

Literature Study of the Effectiveness of Bioremediation Methods on Chromium Reduction in Tanning Wastewater

Inayah Khuzaimah¹, Dwi Astuti²

^{1,2} Department of Public Health, Universitas Muhammadiyah Surakarta, , Indonesia

✉ 0180013@student.ums.ac.id, dwi.astuti@ums.ac.id

Abstract

*The leather tanning industry is an industry that processes animal skin into a craft, the tanning process requires a large enough amount of water to produce a large enough liquid waste, in wastewater there is a concentration of chromium, dangerous if discharged into the environment without treatment, so a further approach is needed to find effective microorganisms to reduce chromium levels. The purpose of this literature study is to analyze articles related to bioremediation testing to reduce chromium levels in tannery wastewater. The research method uses a literature study design using the PubMed, Science Direct, and Google Scholar databases, article searches starting in the year of publication 2012 to 2022, keywords using Indonesian and English, namely tannery, tannery wastewater, bioremediation, chromium, using the conjunction "AND", the inclusion criteria in the search are the independent variable chromium levels in tannery wastewater, the dependent variable bioremediation by microorganisms, accessible in full text, experimental methods, journals with ISSN or indexed by SINTA or Scopus. Based on 6 journals that have been reviewed, 3 microorganisms were found to successfully reduce chromium levels, namely bacteria, fungi and microalgae. The most effective microorganism to reduce chromium levels is the bacterium *Marinobacter hydrocarbonoclasticus*. The duration of the study was 5 days and the decrease in chromium levels aerobically amounted to 49.25 mg/L (88%) while anaerobically amounted to 49.35 mg/L (89%). Bioremediation is an effective and environmentally friendly method. The results of this study are expected to contribute ideas to prevent environmental pollution due to tannery waste.*

Keywords: Tannery wastewater; Bioremediation; Chromium; Leather tanning.

Studi Literatur Efektivitas Metode Bioremediasi Terhadap Penurunan Kromium Pada Air Limbah Penyamakan Kulit

Abstrak

Industri penyamakan kulit merupakan industri yang mengolah kulit hewan menjadi suatu kerajinan, proses penyamakan kulit membutuhkan air dalam jumlah yang cukup besar sehingga menghasilkan limbah cair yang cukup besar, pada air limbah terdapat konsentrasi kromium, berbahaya jika dibuang ke lingkungan tanpa adanya pengolahan, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih lanjut untuk mencari mikroorganisme yang efektif untuk menurunkan kadar kromium tersebut. Tujuan dari studi literatur ini yaitu untuk menganalisis artikel terkait pengujian bioremediasi terhadap penurunan kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit. Metode penelitian menggunakan desain studi literatur yang menggunakan *database PubMed, Science Direct, dan Google Scholar*, penelusuran artikel dimulai pada tahun terbit 2012 sampai tahun 2022, kata kunci menggunakan Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris yaitu penyamakan kulit, air limbah penyamakan kulit, bioremediasi, kromium, menggunakan kata hubung "AND", kriteria inklusi pada pencarian yaitu variabel bebas kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit, variabel terikat bioremediasi oleh mikroorganisme, dapat diakses secara *full text*, metode eksperimen, jurnal ber-ISSN atau terindeks SINTA maupun

Scopus. Berdasarkan 6 jurnal yang telah dikaji, didapatkan 3 mikroorganisme berhasil menurunkan kadar kromium yaitu bakteri, jamur dan mikroalga. Mikroorganisme yang paling efektif untuk menurunkan kadar kromium adalah bakteri *Marinobacter hydrocarbonoclasticus*. Lama waktu penelitian adalah 5 hari dan penurunan kadar kromium secara aerob sebesar 49,25 mg/L (88%) sedangkan secara anaerob sebesar 49,35 mg/L (89%). Bioremediasi menjadi metode yang efektif dan ramah lingkungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan pemikiran untuk mencegah pencemaran lingkungan akibat dari limbah penyamakan kulit.

Kata kunci: Air limbah penyamakan kulit; Bioremediasi; Kromium; Penyamakan kulit.

1. Pendahuluan

Industri penyamakan kulit merupakan industri yang mengolah kulit hewan, khususnya sapi, kerbau, kuda, domba, kambing dan reptil, yang diolah menjadi segala jenis kerajinan. Pada proses penyamakan kulit membutuhkan air dalam jumlah yang cukup besar, sehingga hal tersebut menghasilkan limbah yang cukup besar. Negara Jerman, Amerika Serikat, dan Negara-negara Eropa lainnya merupakan importir utama kulit dan produk kulit, sementara Negara-negara seperti India, Cina, Pakistan, Mesir, Brazil, Thailand dan Indonesia merupakan pengekspor utama kulit dan produk kulit [1]. Sejak tahun 1990-an industri penyamakan kulit China berkembang pesat, dan menjadi Negara dengan industri penyamakan kulit terbesar di dunia [2]. Industri penyamakan kulit di China, membuang lebih dari seratus juta ton air limbah per tahun, dimana air limbah tersebut mengandung 3,5 juta ton COD, 1,4 juta ton BOD, 16.800 ton kromium, 14.000 ton sulfida, dan 210.000 ton bahan tersuspensi [3]. Industri penyamakan kulit di Indonesia memproduksi 23,5 juta lembar atau 250.000 kaki persegi kulit jadi pada setiap tahun [4]. Di Indonesia, daerah yang terkenal memproduksi bahan kulit yang berkualitas adalah Sukaregang, Kabupaten Garut, yang memiliki 330 pengusaha penyamakan kulit, tersebar di wilayah seluas 57,750 ha, dengan total bahan kulit yang dihasilkan mencapai 10.634m².

Penyamakan kulit merupakan cara untuk mencegah terjadinya kerusakan pada jaringan yang disebabkan oleh bakteri pembusuk. Prinsip dari penyamakan kulit adalah membuat kulit stabil, tahan lama, dan bebas dari mikroorganisme perusak kulit. Yang dilakukan dengan cara mereaksikan kulit mentah dengan zat penyamak kulit menggunakan bahan kimia maupun bahan nabati (Kasim *et al.*, 2018). Dalam proses operasionalnya, limbah yang dihasilkan oleh industri penyamakan kulit adalah limbah cair, limbah padat dan limbah gas (Murti *et al.*, 2013). Pada kegiatan penyamakan kulit menghasilkan air limbah sebanyak 90.000 liter/bulan yang secara langsung dibuang ke badan sungai [5]. Limbah dari industri pengolahan kulit dapat diperoleh dari proses penyamakan kulit maupun dari proses pengolahan kulit. Penyamakan kulit memerlukan proses perendaman, pengapuran, *deliming*, pelunakan, pengawetan, penyamakan, pencelupan, penghilangan lemak dan *finishing*, dimana limbah cair merupakan limbah yang paling banyak dihasilkan [6]. Kromium adalah bahan penyamak kulit yang paling banyak digunakan dalam industri penyamakan kulit dan sekitar 85% kulit disamak dengan krom [7].

Limbah cair yang dihasilkan masih terdapat konsentrasi kromium yang cukup besar sehingga akan berbahaya untuk dibuang ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu [8]. Dimana air limbah dari industri penyamakan kulit umumnya mengandung 60-70% senyawa logam kromium sulfat yang dihasilkan karena tidak semua kromium dapat diserap oleh kulit selama proses penyamakan [9]. Kromium merupakan salah satu

kandungan dalam logam yang dapat mengakibatkan genotoksik (racun), karsinogenik dan non karsinogenik. Kromium dalam bentuk Valensi Cr^{3+} merupakan bentuk yang banyak digunakan dalam penyamakan kulit, sebagai katalis pada industri dalam pewarna pada cat dan fungisida. Valensi Cr^{6+} banyak dijumpai di perairan akibat dari kegiatan industri dan domestik di air limbahnya (Berniyanti, 2018). Krom mempunyai kelarutan yang tinggi dalam perairan, dimana krom mempunyai sifat toksik, korosif, dan karsinogenik karena dapat menyebabkan kanker paru-paru jika masuk ke dalam tubuh. Kandungan krom yang melebihi batas yang diperlukan pada tubuh bisa mengakibatkan kematian [10].

