasi terhadap suksesi danau masih menjadi bahan perdebatan. Moss [5] dan Welch & Lindell [3] menyangkal bahwa pendangkalan danau berkaitan dengan kesuburannya. Sementara itu Harper [6] mempercayai bahwa eutrofikasi merupakan bagian dari suksesi alami danau. Eutrofikasi harus dibedakan dengan suksesi danau. Suksesi danau merupakan proses alamiah yang terjadi sebagai akibat sedimentasi yang tinggi dari daerah tangkapan, sedangkan eutrofikasi adalah proses pengkayaan perairan oleh nutrien yang dapat terjadi secara alami atau buatan. Secara alami, danau menjadi eutrofik sebagai akibat dari pembakaran hutan, gempa bumi,

erosi, atau input nutrisi berasal dari kotoran burung seperti yang terjadi di Eropa. Pada umumnya eutrofikasi alami berlangsung sangat lama, sampai ratusan tahun. Namun, kebanyakan kasus eutrofikasi adalah karena ulah manusia [7] Banyak kasus *Harmful Algal Blooms* (HABs) berkorelasi dengan eutrofikasi. Namun HABs sendiri sangat tergantung pada spesies [4]. Pengelolaan dalam penanganan eutrofikasi adalah dengan menurunkan konsentrasi nitrogen, fosfor, dan bahan organik, sehingga tumbuhan air termasuk mikroalga dapat tumbuh secara lebih terkendali.

Perairan yang eutrofik dapat diperbaiki dengan mengaplikasikan fikoremediasi. Fikoremediasi adalah pemanfaatan makroalga atau mikroalga untuk remediasi lingkungan [8]. Namun penggunaan istilah fikoremediasi akhir-akhir ini cenderung untuk proses perbaikan lingkungan dengan mengaplikasikan proses biologi khususnya mikroalga [9,10]. Banyak penelitian telah dikembangkan dalam fikoremediasi, baik dalam skala laboratorium maupun aplikasi di alam. Fikoremediasi dapat diaplikasikan untuk penghilangan nutrisi dari limbah yang kaya bahan organik, nutrisi dan kandungan senyawa organik dengan bantuan alga sebagai biosorben, menurunkan kandungan asam dan logam berat dari limbah, konsentrasi CO₂, transformasi dan degradasi senyawa organik, dan mendeteksi toksikan [11].

Salah satu spesies mikroalga yang telah banyak diteliti untuk fikoremediasi adalah *Chlorella*. Pada hari ke 14, *C. vulgaris* mampu menurunkan konsentrasi Pb, Cu, dan Cd 90%, 83% dan 62% dalam media kultur yang diberi 0,5 mg/L logam berat [12]. *Chlorococcum humicola* mampu menurunkan 95.81% sulfat, 70.27% BOD dan 70.51% total alkalinitas. Skala lapangan, *Chlorococcum humicola* mampu meremediasi sludge 47.75%. menurunkan BOD 93.20%, TSS 80.83%, TDS 80.79% and EC 80.83% [9]. *C. conglomerata* mampu menurunkan nitrat dan fosfat limbah industri minuman ringan dengan sangat cepat baik dalam skala laboratorium maupun skala lapangan [9].

Penelitian ini dirancang dengan tujuan untuk mengkaji pertumbuhan populasi *C. vulgaris* dalam skala laboratorium dan mengkaji korelasi dengan kandungan klorofil-a. Selanjutnya dikaji peluang dan tantangan dalam fikoremediasi. Penelitian dasar ini diharapkan menjadi landasan dalam penelitian lebih lanjut dalam mendukung ketahanan pangan yang merupakan prioritas utama dalam Agenda Riset Nasional 2010-2014.

Ketahanan pangan adalah kondisi terpenuhinya pangan bagi rumah tangga yang tercermin dari tersedianya pangan yang cukup, baik jumlah maupun mutunya, aman, merata dan terjangkau (Undang-Undang No 7 Tahun 1996 Tentang Pangan). Permasalahan dan tantangan yang dihadapi dalam aspek ketersediaan dan produksi pangan, disamping banyak dipengaruhi oleh perubahan cepat pada lingkungan global dan perubahan iklim, secara umum terjadi akibat bertambahnya kebutuhan pangan seiring dengan laju pertumbuhan penduduk dan semakin menyempitnya lahan. Mikroalga yang telah dipergunakan untuk fikoremediasi dapat dipanen dan dijadikan sebagai pakan ikan/ternak yang pada gilirannya mampu mendukung ketersediaan pangan.

