

RANCANGAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK MENGUNAKAN ELEKTROKOAGULASI UNTUK PARAMETER KADAR Cr DAN Pb

(diterima 1 September 2024, diperbaiki 15 September 2024, disetujui 15 Oktober 2024)

Aris Maulana Yusuf^{1*}, Anis Masyruroh², Frebhika Sri Puji Pangesti³

¹PT. Batik Banten Mukarnas, Kota Serang, Banten, Indonesia
^{1,2,3}Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Banten Jaya
Kota Serang, Banten, Indonesia
email korespondensi*: arismaulanayusuf@unbaja.co.id

Abstract. *The batik industry in Indonesia raises its own problems in terms of the environment, such as contaminants that caused by the batik production process, namely heavy metal pollutants Cr and Pb which threaten human health. The technology that can be used to reduce the presence of heavy metal pollutants is creating an Waste Water Treatment Plant (WWTP). This research aims to design a simple electrocoagulation WWTP prototype and determine the reduction in Chrome (Cr) and Lead (Pb) pollutants. The WWTP consists of 4 tanks, namely equalization tank, reactor tank, filtration tank and control tank. The efficiency of reducing the quality of batik liquid waste using electrocoagulation WWTP was on the first day the Cr concentration at the 120th minute was -42.85%, and at the 240th minute it was 28.5%, for Pb reduction at the 120th minute -14%, and at 240 minutes 0%. On the second day the Cr concentration at the 120th minute was 11.1% and at the 240th minute was 33.3%, the decrease in Pb at the 120th minute was 3.8% and at the 240th minute was 3.8%. The test results for the difference between influent and effluent from liquid batik waste using SPSS software did not have a significant value.*

Keywords: *Waste Water Treatment Plant; Electrocoagulation; Chrome; Lead.*

Abstrak. Industri batik di Indonesia menimbulkan persoalan tersendiri dalam kaitan lingkungan, seperti pencemaran akibat proses produksi batik yaitu polutan logam berat Krom (Cr) dan Timbal (Pb) yang mengancam kesehatan manusia. Teknologi yang bisa digunakan dalam menekan adanya polutan logam berat yaitu membuat Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pada penelitian ini bertujuan merancang prototipe IPAL elektrokoagulasi sederhana dan mengetahui penurunan pada polutan Cr dan Pb. Bak IPAL terdiri dari 4 bak yaitu bak ekualisasi, bak reaktor, bak filtrasi, dan bak kontrol. Efisiensi penurunan kualitas limbah cair batik menggunakan IPAL elektrokoagulasi yaitu pada hari pertama konsentrasi Cr di waktu 120 menit -42,85%, dan di waktu 240 menit 28,5 %, untuk penurunan Pb di waktu 120 menit -14%, dan di waktu 240 menit 0%. Untuk hari kedua konsentrasi Cr di waktu 120 menit 11,1% dan di waktu 240 menit 33,3%, untuk penurunan Pb di waktu 120 menit 3,8%, dan di waktu 240 menit 3,8%. Hasil uji perbedaan influent dan effluent limbah cair batik menggunakan software SPSS tidak terdapat nilai signifikan.

Kata Kunci: *Instalasi Pengolahan Air Limbah; Elektrokoagulasi; Krom; Timbal.*

© hak cipta dilindungi undang-undang

PENDAHULUAN

UNESCO mengukuhkan batik sebagai warisan budaya milik Indonesia sejak 2 Oktober 2009. Penyebaran batik di Indonesia menurut UNESCO tersebar di 23 provinsi dari 33 provinsi di Indonesia, dan dari 23 provinsi yang memiliki batik 18 di antaranya memiliki industri di setiap provinsinya pada tahun 2009 (UNESCO, 2009). Menurut data dari Balai Besar Kerajinan dan Batik (BBKB) Kementerian Perindustrian (Kemenperin) Republik Indonesia tahun 2021, terdapat sebanyak 2.951 Industri Mikro, Kecil, dan Menengah (IMKM) Batik yang tersebar di seluruh Indonesia.