Untuk mencegah pencemaran tersebut perlu dilakukan pengolahan terhadap air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah dapat menggunakan metode bioremediasi. Prinsip dasar bioremediasi adalah proses pembersihan lingkungan menggunakan aktivitas metabolisme mikroorganisme yang mengubah polutan menjadi zat lain yang tidak berbahaya melalui proses mineralisasi, pembentukan karbon oksida dan karbon dioksida, air, atau mengubahnya menjadi biomassa mikroba. Polutan, terutama yang berasal dari industri, sangat berbahaya jika dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu (Fidiastuti *et al.*, 2019). Metode ini merupakan metode yang relatif lebih ramah lingkungan karena limbah yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan pengolahan secara fisik-kimia [11]. Selain itu metode bioremediasi juga efektif dan hemat biaya [12].

Penelitian yang dilakukan oleh Vijayaraj *et al.*, pada tahun 2019 bakteri *Citrobacter freundii* mampu mengurangi kadar kromium sebesar 73% dan kadar sulfat sebesar 68%, sehingga menurunkan kadar dengan baik di bawah batas yang diizinkan yang telah ditetapkan oleh *Bureau of Indian Standards* (BIS). Secara khusus, beban organik seperti BOD dan COD juga berkurang masing-masing sebesar 86% dan 80%. Kemudian penelitian lain yang dilakukan oleh Das *et al.*, pada tahun 2018 mikroalga laut *Chlorella sp.* dan *Phormidium sp.*, mampu mengurangi kadar BOD dan COD sebesar 90% dalam konsorium dan lebih dari 80% secara individu. Kadar TN dan TP berkurang hingga 91.16% dan 88% masing-masing oleh konsorium. Efisiensi pengurangan kadar kromium berkisar antara 90.17 – 94.45%.

Berdasarkan uraian di atas, air limbah penyamakan kulit yang mengandung logam kromium dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan apabila dibuang secara langsung tanpa adanya pengolahan. Sehingga diperlukan pendekatan yang lebih lanjut untuk mencari jenis mikroorganisme yang efektif untuk dapat menurunkan kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan studi literatur dengan judul “Efektivitas Metode Bioremediasi Terhadap Penurunan Kromium Pada Air Limbah Penyamakan Kulit”.

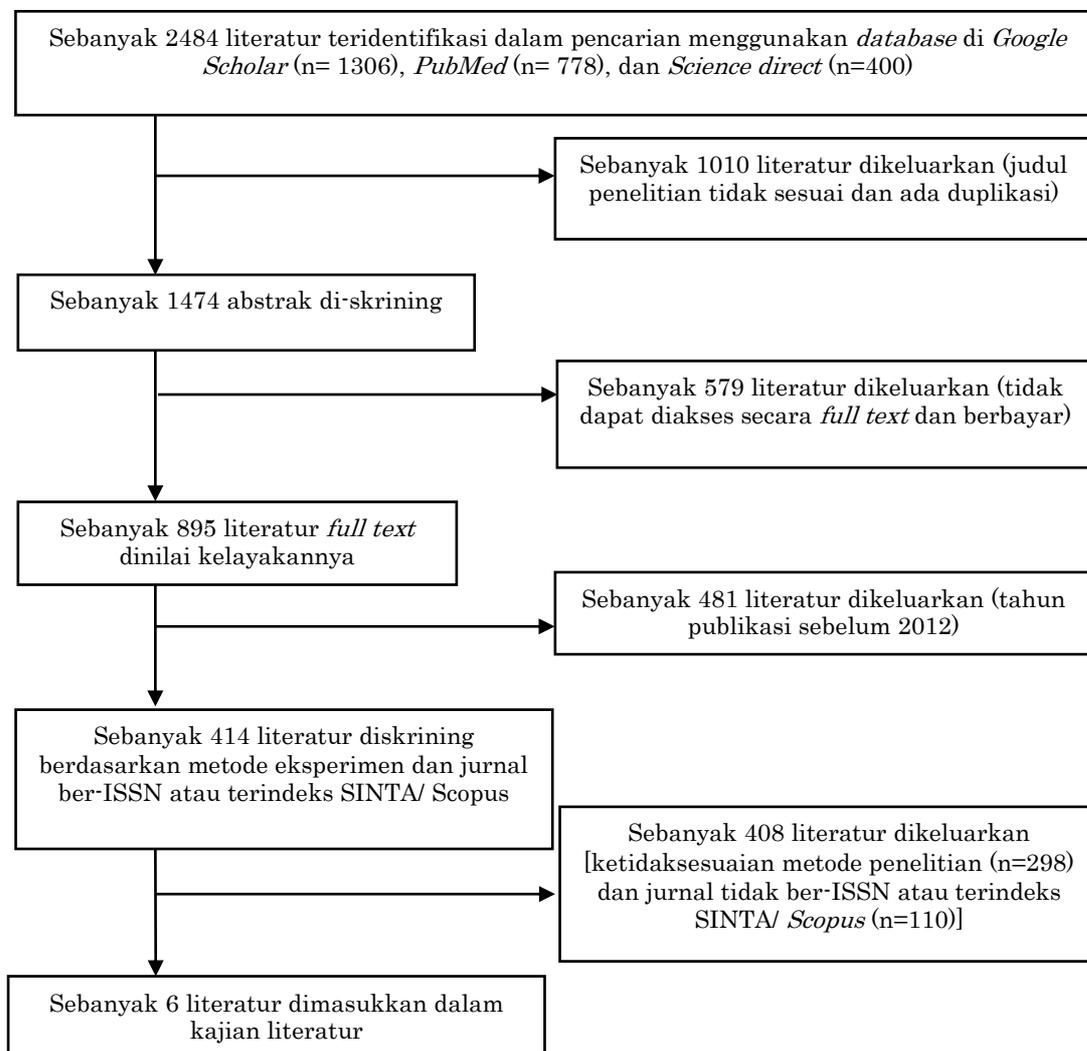
2. Metode

Jenis penelitian ini menggunakan studi literatur yaitu metode penelitian dengan cara menganalisis, merangkum, mengevaluasi, dan menyintesis suatu dokumen dari berbagai sumber untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang efektivitas metode bioremediasi terhadap penurunan kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit. Metode tersebut menggunakan berbagai jenis mikroorganisme untuk dapat mendegradasi logam kromium pada air limbah penyamakan kulit. Beberapa jenis mikroorganisme yang digunakan pada metode ini diantaranya berupa bakteri, jamur, dan mikroalga. Penelusuran artikel ini menggunakan *database PubMed*, *Science Direct* dan *Google Scholar*. Penelusuran literatur dimulai pada tahun terbit 2012 sampai tahun 2022.

Kata kunci yang digunakan pada penelusuran artikel menggunakan Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris yaitu “Penyamakan Kulit”, “Air Limbah Penyamakan Kulit”, “Bioremediasi”, “Kromium”, “*Tannery*”, “*Tannery wastewater*”, “*Bioremediation*”, dan “*Chromium*” dengan menggunakan kata hubung “AND”.

