

Pengaruh Kepadatan Mikroalga *Chlorella sp.* terhadap Bioremediasi Logam Krom Pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit.

The Influenced of Chlorella sp. Cells Density in Chromium Bioremediation of Tannery Wastewater

Bambang Rahadi Widiatmono¹, dan Fajri Anugroho¹, dan Fadil Arif T. Munaf²
Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran Malang 65145
Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Brawijaya, Jl Veteran
Malang 65145

*Email Korespondensi : jbrahadi@ub.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh limbah yang dihasilkan oleh industri penyamakan kulit merupakan limbah cair yang mengandung logam Cr (krom). Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk pemulihan kondisi perairan yang tercemar logam krom adalah dengan bioremediasi menggunakan mikroalga. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi *Chlorella sp.* sebagai alternatif penurunan kadar logam Cr pada limbah cair industri penyamakan kulit (*biological treatment*) dengan menguji kemampuan *Chlorella sp.* dalam kepadatan sel yang berbeda-beda. Hasil penelitian menunjukkan suhu limbah cair selama 7 hari pertama mengalami fluktuasi dan diikuti dengan kondisi suhu yang cenderung stabil sampai hari ke-11. Kepadatan sel *Chlorella sp.* mengalami peningkatan sampai hari ke-7, setelah itu jumlah kepadatan sel menurun pada perlakuan kepadatan rendah dan tinggi sampai hari ke-11. Penurunan kadar krom total limbah cair berbanding lurus dengan waktu pengamatan, pada hari ke-3 terjadi penurunan sebesar 2,4587-4,1299 mg/L, pada hari ke-7 sebesar 0,0074-1,6713 mg/L, dan pada hari ke-11 sebesar 0,0333-0,1213 mg/L. Penurunan kadar krom total limbah cair memiliki hubungan berbanding terbalik dengan peningkatan kepadatan sel, terlihat pada hari ke-3 perlakuan kepadatan sel rendah memiliki kadar krom total limbah cair terkecil dengan nilai 0,0204 mg/L, diikuti perlakuan kepadatan sedang dan tinggi sebesar 0,1277 mg/L dan 0,4560 mg/L, serta kontrol sebesar 1,6917 mg/L.

Kata Kunci : Bioremediasi, *Chlorella sp.*, Kepadatan, Krom Total

Abstract

Environmental harm problem caused by the tanning industry as a result of wastewater that produced containing heavy metal Cr (chromium). A way that can be used to recovery polluted water conditions with chromium is bioremediation using microalgae. Microalgae has many advantages that made it as a choice that suited to eliminate specific content and reducing heavy metal concentration in waste or contaminated environment. This study aim to know the potensial of *Chlorella sp.* as chromium reduction alternative in tannery wastewater (*biological treatment*) at different cells density. The study shows that

temperature of wastewater fluctuated for 7 first days and stable for the next until the 11th day. *Chlorella sp.* cells density increased until the 7th day, after that decrease at the low and high cells density until the 11th day. The decreased of total chromium concentration in wastewater directly proportional with observation time, on the 3rd day occurred a decrease from 2.4587 mg/L to 4.1299 mg/L, 0.0074 mg/L to 1.6713 mg/L on the 7th day, and 0.0333 mg/L to 0.1213 mg/L on the 11th day. Moreover, the decreased of total chromium concentration in wastewater directly upside with the increased of cells density seen on the 3rd day, the lowest total chromium concentration had by the low cells density with 0.0204 mg/L, followed by the medium and the high cells density respectively with 0.1277 mg/L and 0.4560 mg/L, and the control with 1.6917 mg/L.