Selain menghadapi berbagai permasalahan, industri tekstil batik juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan yaitu adanya limbah cair hasil dari output produksi batik yang berasal dari proses pencelupan, sehingga limbah yang dirilis kedalam badan lingkungan terlihat berwarna yang menandakan terindikasi adanya pencemaran lingkungan. Faktanya, sebanyak 81% industri batik belum melakukan pengelolaan limbah dengan baik. Dalam hal ini, batik tidak hanya membawa manfaat namun juga tanggung jawab yang besar. Pemerintah diminta untuk sanggup menjaga, melestarikan, dan mewariskan secara estafet kepada generasi yang akan datang. Jika tidak dilaksanakan, maka sanksinya adalah dicabut atau dihapus dari daftar warisan budaya dunia.

Peningkatan industri batik di Indonesia ternyata menimbulkan persoalan tersendiri dalam kaitannya dengan lingkungan, terutama lingkungan perairan. Proses industri batik menghasilkan limbah dengan karakteristik zat warna yang dihasilkan dari proses pencelupan dan pencucian kain batik (Tangahu, 2016). Menurut Pratiwa Siregar et al. (2020), sebagian besar industri batik di Pulau Jawa menggunakan bahan pewarna buatan, keadaan ini dapat menjadi masalah di waktu yang akan datang karena limbah yang dihasilkan belum dikelola dengan baik bahkan banyak industri yang membuang limbah ke sungai. Dampaknya, warna sungai berubah dan menghasilkan bau tidak sedap hal ini dapat merugikan masyarakat yang mengandalkan sungai sebagai mata pencaharian atau aktifitas sehari-hari.

Kadar pencemaran zat warna dalam proses produksi sangat bervariasi, baik dari segi jumlah maupun jenisnya. Hal ini disebabkan karena faktor kapasitas produksi. Limbah cair pada industri batik umumnya bersifat basa dengan kadar senyawa organik yang tinggi disebabkan oleh sisa-sisa proses industri (Fidiastuti & Lathifah, 2018).

Limbah industri batik merupakan limbah yang potensial berbahaya karena karakteristiknya dapat membuat kondisi perairan menjadi keruh dengan adanya keberadaan zat pewarna dalam proses industri. Beberapa jenis zat warna sintetis yang sering digunakan dalam proses pembuatan batik adalah naphthol, indanthrene, procion, direk dan indigosol. Zat warna tersebut dapat ditemukan dengan mudah di pasaran.

Dalam penelitian Hartati (2011), mengemukakan bahwa limbah cair industri batik dilaporkan mengandung logam berat seperti timbal, besi, seng, krom, tembaga dan kadmium dan kadar Pb dalam limbah cair industri batik dapat mencapai 0,2349 mg/L. Dengan demikian, diperlukan proses mengelola air limbah tanpa menggunakan bahan kimia, yaitu bisa dilakukan dengan cara dicampurkan ke dalam air sehingga salinitas air limbah tidak meningkat setelah pengolahan, proses tersebut dikenal dengan istilah elektrokoagulasi.

Elektrokoagulasi adalah suatu proses gabungan pada proses flokulasi-koagulasi dimana pemrosesan yang relatif kompak dan kuat ini menjadi salah satu alternatif yang baik dibanding pengolahan secara tradisional. Elektrokoagulasi pertama kali dikemukakan oleh Vik et al. menggambarkan instalasi pengolahan limbah di London yang dibangun pada tahun 1889 dimana pengolahan elektrokimia digunakan melalui pencampuran air limbah domestik dengan air garam (laut) (Kabdaşlı et al. 2012).