Kriteria inklusi dalam pencarian artikel ini adalah variabel terikat kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit, variabel bebas bioremediasi oleh mikroorganisme, artikel dapat diakses secara *full text*, metode penelitian menggunakan jenis penelitian eksperimen, jurnal yang diterbitkan ber-ISSN (*International Standart Serial Number*) atau terindeks SINTA 1-6 atau terindeks *Scopus*. Kriteria eksklusi dalam pencarian artikel ini adalah jurnal tidak dapat diakses secara lengkap dan berbayar, jurnal dipublikasikan sebelum tahun 2012.

Dalam literatur ini telah dilakukan seleksi untuk pemilihan jurnal yang akan dikaji, sebagaimana disajikan pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Alur Pemilihan Literatur

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pencarian artikel dengan menggunakan kata kunci di atas sebanyak 2484 literatur teridentifikasi dalam pencarian menggunakan *database* di *Google Scholar*, *PubMed*, dan *Science direct*. Artikel yang telah diperoleh kemudian dilakukan penyaringan jurnal yang fokus kepada penurunan kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit dengan metode bioremediasi. Berikut adalah hasil penyaringan literatur yang akan dianalisis menggunakan kajian literatur dengan sebanyak 6 jurnal yang telah diperoleh.

Tabel 1. Hasil Pemilihan Jurnal

Peneliti, tahun	Judul	Jurnal, volume dan terindeks	Jenis Mikroorganisme	Hasil
Vijayaraj <i>et al.</i> , 2018	Effective bioremediation and toxicity assessment of tannery wastewaters treated with indigenous bacteria https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6162197/	3 Biotech (2018) 8:428 https://doi.org/10.1007/s13205-018-1444-3 Terindeks Scopus DOI: 10.1007/s13205-018-1444-3 ISSN: 21905738	Bakteri <i>Citrobacter freundii</i>	<i>Citrobacter freundii</i> dapat menurunkan konsentrasi kromium masing-masing dari 44,61 dan 50,85 mg/L menjadi 12,17 dan 17,19 mg/L untuk limbah Kanpur (KE) dan Chennai (CE) dalam waktu 5 hari
Vijayaraj <i>et al.</i> , 2018	Microremediation of tannery wastewater by siderophore producing marine bacteria https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31070993/	Environmental Technology, 41(27): 3619-3632. https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1615995 Terindeks Scopus DOI: 10.1080/09593330.2019.1615995 ISSN: 1479487X	Bakteri <i>Marinobacter hydrocarbonoclasticus</i>	<i>Marinobacter hydrocarbonoclasticus</i> dapat mengurangi kadar kromium sebesar 88% dan 89% dengan ada dan tidak adanya oksigen, sehingga menurunkan kadar dari 55,15 mg/L menjadi masing-masing 5,9 dan 5,8 mg/L dalam waktu 5 hari
Kookhaee <i>et al.</i> , 2022	Isolation and characterization of chromium (VI) tolerant bacteria from tannery effuents https://link.springer.com/article/10.1007/s40201-022-00791-5#citeas	Journal of Environmental Health Science and Engineering Terindeks Scopus DOI: 10.1007/s40201-022-00791-5 ISSN: 2052336X	Bakteri <i>Lactococcus lactis</i>	<i>Lactococcus lactis</i> menunjukkan pertumbuhan optimal pada pH 6, suhu 25°C, dan setelah inkubasi selama 24-72 jam (1-3 hari) . Biosorpsi krom maksimum terjadi pada akhir fase pada kondisi yang dioptimalkan dan efisiensi penyisihan krom diperkirakan sebanyak 52,5%
Zapana-Huarache <i>et al.</i> ,	Chromium (VI) bioremediation potential of filamentous fungi	Brazilian Journal of Microbiology (2020) 51:271–278	Jamur <i>Penicillium citrinum</i> dan	<i>Penicillium citrinum</i> dan <i>Trichoderma viride</i> menunjukkan

2020	isolated from Peruvian tannery industry effluents https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7058732/	Peruvian industry	https://doi.org/10.1007/s42770-019-00209-9 Terindeks Scopus	<i>Trichoderma viride</i>	toleransi terhadap konsentrasi Cr (VI) hingga 250 mg/L. Spesies jamur ini terbukti mampu beradaptasi dengan 500 mg/L Cr (VI). Ketika terkena Konsentrasi Cr (VI) yang lebih tinggi (1000 mg/L) hanya <i>Trichoderma viride</i> yang mampu menunjukkan pertumbuhan. Keduanya mampu berasaptasi dengan kromium masing-masing setelah 6 dan 12 hari.
Vidyalax mi <i>et al.</i> , 2019	Potential of novel <i>Dunaliella salina</i> from sambhar salt lake, India, for bioremediation of hexavalent chromium from aqueous effluents: An optimized green approach https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31112842/	novel from sambhar salt lake, India, for bioremediation of hexavalent chromium from aqueous effluents: An optimized green approach	Ecotoxicology and Environmental Safety 180 (2019) 430–438 Terindeks Scopus	Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	<i>Dunaliella salina</i> menunjukkan biosorpsi kromium heksavalen tertinggi (64,4%) pada pH 8,6 dan dalam waktu 120 jam (5 hari)
Das <i>et al.</i> , 2018	Efficient bioremediation of tannery wastewater by monostrains and consortium of marine <i>Chlorella sp.</i> and <i>Phormidium sp.</i> https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29053344/	Efficient bioremediation of tannery wastewater by monostrains and consortium of marine <i>Chlorella sp.</i> and <i>Phormidium sp.</i>	International Journal of Phytoremediation, 20 (3): 284-292. Terindeks Scopus DOI: 10.1080/15226514.2017.1374338 ISSN: 15497879	Mikroalga <i>Chlorella sp.</i> dan <i>Phormidium sp.</i>	<i>Chlorella sp.</i> dan <i>Phormidium sp.</i> Secara substansial mengurangi kromium pada air limbah masing-masing sebanyak 81,38% dan 90,45%. Secara konsorsium mengurangi kadar kromium sebanyak 92,51% pada hari ke 15

Berdasarkan tabel 1 dapat diketahui bahwa dari 6 jurnal yang didapatkan, ada 3 jurnal yang menggunakan bakteri sebagai mikroorganisme yang dapat menurunkan kadar kromium. Bakteri yang digunakan adalah *Citrobacter freundii* [13], *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* [18], dan *Lactococcus lactis* [14]. Kemudian 1 jurnal yang menggunakan jamur pada penelitiannya yaitu jamur *Penicillium citrinum* dan *Trichoderma viride* [15], 2 jurnal yang menggunakan mikroalga dalam penelitiannya yaitu Mikroalga *Dunaliella salina* [16], serta mikroalga *Chlorella sp.* dan *Phormidium sp.* [17].