2. METODE PENELITIAN

Stok kultur mikroalga dibiakkan dalam skala laboratorium dengan perlakuan KCl konsentrasi 0,03, mg/L pada pH 7 dan diamati populasinya setiap hari, demikian halnya dengan kandungan klorofil-a. Laju pertumbuhan dihitung dengan rumus:

$$\mu = (\ln X_t - \ln X_0) / t$$

Untuk pemanfaatan dalam HRAP, maka stok mikroalga harus dibiakkan sampai mencapai konsentrasi yang dikehendaki, yaitu konsentrasi awal klorofil-a alga mencapai $3,5 \pm 0,5$ mg/l [13]. Tujuan kultur alga ini agar didapatkan alga yang siap digunakan untuk aplikasi lapangan. Selanjutnya diujikan dalam penurunan konsentrasi Total Nitrogen (TN) dan Total Fosfor (TP). Pada penelitian ini dilakukan analisis penyisihan TN dan TP yang terdapat pada reaktor uji yang dibagi menjadi 3 kelompok yaitu kelompok I (KCl 0 gr/L dengan pH 5,7, dan 9), kelompok II (KCl 0,03 gr/L dengan pH 5,7, dan 9), dan kelompok III (KCl 0,05 gr/L dengan pH 5,7, dan 9).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka, pengembangan stok biakan mikroalga dapat dilakukan dengan pengambilan stok di alam yang telah mengalami *blooming* salah satu jenis mikroalga. Dalam penelitian ini stok diperoleh dari alam dan spesies yang dominan adalah *Chlorella*, meskipun dijumpai pula *Ankistrodesmus Schroederia*, *Scenedesmus*, *Chlorococcus*, *Paramecium*, *Characium*, *Diatoma*, *Achnanthes*, *Nitzschia*, *Cyclotella*, *Synedra* dan 3 spesies lainnya yang sulit diidentifikasi. Populasi *Chlorella* mendominasi di atas spesies lainnya (99,23%) sehingga dapat dikatakan bahwa stok alam mikroalga dari kolam ini merupakan stok *Chlorella*, sedangkan spesies lainnya merupakan kontaminan (Gambar 1).



Gambar 1 Pemiakan Alga di Laboratorium

Tabel 1. Populasi mikroalga dari stok alam (individu x 10.000/L)

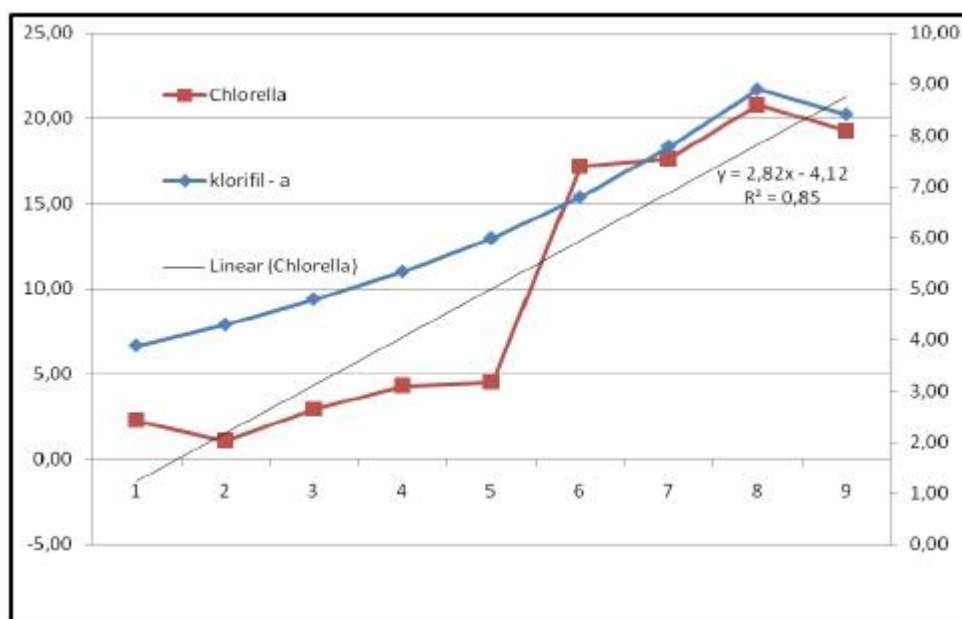
No	Nama Genus	Jumlah (Populasi)	Persentase %
1	<i>Chlorella</i> sp	19861	99,23
2	<i>Schroederia</i> sp	27	0,13
3	<i>Chroococcus</i> sp	19	0,09
4	Unidentified	1	0,00
5	<i>Ankistrodesmus</i> sp	40	0,20
6	<i>Characium</i> sp	13	0,06
7	<i>Scenedesmus</i> sp	22	0,11
8	<i>Diatoma</i> sp	2	0,01
9	<i>Paramecium</i> sp	15	0,07
10	<i>Cyclotella</i> sp	1	0,00
11	<i>Paramecium</i> sp2	2	0,01
12	<i>Achnanthes</i> sp	2	0,01
13	<i>Ulothrix</i> sp	1	0,00
14	<i>Nitzschia</i> sp	2	0,01
15	<i>Synedra</i> sp	1	0,00
16	<i>Zygnemopsis</i> sp	3	0,01
17	Unidentified	3	0,01
18	Unidentified	1	0,00
	Jumlah	20016	100,00

