

# **BIOREMEDIASI LIMBAH CAIR BATIK DI YOGYAKARTA MENGUNAKAN BAHAN ALAMI YANG DIINTEGRASIKAN DENGAN *SACCHAROMYCES CEREVISIAE***

**Kyla Amalia Gala, Sebastian Binsar Pangaribuan, Yuwana Seconda Priyabekti,  
Danang Tri Hartanto, S.T., M.Eng**

Universitas Gadjah Mada

## **Abstrak**

Batik merupakan salah satu ikon budaya Indonesia yang mendunia. Salah satu daerah penghasil batik terbesar di Indonesia adalah Yogyakarta. Pada tahun 2019, terdapat 1195 unit usaha batik di Yogyakarta. Namun, pewarna batik menghasilkan limbah yang dapat menaikkan kadar BOD, COD, dan Cr(VI) yang dapat mencemari lingkungan. Sebagian besar industri batik ini membuang limbah cairnya langsung ke sungai atau tanah tanpa melakukan pengolahan terlebih dahulu. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme pengolahan limbah cair batik yang mampu memisahkan bahan berbahaya pada limbah batik cair dengan efisien, ramah lingkungan, serta ekonomis untuk industri. Sistem pengolahan limbah secara alami dapat menggunakan tumbuhan seperti *Thalia geniculata* (kana lonceng) atau bahan-bahan sekitar, seperti pasir, kerikil, dan arang. Namun, metode tersebut membutuhkan waktu yang relatif lama dan efektivitas yang rendah. Kami mengusulkan metode bioremediasi dengan *Saccharomyces cerevisiae* sebagai peningkatan efisiensi metode filtrasi alami tersebut. Proses ini mampu menurunkan kadar BOD sebanyak 89,96%, COD sebanyak 92,75%, dan Cr(VI) sebanyak 95,94%. Data limbah cair batik yang digunakan diambil dari penelitian BTKL-PP Yogyakarta. Awalnya, pewarna tekstil dialirkan pada tangki pertama yang berisi lahan basah buatan terdiri dari tiga lapisan, yaitu arang, kerikil, dan pasir yang ditanami kana lonceng untuk mengurangi kadar kandungan pencemar. Kemudian, limbah yang telah mengalami filtrasi dialirkan pada bioreaktor untuk diserap kandungan logam beratnya oleh *Saccharomyces cerevisiae* yang dimobilisasi dan diberikan nutrisi tetes tebu. Proses ini lebih ekonomis dan lebih unggul 12,92% dari sistem elektrokoagulasi yang membutuhkan daya yang lebih tinggi.

**Kata Kunci :** *Bioremediasi, Logam Berat, Bahan Alami*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Batik merupakan salah satu budaya Indonesia yang mendunia dan menjadi ciri khas bangsa Indonesia. Salah satu kota penghasil batik yang terkenal adalah Yogyakarta. Hal tersebut membawa dampak yang positif karena produksi batik pun menjadi mata pencaharian utama sebagian masyarakat Yogyakarta. Namun, dampak positif tersebut juga membawa efek samping yang buruk bagi cadangan air bersih di Yogyakarta karena besarnya volume air untuk pembuatan batik. Untuk mewarnai satu meter kain batik dibutuhkan air sebanyak  $25 \text{ m}^3$ -  $50 \text{ m}^3$  [1]. Namun, para pengrajin batik umumnya membuang air yang telah tercemar pewarna tanpa mengolahnya terlebih dahulu. Air yang tercemar oleh pewarna batik pun menjadi limbah yang menyebabkan pencemaran sungai dan tanah. Sayangnya, kasus pencemaran limbah batik ini telah terjadi di sungai-sungai kota Yogyakarta dan secara langsung berdampak kepada berkurangnya cadangan air bersih serta menimbulkan penyakit pada warga sekitar. Salah satu contoh kasus ini adalah Sungai Bedog, yang tercemar limbah dari Desa Disperingdangkop, Kabupaten Bantul [2]

Pencemaran limbah batik umumnya ditandai dengan kenaikan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), serta logam berat. Kenaikan COD dan BOD menunjukkan tingginya kandungan senyawa organik pada air yang berkorelasi terhadap penurunan kemurnian air. Di sisi lain, logam berat merupakan logam transisi yang memiliki toksisitas bagi makhluk hidup karena mampu terakumulasi melalui proses bioakumulasi [3]. Salah satu logam berat yang sering dijumpai pada limbah batik adalah krom heksavalen atau Cr(VI). Terdapat dua jenis krom yang paling sering dijumpai di lingkungan, yaitu Cr(III) dan Cr(VI). Kromium trivalen merupakan logam yang bermanfaat bagi metabolisme makhluk hidup, tetapi kromium heksavalen sangat beracun karena tidak memiliki fungsi biologis dan berpotensi menyebabkan kanker, serta kemampuannya untuk larut dalam air yang lebih tinggi, sehingga lebih mudah memasuki tubuh makhluk hidup [4]. Teknologi yang umumnya digunakan adalah oksidasi, presipitasi kimia, pertukaran ion, adsorpsi, filtrasi membran, koagulasi-flokulasi, floatasi, dan metode elektrokimia [5]. Namun, beberapa metode tersebut memiliki kelemahan tersendiri, seperti teknologi oksidasi yang sangat mahal dan teknologi elektrokimia yang membutuhkan listrik berdaya tinggi [6]. Pada karya tulis ini, digunakan data limbah batik dari BTKL-PP Yogyakarta yang meliputi kadar COD, BOD, dan Cr(VI). Sistem pengolah limbah batik perlu dirancang untuk menurunkan kadar ketiga indikator tersebut sampai di bawah baku mutu yang ditentukan serta memiliki keunggulan secara ekonomi dibandingkan teknologi yang telah ada. Dengan teknologi

yang lebih ekonomis, para wirausahawan batik dapat mengolah limbah tanpa harus mengeluarkan biaya yang sangat tinggi.

Sistem *waste water treatment* yang mengintegrasikan kana lonceng, adsorben alami (pasir, kerikil, dan arang aktif), dan *Saccharomyces cerevisiae* merupakan alternatif permasalahan yang kami ajukan. Sistem ini menggabungkan metode fitoremediasi, adsorpsi, dan bioremediasi untuk meningkatkan laju penjernihan limbah batik sampai di bawah baku mutunya sehingga air tersebut memenuhi kualitas sebagai air bersih.