Tabel 2. Hasil Analisis Metode Penelitian

Peneliti, Tahun	Sampel	Variabel Bebas	Variabel Terikat	Metode Analisis Cr	Uji Statistik
Vijayaraj <i>et al.</i> , 2018	Air limbah penyamakan kulit dari Jajmau, Kanpur	Bakteri <i>Citrobacter freundii</i>	Penurunan kadar Cr, sulfat, dan BOD	Spektrofotometri dengan metode 1,5-difenil	Uji Shapiro-Wilk, ANOVA dua arah, dan korelasi Pearson

	(KE), Uttar Pradesh dan dari Instalasi Pengolahan Limbah Umum (CETP), Pallavaram, Chennai (CE), India	dan lama waktu (5 hari)			karbazida	
Vijayaraj <i>et al.</i> , 2019	Air limbah penyamakan kulit dari Common Effluent Treatment Plant (CETP), Pallavaram, Chennai, India	Bakteri <i>Marinobacter hydrocarbonoclasticus</i> dan lama waktu (5 hari)	Penurunan kadar Cr, sulfat, nitrat, dan fosfat		Spektrofotometri dengan metode 1,5-difenil karbazida	Uji Shapiro-Wilk, ANOVA dua arah, dan korelasi Pearson
Kookhaee <i>et al.</i> , 2022	Air limbah penyamakan kulit yang dikumpulkan dari industri penyamakan kulit yang terletak di kompleks industri Charmshahr, Varamin, Taheran, Iran	Bakteri <i>Lactococcus lactis</i> dan lama waktu 24-72 jam (1-3 hari)	Penurunan kadar Cr		Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1700, Jepang) dan spektrometri emisi plasma optik yang digabungkan secara induktif (ICP-OES, Agilent, 5100, Australia)	Uji Shapiro-Wilk dan Uji Korelasi Rank Spearman
Zapana-Huarache <i>et al.</i> , 2020	Air limbah penyamakan kulit yang membentuk danau yang terletak di timur laut dari pusat kota Arequipa, di distrik Cerro Colorado (Arequipa-Peru)	Jamur <i>Penicillium citrinum</i> , <i>Trichoderma viride</i> , dan lama waktu 6 dan 12 hari	Kadar Cr		Tidak dijelaskan	ANOVA
Vidyalaxmi <i>et al.</i> , 2019	Tidak dijelaskan	Mikroalga <i>Dunaliella salina</i> dan lama waktu 120 jam (5 hari)	Kadar Cr		Spektrofotometer UV-Visible (Agilent Technologies, Australia) dengan 1,5-difenilkarbazida, Metode APHA (1999)	ANOVA dengan Uji Fisher's F test
Das <i>et al.</i> , 2018	Air limbah penyamakan kulit dari CETP di Pallavaram, Chennai, Tamil Nadu, India	Mikroalga <i>Chlorella</i> sp. dan <i>Phormidium</i> sp. dan lama waktu 15 hari	Penurunan kadar Cr, BOD, COD, TDS, nitrogen, fosfor		Kolorimetri difenilkarbazida (DPC) (APHA, 2005)	Korelasi Pearson dan ANOVA dua arah

Berdasarkan pada Tabel 2, diketahui bahwa variabel bebas yaitu bakteri *Citrobacter freundii* [13], bakteri *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* [19], bakteri *Lactococcus lactis* [14], jamur *Penicillium citrinum* dan *Trichoderma viride* [15], mikroalga *Dunaliella salina* [16], mikroalga *Chlorella sp.* dan *Phormidium sp.* [17], serta lama waktu [13]–[17], [19], dengan variabel terikat yaitu penurunan kadar kromium (Cr). Persamaan lain yang terdapat pada 3 jurnal yaitu menggunakan metode analisis Cr dengan Spektrofotometri dengan metode 1,5-difenil karbazida [13], [16], [19]. Selain itu terdapat 5 jurnal yang menggunakan uji statistik ANOVA [13], [15]–[17], [19], uji statistik Shapiro-Wilk pada 2 jurnal [13], [19], serta Uji Korelasi Pearson pada 3 jurnal [13], [17], [19].

Ditemukan perbedaan pada jurnal yang menggunakan metode analisis Cr dengan Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1700 Jepang dan spektrometri emisi plasma-optik yang digabungkan secara induktif ICP-OES Agilent 5100 Australia [14]. Metode Spektrofotometer UV-Visible Agilent Technologies Australia dengan 1,5-difenilkarbazida, metode standar untuk pemeriksaan air dan air limbah menggunakan APHA, 1999 [16]. Metode Kolorimetri difenilkarbazida DPC APHA 2005 [17], sedangkan pada penelitian Zapana-Huarache *et al.*, 2020 tidak menjelaskan metode yang digunakan untuk analisis kromium. Selain itu perbedaan lainnya ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Kookhae *et al.*, 2022 yang menggunakan Uji Korelasi Rank Spearman, serta penelitian Vidyalaxmi *et al.*, 2019 menggunakan Uji Fisher's F test.

Tabel 3. Hasil Analisis Penurunan Kadar Kromium (Cr) Pada Air Limbah

Peneliti, tahun	Mikro-organisme	Lama waktu	Sebelum perlakuan	Setelah perlakuan	Selisih	% Penurunan	Hasil
Vijayaraj <i>et al.</i> , 2018	Bakteri <i>Citrobacter freundii</i>	5 hari	Limbah Kanpur (KE)= 44,61 mg/L	Limbah Kanpur (KE)= 12,17 mg/L	KE= 32,44 mg/L CE= 33,66 mg/L	72,72 % 66,19 %	Berhasil menurunkan
Vijayaraj <i>et al.</i> , 2019	Bakteri <i>Marinobacter hydrocarbonoclasticus</i>	5 hari	55,15 mg/L	Dengan oksigen= 5,9 mg/L Tanpa oksigen= 5,8 mg/L	49,25 mg/L 49,35 mg/L	88% 89%	Berhasil menurunkan
Kookhae <i>et al.</i> , 2022	Bakteri <i>Lactococcus lactis</i>	24-72 jam	20 mg/L	Tidak dijelaskan		52,5%	Berhasil menurunkan
Zapana-Huarache <i>et al.</i> , 2020	Jamur <i>Penicillium citrinum</i> dan Jamur <i>Trichoderma viride</i>	6 hari 12 hari	Tidak dijelaskan	Tidak dijelaskan	-	-	Toleran terhadap kromium hingga 500 mg/L <i>T. viride</i> toleran terhadap

							kromium hingga 1000 mg/L
Vidyalaxmi <i>et al.</i> , 2019	Mikroalga <i>Dunaliella salina</i>	120 jam (5 hari)	5-25 mg/L	Tidak dijelaskan	-	66,4%	Berhasil menurunk an
Das <i>et al.</i> , 2018	Mikroalga <i>Chlorella</i> dan <i>Phormidium</i> sp.	15 hari	9,57 mg/L\	0,52-0,98 mg/L	9,05- 8,59	81,38 % 90,45 %	Berhasil menurunk an

Berdasarkan pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa terdapat 3 penelitian yang memerlukan waktu 5 hari untuk dapat menurunkan kadar kromium menggunakan bakteri *Citrobacter freundii* [13], menggunakan bakteri *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* [19], dan menggunakan mikroalga *Dunaliella salina* [16]. Penelitian yang dilakukan oleh Kookhaee *et al.*, 2022 memerlukan waktu yang paling sedikit yaitu sekitar 24–72 jam atau 1-3 hari dengan menggunakan bakteri *Lactococcus lactis*. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Das *et al.*, 2018 yang menggunakan mikroalga *Chlorella* sp. dan *Phormidium* sp. memerlukan waktu yang paling lama yaitu hingga 15 hari.

Pada penelitian Vijayaraj *et al.*, 2019 kadar kromium berkurang sebesar 49,25-49,35 mg/L dalam waktu 5 hari. Penelitian Vijayaraj *et al.*, 2018 kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit di Kanpur berkurang sebesar 32,44 mg/L dan 33,66 mg/L pada air limbah di Chennai dalam waktu 5 hari. Penelitian Kookhaee *et al.*, 2022 kadar kromium berkurang sebesar 52,5% dalam waktu 24-72 jam. Penelitian Vidyalaxmi *et al.*, 2019 kadar kromium berkurang sebesar 66,4% dalam waktu 120 jam atau 5 hari. Penelitian Das *et al.*, 2018 berkurang hingga 81,38-90,45%. Penelitian Zapana-Huarache *et al.*, 2020 menunjukkan bahwa Jamur *Penicillium citrinum* dan *Trichoderma viride* toleransi terhadap konsentrasi Cr (VI) hingga 250 mg/L. Spesies jamur ini terbukti mampu beradaptasi dengan 500 mg/L Cr (VI). Ketika terkena Konsentrasi Cr(VI) yang lebih tinggi yaitu 1000 mg/L hanya *Trichoderma viride* yang mampu menunjukkan pertumbuhan. Keduanya mampu beradaptasi dengan kromium masing-masing setelah 6 dan 12 hari. Artinya *Trichoderma viride* berpotensi untuk dapat menurunkan kadar kromium pada air limbah.

