



Potensi *Skeletonema costatum* (Greville) sebagai Fikoremediator Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Batik

Potency of *Skeletonema costatum* (Greville) as Phycoremediator of Heavy Metals Lead (Pb) in Batik Waste

Rafael Rape Liwun¹, L. Indah Murwani Yulianti^{1*}, Boy Rahardjo Sidharta¹

¹Prodi Biologi, Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jl. Babarsari no. 44, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email: indah.yulianti@uajy.ac.id

*Penulis untuk korespondensi

Abstract

The domestic batik industry produces liquid waste which is generally not carried out properly so that the waste contaminates the waterbody. The heavy metals content in the batik industry liquid waste is lead (Pb). Fecoremediation using *Skeletonema costatum* microalgae is one solution to reduce Pb levels. The research experiment used RAL (complete randomized design) with three repetitions over 7 days of treatment with variations in inoculum density in the form of V1 (control, without microalgae), V2 (inoculum density 2×10^5 cell/ml), V3 (inoculum density 4×10^5 cell/ml) and V4 (inoculum density 6×10^5 cell/ml). The results showed that V4 treatment was the most effective in reducing Pb levels in batik waste with a decrease in percentage of 36.453% and decreasing BOD levels in batik waste with a decrease percentage of 81.006%.

Keywords: Microalgae, Phycoremediation, *Skeletonema costatum*, batik liquid waste, lead

Abstrak

Industri batik domestik menghasilkan limbah cair yang umumnya pengolahannya tidak dilakukan dengan baik sehingga limbah tersebut mencemari badan air. Salah satu kandungan logam berat pada limbah cair industri batik adalah timbal (Pb). Fikoremediasi dengan menggunakan mikroalga *Skeletonema costatum* adalah salah satu solusi menurunkan kadar Pb. Percobaan penelitian menggunakan RAL (rancangan acak lengkap) dengan tiga kali pengulangan selama 7 hari perlakuan dengan variasi kepadatan inokulum berupa V1 (kontrol, tanpa pemberian mikroalga), V2 (kepadatan inokulum 2×10^5 sel/ml), V3 (kepadatan inokulum 4×10^5 sel/ml) dan V4 (kepadatan inokulum 6×10^5 sel/ml). Hasil penelitian menunjukkan perlakuan V4 paling efektif menurunkankadarPb dalam limbah batik dengan persentase penurunan 36,453% dan menurunkan kadar BOD dalam limbah batik dengan persentase penurunan 81,006%.

Kata kunci: Mikroalga, Fikoremediasi, *Skeletonema costatum*, limbah cair batik, timbal

Diterima: 04 Desember 2019, disetujui: 14 Januari 2020

Pendahuluan

Hal yang perlu diperhatikan dari industri batik adalah pengolahan limbahnya tidak dilakukan dengan baik. Masalah ini untuk industri batik skala kecil umumnya diakibatkan oleh keterbatasan tempat, penguasaan teknologi dan manajemen yang kurang bagus dan terutama kurangnya kepedulian pada lingkungan. Sementara untuk perajin yang telah memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah atau IPAL, tidak dimanfaatkan dengan

baik karena dianggap membebani (Eskani et al., 2005).

Umumnya limbah cair industri batik langsung dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu. Limbah ini mengandung zat pewarna yang dibuat dari zat organik bersifat *non-biodegradable* yang sulit terurai (dapat terurai oleh sinar UV, namun lambat) sehingga mudah terakumulasi pada tanah dan badan air (Sitanggang, 2017).

Menurut Soeprbowati dan Hariyati (2013), fikoremediasi adalah alternatif dari

teknik bioremediasi dengan menggunakan kemampuan alga yang mampu meremediasi dengan baik dengan menawarkan restorasi lahan yang ramah lingkungan, penyerapan ion selektif, serta mampu beradaptasi pada kehadiran logam berat.

Salah satu jenis alga yang dapat digunakan sebagai fikoremediator adalah *Skeletonema costatum*. Kemampuan absorpsi logam berat oleh *Skeletonema* sp. terbagi menjadi absorpsi dan adsorpsi, mekanisme absorpsi terjadi akibat kemampuannya untuk menghasilkan fitokelatin (protein yang dihasilkan sebagai bentuk adaptasi pada paparan logam berat) (Nassiri et al., 1997). Mekanisme adsorpsi terjadi akibat dinding sel *Skeletonema costatum* yang mengandung gugus fungsional berupa hidroksil yang mampu mengikat ion logam berat (Knauer et al., 1997).