METODE

Penelitian ini menggunakan metode elektrokoagulasi secara batch. Dalam percobaan metode ini, elektroda yang digunakan terdiri dari empat katoda dan empat anoda yang terbuat dari alumunium dengan ukuran 10 cm x 0,12 cm x 37 cm dan dilakukan yaitu dengan variasi waktu kontak terhadap elektroda 0, 120 dan 240 menit, listrik 50 Volt dengan pemasangan alumunium sebagai katoda dan anoda, dengan ukuran 10 cm x 0,12 cm x 37 cm, serta jarak katoda dan anoda 10 cm serta jumlah air limbah sebanyak 20 liter.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan sebagai berikut: Pipa PVC dengan ukuran $\frac{3}{4}$, kaca 0,5 mm, aksesoris pipa PVC keran stop (*Gate Valve*), *knee* 2 unit, drigen 5 liter, bor listrik 1 unit, *hole saw* 1 unit, inverter AC-DC 50 volt 1 unit, kabel listrik 5 meter, steker listrik 1

unit, penjepit buaya 2 unit, multimeter 1 unit, beaker glass 1 unit, aluminium 8 unit, dan AAS (SavantAA) 1 unit.

Bahan yang digunakan sebagai berikut: sampel air limbah batik sebanyak 20 Liter, aquades 10 Liter, pasir silika 2 kg, pasir zeolit 2 kg, arang aktif 2 kg, dan busa 4 unit.

Prosedur Penelitian

Tahap Pembuatan Bak Ekualisasi

Tahap pertama yaitu menghitung kebutuhan bak ekualisasi yaitu yang akan menampung jumlah air limbah sebanyak 20 liter, setelah itu bak akan disambung dengan pipa PVC berukuran $\frac{3}{4}$ inc dimana dilengkapi dengan katup sebagai pembuka dan penutup aliran air yang akan mengalir ke dalam bak reaktor inti dalam proses elektokoagulasi.

Tahap Pembuatan Bak Reaktor

Pada tahap ini digunakan jenis yang dimana nantinya tempat reaksinya proses elektrokoagulasi. Pada tahap ini juga proses pembuatan rangkaian elektroda dilakukan yaitu dengan variasi waktu kontak terhadap elektroda 0, 120 dan 240 menit. Pemilihan elektroda aluminium karena menurut Enny *et al.* (2017) menunjukkan bahwa kombinasi elektroda Aluminium memiliki tingkat efisiensi tertinggi sebesar 75,84%.

Tahap Pembuatan Bak Filtrasi

Pada tahap ini digunakan jenis prototipe bak filtrasi dengan kapasitas maksimum 20.000 cm³ aliran air yang melewati bak filtrasi dari bak reaktor akan di saring oleh penyaring yang terdiri dari:

1. Busa sebagai penyaring bagian kasar;
2. Zeolit adalah senyawa alumino, zeolit mampu mengikat kandungan logam yang dikandungnya dalam air (Sitorus, 2022);
3. Arang aktif atau karbon aktif sebagai penyerap bau, warna, klorin atau mineral lain dan membuat rasa segar pada air (Purwanti *et al.*, 2021);
4. Pasir silika berfungsi untuk menghilangkan sifat fisiknya, seperti kekeruhan, atau lumpur serta bau (Sitorus, 2022).

Tahap Pembuatan Bak Kontrol

Bak kontrol digunakan sebagai bak penampungan akhir pada pengolahan limbah cair batik setelah melalui tahap filtrasi, bak ini berkapasitas 25 liter berfungsi untuk

penampungan sementara air limbah yang nantinya akan di rilis atau di dikeluarkan ke badan lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan prototipe IPAL

Penelitian ini menggunakan metode elektrokoagulasi secara batch. Dalam percobaan metode ini, elektroda yang digunakan terdiri dari empat katoda dan empat anoda yang terbuat dari alumunium dengan ukuran 10 cm x 0,12 cm x 37 cm pengolahan maksimum yang dapat di olah sebanyak 20 liter di setiap harinya dan juga pengolahan dilakukan pada hari yang berbeda.

Bak Ekualisasi (Penampungan Awal)

Bak pengolahan elektrokoagulasi dengan volume limbah cair batik 20 Liter di setiap harinya. Volume Bak di dapat dari persamaan rumus $\text{volume} = p \times l \times t$.