Berdasarkan hasil di atas dapat diketahui bahwa metode bioremediasi dengan menggunakan bakteri, jamur dan mikroalga dapat menurunkan kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit. Mikroorganisme yang paling efektif untuk menurunkan kadar kromium adalah bakteri *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* [19], dimana lama waktu pada penelitian adalah 5 hari dan penurunan kadar kromium secara aerob sebesar 49,25 mg/L (88%) sedangkan secara anaerob sebesar 49,35 mg/L (89%).

Hasil analisis enam artikel di atas, dapat diketahui bahwa enam jurnal terindeks Scopus. Selain itu diketahui lima jurnal penelitian yang menggunakan sampel air limbah penyamakan kulit, dan satu jurnal tidak menjelaskan sampel yang digunakan dalam penelitian. Metode yang digunakan pada semua jurnal menggunakan metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode penelitian ilmiah dimana peneliti mengontrol satu atau lebih variabel bebas dan mengamati variabel-variabel terikat untuk dapat menemukan



suatu variasi yang muncul bersamaan dengan variabel bebasnya [20]. Variabel bebas pada jurnal yang telah ditemukan adalah bakteri *Citrobacter freundii* [13]; bakteri *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* [19]; bakteri *Lactococcus lactis* [14], jamur *Penicillium citrinum* dan *Trichoderma viride* [15], mikroalga *Dunaliella salina* [16]; mikroalga *Chlorella sp.* dan *Phormidium sp.* [17], serta lama waktu [13]–[17], [19], dengan variabel terikat yaitu penurunan kadar kromium (Cr).

Menurut [21] pada industri penyamakan kulit terdapat tiga tahapan penyamakan kulit yaitu terdiri dari proses pengerjaan basah (*beam house*), proses penyamakan (*tanning*), penyelesaian akhir (*finishing*). Pada proses penyamakan dapat dilakukan dengan cara penyamakan dengan bahan penyamak nabati dan dengan bahan penyamakan mineral. Bahan penyamak nabati yang biasa digunakan yaitu mimosa atau kulit kayu akasia [22], bakau, mahoni, manggis, teh, pinang dan pisang [23]. Bahan penyamak mineral menggunakan bahan penyamak dari krom dan aluminium (tawas putih) dimana bahan kromium merupakan bahan yang paling banyak digunakan pada industri penyamakan kulit. Karena pada proses penyamakan kulit menggunakan bahan nabati masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk tidak menghasilkan kulit yang kaku, padat, dan keras, kemudian kestabilan terhadap panas rendah dikarenakan ikatan silang antara bahan penyamak dengan jaringan kolagen kurang kuat [24].

Industri penyamakan kulit menghasilkan limbah yang mengandung cairan residu penyamakan kimia seperti natrium sulfida, kromium, kapur dan amonia dalam jumlah yang cukup besar. Akan tetapi limbah industri penyamakan kulit biasanya mengandung logam kromium yang mencapai 60-70%, dimana logam tersebut berasal dari proses penyamakan yang menggunakan senyawa kromium sulfat [9]. Limbah cair penyamakan kulit memiliki karakteristik dengan warna coklat kehitaman, terlihat keruh, dan berbau tidak enak. Suhu limbah ini mencapai 28°C, mempunyai oksigen terlarut dengan nilai yang rendah yaitu 0.87 mg L⁻¹. Bersifat basa karena nilai derajat keasaman sebesar 12.48. kadar kromium dalam limbah mencapai 2.71 mg L⁻¹, hal ini diakibatkan oleh proses penyamakan kulit yang sebagian besar menggunakan bahan chromium pada proses *chrome tanning* [25]. Kromium heksavalen (Cr⁶⁺) dalam limbah industri penyamakan kulit umumnya dalam bentuk kromat (CrO₄²⁻). Efek dari keracunan kromium dapat menyebabkan iritasi kulit, akumulasi di hati, dan keracunan sistemik [26]. Selain itu masyarakat yang bertempat tinggal di dekat industri penyamakan kulit mengatakan bahwa sungai tercemar oleh limbah industri penyamakan kulit, hingga mempengaruhi kualitas air pada sumur, kemudian banyak pekerja industri yang mengalami ruam kulit, bronkitis kronis dan terdapat orang yang mengalami konjungtivitas akibat paparan kadar kromium yang berlebihan [27]. Menurut WHO 2019, total Cr dan Cr (VI) yang diperbolehkan pada standar baku mutu air limbah sebesar 0.5 mg/l dan 0.05 mg/l.

Dalam pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan metode bioremediasi. Bioremediasi merupakan proses pembersihan lingkungan dengan memanfaatkan organisme hidup untuk mengurangi bahkan menghilangkan bahan pencemar. Berdasarkan organisme yang digunakan, bioremediasi terdiri dari (mikro)bioremediasi, fikoremediasi, mikoremediasi, dan fitoremediasi. Dimana mikrobioremediasi menggunakan mikroba/bakteri, fikoremediasi menggunakan alga (mikro maupun makroalga), mikoremediasi menggunakan jamur, dan fitoremediasi menggunakan tumbuhan [28]. Dimana pada studi literatur ini memfokuskan pada bioremediasi oleh bakteri, jamur, dan mikroalga.



Sistem pengolahan pada air limbah penyamakan kulit dimulai dengan *Bar Screen* yang memiliki fungsi untuk menyisihkan limbah padat dari aliran limbah yang akan masuk pada unit pengolahan selanjutnya. Terdapat bak pemisah minyak dan lemak yang bekerja dengan cara gravitasi, yaitu dengan mengumpulkan lemak dan minyak pada bagian atas bak yang nantinya akan diambil secara manual. Kemudian bak equalisasi yang memiliki fungsi untuk menstabilkan aliran air limbah. Selanjutnya bak koagulasi dan flokulasi, pada bak koagulasi terjadi proses destabilisasi koloid dan partikel pada air dengan menggunakan pengadukan cepat dan bahan kimia (koagulan), sedangkan pada bak flokulasi terjadi proses penggabungan flok yang berasal dari bak koagulasi yang kemudian menjadi flok dengan ukuran yang lebih besar sehingga mudah untuk dipisahkan dengan proses pengendapan yang dibantu dengan pengadukan lambat. Selanjutnya pada bak sedimentasi atau pengendapan awal menjadi tempat untuk mengendapkan lumpur dan menghilangkan zat padat yang tersuspensi dari proses sebelumnya. Kemudian pada bak aerasi, proses pengolahan dari air limbah terjadi secara biologi, dimana air limbah dibuang bersama udara, memungkinkan mikroorganisme yang ada untuk menguraikan zat-zat organik atau polutan yang terdapat pada air limbah. Dilanjutkan pada bak sedimentasi akhir, pada bak ini sama dengan bak sedimentasi awal yaitu berfungsi untuk mengendapkan lumpur dan menghilangkan zat padat tersuspensi yang berasal dari proses sebelumnya. Setelah proses pengolahan hasil yang memenuhi baku mutu air limbah dapat digunakan pada aktivitas lain [29].