Skeletonema costatum, pada penelitian Soedarti et al. (2016) digunakan dalam bioremediasi pada air laut yang terkontaminasi Pb dengan efisiensi adsorpsi tertinggi dengan nilai $80,50 \pm 0,50\%$ pada perlakuan inokulasi 5×10^3 sel/mL pada konsentrasi 2 ppm hari pertama perlakuan dengan lama waktu 5 hari perlakuan. Pertumbuhan tertinggi diperoleh pada perlakuan kepadatan 15×10^3 sel/mL dengan konsentrasi Pb 1 ppm yaitu terhitung jumlah sel $13,30 \times 10^4$ sel/mL pada hari kedua. Penelitian ini akan menggunakan *Skeletonema costatum* dengan variasi perbedaan kepadatan sel inokulasi awal untuk diaplikasikan pada limbah batik dalam upaya menurunkan kadar logam berat timbal (Pb) yang terkandung di dalam limbah.

Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah biakan *Skeletonema costatum* dari Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau Jepara, bubuk Pb Asetat, limbah cair Batik Plentong Yogyakarta, aquades, pupuk Walne dan air laut.

Alat yang digunakan dalam penelitian berupa propipet, gelas ukur, thermometer Lovibond, gelas benda, gelas penutup, haemocytometer Assistent, autoclave HVE-50 Hirayama, refraktometer Atago, aerator, selang, lampu TL 40 watt, pH meter Lovibond, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Agilent

Technologies 50 AA, mikroskop trinokuler Olympus CX4, hand tally counter, erlenmeyer Pyrex, timbangan analitik Adam England PW254, handphone, kapas, tissue dan karet gelang.

Pengambilan Sampel

Sampel limbah cair batik diambil dari Batik Plentong Yogyakarta. Botol atau jerigen sebagai wadah sampel dibilas dengan limbah cair sebanyak 3 kali. Sampel limbah cair diambil sebanyak 5 liter (Badan Standarisasi Nasional, 2008).

Sterilisasi Alat

Alat yang terbuat dari bahan gelas berupa erlenmeyer, propipet, gelas ukur, pipet ukur dicuci dengan air yang mengalir dan diberi detergen, lalu dikeringanginkan. Tahap selanjutnya, alat gelas disterilisasi dengan autoklaf dengan pengaturan suhu 121°C dan tekanan sebesar 1 atm selama 15 menit. Alat non-gelas berupa aerator dan selang aerasi dicuci dengan air mengalir dan detergen, lalu dikeringanginkan (Selvika et al., 2016).

Pembuatan Medium Stok

Medium untuk pertumbuhan populasi awal alga berupa air laut yang diambil dari Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau Jepara, Jawa Tengah sebanyak 3 liter disaring dan disterilkan secara mekanik dengan filter bag, lalu diukur salinitasnya. Salinitas disesuaikan dengan penambahan aquades hingga berada di kisaran 25 ppt dengan bantuan alat refraktometer. Tahap berikutnya, ditambahkan pupuk Walne dengan perbandingan volume medium dan volume pupuk 100:1 (Selvika et al., 2016 dengan modifikasi).

Aklimatisasi Biakan

Biakan *Skeletonema costatum* diambil dari Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau Jepara, Jawa Tengah, diaklimatisasi pada medium yang telah dibuat sebanyak 1 liter pada 3 wadah berbeda. Wadah medium yang telah dibuat, masing-masing ditambahkan 300 ml biakan *Skeletonema costatum*, fitoplankton diaklimatisasi selama 5 hari (Armanda, 2013) dengan modifikasi.

Lampu TL dengan daya 40 watt digunakan sebagai sumber suplai cahaya untuk proses fotosintesis pada alga (intensitas cahaya setelah diukur yaitu 3,364 lux), lalu kondisi

lingkungan pertumbuhan pada suhu 20-25°C, salinitas 25-29 ppt, pH 7-8 dengan dipasang aerator sebagai alat pemberi aerasi pada medium kultur dengan tujuan nutrisi dapat tersebar merata. Kultur mikroalga diperbanyak terlebih dahulu sebelum ditambahkan pada perlakuan (Armanda, 2013) dengan modifikasi.

Uji Pendahuluan Fikoremediasi

Limbah cair batik yang telah diuji awal di Laboratorium Teknik Lingkungan Institut Teknologi Yogyakarta disiapkan, lalu dibagikan ke dalam 3 erlenmeyer perlakuan kontrol dan 9 erlenmeyer perlakuan penambahan alga. Variasi penambahan kepadatan sel alga inokulasi awal sesuai referensi Soedarti et al. (2017) yaitu V1 (kontrol negatif tanpa penambahan inokulum mikroalga), V2 (kepadatan awal mikroalga 5×10^3 sel/ml), V3 (kepadatan awal mikroalga 10×10^3 sel/ml) dan V4 (kepadatan awal mikroalga 15×10^3 sel/ml). Medium diberikan aerasi dan pencahayaan dengan lampu neon 40 watt, lalu dilakukan perhitungan kepadatan sel hari ke-0, 2, 4 dan 7. Viabilitas sel mikroalga selama 7 hari perlakuan dilihat, apabila terdapat kematian di hari-hari awal perlakuan, kepadatan awal sel ditingkatkan hingga viabilitas mikroalga tahan selama 7 hari perlakuan dan diperoleh hasil bahwa dengan kepadatan awal *S. costatum* 2×10^5 sel/ml mampu hidup cukup baik, dan kepadatannya awalnya ditingkatkan lagi pada nilai 4×10^5 sel/ml dan 6×10^5 sel/ml agar diperoleh kepadatan awal *S. costatum* yang paling efektif menurunkan kadar logam Pb.