Diketahui:

20 liter air limbah batik	= $0,02 \text{ m}^3$
Ditetapkan Bak	= 20.000 cm^3
Kedalaman Bak	= 26 cm
Lebar Bak	= 25 cm
Panjang Bak	= 40 cm
Tinggi Ruang Bebas (Free Board)	= 6 cm
Konstruksi	= Kaca
Tebal Dinding Kontruksi	= 5,0 mm = 0,5 cm

Chek:

Volume efektif : 26.000 cm^3

Bak Reaktor Elektroagulasi

Bak elektrokoagulasi dapat mengolah volume limbah cair batik 20 Liter. Volume Bak Volume Bak di dapat dari persamaan rumus $\text{volume} = p \times l \times t$.

Diketahui:

20 liter air limbah batik yang masuk dari bak ekualisasi $0,02 \text{ m}^3$ atau 20.000 cm^3

Ditetapkan Bak

Kedalaman Bak	= 37 cm
Lebar Bak	= 30 cm

Panjang Bak = 30 cm
Tinggi Ruang Bebas (Free Board) = 13,3 cm
Kontruksi = Kaca
Tebal Dinding Kontruksi = 5,0 mm = 0,5 cm

Chek :

Volume efektif = 33.300 cm^3

Waktu HRT pada bak ditentukan selama 240 menit untuk pengolahan sistem Batch.

Bak Filtrasi

Volume Bak: 20 liter ($0,02 \text{ m}^3$ atau 20.000 cm^3) air limbah batik yang dikeluarkan dari bak reaktor sistem batch kemudian masuk ke dalam bak filter.

Di tetapkan Bak

Kedalaman Bak = 50 cm
Lebar Bak = 20 cm
Panjang Bak = 20 cm
Kontruksi = Kaca
Tebal Dinding Kontruksi = 5,0 mm = 0,5 cm

Chek :

Volume efektif = $20.000 \text{ cm}^3/\text{menit}$

Bak Kontrol

20 liter ($0,02 \text{ m}^3$ atau 20.000 cm^3)

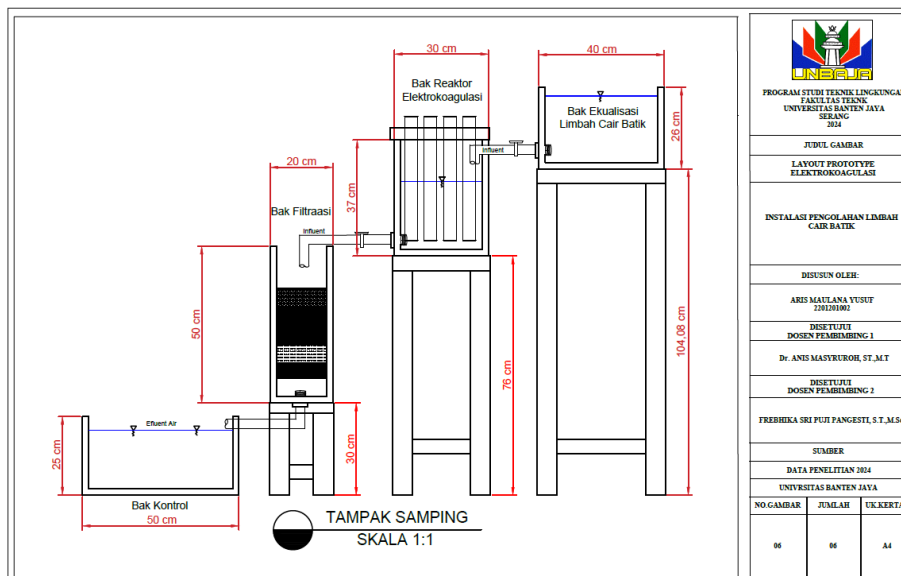
Di tetapkan Bak

Kedalaman Bak = 25 cm
Lebar Bak = 20 cm
Panjang Bak = 50 cm
Tinggi Ruang Bebas (Free Board) = 5 cm
Kontruksi = Kaca
Tebal Dinding Kontruksi = 5,0 mm = 0,5 cm

Chek :

Volume efektif = 25.000 cm^3

Layout Prototipe Instalasi Pengolahan Limbah Cair Batik



Gambar 1. Layout Instalasi Pengolahan Limbah Cair Batik (Hasil Penelitian, 2024)

Analisis Awal Karakteristik Limbah Cair Batik

Analisis karakteristik limbah cair ini menguji parameter logam berat Cr dan Pb.