## **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang ingin dibahas pada karya tulis ilmiah ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana efisiensi *waste water treatment* (fitoremediasi, adsorpsi, dan bioremediasi) dalam menurunkan COD dan BOD, dan kadar Cr(VI) pada limbah batik?
2. Bagaimana integrasi ketiga metode tersebut dalam segi keekonomiannya dibandingkan dengan metode yang sudah ada?
3. Apakah limbah batik hasil pengolahan limbah dengan integrasi ketiga metode tersebut telah memenuhi baku mutu yang telah berlaku?

## **C. Tujuan**

Tujuan dari pembuatan karya tulis ilmiah ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui dampak mekanisme integrasi ketiga metode terhadap penurunan COD, BOD, dan kadar Cr(VI) pada limbah batik di Yogyakarta.
2. Mengetahui tingkat keekonomian integrasi ketiga metode tersebut yang dapat menjadikannya lebih unggul dibandingkan dengan metode yang sudah ada.
3. Mengetahui tingkat keamanan limbah hasil pengolahan dengan integrasi ketiga metode untuk menentukan apakah hasil tersebut dapat dibuang ke lingkungan.

## **D. Manfaat**

Manfaat dari pembuatan karya tulis ilmiah ini adalah sebagai berikut.

4. Bagi penulis, dapat merancang sistem *waste water treatment* limbah batik yang dapat dikomersialkan berdasarkan ilmu keteknikan yang telah dipelajari.
5. Bagi masyarakat, dapat menjadi alternatif sistem pengolahan limbah yang umumnya masih menghasilkan dampak yang berbahaya bagi lingkungan, terutama biodiversitas air.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Limbah Cair Batik**

Batik merupakan produk sekaligus kebudayaan khas dari Indonesia. Salah satu pusat industri batik terdapat pada provinsi Yogyakarta dengan 108 industri batik pada daerah Kulon Progo pada tahun 2015 [7]. Terdapat bermacam-macam jenis batik: batik tulis, batik cap, kombinasi batik tulis-cap, batik *print*, dan batik tenun [8].

Sebanyak 80% dari seluruh jumlah air yang dipergunakan dalam proses pembatikan menjadi limbah cair [9]. Limbah cair industri batik biasa mengandung zat organik, zat padat tersuspensi, fenol, krom (Cr), minyak lemak, dan pigmen [10]. Limbah cair yang dihasilkan industri batik sebagian besar berasal dari pewarna sintetis. Hal ini disebabkan pewarna batik alami yang lebih *biodegradable* dan tidak toksik [11] memakan waktu pewarnaan yang lebih lama dibandingkan pewarna sintetis [12, 13]. Selain itu, pewarna sintetis apabila dididihkan dengan bahan kimia tertentu dapat meningkatkan penetrasi dan ketajaman warna [14].

#### **B. Logam Berat**

Logam berat adalah elemen logam yang memiliki nilai *specific gravity* diatas 5 dan berat atom pada *range* 63,5-200,6 sma [15]. Di alam, logam metal yang dapat ditemui adalah Chromium (Cr), Nickel (Ni), Zinc (Zn), Manganese (Mn), Copper (Cu), Cadmium (Cd), Cobalt (Co), dan Timbal (Pb).

Logam berat dapat ditemui pada pewarna sintetik batik. Beberapa pewarna yang reaktif mengandung logam berat seperti Cd, Cu, dan Pb [16]. Sementara beberapa pewarna sintetis lain pada industri tekstil juga mengandung logam berat seperti Cu, Cr, Cd, Fe, Pb, Ni, dan Zn [17, 18].

Pada umumnya logam berat pada limbah cair batik didominasi oleh Chromium (Cr). Logam berat Chromium (Cr) mudah larut di dalam air dan bersifat sangat toksik yang apabila terakumulasi pada tubuh manusia dapat mengakibatkan masalah kesehatan sistemik, *immunological*, *neurological*, reproduksi, *developmental*, *genotoxic*, dan efek karsinogenik [19-21].

#### **C. Bioremediasi**

Bioremediasi merupakan sebuah proses yang memanfaatkan baik mikroorganisme maupun tumbuhan dengan cara yang ramah lingkungan untuk Mikroorganisme pada proses bioremediasi dapat melakukan penyerapan, presipitasi, oksidasi, dan reduksi logam berat [23]. Mikroorganisme mengikat ion logam berat

melalui gugus fungsi tertentu kemudian mengubah logam berat dari bentuk kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana melalui reaksi redoks, sehingga toksisitas logam berat ion dapat berkurang secara efisien [24]. Enzim degradatif pada mikroorganisme untuk kontaminan tertentu dapat mengembangkan berbagai mekanisme untuk mempertahankan homeostasis dan tahan terhadap logam berat, serta mampu beradaptasi pada lingkungan tersebut [23].

#### **D. Fitoremediasi**

Fitoremediasi merupakan teknik multidisiplin dan pendekatan baru untuk menangani sebuah sistem yang terkontaminasi menggunakan tanaman [25]. Teknologi fitoremediasi dapat meremediasi logam berat hingga kontaminasi radionuklida [26]. Selain itu, fitoremediasi juga dapat melakukan *extracting*, *immobilizing*, *containing*, dan degradasi kontaminasi tanah, air, maupun udara dengan memanfaatkan tumbuhan [27-29].

#### **E. *Thalia geniculata***

*Thalia geniculata* merupakan tumbuhan kompetitif yang dapat tumbuh pada kondisi eutropis [30-32] dan memiliki kecepatan pertumbuhan yang tinggi. Tumbuhan ini biasa digunakan sebagai *treatment* fitoremediasi air limbah dengan berbagai variasi konstruksi pada lahan basah [33-38] karena kemampuan adsorpsi dan akumulasi nutrisi yang tinggi [39-41].

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BTKL-PP) Yogyakarta [42], *Thalia geniculata* memiliki efisiensi terhadap penurunan nilai BOD tertinggi sebesar 89,96% dan penurunan nilai COD sebesar 92,75%.

#### **F. Adsorpsi**

Menurut Widayatno [43], adsorpsi merupakan fenomena permukaan akibat akumulasi suatu spesies pada batas permukaan padat-cair yang disebabkan oleh gaya tarik menarik. Terdapat 2 tipe adsorpsi, yaitu adsorpsi fisis atau Van der Waals dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisis terjadi apabila adsorbat dan permukaan adsorben terikat dengan gaya Van der Waals. Dalam hal ini, adsorpsi yang terjadi adalah non-spesifik dan non-selektif yang disebabkan oleh gaya tarik menarik dari ikatan hidrogen dan gaya Van der Waals. Sementara itu, adsorpsi kimia terjadi jika adsorbat dan permukaan adsorben bereaksi secara kimiawi.