Metode analisis kromium menggunakan metode spektrofotometri dengan metode 1,5-difenil karbazida [13], [16], [19]. Diketahui 1,5-Difenilkarbazida DPC merupakan reagen selektif dan sensitive yang digunakan untuk penentuan Cr(VI) secara spektrofotometri. Penentuannya dengan oksidasi DPC dalam larutan asam dan pembentukan kompleks Cr(VI)-difenilkarbazida yang berwarna kemudian diabsorpsi maksimum pada 540nm [30]. Penelitian Kookhae *et al.*, 2022 menggunakan metode analisis Cr dengan Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1700 Jepang dan spektrometri emisi plasma-optik yang digabungkan secara induktif ICP-OES, Agilent 5100 Australia, dimana sampel yang dikumpulkan pada interval waktu 0,2, 4, 6, 8, 24, 48, dan 72 jam disentrifugasi pada 4000 rpm selama 20 menit pada suhu 4°C dan supernatant yang diperoleh digunakan untuk mengukur biosorpsi logam dengan spektrometri emisi plasma-optik yang digabungkan secara induktif pada panjang gelombang tertentu yaitu 267,7 nm ke logam Cr(VI). Penelitian Vidyaxmi *et al.*, 2019 menggunakan metode Spektrofotometer UV-Visible Agilent Technologies Australia dengan 1,5-difenilkarbazida, metode Standar untuk Pemeriksaan Air dan Air Limbah menggunakan APHA 1999, dimana konsentrasi awal dan akhir Cr(VI) dievaluasi secara spektrofotometri dengan metode kolorimetri yang mengkonjugasikan Cr(VI) dengan 1,5-difenilkarbazida DPC. Metode kolorimetri untuk penentuan konsentrasi Cr(VI) dijelaskan pada bagian 3500-Cr A Chromium 104 dari Metode Standar untuk Pemeriksaan Air dan Air Limbah APHA 1999. Setelah menambahkan 0,1 ml DPC (0,25 g DPC dalam 50 ml Aseton) 0,5 ml sampel sebelum dan sesudah perlakuan diasamkan dengan menambahkan 1 hingga 2 tetes H₂SO₄ 0,2N, DPC bereaksi dengan Cr(VI) menghasilkan produksi kompleks berwarna merah-ungu. Absorbansi kompleks berwarna ini tercatat pada 540 nm pada spektrofotometer UV-Visible Agilent technology Australia. Pada penelitian Das *et al.*, 2018 untuk mengukur konsentrasi total kromium, sampel ditambahkan asam nitrat pekat kemudian diikuti dengan penyaringan melalui kertas saring 0,45µm. Filtrat dioksidasi sempurna menjadi kromium

heksavalen menggunakan kalium permanganate dan dianalisis menggunakan metode Kolorimetri difenilkarbazida DPC APHA 2005.

Sembilan strain bakteri yang berbeda secara morfologis diisolasi dari sampel lumpur yang dikumpulkan di tempat pembuangan lumpur Kanpur. Ketiga isolat tersebut selanjutnya dipilih berdasarkan pertumbuhannya pada pelat agar yang mengandung limbah untuk evaluasi lebih lanjut kapasitas bioremediasinya. Studi pertumbuhan tiga galur dalam limbah penyamakan kulit mengungkapkan peningkatan bertahap dalam pertumbuhan, yang menunjukkan penurunan setelah 120 jam, 5 hari masa inkubasi dipertahankan untuk studi bioremediasi selama percobaan. Bioremediasi oleh tiga isolat bakteri menunjukkan penurunan yang cukup besar dalam tingkat racun dari limbah penyamakan kulit setelah 5 hari pengobatan. Dalam penelitian ini *C. freundii* dapat menurunkan konsentrasi kromium masing-masing dari 44,61 dan 50,85 mg/L menjadi 12,17 dan 17,19 mg/L untuk limbah Kanpur (KE) dan Chennai (CE). Persen penurunan dari bakteri *C. freundii* mencapai 72,72% pada sampel air limbah KE dan 66,19% pada sampel air limbah CE. Setelah dilakukannya bioremediasi oleh bakteri *C. freundii* kemudian dilakukan uji toksisitas menggunakan *Artemia salina*, dimana tingkat kematian *Artemia* di sampel air limbah KE yang diobati dengan *C. freundii* jauh lebih rendah, 3, 13 dan 43%, sementara limbah yang tidak dilakukan bioremediasi masing-masing menunjukkan 37, 77 dan 97% setelah 24, 48 dan 72 jam dan pada sampel air limbah CE tercatat sebesar 7, 17, 43%. Uji toksisitas ini mengungkapkan bahwa pengolahan limbah penyamakan kulit dengan bakteri *C. freundii* tidak hanya memulihkan pencemaran pada air tetapi juga mendukung tingkat kelangsungan hidup nauplii *Artemia* yang lebih baik. Penelitian ini dapat membuktikan bahwa bakteri *C. freundii* efektif mampu menurunkan kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit, akan tetapi pada jurnal ini tidak dijelaskan secara rinci bagaimana cara bakteri *C. freundii* mampu mengurangi kadar kromium tersebut [13].

Jurnal penelitian Vijayaraj *et al.*, 2019 konsentrasi awal pada sampel air limbah penyamakan kulit sebesar 55,15 mg/L, kemudian dilakukan bioremediasi menggunakan bakteri *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* yang mampu menurunkan secara maksimal sebesar 88 dan 89% dengan ada dan tidak adanya oksigen sehingga menurunkan kadar masing-masing menjadi 5,9 dan 5,8 mg/L. Pada jurnal ini menjelaskan bahwa penurunan kadar kromium terjadi karena kapasitas metabolisme bakteri untuk menghasilkan siderofor pengikat logam serta adanya eksopolisakarida. Dalam respirasi anaerob, bakteri mendetoksifikasi kromium atau menggunakannya sebagai aseptor electron untuk memperoleh energy dan dengan demikian menyebabkan penurunan kadar kromium dalam limbah. Kemudian setelah bioremediasi dilakukan uji fitotoksik yang menggunakan perkecambahan dan uji sitotoksik *Artemia salina*. Dimana limbah yang diolah dengan bakteri *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* menunjukkan persentase pertumbuhan perkecambahan yang lebih tinggi yaitu mencapai 90%. Pada tingkat kematian *Artemia* dalam limbah yang diolah secara aerob paling sedikit, 7%, 16% dan 27% sedangkan, limbah yang diolah secara anaerob menunjukkan 20%, 37% dan 50% setelah 24, 48 dan 72 jam. Jurnal ini mengungkapkan keberhasilan penerapan bakteri laut ini untuk mikroremediasi air limbah penyamakan kulit.

Pada penelitian Kookhae *et al.*, 2022 isolat yang paling toleran terhadap Cr diinokulasikan ke dalam media NB dengan pH optimal yang mengandung konsentrasi subhambatan 20 mg/L Cr(VI) dan diinkubasi dalam pengocok orbital 100 rpm pada suhu yang dioptimalkan selama 72 jam. Sampel diambil pada interval 0, 2, 4, 6, 8, 24, 48, dan 72

jam. Kepadatan sel bakteri ditentukan dengan mengukur kerapatan optik pada 600 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1700 Jepang. Selain itu, sampel yang dikumpulkan pada interval waktu yang disebutkan disentrifugasi pada 4000 rpm selama 20 menit pada suhu 4°C dan supernatan yang diperoleh digunakan untuk mengukur biosorpsi logam dengan spektrometri emisi plasma-optik yang digabungkan secara induktif dengan ICP-OES Agilent 5100 Australia pada panjang gelombang 267,7 nm ke logam target Cr(VI). Efisiensi penyisihan Cr(VI) (R%) diukur pada interval 24, 48, dan 72 jam. Dimana konsentrasi awal Cr(VI) adalah 20 mg/L, kemudian dapatkan hasil efisiensi penyisihan Cr(VI) dalam air limbah diperoleh 52,5% setelah 24 jam pertumbuhan isolat ST14 (*Lactococcus lactis*). Jurnal ini membuktikan bahwa *Lactococcus lactis* mampu menurunkan kadar Cr(VI), akan tetapi pada jurnal ini tidak dijelaskan konsentrasi setelah proses bioremediasi dan tidak dilakukannya uji fitotoksis maupun sitotoksis untuk mengetahui apakah air limbah yang telah diolah masih berbahaya atau tidak.