Tabel 1. Hasil Analisis Karakteristik Awal Limbah Cair Batik

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	Kadar Maksimum
1	Kromium (Cr)	mg/L	0,018	1
2	Timbal (Pb)	mg/L	0,26	0,1

(Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan tabel diatas menjelaskan bahwa kadar logam berat masih terdapat pada limbah cair batik.

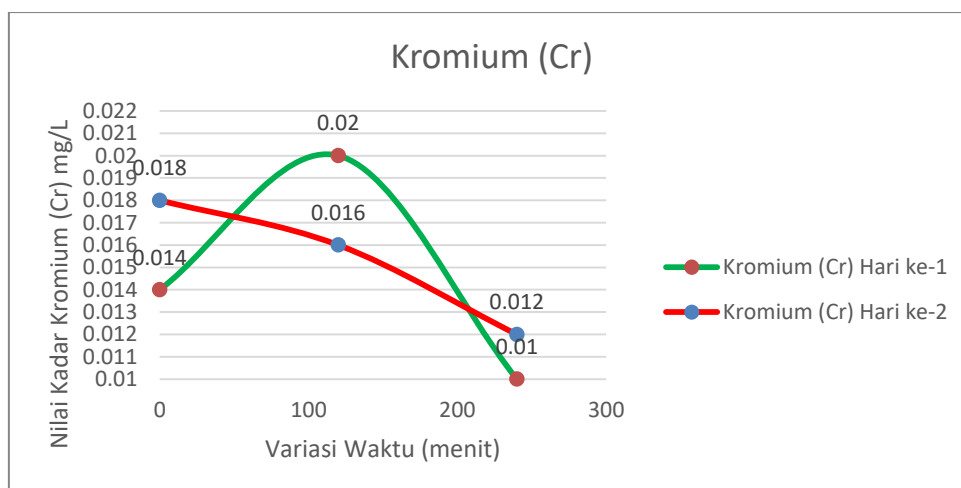
Hasil Pengujian Kualitas Limbah Cair Batik

Konsentrasi Kromium (Cr)

Tabel 2. Hasil Pengujian Penelitian Kromium (Cr) Total

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian				Kadar Maksimum Baku Mutu
			Influen	Efluen 120 menit	Influen	Efluen 240 menit	
Hari ke-1							
1	Kromium (Cr)	mg/L	0,014	0,02	0,014	0,01	1
Hari ke-2							
2	Kromium (Cr)	mg/L	0,018	0,016	0,018	0,012	1

(Hasil Penelitian, 2024)