Dapat dilihat pada Gambar 1 bahwa konsentrasi klorofil-a mengalami peningkatan dari sebesar 3,88 mg/l menjadi 8,41 mg/l pada hari ke 8. Pada hari ke 1-2 terjadi fase adaptasi, mikroalga (*Chlorella*) melakukan proses aklimatisasi terhadap lingkungan barunya sebelum pembelahan sel dan produksi biomassa terjadi secara signifikan. Pada hari ke-2 bahkan terjadi penurunan populasi *Chlorella* yang mengindikasikan fase adaptasi tersebut. Fase selanjutnya (hari ke 3 – 6) disebut dengan fase eksponensial. Pada fase ini *Chlorella* melipatgandakan diri pada laju maksimumnya, karena belum ada keterbatasan nutrisi. Fase stasioner terjadi pada hari ke 7-8 dimana laju pertumbuhan sama dengan laju kematian pada semua reaktor. Fase stasioner ini terjadi dikarenakan pada fase ini populasi *Chlorella* berkurang karena laju pertumbuhan lebih kecil dari laju kematian, dapat dilihat berdasarkan nilai konsentrasi pada hari ke-7 yaitu 8,90 mg/l menurun nilai konsentrasi klorofilnya pada hari ke-8 menjadi 8,41 mg/l. Kematian alga ini diakibatkan karena nutrisi yang semakin berkurang.