Pemberian Perlakuan dalam Fikoremediasi

Limbah cair batik dari Batik Plentong disiapkan, lalu dibagikan ke dalam 3 erlenmeyer perlakuan kontrol dan 9 erlenmeyer perlakuan

penambahan alga. Limbah batik dengan penambahan Pb diberikan variasi penambahan kepadatan sel alga inokulasi awal, V1 (kontrol) tidak diberikan alga sebagai kontrol negatif, untuk V2 diberikan alga dengan kepadatan awal 2×10^5 sel/ml, untuk V3 diberikan alga dengan kepadatan awal 4×10^5 sel/ml, dan untuk V4 diberikan alga dengan kepadatan awal 6×10^5 sel/ml. Aerasi diberikan dan diatur pH dan intensitas cahayanya dengan sumber dari lampu neon 40 watt. Setiap hari dilakukan pengamatan pH, salinitas, dan suhu, serta pada hari ke-0, 2, 4 dan 7 dilakukan perhitungan kepadatan sel alga, sedangkan pengukuran kadar Pb dan BOD dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-7 (Wisudyawati, 2014 dengan modifikasi).

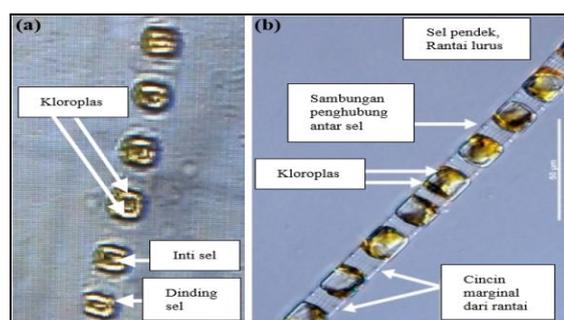
Analisis Data

Data hasil penelitian fikoremediasi oleh penambahan *Skeletonema costatum* dengan variasi perbedaan kepadatan sel inokulasi awal terhadap kandungan logam berat timbal (Pb) dianalisis dengan program aplikasi SPSS versi 15.0 dengan uji ANOVA untuk mengetahui ada tidaknya beda nyata antar perlakuan. Apabila ada beda nyata, dilanjutkan dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada tingkat kepercayaan 95% (Gazpers, 1991) agar diketahui letak beda nyata antar perlakuan

Hasil dan Pembahasan

Identifikasi Mikroalga

Identifikasi mikroalga dilakukan dengan melihat secara langsung morfologi mikroalga *S. costatum* dengan mikroskop trinokuler dengan perbesaran 400x. Hasil identifikasi morfologi sel *S. costatum* dilihat pada Gambar 1.



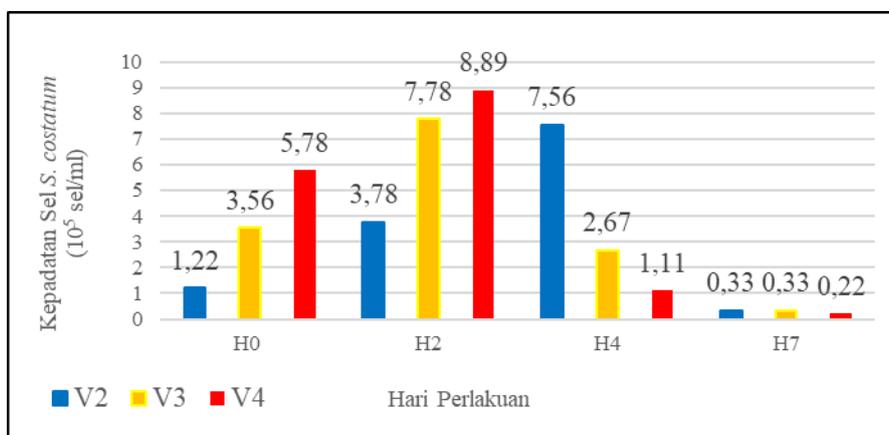
Gambar 1. Morfologi sel *S. costatum* dengan dengan perbesaran 400x hasil identifikasi (a) dan morfologi sel *S. costatum* menurut Department of Earth, Ocean and Atmospheric Science UBC (b) (2018)

Hasil identifikasi morfologi sel *S. costatum* menunjukkan sel mikroalga ini berbentuk silindris pendek dengan inti sel terletak di tengah dan terdapat kloroplas mengitari inti sel. Satu sel dengan sel lainnya berdekatan dan terhubung oleh suatu rantai yang panjangnya tidak tentu, sedangkan untuk warna mikroalganya yaitu warna coklat sesuai dengan pernyataan Armanda (2013), bahwa akibat dari pigmen xantofil yang dimilikinya, *S. costatum* berwarna coklat. Hasil identifikasi ini sesuai dengan karakteristik sel menurut *Department of Earth, Ocean and Atmospheric Science The University of British*

Columbia (2012) bahwa sel berbentuk silindris pendek dengan inti sel di tengah yang dikelilingi dua kloroplas, serta dihubungkan dengan rantai panjang lurus, sehingga umumnya selnya berderet-deret lurus sesuai panjang rantainya, juga untuk warnanya yaitu coklat kekuningan.