Salah satu jenis adsorpsi yang memiliki biaya produksi murah, area permukaan yang luas, mudah diaktivasi, dan memiliki kemampuan adsorpsi yang bagus adalah *activated carbon* [44]. Pembuatan *activated carbon* berasal dari bahan yang memiliki

kandungan arang atau karbon (C) yang tinggi dan memiliki struktur berpori [45], seperti tempurung kelapa, bambu, sekam padi, dan masih banyak lagi [46].

### G. *Saccharomyces cerevisiae*

*Saccharomyces cerevisiae* merupakan organisme jamur uniseluler dengan materi genomik DNA yang memuat informasi sebanyak 12.068 kilobit yang terorganisir dalam 16 kromosom. Organisme ini umumnya digunakan untuk mempelajari sel eukariotik karena hampir seluruh fungsi biologis sel eukariotik ada dalam *Saccharomyces cerevisiae*. Organisme ini juga digunakan untuk berbagai aplikasi bioteknologi khususnya pada kemampuannya untuk melakukan fermentasi yang menghasilkan alkohol dan karbon dioksida. Selain itu, *Saccharomyces cerevisiae* juga mampu melakukan berbagai jenis metode bioremediasi pada berbagai jenis logam berat [47].

### H. Peraturan yang Mengatur Limbah Cair Batik

Peraturan yang mengatur air limbah di daerah Yogyakarta adalah Surat Keputusan Gubernur DIY No. 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Adapun tertulis secara tersurat pada Lampiran I tentang baku mutu air limbah untuk kegiatan industri batik, yaitu sebagai berikut:

**Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah untuk Kegiatan Industri Batik**

Parameter	Beban Basah		Beban Kering	
	Kadar paling banyak (mg/L)	Beban Pencemaran Paling banyak (kg/ton)	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Banyak (kg/ton)
BOD <sub>s</sub>	85	5,1	85	1,275
COD	250	15	250	3,75
TDS	2.000	120	2.000	30
TSS	60	3,6	80	1,2
Chromium Total (Cr)	1	0,06	2	0,03
Suhu	± 3°C terhadap suhu udara			
pH	6,0 – 9,0			

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) adalah nilai kebutuhan oksigen guna menguraikan bahan organik yang dapat didekomposisi secara biologis [48]. COD (*Chemical Oxygen Demand*) didefinisikan sebagai total oksigen yang diperlukan dalam air untuk melakukan oksidasi terhadap bahan organik secara kimiawi [49]. Nilai BOD

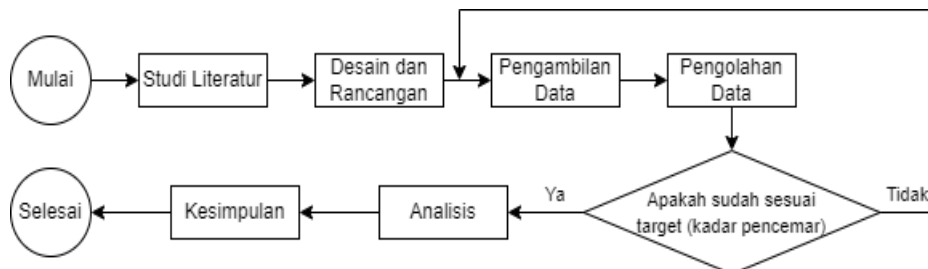
dan COD yang tinggi menunjukkan kualitas air yang rendah. Adapun TDS (*Total Dissolved Solid*) yang menunjukkan kadar padatan yang terlarut dan TSS (*Total Suspended Solid*) yang menunjukkan kadar padatan yang tersuspensi [50]. Apabila nilai TDS dan TSS melebihi baku mutu yang diizinkan akan berdampak pada kematian organisme perairan [51].

### BAB III METODE PENELITIAN

#### A. Diagram Alir Penelitian

Tahapan dalam analisis pengembangan *waste treatment* limbah cair batik dimulai dengan melakukan pengambilan data dari literatur. Lalu, dilakukan perhitungan tahapan fitoremediasi, adsorpsi, dan bioremediasi berdasarkan data dan persamaan yang diperoleh dari berbagai kajian literatur. Perhitungan dilakukan menggunakan perangkat lunak pengolah data berupa Microsoft Excel.

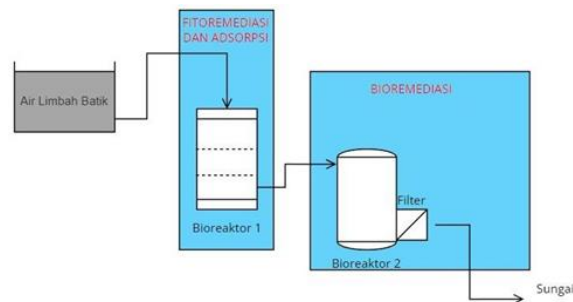
Diagram alir proses analisis teknis dari pengembangan *waste treatment* limbah cair batik yang diintegrasikan dengan *Saccharomyces cerevisiae* dapat dilihat pada **Gambar 3.1.1** dengan tahapan sebagai berikut:



**Gambar 3.1.1 Diagram Alir Penelitian**

Penelitian dimulai dengan mencari kajian literatur yang dibutuhkan melalui beberapa sumber yang relevan. Setelahnya dilanjutkan dengan pembuatan desain dan rancangan rangkaian alat *waste water treatment*. Data-data lapangan yang telah diperoleh melalui kajian literatur kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel* untuk mengetahui apakah *effluent* sudah sesuai dengan target tujuan. Jika belum sesuai target, maka pengambilan data diulangi kembali. Jika sudah sesuai target, maka dilanjutkan ke tahapan analisis data dan sistem alat, lalu kesimpulan dan selesai.