Keyword : Bioremediation, Cells density, *Chlorella sp.*, Total Chromium

PENDAHULUAN

Permasalahan kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh industri penyamakan kulit akibat limbah cair yang dihasilkan mengandung logam Cr (krom) (Esmaeili *et al.*, 2005). Pengolahan limbah yang kurang terencana akan menimbulkan permasalahan seperti pencemaran sungai oleh logam berat. Krom merupakan golongan “Three Big Heavy Metal” yaitu Cr, Pb, dan Hg. Krom merupakan logam berat yang sangat beracun dan tidak dibutuhkan oleh tubuh manusia. Krom bersifat karsinogenik karena dapat merusak struktur kromatin dan fungsi sel (Banfalvi, 2011). Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk pemulihan kondisi perairan yang tercemar logam krom adalah dengan bioremediasi menggunakan mikroalga (Purnawati *et al.*, 2015).

Bioremediasi merupakan teknik remediasi (pemulihan) kondisi lingkungan dengan memanfaatkan organisme dalam proses pemulihannya. Remediasi lingkungan dengan bioremediasi lebih murah dan efektif dibandingkan teknik remediasi dengan proses fisik dan kimia. (Soeprbowati dan Hariyati, 2013a). Menurut Chekroun dan Baghour (2013). Beberapa jenis mikroalga yang dapat digunakan dalam mereduksi kandungan logam berat dalam perairan tercemar diantaranya *Laminaria japonica*, *Fucus vesicularis*, *Asparagopsis armata*, *Fucus spiralis*, *Spirogyra sp.*, dan *Chlorella sp.* (Zeraatkar *et al.*, 2016).

Penelitian Wetipo *et al.* (2013) mendapati bahwa *Chlorella sp.* yang diberikan logam Cr dengan konsentrasi 10 mg/L dapat menurunkan kadar logam tersebut sebesar 33%. Sedangkan *Chlorella pyrenoidosa* mampu menurunkan konsentrasi logam Cr dari

limbah industri tekstil, industri plastik, dan air lindi masing-masing sebesar 79,28%, 79,06%, dan 52,69% dalam 15 hari untuk limbah industri tekstil dan plastik serta 17 hari untuk air lindi (Soeprbowati dan Hariyati, 2013a). Penelitian ini menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* dalam upaya menurunkan kadar logam berat Cr pada limbah cair industri penyamakan kulit. Penelitian dilakukan dengan mengkultur mikroalga dalam sampel limbah cair industri penyamakan kulit dengan kepadatan sel yang berbeda-beda. Kultur mikroalga dilakukan selama 10 hari dengan menggunakan bak kaca yang diberi cahaya dan aerasi secara konstan. Hasil dari penelitian ini diharapkan memperoleh data mengenai kemampuan *Chlorella sp.* sebagai bioremediator dalam mereduksi kadar logam Cr pada limbah cair industri penyamakan kulit dengan kepadatan sel yang optimal. Selain itu, hasil dari penelitian ini dapat mengungkapkan efektifitas penurunan logam berat Cr pada air tercemar oleh *Chlorella sp.*

BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian yaitu metode eksperimental. Metode pengambilan sampel limbah cair yang digunakan yaitu metode *grab sample*. Penelitian menggunakan 4 perlakuan yaitu perlakuan kepadatan rendah (1×10^6 sel/mL), kepadatan sedang ($1,5 \times 10^6$ sel/mL), kepadatan tinggi (2×10^6 sel/mL), dan kontrol (0×10^6 sel/mL). Hasil penurunan yang diperoleh dianalisis secara statistik untuk mengetahui pengaruh perlakuan dan perbedaan kemampuan mikroalga.

Pengambilan dan pengujian kadar krom limbah cair industri penyamakan kulit

Pengambilan sampel limbah cair dilakukan pada inlet IPAL industri tepatnya pada saluran pembuangan limbah cair pada proses *tanning*. Setelah limbah cair diambil lalu dilakukan pengujian kadar krom total pada Laboratorium Lingkungan PJT 1 Malang. Selama menunggu hasil uji kadar krom total keluar, limbah cair didiamkan dalam jerigen.