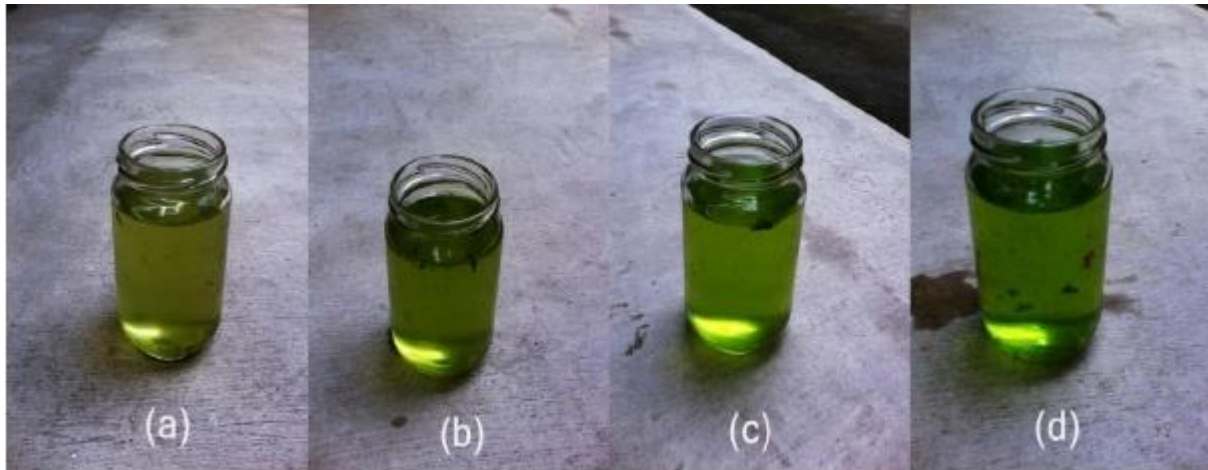
Sel *Chlorella* memiliki tingkat reproduksi yang tinggi, setiap sel *Chlorella* mampu berkembang menjadi 10.000 sel dalam waktu 24 jam [14]. Pemanfaatan *Chlorella* dilakukan menggunakan teknik kultur. Keberhasilan teknik kultur bergantung pada kesesuaian antara jenis mikroalga yang dibudidayakan dan beberapa faktor lingkungan, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah faktor derajat keasaman (pH) agar metabolisme sel mikroalga tidak mengganggu (Chojnacka, 2009). Derajat keasaman (pH) media menentukan kelarutan dan ketersediaan ion mineral sehingga mempengaruhi penyerapan nutrisi oleh sel. Perubahan nilai pH yang drastis dapat mempengaruhi kerja enzim serta dapat menghambat proses fotosintesis dan pertumbuhan beberapa mikroalga. Kultur *Chlorella* dengan medium ekstrak taoge paling optimal dalam pertumbuhan populasinya dengan pH awal 7, dengan puncak populasi pada hari ke 10 [14]. Dalam penelitian ini pH selama percobaan selalu dijaga agar tetap 7.

Jika dilihat kandungan klorofil-a nya, maka terjadi kenaikan yang signifikan dari hari ke 1 hingga ke 8 dan terjadi penurunan pada hari ke 9. Ada hubungan yang cukup kuat antara populasi *Chlorella* dengan kandungan klorofil-a pada reaktor dengan $R^2=0,85$ dan bentuk hubungannya $y = 2,82x - 4,12$. Selanjutnya dari hasil pengukuran klorofil –a setiap harinya maka didapatkan laju pertumbuhan *Chlorella* yaitu 0,12 /hari (Gambar 4).

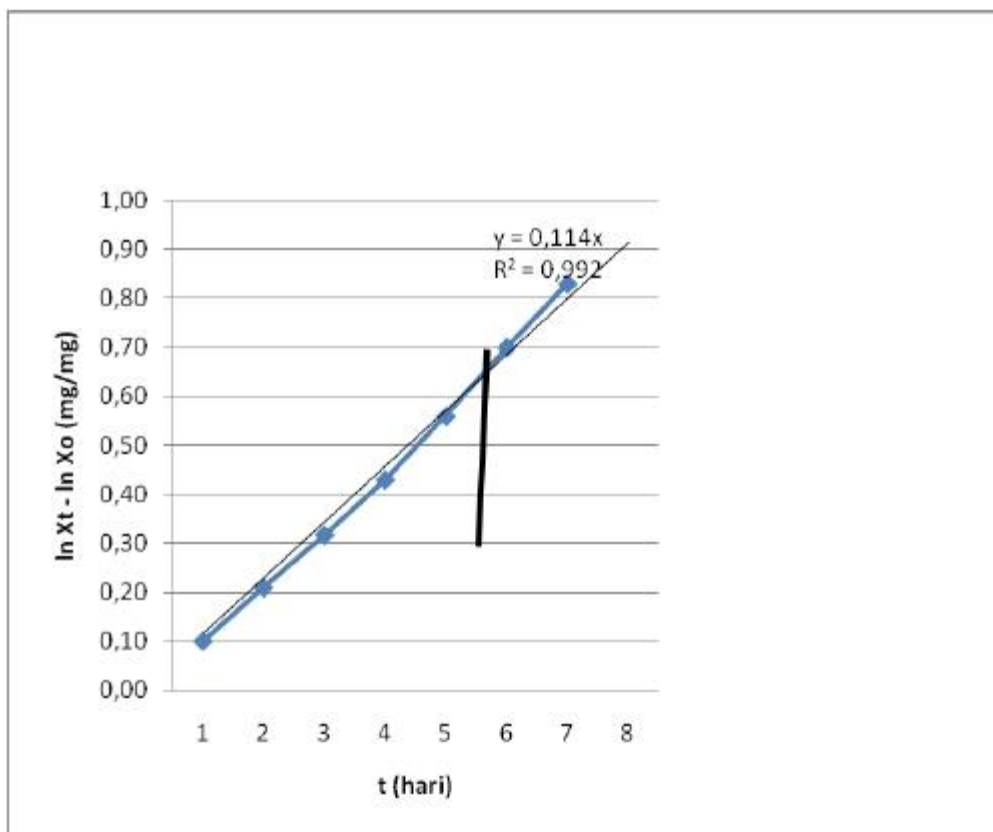
Pada penelitian dengan sistem batch dilakukan pengukuran parameter klorofil-a, TN dan TP. Klorofil-a merupakan pigmen hijau alga dan paling penting dalam proses fotosintesis. Fungsi klorofil-a pada alga adalah menyerap energi dari sinar matahari untuk digunakan dalam proses fotosintesis.