## B. Diagram Proses

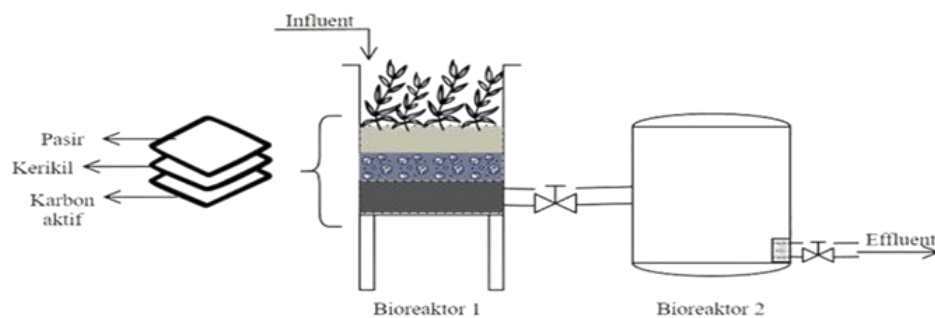


**Gambar 3.2.1 Diagram Proses Waste Water Treatment**

Penjelasan diagram blok, sebagai berikut :

1. Fitoremediasi, tumbuhan kana lonceng berfungsi untuk menurunkan kadar pencemar COD dan BOD sebelum diproses dalam bioremediasi [26, 52].
2. Adsorpsi, berupa susunan pasir, kerikil, dan karbon aktif yang berfungsi menyaring dan menyerap logam Cr(VI) dalam air limbah [43-46].
3. Bioremediasi, *Saccharomyces cerevisiae* yang telah dikondisikan dalam sebuah tangki anaerob berfungsi untuk menurunkan kadar logam Cr(VI) yang tersisa hingga didapatkan hasil akhir air limbah batik di bawah baku mutu air limbah yang telah ditetapkan [53].

## C. Skema Rangkaian Alat



**Gambar 3.3.1 Rangkaian Alat Waste Water Treatment**

## D. Analisis Data

**Tabel 3.4.1 Formula-Formula yang Digunakan dan Keterangan**

Formula	Keterangan
$\% \text{ removal} = \frac{C_o - C_e}{C_e} \times 100\%$	$C_o$ = Konsentrasi awal (mg/L) $C_e$ = Konsentrasi akhir (mg/L)



$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{max}} + \frac{1}{q_{max} \times K_L}$	<p><math>C_e</math> = Konsentrasi akhir (mg/L)  <math>q_e</math> = Massa teradsorpsi per massaadsorben (mg/g)  <math>q_{max}</math> = Massa teradsorpsi per massaadsorben maskimal (mg/g)  <math>K_L</math> = Konstanta Langmuir</p>
$LCC = C_{ic} + C_{inst} + C_{en} + C_{op} + C_m + C_s + C_d$	<p><math>C_{ic}</math> = Biaya awal  <math>C_{inst}</math> = Biaya pemasangan alat  <math>C_{en}</math> = Biaya energi alat  <math>C_{op}</math> = Biaya operasional alat  <math>C_m</math> = Biaya pemeliharaan  <math>C_s</math> = Biaya downtime  <math>C_d</math> = Biaya disposal</p>

## BAB IV PEMBAHASAN

### A. Analisis Mekanisme Waste Water Treatment

Bioreaktor pertama merupakan kontainer yang tersusun dari agen penyerap kotoran pada limbah batik dengan mekanisme fitoremediasi dan adsorpsi. Fitoremediasi oleh kana lonceng (*Thalia geniculata*) berfungsi sebagai penurun kadar BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Filtrasi akan dilakukan oleh pasir dan kerikil untuk menyaring partikel padat, sedangkan arang aktif yang terbuat dari kulit kacang tanah akan menjadi adsorben ion Cr(VI). Spesifikasi bioreaktor disajikan pada Tabel 4.1.1 Proses akan dilakukan secara batch selama dua minggu.

**Tabel 4.1.1 Spesifikasi Bioreaktor Pertama**

Dimensi			
Tinggi			75 (cm)
Diameter			65 (cm)
Isi		Kondisi	
Kana Lonceng	15 (buah)	pH	5-6
Pasir	10 (cm)	Suhu	30 (°C)

Kerikil	10 (cm)	Tekanan	10 (cm)
Arang Aktif	15 (cm)	Volume (limbah)	132,665 (dm <sup>3</sup> )

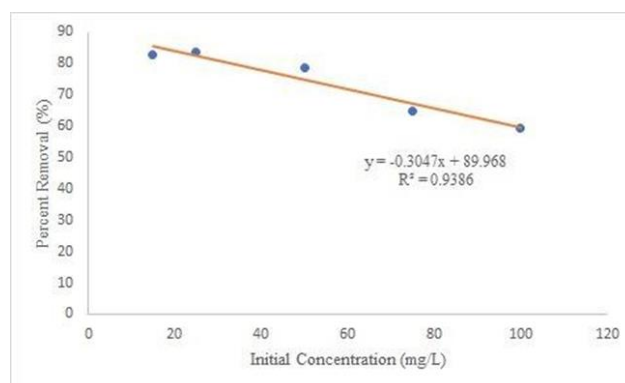
Pada tahap pertama, limbah batik masih memiliki kandungan polutan yang sangat tinggi. Data kandungan BOD, COD, dan logam Cr(VI) tertinggi serta tingkat baku mutunya (berdasarkan SK Gub. DIY No. 7 Tahun 2016) disajikan pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.1.2 Indikator Tingkat Keamanan Limbah Batik**

Indikator	Satuan	Jumlah	Baku
BOD	mg/L	285	50
COD	mg/L	704,4	100
Cr(VI)	mg/L	16,6747	1

Fitoremediasi yang dilakukan selama 14 hari untuk mendorong penurunan kadar BOD dan COD pada limbah batik memiliki efisiensi sebesar 89,96% dan 92,75% [42]. Dengan menggunakan rumus efisiensi, dapat ditemukan kadar BOD dan COD yang berada di bawah baku mutu, tetapi kadar Cr(VI) masih di atas baku mutu menandakan bahwa limbah batik belum dapat kembali dibuang ke sungai.

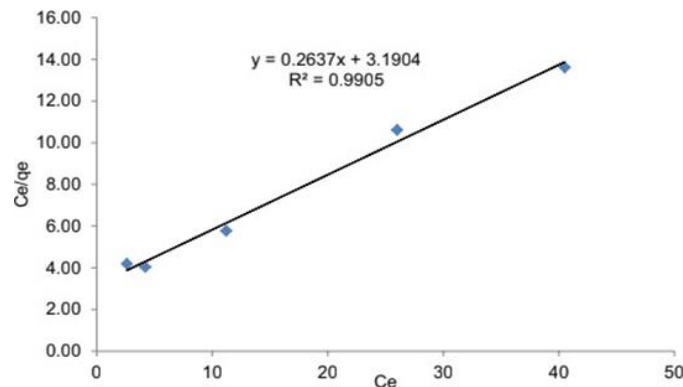
Untuk menentukan efisiensi adsorpsi, dilakukan percobaan terhadap lima jenis larutan dengan konsentrasi Cr(VI) yang berbeda-beda dan dilakukan selama tiga hari. Adsorpsi Cr(VI) sangat dipengaruhi oleh konsentrasi awal. Adsorpsi dengan arang aktif yang dilakukan terhadap limbah dengan konsentrasi Cr(VI) awal yang beragam menghasilkan data yang ditampilkan pada grafik berikut [53].