Dalam penelitian Zapana-Huarache *et al.*, 2020 tiga galur yang diisolasi *Penicillium citrinum*, *Penicillium sp.*, dan *Trichoderma viride* menunjukkan pertumbuhan yang sama pada 50 mg/L bila dibandingkan dengan kontrolnya. *T. viride* menunjukkan pertumbuhan tercepat mencapai maksimum setelah 6 hari; di sisi lain, kedua spesies *Penicillium* mencapai pertumbuhan maksimum setelah 12 hari. Pada konsentrasi 500 mg/L *T. viride* dan *P. citrinum* berkurang setengahnya. Kemudian pada hari ke 21 *P. citrinum* dan *T. viride* menunjukkan pertumbuhan yang sama. Ketika strain jamur terkena 1000 mg/L Cr(VI) hanya *T. viride* yang dapat menunjukkan pertumbuhannya. Hasil ini menunjukkan bahwa adaptasi kedua jamur tersebut akan efektif dengan waktu yang lebih lama. Kedua jamur ini memiliki potensi yang besar untuk bioremediasi limbah penyamakan kulit. Akan tetapi pada jurnal ini tidak menunjukkan konsentrasi kromium awal maupun akhir pada sampel air limbah penyamakan kulit.

Optimalisasi berbasis RSM (*Response Surface Methodology*)/metodologi permukaan respon dari proses batch tidak hanya memberikan proses penghilangan Cr(VI) yang optimal, tetapi juga dapat membantu dalam memahami pengaruh berbagai kondisi pada efisiensi penghilangan logam, dalam isolasi maupun dalam amalgamasi. Ditemukan bahwa mikroalga menunjukkan biosorpsi kromium heksavalen tertinggi 66,4% pada pH 8,6 ukuran inokulum dalam waktu 120 jam. Disebutkan konsentrasi awal Cr yaitu 5-25 mg/L akan tetapi tidak disebutkan berapa konsentrasi akhir setelah proses bioremediasi. Dalam penelitian [17] *Chlorella sp.* dan *Phormidium sp.* mampu mengurangi konsentrasi kromium pada air limbah penyamakan kulit masing-masing hingga 81,38% dan 90,45%. Secara konsorsium atau secara kombinasi kedua alga tersebut mampu mengurangi kadar kromium hingga 92,51% pada hari ke 15. Dimana konsentrasi awal kromium pada sampel air limbah sebesar 9,57 mg/L dan setelah bioremediasi menyisakan sekitar 0,52-0,98 mg/L [16].

Berdasarkan hasil analisis dari 6 jurnal di atas, penurunan kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit dapat dilakukan dengan metode bioremediasi. Bakteri, jamur dan mikroalga dapat menurunkan kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit, dimana bakteri *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* pada penelitian yang dilakukan oleh Vijayaraj *et al.*, 2019 merupakan mikroorganisme yang paling efektif, dengan lama waktu pada penelitian adalah 5 hari dan penurunan kadar kromium secara aerob sebesar 49,25 mg/L (88%) sedangkan secara anaerob sebesar 49,35 mg/L (89%). *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* menunjukkan aktivitas katalase, oksidase, tweenase, dan lecithinase, yang memungkinkan bakteri untuk mendegradasi zat hidrofobik di bawah

lingkungan aerobik. Oleh karena itu, *M. hydrocarbonoclasticus* merupakan agen potensial untuk bioremediasi. Selanjutnya, bakteri *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* tidak terbatas pada hidrokarbon untuk energi dan sumber karbon [31].

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal peneliti selanjutnya diharapkan bisa memperpanjang waktu kontak dari bakteri tersebut terhadap air limbah penyamakan kulit, karena semakin lama waktu kontak air limbah dengan bakteri maka akan semakin efektif penurunan kadar kromium dalam air limbah. Dengan demikian metode bioremediasi ini dapat dijadikan alternatif untuk mengurangi kadar kromium pada air limbah penyamakan dengan metode perawatan yang efektif dan ramah lingkungan.

4. Kesimpulan

Hasil studi literatur diperoleh mikroorganisme bakteri, jamur dan mikroalga dapat menurunkan kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit. Berdasarkan analisis jurnal yang telah dilakukan, diperoleh bahwa bakteri *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* merupakan mikroorganisme yang paling efektif untuk menurunkan kadar kromium pada air limbah penyamakan kulit dengan waktu yang singkat yaitu 5 hari. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal peneliti selanjutnya diharapkan bisa memperpanjang waktu kontak dari bakteri tersebut terhadap air limbah penyamakan kulit, karena semakin lama waktu kontak air limbah dengan bakteri maka akan semakin efektif penurunan kadar kromium dalam air limbah. Berdasarkan kelebihan dan kekurangan pada masing-masing jurnal pada studi literatur ini, bagi peneliti selanjutnya sebaiknya mencantumkan informasi penelitian secara lengkap, seperti pada cara mikroorganisme tersebut menurunkan kadar kromium pada air limbah, nilai sebelum dan sesudah perlakuan, serta tingkat bahaya air limbah setelah dilakukannya bioremediasi.

Ucapan Terima Kasih

Penghargaan dan terima kasih penulis berikan kepada segenap dosen pengajar Program Studi Kesehatan Masyarakat Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis sehingga penulis dapat menyusun kajian literatur dengan baik. Peghargaan dan terima kasih yang setulusnya penulis berikan kepada keluarga yang telah mencurahkan segenap cinta, kasih sayang, serta dukungan. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat, kesehatan serta keberkahan di dunia dan di akhirat.

Referensi

- [1] G. Saxena, R. Chandra, and R. N. Bharagava, "Environmental Pollution, Toxicity Profile and Treatment Approaches for Tannery Wastewater and Its Chemical Pollutants," *How to Recruit Volunt. Donors Third World?*, vol. 238, no. December, pp. 22–28, 2016, doi: 10.1007/398.
- [2] Z. Shun-pi, Z. Li-xiang, W. Shi-mei, and F. Di, "Removal of Cr from tannery sludge by bioleaching method," *J. Environ. Sci.*, vol. 18, no. 5, pp. 0–5, 2006.
- [3] P. Taylor *et al.*, "Chinese Journal of Population Resources and Resourceful Utilization of Tannery Wastewater Resourceful Utilization of Tannery Wastewater," *Chinese J. Popul. Resour. Environ.*, vol. 10, no. November 2014, pp. 37–41, 2013, doi: 10.1080/10042857.2012.10685069.
- [4] KEMENPERIN, "Buka Program Setara D1, Kemenperin Cetak SDM Industri