Gambar 2. Hubungan antara populasi *Chlorella* dan kandungan klorofil-a pada reaktor



Gambar 3. Kultur *Chlorella* pada pH7 dan penambahan KCl 0,03 mg/L, (a) hari ke 0, (b) hari ke 3, (c) hari ke 6, dan (d) hari ke 8.



Gambar 4. Grafik Laju Pertumbuhan Alga Air Rawa Pening

Menurut Aslan dan Kapdan [13] konsentrasi *Chlorella sp.* sebelum dikontakkan dengan air limbah diharapkan konsentrasi klorofil-a mencapai $\pm 3,5$ mg/L. Pada hari keempat kultur dilakukan analisis pengukuran konsentrasi alga dan didapatkan sebesar 6,30 mg/L dengan metoda spektrofotometri. Konsentrasi alga yang ada sudah sesuai dengan besarnya konsentrasi yang siap digunakan dengan air limbah, hal ini terjadi karena waktu kultur alga telah tujuh hari. Sehingga dengan konsentrasi tersebut biakan alga dapat dikontakkan dengan air limbah.

Dari hasil pengamatan, dapat diketahui alga yang paling dominan pada biakan alga tersebut antara lain *Chlorella* dan yang termasuk dalam divisi Chlorophyta (alga hijau). Kultur alga yang digunakan untuk air limbah adalah jenis *Chlorella sp.* [13, 15]. dan *Scenedesmus* [16].

Analisis TN dan TP dilakukan untuk mengetahui besar penyisihan Nitrogen dan Fosfor yang mampu dilakukan oleh mikroalga. Data pengamatan nilai parameter Total N dan P yang telah didapatkan disajikan dalam bentuk tabel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Penyisihan N dan P pada Reaktor Uji

Nama Kelompok	Total N awal (mg/L)	Total N akhir (mg/L)	Efisiensi Removal (%)	Total P awal (mg/L)	Total P akhir (mg/L)	Efisiensi Removal (%)
Kelompok I						
KCl 0 pH 5	4,427	4,129	8,70	0,124	0,114	7,98
KCl 0,03 pH 5	4,539	4,201	9,55	0,132	0,121	8,67
KCl 0,05 pH 5	4,654	4,295	9,83	0,148	0,133	9,93
Kelompok II						
KCl 0 pH 7	4,485	3,806	19,49	0,129	0,114	11,64
KCl 0,03 pH 7	4,541	3,498	29,45	0,144	0,109	23,85
KCl 0,05 pH 7	4,669	3,444	33,40	0,152	0,107	29,87
Kelompok III						
KCl 0 pH 9	4,493	3,698	22,76	0,131	0,107	18,32
KCl 0,03 pH 9	4,598	3,189	30,56	0,158	0,117	25,88
KCl 0,05 pH 9	4,701	3,003	36,11	0,173	0,116	32,76