**Gambar 4.1.1 Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Persen Removal Cr(VI)**

Grafik tersebut dapat memberikan data terhadap berapa efisiensi adsorpsi pada konsentrasi 16,6747 mg/L. Dengan linearisasi, didapatkan efisiensi penurunan Cr(VI) sebesar 84,89%. Konsentrasi yang tersisa ( $C_e$ ) merupakan konsentrasi Cr(VI) di *equilibrium*. Selanjutnya, kapasitas adsorpsi ( $q_e$ ) yang dinyatakan dalam banyaknya logam Cr(VI) yang teradsorpsi per banyaknya karbon aktif dapat ditemukan. Adsorpsi Cr(VI) mengikuti kinetika Langmuir [54-55], sehingga plot dilakukan terhadap  $C_e/q_e$  vs

Ce, lalu didapatkan grafik sebagai berikut.



**Gambar 4.1.2 Grafik Kinetika Adsorpsi Cr(VI) dengan Analisis Metode Langmuir**

Dengan metode linearisasi, didapatkan kapasitas penyerapan Cr(VI), yaitu 0,6536 mg Cr (VI) per 1 gram arang aktif. Data konsentrasi limbah setelah pengendapan ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 4.1.3 Konsentrasi setiap Indikator setelah Fitoremediasi dan Adsorpsi**

Indikator	Satuan	Jumlah	Baku Mutu
BOD	mg/L	28,614	50
COD	mg/L	51,069	100
Cr(VI)	mg/L	2,5196	1

Setelah pengolahan limbah selesai dilakukan, keran di dasar reaktor yang telah dipasang penyaring khusus dibuka untuk mengeluarkan limbah batik untuk tahap pengolahan selanjutnya yang berfokus pada penurunan konsentrasi krom.

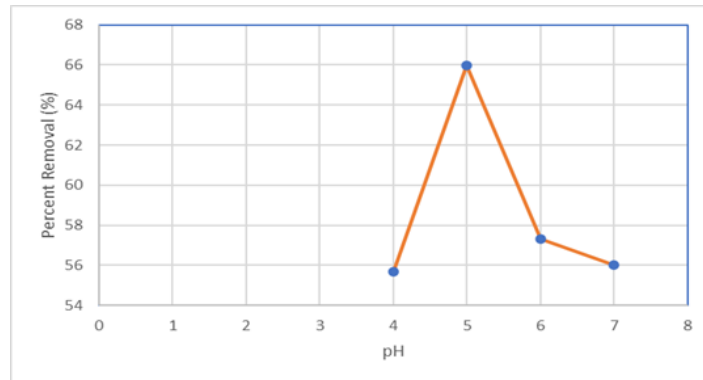
Proses bioremediasi dengan *Saccharomyces cerevisiae* dilakukan pada bioreaktor kedua berupa tangki anaerob, proses ini berfungsi untuk mengurangi kadar logam Cr (VI) yang tersisa pada proses sebelumnya hingga didapatkan hasil akhir yang dibawah baku mutu air limbah yang telah ditetapkan. Proses degradasi Cr(VI) oleh *Saccharomyces cerevisiae* terjadi karena adanya interaksi enzimatik maupun non enzimatik antara bakteri dan logam berat sehingga Cr(VI) tereduksi menjadi Cr(III). Spesifikasi bioreaktor kedua dapat dilihat pada **Tabel 4.1.4**.

**Tabel 4.1.4 Spesifikasi Bioreaktor Kedua**

Dimensi		Isi	
Tinggi	75 (cm)	<i>S. cerevisiae</i>	107 gram
Diameter	65 (cm)	Molases	1 L
Kondisi			
Ph			5

Suhu	30°C
Tekanan	1 (atm)
Metabolisme bakteri	Anaerob
Volume (limbah)	132,665 (dm <sup>3</sup> )

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan korelasi terhadap pH dan efisiensi penurunan kadar Cr(VI) oleh *Saccharomyces cerevisiae* [53, 56]

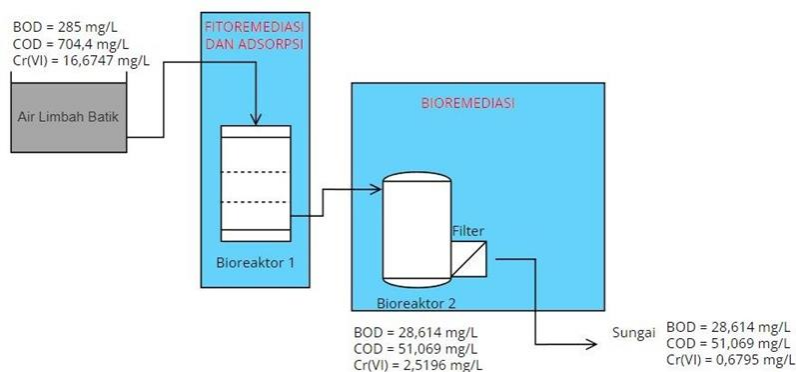


**Gambar 4.1.3 Grafik Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Cr(VI) oleh *Saccharomyces cerevisiae***  
 Biodsorpsi Cr(VI) tertinggi terdapat pada pH 5 dengan persentase sebesar 65,97%. Oleh karena itu, didapatkan data sebagai berikut.

**Tabel 4.1.5 Penurunan Konsentrasi Cr(VI) setelah Bioadsorpsi**

Mikroorganisme	Efisiensi	Waktu yang dibutuhkan	Konsentrasi awal Cr(VI)	Konsentrasi akhir Cr(VI)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	65,97%	24 jam	2.5196 mg/L	0.6795 mg/L
Efisiensi Total <i>Removal</i> Cr(VI)			95,94%	

Berdasarkan hasil akhir konsentrasi Cr(VI) yang diperoleh sebesar 0.6795 mg/L di mana hal ini sudah di bawah baku mutu air limbah yang telah ditetapkan sehingga aman sebagai *effluent*.



**Gambar 4.1.4 Diagram Proses Waste Water Treatment**

Air limbah yang masuk pada bioreaktor 1 berupa air limbah batik dengan kadar COD, BOD, dan Cr(VI) yang tinggi. Hasil air limbah yang keluar dari bioreaktor 1 berupa air limbah batik dengan kadar COD dan BOD yang telah memenuhi standar baku mutu, dan Cr(VI) yang telah berkurang karena telah didegradasi oleh adsorben, tetapi belum memenuhi baku mutu. Hasil air limbah bioreaktor 2 berupa air limbah dengan kadar COD, BOD, dan Cr(VI) yang telah memenuhi baku mutu air limbah untuk dibuang ke lingkungan.