Kepadatan Sel *Skeletonema costatum*

Berdasarkan perhitungan kepadatan sel *S. costatum* yang dilakukan diperoleh hasil pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Perhitungan Kepadatan Sel *Skeletonema costatum* pada hari ke-0, 2, 4 dan 7. Keterangan: V2= Kepadatan awal sel *S. costatum* 2×10^5 sel/ml; V3= Kepadatan awal sel *S. costatum* 4×10^5 sel/ml; V4= Kepadatan awal sel *S. costatum* 6×10^5 sel/ml.

Kepadatan *S. costatum* pada perlakuan V3 dan V4 menunjukkan tren peningkatan dari H-0 hingga H-2, lalu terjadi penurunan dari H-4 sampai H-7. Hal ini mengindikasikan bahwa populasi mikroalga pada perlakuan V3 dan V4 memiliki fase lag yang pendek atau proses adaptasi yang lebih singkat sehingga memasuki fase log (eksponensial) lebih cepat dibandingkan perlakuan V2. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. dengan tingkat kepadatan tertinggi pada H-2 dengan nilai $8,89 \times 10^5$ sel/ml pada perlakuan V4 dan jumlah kepadatan $7,78 \times 10^5$ sel/ml pada perlakuan V3. Perlakuan V2 baru mengalami puncak pertumbuhannya pada H-4 perlakuan dengan kepadatan sel $7,56 \times 10^5$ sel/ml.

Populasi *S. costatum* H-4 hingga H-7 pada perlakuan V3 dan V4 dan populasi *S. costatum* H-7 pada perlakuan V2 mengalami penurunan drastis kepadatan sel-nya, hal ini dapat disebabkan oleh keberadaan nutrisi pada media perlakuan yang sudah berkurang (Armanda, 2013) dan disebabkan juga oleh

keberadaan logam berat dalam mikroalga yang konsentrasinya tidak mampu ditoleransi lagi (Arunakumara dan Zhang, 2008). Ion logam berat, seperti Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) memiliki kemampuan untuk berikatan dengan membran tilakoid pada kloroplas *S. costatum* yang dapat menyebabkan perubahan ultrastruktur pada organel tersebut, hal ini berakibat pada terhambatnya aktivitas fotosintesis karena diketahui pada membran tilakoid mengandung banyak kloroplas sebagai pigmen fotosintesis (Lodish et al., 2010). Fotosintesis yang terhambat dapat mengakibatkan penghambatan pertumbuhan sel mikroalga atau kematian total sel, karena melalui fotosintesis dihasilkan produk berupa karbohidrat sebagai sumber nutrisi untuk hidup mikroalga (Arunakumara dan Zhang, 2008).

Kepadatan awal *S. costatum* yang digunakan berdasarkan referensi Soedarti et al. (2017) pada uji pendahuluan yaitu V1 (5×10^3 sel/ml), V2 (10×10^3 sel/ml) dan V3 (15×10^3 sel/ml). Kepadatan sel awal

ditingkatkan dari uji pendahuluan karena viabilitas sel mikroalga tidak bertahan cukup lama. Hal ini diakibatkan karena sel pada ketiga perlakuan uji pendahuluan diperkirakan inokulum yang sel-selnya tua sehingga adaptasinya lebih sulit dibandingkan pada perlakuan fikoremediasi yang sesungguhnya (V1 (2×10^5 sel/ml), V2 (4×10^5 sel/ml), V3 (6×10^5 sel/ml)) yang diperkirakan memiliki sel-sel inokulum yang masih muda (sel

diinokulasi pada keadaan fase eksponensial) sehingga adaptasinya lebih baik (Armanda, 2013).

Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Media Perlakuan

Hasil analisis rata-rata kandungan Pb pada media perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Kandungan Pb pada Media Perlakuan

Perlakuan	Kadar Awal	Kadar Akhir	Penurunan (%)
V1 (Kontrol negatif)	1,122	1,021	9,03 ^a
V2 (Kepadatan awal sel <i>S. costatum</i> 2×10^5)	1,122	0,713	15,83 ^b
V3 (Kepadatan awal sel <i>S. costatum</i> 4×10^5)	1,122	0,793	29,28 ^c
V4 (Kepadatan awal sel <i>S. costatum</i> 6×10^5)	1,122	0,944	36,45 ^d

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak beda nyata, dengan tingkat kepercayaan 95 %. Kadar paling banyak logam Pb untuk kegiatan industri Batik sebesar 0,1 ppm (Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7, 2016).