Berdasarkan Tabel 2 di atas terlihat bahwa penurunan nilai konsentrasi TN dan TP terjadi pada semua reaktor. Penurunan nilai konsentrasi terbesar terjadi pada reaktor uji kelompok II dan III. Senyawa anorganik yang merupakan hasil perombakan bakteri heterotrof seperti NH_3 , N_2 , dan nitrat dapat dimanfaatkan kembali oleh organisme lain terutama oleh mikroalga, berbanding lurus dengan konsentrasi klorofil yang semakin besar apabila nutrisi berupa KCl juga meningkat maka semakin banyak alga yang tumbuh maka akan semakin banyak pula senyawa anorganik yang dimanfaatkan kembali sebagai nutrisi pada mikroalga, sehingga membantu proses penyisihan TN pada air pada reaktor. Sedangkan pada penyisihan TP terjadi akibat adanya proses pemakaian makanan hasil hidrolisis untuk membentuk (sintesis) protoplasma baru. Proses asimiliasi merupakan kebalikan dari proses digesti (hidrolisis), karena proses asimiliasi membentuk senyawa-senyawa kompleks dari senyawa-senyawa sederhana.

Keterbatasan dalam penelitian ini adalah tidak dianalisisnya jenis bakteri yang ada dalam reaktor. Simbiosis antara alga dan bakteri pada media, bakteri heterotrof dalam proses metabolismenya mengubah unsur-unsur dalam limbah menjadi bahan organik yang kemudian diserap oleh alga dalam proses fotosintesis dengan produknya yang berupa air, energi, dan oksigen. Penurunan tersebut tetap dapat berlangsung karena terjadi proses metabolisme oleh mikroorganisme dalam mengolah limbah serta dari pencampuran udara bebas. Penurunan konsentrasi bahan organik juga terjadi karena digunakan sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan oleh mikroorganisme [17].

Berdasarkan hasil tersebut di atas, maka peluang pertama aplikasi fikoremediasi pada skala lapang adalah pada *High Rate Algal Pond* (HRAP), yaitu sistem pengolahan air limbah dengan biaya relatif murah yang dirancang sebagai kolam oksidasi dangkal agar mikroalga dapat tumbuh dengan baik. HRAP yang optimal di DTA Rawapening dengan kedalaman 40 – 60 cm [18]. Setelah *Chlorella* dimanfaatkan untuk fikoremediasi Nitrogen dan Fosfor, maka dapat dipanen dan dibuat pupuk atau biofuel, sehingga dapat mendukung ketahanan pangan. Dalam aplikasi di lapang, maka konsorsium mikroalga dan bakteri akan meningkatkan hasil lebih tinggi dibandingkan dengan monokultur, karena oksigen yang dihasilkan oleh mikroalga dimanfaatkan oleh bakteri untuk mengubah bahan organik. Keunggulan fikoremediasi pada pembentukan lipid dan karbohidrat oleh mikroalga pada

HRAP yang tidak memerlukan oksigen dan tidak berbau, lebih efektif dan efisien, minim dampak, aplikasi sederhana, fleksibel dan murah [19].

Chlorella menurunkan konsentrasi seng (Zn) 71,6% pada skala laboratoris dengan konsentrasi Zn yang diberikan 0,1542 ppm [20]. Pada perlakuan 0,5 mg/L memberikan dampak positif pertumbuhan populasi *Chlorella*, yang memiliki populasi paling tinggi dibandingkan jenis lainnya. Penurunan Pb, Cd, dan Cu setelah perlakuan selama 14 hari berturut-turut sebesar 90%, 62%, dan 83% [12]. Secara umum *Chlorella vulgaris* dan *Porphyridium* dengan konsentrasi logam berat Pb, Cd, Cu, dan Cr 1 mg/L memiliki daya penurunan logam berat di media kultur paling besar dibandingkan dengan konsentrasi 3 dan 5 mg/L [10, 21]. Pada kultur *Chlorella vulgaris* Beyerinck, persentase penurunan konsentrasi logam berat Pb 90%, Cd 92% [21].

BCF pada *Chlorella vulgaris* dan *Porphyridium* paling tinggi terjadi pada semua perlakuan logam berat Pb, Cd, Cu, dan Cr konsentrasi 1 mg/L [10, 21]. Namun lama waktu paparan mempengaruhi nilai BCF. *Porphyridium* menunjukkan toleransi yang lebih tinggi terhadap Cu dibandingkan dengan Pb, Cd, dan Cr. BCF *Porphyridium* pada hari ke 8 dari yang paling tinggi adalah $Cu > Cr > Cd > Pb$, dan pada hari ke 15 adalah $Cu > Pb > Cd > Cr$ [10]. Berdasarkan kecenderungan dari data, maka Pb memerlukan waktu lebih lama untuk terakumulasi, sementara Cu lebih cepat. Hal ini juga terlihat pada BCF *Chlorella vulgaris* Beyerinck pada hari ke 76 dari yang paling tinggi adalah $Pb > Cd$ [21].