Kultivasi *Chlorella sp.*

Biakkan murni *Chlorella sp.* didapatkan dari Aquatik-Biofloq FPIK Universitas Brawijaya. Kultivasi dilakukan dengan menggunakan wadah erlenmeyer 1000 mL. Perbandingan jumlah biakkan murni dengan media air merial adalah 1 : 4 dimana 100 mL biakkan murni dicampur dengan 400 mL air mineral sehingga total volume sebanyak 500 mL. Pupuk walne ditambahkan pada kultur sebanyak 1 mL sebagai sumber nutrisi *Chlorella sp.* Kultur dilakukan selama 14 hari.

Sterilisasi Alat

Penelitian menggunakan 12 buah bak kaca dengan dimensi 10 cm x 10 cm x 20 cm sebagai wadah limbah cair penyamakan yang akan diremediasi. Sterilisasi terlebih dahulu dilakukan pada alat-alat penelitian non-elektronik sebelum digunakan. Tahapan sterilisasi yang dilakukan merujuk pada Purnamawati *et al.* (2015), yakni semua peralatan non elektronik dicuci dengan menggunakan sabun pencuci perabotan gelas, kemudian dibilas dengan aquades. Setelah itu, peralatan dibilas dengan larutan alkohol 70%. Selanjutnya dibilas dengan aquades dan ditiriskan hingga hilang bau alkoholnya.

Penyiapan Media

Limbah cair yang telah didiamkan selama 2 minggu kemudian diencerkan 1000x dengan air PDAM dan dihomogenkan. Biakkan *Chlorella sp.* yang didapat dari hasil kultivasi dihitung kepadatan selnya. Pengukuran kepadatan ini menggunakan *haemocytometer* Neubauer Improved sesuai Persamaan 1 (Purnamawati *et al.*, 2015). Setelah itu *Chlorella sp.* ditambahkan dalam 1000 mL limbah cair yang telah diencerkan, dengan jumlah volume sebanyak 100 mL, 158 mL, 222 mL, dan 0 mL untuk masing-masing perlakuan kepadatan rendah, sedang, tinggi, dan kontrol. Nilai ini didapatkan dengan menggunakan Persamaan 2 (Purnamawati *et*

al., 2015). Pupuk walne ditambahkan kedalam limbah cair sebanyak 1 mL pada semua perlakuan. Kondisi lingkungan limbah cair diatur pada pencahayaan 4100-5700 lux (2 buah lampu 18 watt) dan aerasi dengan debit udara 2,25 L/menit selama 24 jam. Kondisi pH limbah cair terukur pada rentang 8.1-8.6 selama proses bioremediasi.

Uji Krom Total

Pengujian kadar krom total dilakukan pada hari ke-3, hari ke-7, dan hari ke-11 bioremediasi. Masing-masing perlakuan dan ulangan diambil sebanyak 100 mL dan disentrifugasi menggunakan *centrifuge* (LMC-4200R) pada 7500 rpm selama 3 menit untuk memperoleh cairan supernatan (Napan *et al.*, 2016). Cairan supernatan kemudian diukur kadar krom totalnya menggunakan AAS dengan metode analisa APHA 3111 B-2005 pada Laboratorium PJT 1 Malang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Krom Total Limbah Cair Hasil pengujian kadar krom total limbah cair pra-penelitian menentukan pretreatment limbah cair pra-penelitian sebelum dilakukan penelitian. Konsentrasi krom total limbah cair pada penelitian merupakan hasil pengujian sampel yang diambil setelah diberikan pretreatment. Hasil pengujian kadar krom total limbah cair pra-penelitian dan penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian Sampel Limbah Cair Penyamakan Kulit

Parameter	Hasil, mg/L (ppm)		Baku Mutu* (mg/L)
	Pra-Penelitian	Penelitian	
Krom Total	126300	4,1503	0.6

*)Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013.

Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian sebelumnya, mendapati bahwa *Chlorella vulgaris* dan *Chlorella miniata* mampu menyerap logam krom secara optimal dengan konsentrasi krom awal sampai 50 mg/L pada suhu 25°C dan pH 1,5-4,5 (Gokhale *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2006). Oleh karena itu, pada penelitian dilakukan treatment awal pada sampel limbah cair yang diambil berupa pengendapan dan pengenceran. Hal ini dilakukan untuk menurunkan kadar krom total dari sampel sehingga cocok untuk pertumbuhan *Chlorella sp.* Setelah dilakukan pengendapan dan pengenceran, sampel limbah cair diuji kadar krom totalnya.