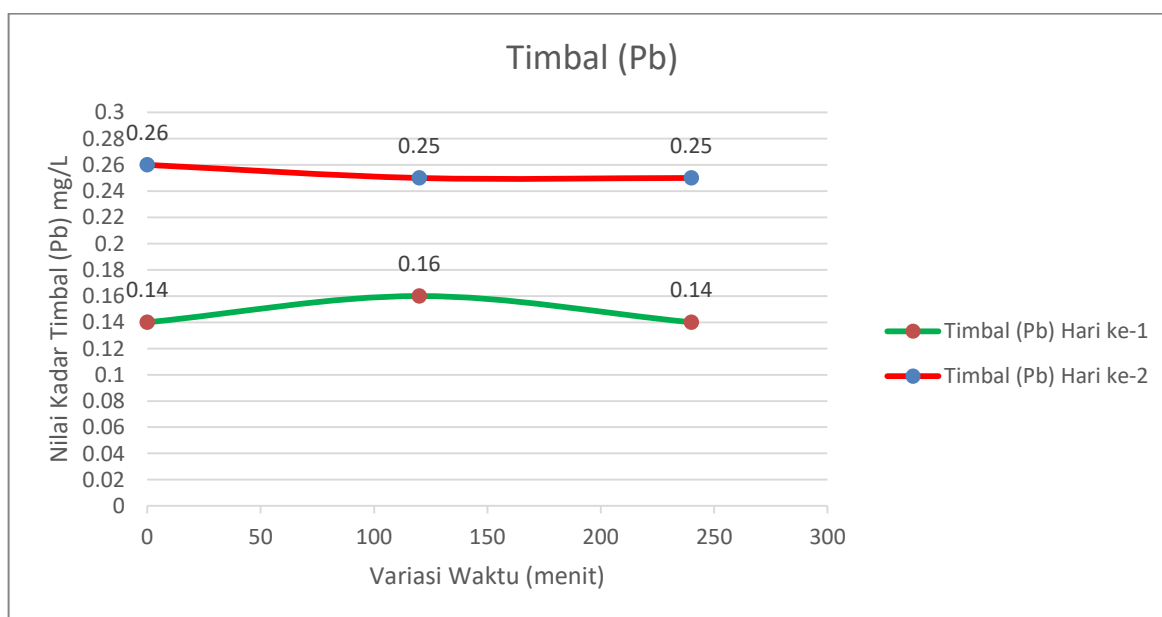
Gambar 2. Konsentrasi kromium (Cr) Total Pada variasi waktu (Hasil Penelitian, 2024)

Konsentrasi Timbal (Pb)

Tabel 3. Hasil Pengujian Penelitian Timbal (Pb)

Tabel 3. Hasil Pengujian Pencemaran Timbal (Pb)							
No	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian				Kadar Maksimum Baku Mutu
			Influen	Efluen 120 menit	Influen	Efluen 240 menit	
Hari ke-1							
1	Timbal (Pb)	mg/L	0,14	0,16	0,14	0,16	0,1
Hari ke-2							
2	Timbal (Pb)	mg/L	0,26	0,25	0,26	0,25	0,1

(Hasil Penelitian, 2024)



Gambar 3. Penurunan Konsentrasi Timbal (Pb) Pada variasi waktu (Hasil Penelitian, 2024)

Efisiensi Pengolahan

Untuk mengukur keefektifan prototipe instalasi pengolahan limbah cair batik perlu dilakukan analisis efisiensi pengolahan limbah cair dengan pendekatan rumus sesuai dengan rumus sebagai berikut (Murniati et al., 2015):

$$\text{Efisiensi elektroda (E)} = \left(\frac{C_o - C_t}{C_o} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

E = Efisiensi elektroda (%)

Co = Konsentrasi awal

Ct = Konsentrasi akhir

Persentase penurunan kualitas prototipe instalasi pengolahan air limbah cair batik dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Sangat efisien : $X > 80\%$
2. Efisiensi : $60\% < X \leq 80\%$
3. Cukup efisien : $40\% < X \leq 60\%$
4. Kurang efisien : $20\% < X \leq 40\%$

Tabel 4. Efisiensi Kromium (Cr) Setelah Pengolahan Hari Ke-1

No	Nama Parameter	Waktu	Influent	Effluent	Efisiensi (%)	Keterangan
1	Kromium (Cr)	120	0,014	0,02	-42,85	Tidak Efisien
		240	0,014	0,01	28,5	Kurang Efisien

(Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 5. Efisiensi Kromium (Cr) Pengolahan Hari Ke-2

No	Nama Parameter	Waktu	Influent	Effluent	Efisiensi (%)	Keterangan
1	Kromium (Cr)	120	0,018	0,016	11,1	Tidak Efisien
		240	0,018	0,012	33,3	Kurang Efisien

(Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 6. Efisiensi Timbal (Pb) Pengolahan Hari Ke-1

No	Nama Parameter	Waktu	Influent	Effluent	Efisiensi (%)	Keterangan
1	Timbal (Pb)	120	0,14	0,16	-14	Tidak Efisien
		240	0,14	0,14	0	Tidak Efisien

(Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 7. Efisiensi Timbal (Pb) Pengolahan Hari Ke-2

No	Nama Parameter	Waktu	Influent	Effluent	Efisiensi (%)	Keterangan
1	Timbal (Pb)	120	0,26	0,25	3,8	Tidak Efisien
		240	0,26	0,25	3,8	Tidak Efisien

(Hasil Penelitian, 2024)

Dari penelitian ini pada parameter Pb dan Cr tidak mengalami efisiensi penurunan yang signifikan bahkan mengalami peningkatan dan kembali stagnan dengan hasil awal pengujian (sampel kontrol yang ke 0 menit) hal ini menurut penelitian Dermentzis *et al.* (2011), laju penghilangan logam berat dari air limbah tampaknya lebih lambat. Hal ini disebabkan oleh adanya senyawa organik, yang juga bersaing untuk adsorpsi pada flok elektroda sehingga menghasilkan pengurangan besar dalam penghilangan ion logam dan menurut Prastiwi (2018), proses efisiensi pada elektrokoagulasi di haruskan pH pada air limbah harus keadaan netral agar penurunan pada elektrokoagulasi sempurna dan optimal.

Uji Perbedaan

Analisis bivariat dilakukan terhadap dua variabel yang diduga berhubungan atau berkorelasi. Jenis analisis data pada analisis bivariate ini menggunakan uji paired t-test. Untuk mengetahui nilai signifikansi pada uji paired sample t-test ini dibutuhkan data sebelum dan setelah pengolahan menggunakan elektrokoagulasi. Berikut disajikan **Tabel 8.** mengenai data influen dan effluen limbah cair batik.

Tabel 8. Influen dan Effluen Limbah Cair Batik

No	Parameter	1		2
		Influen	Effluen 120 menit	Effluen 240 menit
1	Cr	0,018	0,016	0,012
2	Pb	0,26	0,25	0,25
3	Cr	0,014	0,02	0,01
4	Pb	0,14	0,16	0,14

(Hasil Penelitian, 2024)

Uji Perbedaan

Untuk mengetahui data tersebut berdistribusi normal dilakukan uji normalitas Shapiro-Wilk hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 9.**

Tabel 9. Uji Normalitas Shapiro Wilk

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Influen	Cr	0,279	4		0,873	4	0,310
Efluent		0,289	4		0,869	4	0,292
Influen	Pb	0,279	4		0,873	4	0,310
Efluent		0,285	4		0,869	4	0,294
a. Lilliefors Significance Correction							

(Hasil Pengolahan Data SPSS, 2024)

Berdasarkan tabel diatas nilai signifikansi pada Uji Normalitas Shapiro Wilk secara keseluruhan nilai signifikansinya $> 0,05$, dapat disimpulkan data tersebut berdistribusi normal. Jika data telah berdistribusi normal, maka uji paired sample t- test dapat dilakukan. Berikut disajikan uji perbedaan menggunakan software SPSS.

Tabel 10. Uji Paired Samples Test

		Paired Samples Test								
		Paired Differences								
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)	Keterangan
					Lower	Upper				
Pair 1	Influent Cr – Effluent Cr	-0,00350	0,01279	0,00640	-0,02386	0,01686	-0,547	3	0,622	Tidak Terdapat Perbedaan Signifikan
Pair 2	Influent Pb – Effluent Pb	0,00500	0,00416	0,00208	-0,00162	0,01162	2,402	3	0,096	Tidak Terdapat Perbedaan Signifikan

(Hasil Pengolahan Data SPSS, 2024)

KESIMPULAN

Rancangan prototipe instalasi IPAL limbah cair batik di PT. Batik Banten Mukarnas menggunakan elektrokoagulasi terdapat empat bak yang memiliki volume efektifitas berbeda. Volume bak equalisasi (bak penampung awal) sebesar 26.000 cm^3 , volume bak reaktor elektrokoagulasi sebesar 33.300 cm^3 , volume maksimum bak filtrasi sebesar 20.000 cm^3 , dan bak kontrol (bak penampung akhir) sebesar 25.000 cm^3 .