Perlakuan V2, V3, V4 menunjukkan penurunan kadar Pb pada hari ke-7. Penurunan kadar Pb diakibatkan oleh adanya mekanisme adsorpsi, *Skeletonema costatum* memiliki gugus karboksil (-COOH) yang terdapat pada asam amino penyusun protein. Gugus karboksil, gugus hidroksil, gugus karbonil pada polisakarida penyusun dinding sel mampu mengikat ion logam berat (Knauer et al., 1997; Soedarti et al., 2017). Gugus-gugus fungsi tersebut bermuatan negatif, sehingga dapat berikatan dengan ion logam seperti Pb^{2+} yang bermuatan positif (Sembiring et al., 2009). *S. costatum* termasuk fitoplankton yang tinggi protein, kurang lebih 37% dan karbohidrat sekitar 21% (Erlina et al., 2004), sehingga mendukung potensi mikroalga ini sebagai fikoremediator logam berat Pb.

Mekanisme lainnya yang terjadi dalam penurunan kadar Pb ini adalah absorpsi, dengan dihasilkannya fitokelatin sebagai adaptasi paparan logam berat. Menurut Noctor et al. (2002), umumnya mekanisme sintesis fitokelatin akibat paparan logam berat seperti Cd, Pb, Cu, Hg, Ag, Cu, Ni, Au, As adalah sama. Menurut Handayanto et al. (2017) logam-logam berat yang masuk dalam sel mikroalga umumnya diikat oleh enzim *PC synthase* atau *gamma-glutamylcysteinyl dipeptidyl transpeptidase*. Pengikatan ion logam berat tersebut akan mengkatalisis proses konversi glutation menjadi PC (fitokelatin).

Langkah berikutnya setelah ion logam berat diikat, diakumulasi di dalam vakuola melalui pengangkutan oleh senyawa HMT1.

Penurunan kadar Pb tertinggi dan dijadikan sebagai perlakuan terbaik adalah pada perlakuan V4 dengan inokulasi awal *Skeletonema costatum* dengan kepadatan 6×10^5 sel/ml yang mampu menurunkan logam Pb sebesar 36,45%. Perlakuan V4 paling tinggi penurunannya dan berbeda nyata dengan perlakuan V2 dan V3 menurut uji DMRT dengan signifikansi 5%, hal ini menandakan bahwa kemampuan populasi *S. costatum* dengan inokulasi awal kepadatan 6×10^5 sel/ml paling efektif dalam menurunkan kadar logam berat timbal (Pb) dalam limbah batik. Persentase penurunan yang diperoleh lebih rendah jika dibandingkan dengan hipotesis yang telah dibuat dan masih berada di atas Baku Mutu Air Limbah Industri Batik menurut Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta nomor 7 tahun 2016 (nilai baku mutu sebesar 0,1 ppm). Hal ini disebabkan karena diketahui bahwa dalam limbah yang digunakan merupakan limbah pewarna cair batik yang murni sehingga diperkirakan memiliki logam berat lainnya seperti kadmium (Cd), seng (Zn) dan tembaga (Cu) (Riyawati et al., 2014; Hertiyani, 2016; Hernayati, 2004). Ion dari logam-logam tersebut (Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) mampu untuk diadsorpsi dan diabsorpsi oleh *S.*

costatum sehingga membuat penyerapan logam Pb tidak efektif.

Hasil analisis kadar BOD pada media perlakuan dengan penambahan alga menunjukkan penurunan. Hasil analisis rata-rata kandungan Pb pada media perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

Kandungan BOD pada Media Perlakuan

Tabel 2. Hasil Analisis Kandungan BOD pada Media Perlakuan

Perlakuan	Kadar Awal	Kadar Akhir	Penurunan (%)
V1 (Kontrol negatif)	101,665	42,713	57,98 ^a
V2 (Kepadatan awal sel <i>S. costatum</i> 2x10 ⁵)	101,665	19,310	81,00 ^b
V3 (Kepadatan awal sel <i>S. costatum</i> 4x10 ⁵)	101,665	20,255	80,07 ^c
V4 (Kepadatan awal sel <i>S. costatum</i> 6x10 ⁵)	101,665	30,913	69,59 ^c

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak beda nyata, dengan tingkat kepercayaan 95 %. Kadar paling banyak BOD untuk kegiatan industri Batik sebesar 85 ppm (Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7, 2016).