### B. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi terkait biaya alat dan bahan yang dibutuhkan penelitian ini ditunjukkan pada tabel berikut.

Parameter	Jumlah	Biaya
Tangki 250 L	2 buah	Rp395.000,00
Kana lonceng	15 buah	Rp150.000,00
Arang teraktivasi	8 kilogram	Rp480.000,00/bulan
Pasir	47 kg (0,0332 m <sup>3</sup> )	-
Kerikil	60 kg (0,0332 m <sup>3</sup> )	-
Kain		
Yeast	107 gram	Rp187.000,00
pH adjusment	4 mililiter (1M)	Rp90,00/bulan
Pipa PVC D 2''	1 meter	Rp6.250,00
Tetes tebu	2 liter	Rp20.000,00/bulan
Antibacterial	8 tablet	Rp9.000,00/bulan
HPA Filter D 0,3 µm	1 buah	Rp135.000,00
Keran	2 buah	Rp64.000,00

Analisis ekonomi dilakukan dengan metode LCC (*Life Cycle Cost*), lalu dibandingkan dengan metode yang sudah ada, yaitu elektrokoagulasi.

**Tabel 4.2.2 Analisis Ekonomi dengan Metode LCC (*Life Cycle Cost*)**

Parameter LCC	Harga
<i>Initial Cost</i>	Rp993.500,00
<i>Delivery and Installation Cost</i>	Rp0,00
<i>Energy Cost</i>	Rp0,00
<i>Operational Cost</i>	Rp5.599.990,00
<i>Maintenance Cost</i>	Rp275.000,00

---

<i>Downtime Cost</i>	Rp0,00
<i>Decomissioning Cost / Disposal Cost</i>	Rp0,00
<b>Jumlah</b>	<b>Rp6.868.490,00</b>

---

Berdasarkan hasil analisa ekonomi menggunakan metode LCC (*Life Cycle Cost*) dalam kurun waktu 1 tahun, rancangan sistem ini menghabiskan biaya Rp6.868.490,00. Sistem ini dapat mengolah limbah batik dengan kapasitas 265,320 liter per bulan dan mampu menurunkan kadar Cr(VI) dengan efisiensi total sebesar 95,9%, BOD 89,96%, dan COD 92,75%. Sementara itu, dengan metode perhitungan yang sama, unit IPAL dengan proses elektrokoagulasi yang telah diterapkan Kampung Batik Semarang [57] menghabiskan biaya Rp7.887.546,39. Rincian proses IPAL ini mampu menurunkan COD dengan efisiensi 89% serta lebih ekonomis 12,92% dari metode elektrokoagulasi. Demikian, rancangan sistem yang diajukan penelitian ini terbukti lebih efektif dan efisien baik dari segi ekonomi maupun teknis.

Beberapa bahan seperti pasir dan kerikil dapat diperoleh dari alam tanpa membeli karena volume yang dibutuhkan sangatlah kecil. Keunggulan rancangan sistem ini biaya instalasi dapat ditekan menjadi Rp0,00. Perancangannya tidaklah rumit dan dapat dilakukan secara individu tanpa memerlukan tenaga ahli atau alat khusus, berbeda dengan aplikasi IPAL pada umumnya yang membutuhkan biaya konstruksi dan instalasi tinggi. Penelitian ini juga merekomendasikan untuk industri Batik dalam satu wilayah untuk mengelola limbah secara bersama-sama sehingga biaya dari pengolahan limbah dapat ditekan lagi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rangkaian alat *waste water treatment* yang dirancang mampu menurunkan kadar BOD, COD, dan Cr(VI) sebanyak:
  - A. BOD : 89,96%
  - B. COD : 92,75%
  - C. Cr(VI) : 95,94%
2. Metode ini memiliki keunggulan ekonomi sebesar 14,65% dibandingkan dengan metode pengolahan batik pada umumnya, elektrokoagulasi.

3. Hasil pengolahan limbah batik dengan *water treatment* yang diajukan telah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Hal itu dapat ditunjukkan dengan hasil akhir COD, BOD, dan Cr(VI) setelah mengalami proses.

## **B. Saran**

1. Limbah pewarna batik yang akan melewati bioreactor harus dipastikan telah bebas dari padatan yang berukuran besar untuk menghindari *clogging* pada adsorben.
2. Walaupun secara teoriti alat memiliki efisiensi penjernihan yang besar, tetapi perlu dilakukan uji coba lebih lanjut, dengan memvariasikan berbagai faktor seperti konsentrasi Cr(VI), pH, suhu, arang aktif, dan *Saccharomyces cerevisiae*.
3. Kerja sama antara industri batik dengan pihak pemerintah perlu dilakukan sehingga pengolahan limbah dilakukan secara kolektif untuk menekan biaya pengolahan limbah.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Nurainun, Heriyan, Rasyimah, Analisis Industri Batik di Indonesia, Fakultas Ekonomi Universitas Malikussaleh Banda Aceh, vol. 7 (3), pp. 124-135, 2008.
- [2] S. Suprayogi, M. Widyastuti, Kajian Kualitas Air Sungai Bedog Akibat Pembuangan Limbah Cair Sentra Industri Batik Desa Wijirejo, Yogyakarta: Majalah Geografi Indonesia, vol. 25 (1), pp. 40-54, 2011.
- [3] S. Mitra, A.J. Chakraborty, A.M. Tareq, T.B. Emran, F. Nainu, A. Khusro, A. M. Idris, M.U. Khandaker, H. Osman, F.A. Alhumaydhi, J. Simal-Gandara, Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity, Journal of King Saud University -Science, vol. 3 (2), 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>.
- [4] A. Monga, A.B. Fulke, D. Dasgupta, Recent developments in essentiality of trivalent chromium and toxicity of hexavalent chromium: Implications on human health and remediation strategies, Journal of Hazardous Materials Advances, vol. 7, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100113>.
- [5] Fenglian Fu, Qi Wang, Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review, Journal of Environmental Management, vol. 92 (3), pp. 407-418, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>.
- [6] M. Ahmaruzzaman, Industrial wastes as low-cost potential adsorbents for the treatment of wastewater laden with heavy metals, Advances in Colloid and Interface Science, vol. 166 (1-2), pp. 36-59, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.04.005>.