Pengamatan Faktor Lingkungan

Suhu Limbah Cair

Suhu limbah cair mengalami fluktuasi selama 7 hari pertama bioremediasi. Fluktuasi suhu berada pada rentang nilai 25-29°C. Sedangkan, kondisi suhu setelah hari ke-7 cenderung stabil pada nilai 26-26,5°C. Maharsyah *et al.* (2013) menjelaskan bahwa jumlah kepadatan sel mikroalga mempengaruhi suhu media kultur. Kondisi ini dijelaskan dengan hubungan yang berbanding lurus antara peningkatan kepadatan sel mikroalga dan penambahan suhu media tumbuhnya. Hal tersebut disebabkan oleh semakin meningkatnya populasi pada media maka semakin besar pula

pertukaran gas yang akan terjadi, sehingga memungkinkan terjadi peningkatan suhu pada media disamping faktor lingkungan yang mempengaruhi. Apabila dibandingkan dengan hasil pengamatan, pada hari ke-7 dijumpai peningkatan kepadatan sel *Chlorella sp.* Kondisi tersebut selaras dengan fluktuasi nilai suhu limbah cair yang juga terjadi pada 7 hari pertama. Sedangkan pada hari ke-11, dijumpai penurunan kepadatan sel *Chlorella sp.* yang selaras dengan kondisi suhu limbah cair yang cenderung konstan. Secara umum, suhu limbah cair berada pada rentang 25-29°C, dimana masih dalam rentang suhu optimal bagi pertumbuhan mikroalga yaitu 25-35°C (Richmond, 2004). Perubahan suhu limbah cair pada penelitian ditunjukkan oleh **Gambar 1**.

Kepadatan Sel *Chlorella sp.*

Perlakuan kepadatan rendah dan kepadatan tinggi memiliki pola peningkatan kepadatan yang cenderung sama, namun berbeda dengan perlakuan kepadatan sedang. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh *human error* pada pengambilan dan penanganan sampel, atau bisa disebabkan oleh faktor lain yang belum diketahui sehingga butuh penelitian lebih lanjut.

Laju peningkatan kepadatan sel bertambah pesat untuk perlakuan kepadatan rendah dan kepadatan tinggi pada hari ke-3 dengan jumlah kepadatan sel rata-rata

berturut-turut sebesar $0,51 \times 10^6$ sel/mL dan $0,39 \times 10^6$ sel/mL. Sedangkan, pada perlakuan kepadatan sedang laju peningkatan kepadatan sel adalah nol. Pupuk walne yang ditambahkan pada limbah cair berperan sebagai sumber nutrisi bagi *Chlorella sp.* Astrid et al. (2013) menjelaskan bahwa komposisi pupuk walne memiliki kadar N dan P sebesar 20,229 gr/L dan 4,489 gr/L. Kebutuhan optimum nutrisi bagi *Chlorella sp.* yaitu pada kadar N (0,14-0,7 gr/L) dan P (0,015-0,62 gr/L) (Umainana et al., 2012), sehingga dengan tambahan pupuk walne menyebabkan *Chlorella sp.* dapat berkembang biak dan kepadatan selnya meningkat meskipun tambahan nutrisi yang dilakukan belum mencukupi untuk pertumbuhan optimal *Chlorella sp.*