Perlakuan kontrol, maupun V1, V2 dan V3 dari hari ke-0 hingga hari ke-7 nilai BOD mengalami penurunan nilai BOD hingga nilainya di bawah Mutu Air Limbah Industri Batik menurut Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta nomor 7 tahun 2016 (nilai baku mutu sebesar 85 ppm). Menurut Kasam et al.. (2009), limbah cair industri batik yang terdiri atas zat pewarna serta lilin/malam umumnya memiliki nilai pH yang tinggi (basa) serta memiliki kandungan zat-zat organik yang konsentrasinya tinggi. Kandungan zat-zat organik yang tinggi tersebut menyebabkan dibutuhkan juga oksigen dalam jumlah besar untuk memecahkan materi organik tersebut, sehingga menyebabkan kandungan BOD pada limbah H-0 sangat tinggi dengan nilai 101,65 ppm (dapat dilihat pada Tabel 2). Perlakuan V2, V3 dan V4 mengalami penurunan nilai BOD, hal ini disebabkan oleh proses oksidasi bahan organik oleh organisme di dalam air media perlakuan (Pescod, 1973). Proses aerasi yang terus menerus dilakukan selama 7 hari perlakuan juga dapat meningkatkan difusi oksigen dari udara ke dalam air (Haris, 2012), dengan naiknya kadar oksigen terlarut hal ini dapat membantu bakteri aerob (bakteri indigenus dalam limbah) untuk mengurai bahan organik yang terdapat dalam limbah (Hadiyanto & Azim, 2012).

Perlakuan V4 memiliki jumlah kepadatan sel tertinggi pada H-2 (dapat dilihat pada Gambar 5). Hal ini berbanding lurus dengan penurunan nilai BOD-nya yang juga tertinggi (dapat dilihat pada Tabel 2) dengan

persentase penurunan 81,008%, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan V3 (inokulasi kepadatan awal 4x10⁵ sel/ml). Penurunan yang tinggi ini dapat disebabkan oleh semakin banyaknya jumlah sel *S. costatum* pada perlakuan V4 menyebabkan semakin banyak pula oksigen terlarut yang dihasilkan dari proses fotosintesis, oksigen terlarut yang tinggi tersebut dapat dimanfaatkan bakteri aerob untuk proses penguraian bahan organik (Hadiyanto dan Azim, 2012) sehingga kandungan bahan organik dalam limbah pun akan semakin banyak juga terurai.

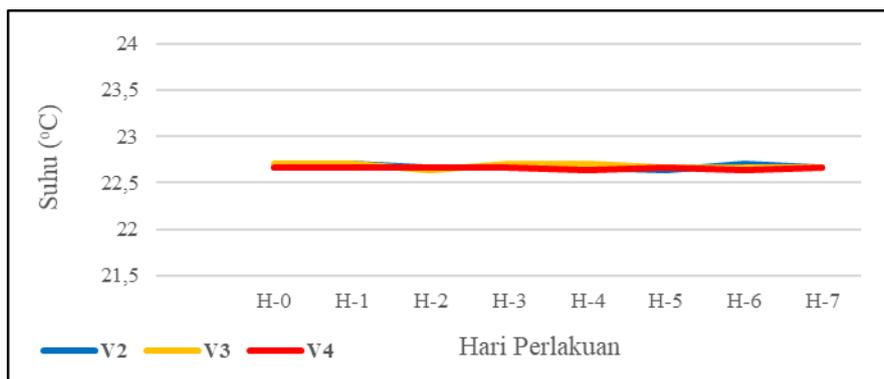
Kondisi Faktor-Faktor Lingkungan selama Fikoremediasi

Suhu

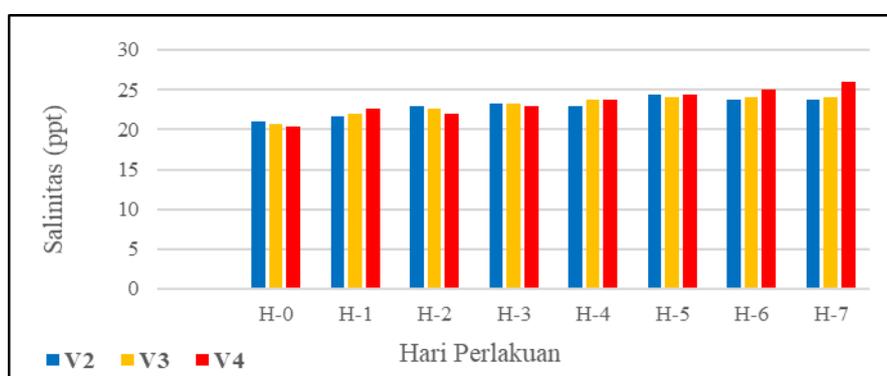
Data selama pengamatan selama 7 hari perlakuan dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil pengukuran suhu tiap hari selama 7 hari perlakuan bahwa nilainya konstan berada di kisaran 22-23°C. Suhu yang konstan diakibatkan oleh pengaruh suhu ruangan laboratorium yang ditunjang oleh 2 alat *Air Conditioner* (AC) dengan pengaturan suhu ±22°C. Kisaran suhu ini menurut Armanda (2013) merupakan kisaran suhu optimal untuk pertumbuhan *S. costatum* sehingga diharapkan pertumbuhannya juga optimal.