Logam berat diserap secara aktif melalui metabolisme *Chlorella vulgaris* Beyerinck, dengan menghasilkan protein pengkhelat logam fitokhelatin sebagai respon negatif logam berat. Fitokhelatin disintesis dari glutasi tripeptida yang tersusun dari glutamat, cystidin, dan glisin yang terdapat dalam seluruh sel [22]. Dalam lingkungan logam berat, glutasi akan membentuk fitokhelatin-Cd yang selanjutnya akan diteruskan ke vakuola [23].

Di sisi lain, adanya kemampuan mikroalga mengakumulasi toksikan, misalnya logam berat, merupakan tantangan, sehingga sebelum dimanfaatkan, toksikan tersebut harus dieliminir terlebih dahulu. Hal tersebut dapat dilakukan dengan pengembangan mikroalga transgenik, yaitu manipulasi genetik untuk meningkatkan kemampuan detoksifikasi [17].

Masih banyak peluang dan tantangan dalam fikoremediasi, seperti pengembangan fikoremediasi oleh konsorsium mikroalga-mikroalga, mikroalga-tumbuhan air, konsorsium mikroalga-bakteri, maupun mikroalga-bakteri-tumbuhan air. Dalam aplikasi lapang, seringkali hal tersebut sulit dihindari sehingga perlu dikaji lebih lanjut mana yang lebih optimal dalam fikoremediasi pencemaran air.

Pemanfaatan teknologi dan inovasi dapat membuka jalan bagi temuan terapan yang lebih baru. Oleh karena itu, penguatan dan pengembangan sains dasar merupakan kunci utama dalam menjamin keberlanjutan dari upaya pemanfaatan teknologi dan peningkatan daya saing industri. Pengembangan ilmu hayati atau biologi, diarahkan untuk mencapai sasaran yang mencakup diantaranya penyempurnaan basis data sumberdaya alam atau hayati; penguasaan ilmu hayati beserta aspek lingkungannya, pengembangan ilmu manipulasi genetika tanaman dan hewani; penguasaan dan pengembangan metode kultur jaringan, seperti yang tertuang dalam Agenda Riset Nasional 2010- 2014.