Penambahan kepadatan sel terjadi pada semua perlakuan dengan mikroalga pada hari ke-7. Tetapi, pada kepadatan rendah dan kepadatan tinggi laju peningkatan kepadatannya berkurang, ditandai dengan penambahan rata-rata kepadatan sel yang hanya sebesar $0,11 \times 10^6$ sel/mL dan $0,27 \times 10^6$ sel/mL dibandingkan hari ke-3. Sedangkan pada kepadatan sedang laju peningkatan kepadatan sel bertambah, ditunjukkan dengan penambahan rata-rata kepadatan sel sebesar $0,27 \times 10^6$ sel/mL dibandingkan hari ke-3. Berdasarkan penelitian Amini dan Syamdidi (2006), menjelaskan bahwa peningkatan kepadatan sel mikroalga dibarengi dengan penurunan konsentrasi unsur hara pada media tumbuhnya, sehingga konsentrasi unsur hara sebagai nutrisi bagi mikroalga tidak sebanding dengan jumlah kepadatan sel yang ada. Hal ini menyebabkan laju peningkatan kepadatan sel menjadi berkurang.

Pengurangan laju peningkatan kepadatan sel terjadi pada hari ke-11 untuk kepadatan sedang, bahkan bernilai negatif untuk kepadatan rendah dan kepadatan tinggi. Penurunan rata-rata kepadatan sel sebesar $0,42 \times 10^6$ sel/mL dan $0,25 \times 10^6$ sel/mL untuk kepadatan rendah dan kepadatan tinggi. Sedangkan, pada kepadatan sedang

penambahan rata-rata kepadatan sel sebesar $0,08 \times 10^6$ sel/mL. Kabinawa (2006) menjelaskan bahwa jumlah sel menurun secara geometrik dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah ketersediaan nutrisi. Waktu remediasi yang semakin lama menyebabkan kadar nutrisi pada limbah cair juga semakin menurun, sehingga tidak mencukupi kebutuhan *Chlorella sp.* untuk tumbuh.

Kadar Krom Total pada Limbah Cair

Kadar krom total limbah cair memiliki hubungan yang kuat dengan waktu pengamatan, ditunjukkan dengan koefisien regresi (R^2) persamaan garis tren semua perlakuan memiliki nilai yang mendekati 1. Proses akumulasi ion logam ini cenderung menetap dalam sel karena harga konstanta laju pelepasan logam lebih kecil dibandingkan laju penyerapannya. Proses penyerapan dan akumulasi ion logam dalam sel akan dipecah dan diekskresikan, disimpan atau dimetabolisme oleh mikroalga tergantung konsentrasi dan potensial bahan kimia tersebut.

Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan uji *student t-test* untuk mengetahui tingkat signifikan data antar hari pengukuran. Hasil analisis diperoleh perbedaan signifikan pada penurunan kadar krom antara hari ke-3 dan hari ke-7, dengan $t_{hitung} > t_{tabel}$ 5% yaitu $2,489 > 2,201$. Sementara itu, penurunan kadar krom antara hari ke-7 dan hari ke-11 tidak terdapat perbedaan signifikan, dengan $t_{hitung} < t_{tabel}$ 5% yaitu $1,618 < 2,201$, sedangkan penurunan kadar krom antara hari ke-3 dan hari ke-11 terdapat perbedaan signifikan dengan $t_{hitung} > t_{tabel}$ 5% yaitu $2,770 > 2,201$. Hubungan Kepadatan *Chlorella sp.* terhadap Penurunan Kadar Krom Total

Hubungan yang kuat antara kepadatan sel dan penurunan kadar krom total limbah cair pada hari ke-3, ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi (R^2) yang mendekati 1. Peningkatan kepadatan sel *Chlorella sp.* pada hari ke-3 berbanding terbalik dengan penurunan kadar krom total limbah cair. Hal ini, diperkuat dengan uji analisis sidik ragam perlakuan secara statistika. Analisis data dengan ANOVA (signifikan nyata 5%) dan uji lanjut BNT (taraf 5%) memberikan hasil berbeda nyata. Beda nyata ditunjukkan dengan perbedaan indeks masing-masing perlakuan pada hari ke-3. Perlakuan kepadatan rendah dan sedang memberikan hasil yang cenderung sama, ditandai dengan kedua perlakuan memiliki indeks (a). Perlakuan kepadatan tinggi Kadar krom total limbah cair semua perlakuan mengalami penurunan pada hari ke-3, hari ke-7, dan hari ke-11. Penurunan kadar krom total jumlahnya berbeda pada setiap perlakuan, yang ditunjukkan dengan persamaan garis tren yang berbeda. Penurunan kadar krom total pada perlakuan dengan penambahan *Chlorella sp.* mengikuti tren garis fungsi logaritma, sedangkan pada perlakuan kontrol penurunan kadar krom total mengikuti tren garis polinomial pangkat dua. Koefisien persamaan garis pada perlakuan kepadatan rendah yaitu -0,94, sedangkan pada perlakuan kepadatan sedang sebesar -0,932, dan pada perlakuan kepadatan tinggi sebesar -0,923.