- Produk Kulit Kompeten,” 9 Mar 2022, 2021. .
- [5] DLHKP, *Kajian daya dukung dan daya tampung lingkungan kawasan penyamakan kulit Sukaregang Kabupaten Garut*. Garut: Dinas Lingkungan Hidup Kebersihan dan Pertamanan Kabupaten Garut, 2014.
- [6] A. A. Sulianto, H. Putri, A. Lastriyanto, and I. Aulia, “Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Penyamakan Kulit Terhadap Kadar BOD ,COD ,DO Dengan Metode Deep Aeration,” *J. Agric. Biosyst. Eng. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 35–45, 2020.
- [7] Sugihartono, “Pemisahan krom pada limbah cair industri penyamakan kulit menggunakan gelatin dan flokulan anorganik,” vol. 32, no. 1, pp. 21–30, 2016.
- [8] L. S. R, S. Radinta, S. D. Kholisoh, and T. Mahargiani, “Penurunan Kadar Krom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit dengan Metode Elektrokoagulasi secara Batch,” no. 51, pp. 1–7, 2016.
- [9] S. Ma’mun, M. Theresa, and S. Alfirmiona, “Penggunaan Membran Kitosan Untuk Menurunkan Kadar Logam Krom Pada Limbah Industri Penyamakan Kulit,” *Teknoin*, vol. 22, no. 5, pp. 367–371, 2016, doi: 10.20885/teknoin.vol22.iss5.art6.
- [10] M. Lasindrang, Suwarno, Hadisusanto, S. D. Tandjung, and K. H. Nitisastro, “Adsorpsi pencemaran limbah cair industri penyamakan kulit oleh kitosan yang melapisi arang aktif tempurung kelapa,” *J. Teknosains*, vol. 3, no. 2, pp. 81–166, 2014.
- [11] I. F. Purwanti, S. B. Kurniawan, B. V. Tangahu, and N. M. Rahayu, “Bioremediation of Trivalent Chromium in Soil Using Bacteria,” *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 20, pp. 9346–9350, 2017.
- [12] M. Divya, S. Aanand, A. Srinivasan, and B. Ahilan, “Bioremediation – An eco-friendly tool for effluent treatment : A Review,” *Int. J. Appl. Res.*, vol. 1, no. 12, pp. 530–537, 2015.
- [13] A. S. Vijayaraj, C. Mohandass, D. Joshi, and N. Rajput, “Effective bioremediation and toxicity assessment of tannery wastewaters treated with indigenous bacteria,” *Biotech*, vol. 8, no. 10, p. 0, 2018, doi: 10.1007/s13205-018-1444-3.
- [14] F. Kookhaee, A. S. T. Bafroee, and L. Jabalameli, “Isolation and characterization of chromium (VI) tolerant bacteria from tannery effluents,” *J. Environ. Heal. Sci. Eng.*, no. Vi, 2022, doi: 10.1007/s40201-022-00791-5.
- [15] S. V Zapana-Huarache, & C. K. Romero-Sánchez, & A. P. Dueñas Gonza, & Frank, D. Torres-Huaco, and A. M. L. Rivera, “Environmental Microbiology-Short Communication Chromium (VI) bioremediation potential of filamentous fungi isolated from Peruvian tannery industry effluents,” *Brazilian J. Microbiol.*, vol. 51, pp. 271–278, 2020.
- [16] Vidyalaxmi, G. Kaushik, and K. Raza, “Potential of novel *Dunaliella salina* from sambhar salt lake, India, for bioremediation of hexavalent chromium from aqueous effluents: An optimized green approach,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 180, no. February, pp. 430–438, 2019, doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.05.039.
- [17] C. Das, N. Ramaiah, E. Pereira, and K. Naseera, “Efficient bioremediation of tannery wastewater by monostrains and consortium of marine *Chlorella* sp. and *Phormidium* sp.,” *Int. J. Phytoremediation*, vol. 20, no. 3, pp. 284–292, 2018, doi: 10.1080/15226514.2017.1374338.
- [18] A. S. Vijayaraj, C. Mohandass, and D. Joshi, “Microremediation of tannery

- wastewater by siderophore producing marine bacteria,” *Environ. Technol. (United Kingdom)*, vol. 41, no. 27, pp. 3619–3632, 2020, doi: 10.1080/09593330.2019.1615995.
- [19] A. S. Vijayaraj, C. Mohandass, and D. Joshi, “Microremediation of tannery wastewater by siderophore producing marine bacteria,” *Environ. Technol. (United Kingdom)*, vol. 41, no. 27, pp. 3619–3632, 2019, doi: 10.1080/09593330.2019.1615995.
- [20] Kerlinger, *Asas-asas Penelitian Behavioral Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2006.
- [21] Sobah, “Penyamakan Kulit,” *Universitas Gadjah Mada*, 2016. .
- [22] E. Kasmudjiastuti, S. Sutyasmi, and T. P. Widowati, “Pemanfaatan tanin dari kulit kayu tingi (*Ceriops tagal*) sebagai bahan penyamak nabati: pengaruh penambahan alum dan mimosa,” *Maj. Kulit, Karet, dan Plast.*, vol. 31, no. 1, p. 45, 2015, doi: 10.20543/mkcp.v31i1.175.
- [23] B. Ibrahim, E. Salamah, N. Hak, and A. Komalasari, “Pengaruh Penyamakan Khrom Kulit Ikan Kakap Putih Dikombinasi Dengan Ekstrak Biji Pinang Terhadap Karakteristik Fisik Kulit,” *J. Pengolah. Has. Perikan. Indones.*, vol. 17, no. 2, pp. 103–111, 2014.
- [24] S. Sutyasmi, T. P. Widowati, and N. M. Setyadewi, “Pengaruh mimosa pada penyamakan kulit jaket domba samak nabati menggunakan sistem C-RFP, ditinjau dari sifat organoleptis, fisis, dan morfologi kulit,” *Maj. Kulit, Karet, dan Plast.*, vol. 32, no. 1, p. 31, 2016, doi: 10.20543/mkcp.v32i1.932.
- [25] P. I. Hartanti, A. T. S. Haji, and R. Wirosodarmo, “Pengaruh Kerapatan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Terhadap Penurunan Logam Chromium Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit,” *J. Sumberd. Alam dan Lingkungan.*, vol. 1, no. 2, pp. 31–37, 2014.
- [26] Asmadi, Endro S, and W Oktiawan, “Pengurangan Chrom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Kulit pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)₂, NaOH dan NaHCO₃ (Studi Kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang),” *J. Air Indones.*, vol. 5, no. 1, pp. 41–54, 2009.
- [27] D. Astuti, N. Sukmawati, R. Asyfiradayati, and S. Darnoto, “Kajian Literatur Tentang Reduksi Kromium Dalam Air Limbah Penyamakan Kulit Dengan Fitoremediasi,” *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 7, no. 1, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.36418/Syntax-Literate.v7i1.5723>.
- [28] T. R. Soeprobowati and R. Hariyati, “Potensi Mikroalga Sebagai Agen Bioremediasi Dan Aplikasinya Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Berat Pada Instalasi Pengolah Air Limbah Industri,” *Lap. Tahunan/Akhir Penelit. Fundam.*, vol. 11, no. 2, pp. 14–17, 2013.
- [29] N. I. Ariska, E. Yuliani, and D. Chandrasasi, “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Penyamakan Kulit di Desa Mojopurno Kecamatan Ngariboyo Kabupaten Magetan,” *Jur. Tek. Pengairan. Fak. Tek. ...*, 2017.
- [30] M. Wulandari, “Resin Pengkhelat Amberlite Xad-16- 1,5-Difenil Karbazida Untuk Prakonsentrasi Dan Analisis Selektif Kromium(VI),” INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG, 2010.
- [31] MicrobeWiki, “*Marinobacter hydrocarbonoclasticus*,” *Kenyon College Department of Biology*, 2012. .



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)