- [7] E.G.B. Susilo, R. dan Rijanta, Kajian Implementasi Bela-Beli Kulon Progo (Kasus: Air-KU, Batik Geblek Renteng, Dan Tomira), Skripsi Program Studi Pembangunan Wilayah, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2017.
- [8] K. Oginawati, Suharyanto, S.H. Susetyo, G. Sulung, Muhayatun, N. Chaxanah,
- [9] S.W.D. Kusumah, N. Fatimah, Investigation of Dermal Exposure to Heavy Metals (Cu, Zn, Ni, Al, Fe and Pb) in Traditional Batik Industry Workers, Heliyon, 2021, e08914.
- [10] Watini, Pengaruh Waktu Kontak Eceng Gondok (*Eichornia crassipes* Terhadap Penurunan Kadar Cd dan Cr Pada Limbah Industri Batik (Home Industry Batik Di Desa Sokaraja Lor) Kota Purwokerto, Purwokerto: Fakultas Kedokteran dan Ilmu-Ilmu Kesehatan Universitas Jenderal Soedirman, 2009.
- [11] E. Nur Raisah, Keefektifan Aerasi Sistem Tray dan Filtrasi sebagai Penurunan Chemical Oxygen Demand dan Padatan Tersuspensi pada Limbah Cair Batik. Unnes Journal of Public Health, 3 (4), 2014.
- [12] M. Manurung, Aplikasi kulit buah manggis (*Garcinia Mangostana* L.) sebagai Pewarna Alami Pada Kain Katun secara Pre-mordanting, J. Chem. 6 (2) (2012) 183-190.
- [13] N.S.M. Hussin A.R. Ismail, S. W. Hasbullah, N.A. Kadir, A review on sustainable development and heritage preservation and its concealment detrimental in batik dyeing, in: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 549, 2020, p. 2020, 012081.
- [14] K. Oginawati, A.A.H. Anka, S.H. Susetyo, S.A. Febriana, I. Tanziha, C.R.S Prakoeswa, Urinary Hippuric Acid Level as a Biological Indicator of Toluene Exposure on Batik Workers, Heliyon, 2021, e07775.
- [15] A.P. Manian, R. Paul, T. Bachtold, Metal mordanting in dyeing with natural colourants, Color. Technol. 132 (2016) 107-113.
- [16] Fu F, Wang Q, Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: a review, J Environ Manag 2011;92:407-18.
- [17] I.N. Eskani, I. dan de Crlo, Efektivitas Pengolahan Air Limbah Batik dengan Cara Kimia, dan Biologi, Dinamika Kerajinan dan Batik 22 (20017) 10-16.
- [18] A Bharadwaj, A.K. Saroha, Decolorization of the Textile Wastewater Containing Reactive Blue 19 Dye by Fenton and Photo-Fenton Oxidation, J. Hazard. Toxic Radioact. Waste. 19 (4) (2015), 04014043.
- [19] E.H. Handayani, K. Oginawati, M. Santoso, Assessment of Zn and Cu in Primary School Children's Street Foods, Res. Environ. Sci. Eng. 1 (1) (2020) 19 - 14.
- [20] Y. Li, X. Xu, J. Liu, K. Wu, C. Gu, G. Shao, S. Chen, G. Chen, X. Huo, The Hazard of Chromium exposure to neonates in Guiyu of China, Sci. Total Environ. 403 (2008) 99-104.
- [21] M. Huang, Z. Wang, S. Liu, Reutilization of the Cr ions adsorbed on activated carbon as colorants in glass preparation, J. Environ. Chem. Eng. 4 (2016) 1555- 1560.



- [22] S. Shi, J. Yang, S. Liang, M. Li, J. Hu, Enhanced Cr(VI) removal from acidic solutions using biochar modified by Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub>.NH<sub>2</sub> particles, *Sci. Total Environ.* 628-629 (2018) 499-508.
- [23] M. Tekere, Microbial bioremediation and different bioreactors designs applied, biotechnology and bioengineering. IntechOpen, pp. 1-19, 2019. <https://doi.org/10.5772/intechopen.83661>.
- [24] Lubis, S.S., Bioremediasi Logam Berat oleh Fungi Laut, Banda Aceh: AMINA, 2019, pp. 91-102.
- [25] K. Yina, Q. Wang, I D. & Chena L, Microorganism remediation strategies towards heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 360, 1553-1563, 2019. [doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.226](https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.226).
- [26] H. Timalsina, T. Gyawali, S. Ghimire, S.R. Paudel, Potential application of enhanced phytoremediation for heavy metals treatment in Nepal, *Chemosphere*, Volume 306, 2022, 135581, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135581>.
- [27] H. Ali, E. Khan, M.A. Sajad, Phytoremediation of heavy metals-concepts and application, *Chemosphere* 91, 2013, 898-881, <https://doi.org/10.1016/J>.
- [28] K.E. Gerhardt, P.D. Gerwing, B.M. Greenberg, Opinion: taking phytoremediation from proven technology to accepted practice, *Plan Sci*, 2017, 256, 170-185, <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2016.11.016>.
- [29] A.R. Memon, P. Shcörder, Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation, *Environ, Sci, Pollut, Res*, 2008, 16, 162-175, [https://doi.org/10.1007/S11356\\_008-0079-Z](https://doi.org/10.1007/S11356_008-0079-Z).
- [30] E.J.P. Salamanca, C.A. Madera-Parra, C.A. Avila-Williams, A.L. Rengifo- Gallego, D.A. Rios, Phytoremediation using terrestrial plants, *Phytoremediation Manag, Environ, Contam*, 2015, 2, 305-319, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10969-5>.
- [31] P.J. Hocking, Responses of *Cyperus involucratus* Rottb. to nitrogen and phosphorus, with reference to wastewater reclamation. *Water Res.* 19 (11), 1379– 1386, 1985. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(85\)90304-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(85)90304-5).
- [32] R.F. Polomski, D.G. Bielenberg, T. Whitwell, M.D. Taylor, W.C. Bridges, S.J. Klaine, Differential nitrogen and phosphorus recovery by five aquatic garden species in laboratory-scale subsurface-constructed wetlands. *HortScience* 43 (3), 868–874, 2008. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.3.868>.
- [33] D. Shan, L. Qingwei, Removal efficiency of eight plants in two different eutrophic water. *Journal of Northeast Forestry University* 44 (7), 80–83, 2016.
- [34] S.Y. Chan, Y.F. Tsang, H. Chua, S.N. Sin, L.H. Cui, Performance study of vegetated sequencing batch coal slag bed treating domestic wastewater in suburban areas. *Bioresour. Technol.* 99 (9), 3774–3781, 2008.
- [35] <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.07.018>
- [36] S. Kantawanichkul, S. Kladprasert, H. Brix, Treatment of high-strength wastewater in tropical vertical flow constructed wetlands planted with *Typha angustifolia* and