Penurunan kadar krom paling besar secara keseluruhan terjadi pada hari ke-3 dibandingkan hari ke-7 dan hari ke-11. Sedangkan, penurunan kadar krom paling kecil terjadi pada hari ke-11. Kondisi tersebut, menjelaskan bahwa semakin lama waktu bioremediasi maka semakin kecil penurunan kadar krom totalnya. Jumlah penurunan kadar krom total pada hari ke-3 sebesar 2,4587-4,1299 mg/L. Rata-rata kadar krom total limbah cair pada hari ke-3 paling tinggi berada pada perlakuan kontrol sebesar 1,6917 mg/L, diikuti dengan kepadatan tinggi sebesar 0,4560 mg/L,

lalu kepadatan sedang sebesar 0,0333 mg/L, dan penurunan paling kecil ada pada perlakuan kepadatan rendah sebesar 0,1277 mg/L. Persen removal semua perlakuan pada hari ke-3 untuk kepadatan rendah, sedang, tinggi, dan kontrol berturut-turut sebesar 99,5%, 96,9%, 89,0%, dan 59,2%. Penurunan kadar krom yang cepat menandakan bahwa kemampuan penyerapan logam oleh *Chlorella sp.* sangat baik pada awal kontak. Mehta *et al.* (2002) menambahkan, penurunan secara drastis logam berat pada paparan awal karena perbedaan afinitas antara ion logam dengan gugus fungsi yang ada pada permukaan sel mikroalga, sehingga menimbulkan gaya tarik hingga terbentuk ikatan antara keduanya (*physical absorption*) yang cenderung berlangsung dalam waktu yang singkat, dan terjadi pada permukaan sel mikroalga.

Penurunan kadar krom total pada hari ke-7 sebesar 0,0074-1,6713 mg/L, nilai ini lebih kecil dibandingkan penurunan hari ke-3. Tetapi, pada perlakuan kepadatan rendah mengalami kenaikan. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh *human error* pada saat sampling pengujian krom total.

Proses akumulasi ion logam ini cenderung menetap dalam sel karena harga konstanta laju pelepasan logam lebih kecil dibandingkan laju penyerapannya. Proses penyerapan dan akumulasi ion logam dalam sel akan dipecah dan diekskresikan, disimpan atau dimetabolisme oleh mikroalga tergantung konsentrasi dan potensial bahan kimia tersebut.

Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan uji *student t-test* untuk mengetahui tingkat signifikan data antar hari pengukuran. Hasil analisis diperoleh perbedaan signifikan pada penurunan kadar krom antara hari ke-3 dan hari ke-7, dengan $t_{hitung} > t_{tabel}$ 5% yaitu 2,489 > 2,201. Sementara itu, penurunan kadar krom antara hari ke-7 dan hari ke-11 tidak terdapat perbedaan signifikan, dengan $t_{hitung} < t_{tabel}$

Widiatmono, B.R., et.al

Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan

5% yaitu $1,618 < 2,201$, sedangkan penurunan kadar krom antara hari ke-3 dan hari ke-11 terdapat perbedaan signifikan dengan thitung > ttabel 5% yaitu $2,770 > 2,201$.