Salinitas

Data perubahan salinitas yang diperoleh setiap hari pengamatan selama 7 hari perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 3. Nilai Kisaran Suhu Media Perlakuan selama 7 hari



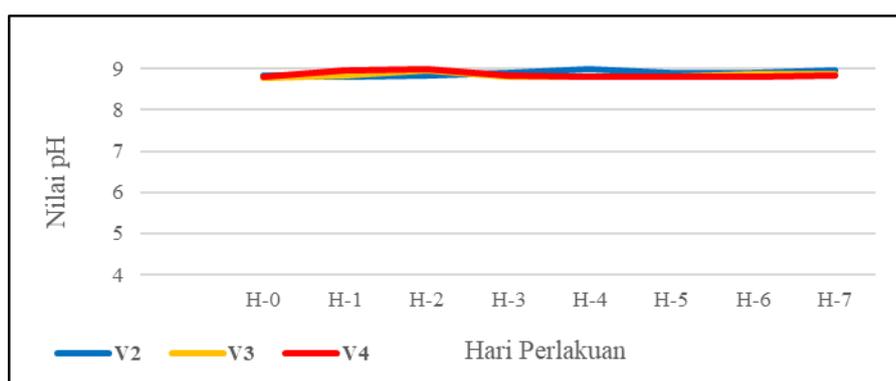
Gambar 4. Nilai Kisaran Salinitas Media Perlakuan selama 7 Hari

Hasil pengukuran salinitas menunjukkan adanya kenaikan nilai salinitas dari hari ke-0 hingga hari ke-7. Salinitas awal berada pada kisaran nilai 20 ppt lalu naik hingga mencapai nilai 25 ppt pada hari ke-7. Menurut Ruidiyanti (2011), kisaran salinitas yang untuk pertumbuhan *S. costatum* adalah 20-30 ppt dan optimal pada 25-29 ppt, Wisudyawati (2014) melaporkan bahwa meskipun kisaran salinitas tersebut kurang dari salinitas optimal pertumbuhannya, *S. costatum* masih tetap dapat tumbuh.

Naiknya nilai salinitas tersebut dapat diakibatkan oleh aerasi dan pencahayaan dari lampu terus menerus, karena aerasi dan cahaya yang intens mengakibatkan adanya penguapan air laut dan meningkatkan proses transpirasi (penguapan) (Rostini, 2007).

Derajat Keasaman (pH)

Data perubahan salinitas yang diperoleh setiap hari pengamatan selama 7 hari perlakuan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai Kisaran pH Media Perlakuan selama 7 Hari

Hasil pengukuran derajat keasaman (pH) menunjukkan peningkatan nilai pH dari hari ke-0 hingga hari ke-7. Hari ke-0 nilai pH sekitar 8,8 naik hingga 9,1 pada hari ke-7 perlakuan. Menurut Armanda (2013), kisaran pH optimal pertumbuhan *S. costatum* adalah 7-8, namun Wisudyawati (2014) dalam penelitiannya pada pH 8-9, mikroalga ini dapat mentolerir perubahan pH tersebut dan tetap tumbuh. Perubahan pH tersebut tidak memengaruhi proses penyerapan logam berat Pb oleh *S. costatum*.

Simpulan

Perlakuan fikoremediasi dengan inokulum *Skeletonema costatum* 6×10^5 sel/ml (V4) paling efektif menurunkan kadar logam timbal (Pb) dalam limbah batik dengan persentase penurunan sebesar 36,45%. Penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan meningkatkan kepadatan inokulasi awal sel mikroalga (lebih dari 6×10^5 sel/ml) untuk mengetahui potensi maksimal fikoremediasi *S. costatum*.