- Cyperus involucratus. *Ecol. Eng.* 35 (2), 238–247, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.06.002>.
- [37] P.E. Korsah, Phytoremediation of Irrigation Water Using *Limnocharis flava*, *Typha latifolia* and *Thalia geniculata* in a Constructed Wetland. Unpublished master's thesis. Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ashanti, Ghana, 2011.
- [38] J. Vymazal, Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: a review. *Ecol. Eng.* 61, 582–592, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.023>.
- [39] C. Zhang, W. Liu, X. Pan, M. Guan, S. Liu, Y. Ge, J. Chang, Comparison of effects of plant and biofilm bacterial community parameters on removal performances of pollutants in floating island systems. *Ecol. Eng.* 73, 58–63, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.023>.
- [40] E.C. Jiménez-López, G. López-Ocaña, R.G. Bautista-Margulis, M., Guerrero- Peña, A. Castelán-Estrada, J.R. Hernández-Barajas, C.A. Torres-Balcázar, E. de la Cruz-Luna, M.J. Romellón-Cerino, R. Solís-Sílván, Wastewater treatment by *T. Pincam*, et al. *Ecological Engineering* 143 (2020) 105667–9 constructed wetlands with *Thalia geniculata* and *Paspalum paniculatum* in a tropical system of Mexico. *Int. J. Sustain. Dev. Plan.* 12 (01), 42–50, 2017. <https://doi.org/10.2495/SDP-V12-N1-42-50>.
- [41] H. Brix, Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands. *Water Sci. Technol.* 35 (5), 11–17, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00047-4](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00047-4).
- [42] C.C. Tanner, Plants for constructed wetland treatment systems - a comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. *Ecol. Eng.* 7, 59–83, 1996. [https://doi.org/10.1016/0925-8574\(95\)00066-6](https://doi.org/10.1016/0925-8574(95)00066-6).
- [43] F. Zhao, W. Yang, Z. Zeng, H. Li, X. Yang, Z. He, B. Gu, M.T. Rafiq, H. Peng., Nutrient removal efficiency and biomass production of different bioenergy plants in hypereutrophic water. *Biomass Bioenergy* 42, 212–218, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.04.003>.
- [44] L. Indrayani, M. Triwiswara, Effectivity of Batik Industry Wastewater Treatment Using Constructed Wetland Technology, Yogyakarta: Balai Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit, 2018.
- [45] T. Widayatno, Adsorpsi logam berat (Pb) dari limbah cair dengan adsorben arang bambu aktif. *Jurnal teknologi bahan alam*, 1(1), 2017, pp.17-23.
- [46] J. Huve, A. Ryzhikov, H. Nouali, V. Lalia, G. Aug´e, T.J. Daou, Porous sorbents for the capture of radioactive iodine compounds: a review. *RSC Adv.* 8 (51), 2018, 29248–29273.
- [47] Sudrajat, S. Soleh, Petunjuk teknis pembuatan arang aktif, Bogor: Puslitbang Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan, 1994.
- [48] Y. Meisrilestari, R. Khomaini, H. Wijayanti, Pembuatan Arang Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivasi secara Fisika, Kimia, dan Fisika-Kimia, *Konversi*, 2 (1), 2013, e-ISSN: 2541-3481.

- [49] M. Parapuouli, A. Vasileiadis, A.S. Afendra, E. Hatziloukas, *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications, *AIMS microbiology* vol. 6,1 1-31, 2020, doi:10.3934/microbiol.2020001
- [50] R.M. Mulia, *Kesehatan Lingkungan*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2005.
- [51] A. Lumaela, *Pemodelan Chemical Oxygen Demand (COD) sungai Di Surabaya Dengan metode Mixed Geographically Weighted Regression*, *J. Sains Dan Seni Pomits*, vol. 2, no. 1, pp. 100–105, 2013.
- [52] T. R. Kurniati and M. Mujiburohman, *Pengaruh beda potensial dan waktu kontak elektrokoagulasi terhadap penurunan kadar COD dan TSS pada limbah cair laundry*, *URECOL Conference : Bidang MIPA dan Kesehatan*, 2020, pp. 309–313.
- [53] N. D. Lestari and T. Agung, “Penurunan TSS dan warna limbah industri batik secara elektrokoagulasi,”*J. Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 6, no. 1,pp. 37–44, 2016.
- [54] B. V. Tangahu and A. P. Putri, *THE DEGRADATION OF BOD AND COD OF BATIK INDUSTRY WASTEWATER USING EGERIA DENSA AND SALVINIA MOLESTA*, *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, vol. 9, p. 90, 2017.
- [55] R. F. Dwisandi, F. Mutiara, E. Nurfauziah and V. Melyani, *Review effectiveness of indigenous local microorganisms in degrading hexavalent chromium (Cr(VI)) in Batik liquid waste*, *Biological Environment and Pollution*, vol. 1, pp. 19-25, 2021.
- [56] J. Bayuo, K. B. Pelig-Ba and M. A. Abukari, *Adsorptive removal of chromium(VI) from aqueous solution unto*, *Applied Water Science*, vol. IX, pp. 1- 9, 2019.
- [57] Y. Wang, C. Peng, E. P. Ortega, A. R. Cabrera and A. L. Valdivieso, *Cr(VI) adsorption on activated carbon: Mechanisms, modeling and limitations in water treatment*," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. VIII, no. 4, p. 4, 2020.
- [58] H. Haroon, J. A. Shah, S. M. Khan, T. Alam, R. Khan, S. A. Asad, M. A. Ali,
- [59] G. Farooq, M. Iqbal and M. Bilal, *Activated carbon from a specific plant precursor biomass for hazardous Cr*, *Journal of Water Process Engineering*, vol. XXXVIII, p. 9, 2020.
- [60] A. D. Rossi, M. R. Rigon, M. Zapparoli, R. D. Braidó, L. M. Colla, L. D. Guilherme and J. S. Piccin, *Chromium (VI) biosorption by Saccharomyces cerevisiae subjected*, *Environmental Science and Pollution Research*, p. 19184, 2018.
- [61] M. M. Sari, S. Hartini and S. , *PEMILIHAN DESAIN INSTALASI PENGELOLAAN AIR LIMBAH BATIK YANG EFEKTIF DAN EFISIEN DENGAN MENGGUNAKAN*, *Jurnal Teknik Industri*, vol. X, p. 27, 2015.