Hubungan Kepadatan *Chlorella sp.* terhadap Penurunan Kadar Krom Total

Hubungan yang kuat antara kepadatan sel dan penurunan kadar krom total limbah cair pada hari ke-3, ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi (R^2) yang mendekati 1. Peningkatan kepadatan sel *Chlorella sp.* pada hari ke-3 berbanding terbalik dengan penurunan kadar krom total limbah cair. Hal ini, diperkuat dengan uji analisis sidik ragam perlakuan secara statistika. Analisis data dengan ANOVA (signifikan nyata 5%) dan uji lanjut BNT (taraf 5%) memberikan hasil berbeda nyata. Beda nyata ditunjukkan dengan perbedaan indeks masing-masing perlakuan pada hari ke-3. Perlakuan kepadatan rendah dan sedang memberikan hasil yang cenderung sama, ditandai dengan kedua perlakuan memiliki indeks (a). Perlakuan kepadatan tinggi.

Penelitian Srivastava et al. (2007) menemukan bahwa pada limbah penyamakan kulit terdapat bakteri *indigenous* yang diidentifikasi sebagai *Acitenobacter sp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *E. Coli*. Ketiga bakteri tersebut mampu menurunkan kadar krom secara berturut-turut sebesar 86%, 55%, dan 45% dari konsentrasi awal sebesar 500 ppm (pada kondisi pH 7 dan suhu 37°C) selama 7 hari.

KESIMPULAN

Chlorella sp. mampu menurunkan kadar krom total limbah cair industri penyamakan kulit lebih cepat dibandingkan tanpa *Chlorella sp.* Efektivitas penurunan kadar krom total pada limbah cair terdapat pada hari ke-3 bioremediasi dengan nilai persen removal

sebesar 99,5% (kepadatan rendah), 96,9% (kepadatan sedang), 89,0% (kepadatan tinggi), dan 59,2% (tanpa *Chlorella sp.*) Kadar krom total pada limbah cair industri penyamakan kulit secara alami menurun seiring berjalannya waktu akibat adanya bakteri *indigenous* yang memiliki kemampuan untuk mereduksi krom total pada media tumbuhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amini, S. Dan Syamdidi. 2006. *Konsentrasi Unsur Hara pada Media dan Pertumbuhan Chlorella vulgaris dengan Pupuk Anorganik Teknis dan Analis.* Jurnal Perikanan (J. Fish. Sci.) VII(2): 201-206.
- Astrid, T., Rahardja, . S., dan Masithah, E. D. 2013. *Pengaruh Konsentrasi Pupuk Lemna minor terhadap Populasi Dunaliella salina.* Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan 5(1): 61-66.
- Banfalvi G. 2011. *Cellular effects of heavy metals.* Springer. London, pp. 364.
- Chekroun, K. B., dan Baghour, M. 2013. *The Role of Algae in Phytoremediation of Heavy Metals: A Review.* Journal of Material and Environmenttal Science 4(6): 873-880.
- Esmaeili, A., Nia, A. M., dan Vazirinejad, R. 2005. *Chromium (III) Removal and Recovery from Tannery Wastewater by Precipitation Process.* American Journal of Applied Science. Vol 2(10): 1471-1473.
- Gubernur Jatim. 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Mengenai Baku Mutu Limbah Bagi Industri dan/atau*