Daftar Pustaka

- Armanda, D. T. 2013. Pertumbuhan kultur mikroalga diatom *Skeletonema costatum* (Greville) isolat Jepara pada medium f/2 dan medium conway. *Jurnal Bioma* 2(1):49-63.
- Arunakumara, K. K. I. U. dan Zhang, X. 2008. Heavy metal bioaccumulation and toxicity with special reference to microalgae. *Journal Ocean University Chinese* 1(7):25-30.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. *Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan Air dan Air Limbah*. SNI 6989.57. 2008.
- Department of Earth, Ocean and Atmospheric Science The University of British Columbia. 2012. *Phyto'pedia-ThePhytoplankton EncyclopaediaProject*. https://www.eoas.ubc.ca/research/phytoplankton/diatoms/centric/skeletonema/s_costatum.html. Diakses tanggal 2 September 2018.
- Erlina, A., Amini, S. dan Endrawati, H. 2004. *Kajian Nutritif Phytoplankton Pakan Alami pada Sistem Kultivasi Massal*. BBPBAP Jepara. *Indonesia Journal of Marine Sciences* 9(4):206-210
- Eskani, I. N., Carlo, I. D. dan Sulaeman. 2005. Efektivitas pengolahan air limbah batik dengan cara kimia dan biologi. *Ejournal Kemenperin* 22: 16-27.
- Gazpers, V. 1991. *Metode Perancangan Percobaan*. Armica, Bandung.
- Hadiyanto. dan Azim, M. 2012. *Mikroalga Sumber Pangan dan Energi Masa Depan*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Handayanto, E., Nuraini, Y., Muddarisna, N., Syam, N. dan Figri, A. 2017. Fitoremediasi dan *Phytomining* Logam Berat Pencemar Tanah. Universitas Brawijaya Press: Malang.
- Haris, F. 2012. Pengaruh perbedaan suhu terhadap pertumbuhan dan kadar lipid mikroalga *Scenedesmus* sp. yang dibudidayakan pada limbah cair tapioka. *Skripsi S-1*. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang.
- Hertiyani, N. 2016. Pemanfaatan lumpur aktif untuk menurunkan seng (Zn) dalam limbah cair pewarna indigosol pada industri batik dengan penambahan bakteri indigenus. *Skripsi S-1*. Fakultas Teknobiologi Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Kasam., Yulianto, A. dan Rahmayanti, A. E. 2009. Penurunan COD dan warna padalimbah industri batik dengan menggunakan *aerobic roughing filter* aliranhorizontal. *Logika*, 6 (1): 27-31.
- Knauer, K., Behra, R. dan Sigg, L. 1997. Adsorption and uptake of copper by the green algae *Scenedesmus subspicatus* (Chlorophyta). *Journal of Phycol* 33:596-601.
- Lodish, H., Berk, A. dan Zipursky, S. L. 2010. *Photosynthetic Stages and Light-Absorbing Pigments*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21598/#A4436>. Diakses tanggal 1 April 2019.
- Nassiri, Y., Mansot, J. L., Wery, J. Ginsburger-Vogel, T. dan Amiard, J. C. 1997. Ultrastructural and electron energy loss spectroscopy studies of sequestration mechanisms of Cd and Cu in the marine diatom *Skeletonema costatum*. *Arch. Environ. Contam. Toxicology* 33:147-155.

- Noctor, G., Gomez, L., Vanacker, H. dan Foyer, C. H. 2002. Interactions between biosynthesis, compartmentation and transport in the control of glutathione homeostasis and signalling. *Journal of Experimental Botany* 53(372):1283-1304.
- Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7. 2016. *Baku Mutu Air Limbah untuk Kegiatan Industri*. <https://blh.jogjaprovo.go.id/pocontent/uploads/Perda-No-7-tahun-2016-ttg-Baku-Mutu-Air-Limbah.pdf>. Diakses tanggal 9 Oktober 2019.
- Pescod, M. D. 1973. *Investigation of Rational Effluent and Stream Standards for Tropical Countries*. Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Riyawati, I., Hartati, I., Purwanto, H. dan Suwardiyono. 2014. Adsorpsi logam berat timbal dan kadmium pada limbah batik menggunakan biosorbent pulpa kopi terxanthasi. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST)*. 15 November 2014. Yogyakarta.
- Rostini, I. 2007. Kultur Fitoplankton (*Chlorella* sp. dan *Tetraselmis* sp.) pada Skala Laboratorium di Instalasi Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian Bojonegoro. *Karya Ilmiah*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjajaran, Bandung.
- Rudiyanti, S. 2011. Pertumbuhan *Skeletonema costatum* pada berbagai tingkat salinitas media. *Jurnal Saintek Perikanan* 6(2):69-76.
- Selvika, Z., Kusuma, A. B. N., Herliany, E. dan Negara, B. F. S. P. 2016. Pertumbuhan *Chlorella* sp. pada beberapa konsentrasi limbah batubara. *Depik* 5(3):107-112.
- Sitanggang, P. Y. 2017. *Pengolahan Limbah Tekstil dan Batik di Indonesia*. Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung, Bandung. Halaman 2-3.
- Soedarti, T., Maryono, L. R. dan Hariyanto, S. 2016. Bioremediation of lead (Pb II) contaminated sea water by marine diatom *Skeletonema costatum*. *Journal of Environment and Sustainability* 1:124-132.
- Soedarti, T., Tini, S., Sucipto, H. dan Kuncoro, E. P. 2017. Bioremediation of mercury (II) contaminated seawater using the diatom *Skeletonema costatum*. *KnE Life Sciences* 2017: 62-68.
- Soeprbowati, T. R. dan Hariyati, R. 2013. Potensi mikroalga sebagai agen bioremediasi dan aplikasinya dalam penurunan logam berat pada instalasi pengolahan air limbah industri. *Laporan Tahunan Penelitian Fundamental*. Program Studi Biologi Universitas Diponegoro, Semarang. Halaman 6-59.
- Wisudyawati, D. 2014. Studi perbandingan kemampuan *Skeletonema* sp. Dan *Chaetoceros* sp. Sebagai agen bioremediasi (fito-akumulasi) terhadap logam berat timbal (Pb). *Skripsi S-1*. Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga, Surabaya.