Prototipe IPAL limbah cair batik PT. Batik Banten Mukarnas menggunakan sistem elektrokoagulasi dengan parameter kadar awal Cr hari ke-1 $0,014 \text{ mg/L}$ dan hari ke-2 $0,018 \text{ mg/L}$ serta kadar Pb hari ke-1 $0,14 \text{ mg/L}$ dan hari ke-2 $0,26 \text{ mg/L}$. Prototipe elektrokoagulasi dapat menurunkan parameter pada pengolahan kromium (Cr) total dengan waktu 120 menit sebesar $11,1\%$, dan waktu 240 menit sebesar $33,3\%$ serta timbal (Pb) pada waktu 120 menit sebesar $3,8\%$ dan pada waktu 240 menit masih tetap sama dengan waktu 120 menit yaitu sebesar $3,8\%$. Walaupun nilai konsentrasi awal masih dalam baku mutu, tetapi untuk menjamin kualitas lingkungan hidup limbah yang dibuang diharapkan dapat mencapai *zero polutan*. Tidak ada perbedaan signifikan antara influent dan effluent pada limbah cair batik untuk parameter kromium (Cr) dan Timbal (Pb) setelah diolah dengan sistem elektrokoagulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bharath, M., Krishna, B. M., & Kumar, B. M. (2018). A review of electrocoagulation process for wastewater treatment. *International Journal of ChemTech Research*, 11(3), 289-302. <https://doi.org/10.20902/ijctr.2018.110333>.
- Dermentzis, K., Christoforidis, A., Valsamidou, E., Lazaridou, A., & Kokkinos, N. (2011). Removal of hexavalent chromium from electroplating wastewater by electrocoagulation with iron electrodes. *Glob. Nest J*, 13, 412-418.
- Indrayani, L., & Rahmah, N. (2018). Nilai parameter kadar pencemar sebagai penentu tingkat efektivitas tahapan pengolahan limbah cair industri batik. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(1), 41-50. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.35754>.
- Kabdaşlı, I., Arslan-Alaton, I., Ölmez-Hancı, T., & Tünay, O. J. E. T. R. (2012). Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: a critical review. *Environmental Technology Reviews*, 1(1), 2-45. <https://doi.org/10.1080/21622515.2012.715390>.
- Murniati, T. (2014). *Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik dengan Metode Elektrolisis sebagai Alternatif Penurunan Tingkat Konsentrasi Logam Berat di Sungai Jenes, Kecamatan Laweyan, Kota Surakarta* (Doctoral dissertation, UNS (Sebelas Maret University)).
- Nidheesh, P. V., Scaria, J., Babu, D. S., & Kumar, M. S. (2021). An overview on combined electrocoagulation-degradation processes for the effective treatment of water and wastewater. *Chemosphere*, 263, 127907. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127907>.
- Prastiwi, T. F. (2018). *Optimasi Tegangan Elektrokoagulasi Untuk Mereduksi Kadar Logam (Cr Total), Cod, Dan Tss Pada Limbah Cair Batik Di Ukm Griya Batik Zahra, Kota Probolinggo* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Sutanhaji, T., Suharto, B., & Shofiyunniswah, S. (2019). Elektrokoagulasi untuk Penurunan Kadar Kromium (Cr), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Total Suspended Solid (TSS) pada Limbah Industri Penyamakan Kulit di Singosari Kabupaten Malang. *Dampak*, 16(2), 131-138. <https://doi.org/10.25077/dampak.16.2.131-138.2019>.
- Sadik, M. A. (2019). Removal of reactive dye from textile mill wastewater by leading electro-coagulation process using aluminum as a sacrificial anode. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 9(02), 182. <https://doi.org/10.4236/aces.2019.92014>.
- Sen, S., Prajapati, A. K., Bannatwala, A., & Pal, D. (2019). Electrocoagulation treatment of industrial wastewater including textile dyeing effluent—a review. *Desalination and Water Treatment*, 161(1), 21-34. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24302>.