Widiatmono, B.R., et.al

- Kegiatan Usaha Lainnya. Gubernur Jawa Timur. Surabaya.
- Gokhale, S. V., Jyoti, K. K., Lele, S. S. 2008. *Kinetic and Equilibrium Modelling of Chromium (VI) Biosorption on Fresh and Spent Spirulina plantesis/Chlorella vulgaris Biomass*. Bioresour. Technol 99(9): 3600-3608.
- Han, X., Wong, Y. S., dan Tam, N. F. Y. 2006. *Surface Complexation Mechanism and Modelling in Cr(III) Biosorption by a Microalgal Isolate, Chlorella miniata*. Journal of Colloid and Interface Science 303: 365-371.
- Kabinawa, I. N. K. 2006. *Spirulina : Ganggang Penggempur Aneka Penyakit, bab 5*. AgroMedia Pustaka. Tangerang.
- Maharsyah, T., Lutfi, M., dan Nugroho, W. A. 2013. *Efektivitas Penambahan Plant Growth Promoting Bacteria (Azospirillum sp) dalam Meningkatkan Pertumbuhan Mikroalga (Chlorella sp) pada Media Limbah Cair Tahu setelah Proses Anaerob*. Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem 1(3): 258-264.
- Mehta, S. K., Singh, A., dan Gaur, J. P. 2002. *Kinetics of Adsorption and Uptake of Cu²⁺ by Chlorella vulgaris Influence of pH, Temperature, Culture Age, and Cations..* Journal of Environmental Science and Health A37(3): 399-414.
- Napan, K., Kumarasamy, K., Quinn, J. C., dan Wood, B. 2016. *Contamination Levels in Biomass and Spent Media from Algal Cultivation System Contaminated* **Munaf, et.al Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan** with Metals. Journals of Algal Research 19: 39-47.

Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan

- Purnamawati, F. S., Soerprobawati, T. R., dan Izzati, M. 2015. *Potensi Chlorella vulgaris Beijerinck dalam Remediasi Logam Berat Cd dan Pb Skala Laboratorium*. BIOMA. Vol 16(2): 102-113.
- Richmond, A. 2004. *Handbook of Microalgal Culture : Biotechnology and Applied Phycology, ch 1 and 4*. Blackwell Publishing. Oxford.
- Romera, E., Gonzales, F., Ballester, A., Blazquez, M. L., dan Munoz, J. A. 2007. *Comparative Study of Biosorption of Heavy Metals using Different Types of Algae*. Bioresource Technology 98: 3344-3353.
- Shun-gui, Z., Li-xiang, Z., Shi-mei, W., dan Di, F. 2006. *Removal of Cr from Tannery Sludge by Bioleaching Method*. Journal of Environmental Science 18(5): 885-890.
- Soerprobawati, T. R. dan Hariyati R. 2013a. *Potensi Mikroalga Sebagai Agen Bioremediasi dan Aplikasinya dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri*. Laporan akhir Penelitian Fundamental. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Soerprobawati, T.R, and Hariyati, R. 2013b. *Bioaccumulation of Pb, Cd, Cu, and Cr by Porphyridium cruentum (S.F. Gray) Nägeli*. International R. Journal of Marine Science 3(27): 212-218.
- Srivastava, J., Chandra, H., Tripathi, K., Narayan, R., dan Sahu, R. K. 2008. *Removal of Chromium(IV) through Biosorption by the Pseudomonas spp. Isolated from Tannery Effluent* Journal of Basic Microbiology 48: 135-139.
- Srivastava, S., Ahmad, A. H., Thakur, I. S. 2007. *Removal of Chromium and*

Widiatmono, B.R., et.al

Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan

Pentachlorophenol from Tannery Effluents. Bioresource Technology 98: 1128-1132.

Taziki, M. Ahmadzadeh, H., Murry, M. A. 2015. *Growth of Chlorella vulgaris in High Concentrations of Nitrate and Nitrite for Wastewater Treatment. Biotechnology Journal* 4: 1-7.

Umainana, M. R., Mubarak, A. S., dan Masithah, E. D. 2012. *Pengaruh Konsentrasi Pupuk Daun Turi Putih (Sesbania grandiflora) terhadap Populasi Chlorella sp. Universitas Airlangga. Surabaya.*

Wetipo, Y. S., Mangimbulude, J. C., dan Rondonuwu, F. S. 2013. *Potensi Chlorella sp. sebagai Agen Bioremediasi Logam Berat di Air. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan X* 10(1): 115-119.

Xie, Y., Li, H., Wang, X., Son, I., Lu, Y., dan Jing, K. 2014. *Kinetic Simulating of Cr(IV) Removal by the Waste Chlorella vulgaris Biomass. Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineering* 45: 1173-1782.