SIMPULAN

Ada korelasi yang sangat kuat antara populasi *Chlorella* dan kandungan klorofil-a ($R_2=0,85$) dengan bentuk hubungan $y = 2,8196x - 4,1246$. Setelah proses remediasi nutrisi perairan, *Chlorella* dapat dipanen dan dijadikan sebagai pakan alami benih ikan sehingga menunjang ketahanan pangan. Waktu pemanenan yang tepat dalam fikoremediasi adalah antara hari ke-6 sd ke-7. Namun, *Chlorella* juga merupakan bioakumulator logam berat, sehingga merupakan suatu tantangan guna pemanfaatan yang aman setelah dipanen dari fikoremediasi logam berat. Setelah remediasi logam berat, maka *Chlorella* harus ditimbun dan tidak boleh digunakan bahkan sebagai pupuk sekalipun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Ir. Junaidi, MT dan Ir. Winardi Dwi Nugraha MT dari Jurusan Teknik Lingkungan UNDIP dan Her Nur Yoga, mahasiswa Program Magister Biologi UNDIP atas kolaborasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Haryani, —Bencana perairan darat di Indonesia: membangun kapasitas kesiapsiagaan bersama masyarakatll, Prosiding Seminar Nasional Limnologi VI. Pusat Limnologi LIPI Cibinong: xiii-xxvi. 2010.
- [2] KLH, —Program Danau Prioritas Nasional 2010-2014ll. Kementerian Lingkungan Hidup, pp: 7. 2010
- [3] E.B. Welch and T. Lindell, T., Ecological Effect of Wastewater: Applied Limnology And Pollutant Effect. 2nd Ed. E & FN Spon, London. 1992.
- [4] D.M. Anderson, P.M. Glibert, and J.M. Burkholder, Harmful Algal Blooms and Eutrophication: Nutrient Sources, Composition, and Consequences, *Estuaries* 25(4b): 704-725. 2002.
- [5] D. Harper, —Eutrophication of freshwaters: principles, problems and restorationsll Chapman & Hall, New York. 1992.
- [6] T.R. Soeprbowati, —Eutrophicationll (literature review). *Majalah Penelitian* X(40): 101-109, Desember 1998. Lembaga Penelitian UNDIP. 1998.
- [7] E.J. Olguin, Phycoremediation: Key issues for cost-effective nutrient removal process. *Biotechnol. Adv.* 22: 81 – 91. 2003.
- [8] V Sivasubramanian and M Muthukumar 2012. Large scale phycoremediation of oil drilling effluent. *J. Algal Biomass Utln.* 3 (4):5 – 1. 2012. *jalgalbiomass.com*
- [9] T.R. Soeprbowati and R. Hariyati, —Bioaccumulation of Pb, Cd, Cu, and Cr by *Porphyridium cruentum* (S.F. Gray) Nägelill, *International Journal of Marine Science* 3(27): 212-218. 2013. doi: 10.5376/ijms.2013.03.0027
- [10] F. Ahmad, A.U. Khan and A. Yasar, —Comparative Phycoremediation of Sewage Water by Various Species of Algaell, *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences* 50 (2): 131–139. 2013.
- [11] T.R. Soeprbowati and R. Hariyati, , —The Potential Used Of Microalgae For Heavy Metals Remediationll. Proceeding University, Semarang Indonesia, 72-87. 3 October 2012.
- [12] S. Aslan, dan I.K. Kapdan, —Batch Kinetics of Nitrogen and Phosphorus Removal From Synthetic Wastewater By Algaell, *Ecological Engineering* 28: 64–70. 2006.
- [13] N.B. Prihantini, B. Putri, dan R. Yuniati, Pertumbuhan *Chlorella* spp. dalam medium ekstrak tauge (MET) dengan variasi ph awal. *Makara Sains.* 9 (1): 1-6. 2005.
- [14] S. Lim, W. Chu, and S. Phang, llUse of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewaterll, *Bioresource Technology*, 101: 7314-7322. 2010.
- [15] I. Godos, S. Blanco, P.A. Encina, E. Becares, and R. Muñoz, —Influence of flue gas sparging on the performance of high rate algae ponds treating agro-industrial wastewatersll, *Journal of Hazardous Materials*, 179: 1049-1054. 2010.
- [16] S. Bhatnagar and R. Kumari, —Bioremediation: A Sustainable Tool for Environmental Management – A Reviewll, *Annual Review & Research in Biology* 3(4): 974-993, 2013. *www.sciencedomain.org*
- [17] T.R. Soeprbowati, Junaidi, W.D. Nugroho, —Pengembangan High Rate Alga Pond (HRAP) di Rawapening untuk remediasi nutrienll. Prosiding Workshop Penyelamatan ekosistem Danau Rawapening, penelitian ilmiah sebagai solusi teknis penyelamatan ekosistem danau Rawapening dalam skala super prioritas, 2013.
- [18] J.B.K. Park, R.J. Craggs dan A.N. M. Shilton, llWastewater Treatment High Rate Algal Ponds for Biofuel Productionll. Science Direct : *Bioresource Technology* 102: 35-42. 2010.
- [19] T. Hastutiningsih, H. Sugondo, and T.R. Soeprbowati, —The ability of *Chlorella* sp. on reducing Zn concentration of sea water in the Laboratoryll, *Journal of Coastal Development*, 3(2): 567-572, Feb 2000
- [20] F.S. Purnamawati, T.R. Soeprbowati, dan M. Izzati, —Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Beijerinck Dalam Medium Yang Mengandung Logam Berat Cd Dan Pb Skala Laboratoriumll, Makalah dalam Seminar Biologi, Jurusan Biologi UNDIP Semarang 14 September 2013,
- [21] A.L. Lehniger, D.L. Nelson, and M.M. Cox, *Principles Of Biochemistry*, 4th ed. New York: Worth Publishers. 2005.
- [22] Haryoto dan A. Wibowo, Kinetika Bioakumulasi Logam Berat Kadmium oleh Fitoplankton *Chlorella* sp Lingkungan Perairan Laut. *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi* 5(2): 89-103. 2004.
- [23]

