

Pengolahan Limbah Cair Batik dengan Kombinasi Elektrokoagulasi dan Adsorpsi

Muchammad Kasyfurrahman Shidqi, Raden Kokoh Haryo P*, Muhammad A. S. Jawwad

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: radenkokoh.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 6 Oktober 2025

Disetujui: 10 November 2025

Abstract

The batik industry is one of Indonesia's rapidly growing cultural and economic sectors. However, its production process generates wastewater containing high levels of synthetic dyes, total suspended solids (TSS), and chemical oxygen demand (COD), which can deteriorate water quality. This study aims to evaluate the effectiveness of the combined electrocoagulation–adsorption process in reducing dye, TSS, and COD concentrations in batik wastewater. The electrocoagulation process used aluminum electrodes with current variations of 1–5 A and contact times of 30–150 minutes, followed by adsorption using activated carbon as the adsorbent. The results showed that the combined process achieved excellent pollutant removal efficiency. Dye concentration decreased from 6742 Pt-Co to 93 Pt-Co, TSS from 5100 mg/L to 80 mg/L, and COD from 2432 mg/L to 39 mg/L, with overall removal efficiencies of 98–99%. The optimal condition was obtained at 5A and 150 minutes of reaction time. In conclusion, the electrocoagulation–adsorption combination is proven to be effective and environmentally friendly for reducing pollutant loads in batik wastewater.

Keywords: *combination of electrocoagulation, synthetic dyes, batik liquid waste, water quality*

Abstrak

Industri batik merupakan sektor budaya dan ekonomi yang berkembang pesat di Indonesia, namun proses produksinya menghasilkan limbah cair dengan kandungan zat warna sintetis, padatan tersuspensi total (TSS), dan *chemical oxygen demand* (COD) yang tinggi. Kandungan polutan tersebut berdampak negatif terhadap kualitas perairan sehingga diperlukan metode pengolahan yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas kombinasi proses elektrokoagulasi–adsorpsi dalam menurunkan kadar zat warna, TSS, dan COD pada limbah cair batik. Proses elektrokoagulasi dilakukan menggunakan elektroda aluminium dengan variasi kuat arus 1–5 A dan waktu kontak 30–150 menit, dilanjutkan dengan proses adsorpsi menggunakan karbon aktif sebagai adsorben. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kedua proses memberikan efisiensi penyisihan yang sangat tinggi. Konsentrasi zat warna menurun dari 6742 Pt-Co menjadi 93 Pt-Co, TSS dari 5100 mg/L menjadi 80 mg/L, dan COD dari 2432 mg/L menjadi 39 mg/L, dengan efisiensi penyisihan mencapai 98–99%. Kondisi optimum diperoleh pada kuat arus 5A dan waktu reaksi 150 menit. Secara keseluruhan, kombinasi elektrokoagulasi–adsorpsi terbukti efektif dan ramah lingkungan dalam menurunkan beban pencemar limbah cair batik.

Kata Kunci: *kombinasi elektrokoagulasi, zat warna sintetis, limbah cair batik, kualitas perairan*

1. Pendahuluan

Perkembangan sektor industri di Indonesia menunjukkan pertumbuhan yang signifikan, salah satunya adalah industri batik yang telah diakui oleh UNESCO sebagai warisan budaya. Peningkatan permintaan pasar secara langsung mendorong volume produksi, yang sayangnya juga berkorelasi dengan peningkatan volume limbah cair. Proses pewarnaan batik yang intensif menggunakan berbagai jenis zat warna dan bahan kimia lainnya menghasilkan limbah cair dengan karakteristik polutan tinggi yang berpotensi mencemari lingkungan perairan. Secara spesifik, limbah batik dicirikan oleh kandungan Zat Warna yang tinggi, Padatan Tersuspensi Total (TSS), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang melebihi batas toleransi [1]. Zat warna dalam limbah memiliki struktur molekul kompleks yang sulit terdegradasi secara alami [2] sehingga menghambat penetrasi cahaya matahari ke badan air, mengganggu proses fotosintesis organisme akuatik, serta menimbulkan risiko toksik dan karsinogenik [3]. Sementara itu, kandungan TSS dan COD yang tinggi secara langsung menurunkan kualitas air dan mengganggu kehidupan akuatik [4]. Kondisi ini menuntut adanya upaya pengolahan yang efektif dan efisien. Di Indonesia, baku

mutu air limbah industri batik/tekstil diatur secara ketat dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014, yang menjadi dasar ketaatan bagi setiap industri.

Beberapa metode konvensional (fisik, kimia, dan biologi) telah diterapkan, namun seringkali efisiensinya tidak mampu mencapai standar baku mutu. Oleh karena itu, penelitian diarahkan pada metode terpadu. Elektrokoagulasi (EK) muncul sebagai metode yang efektif dan ramah lingkungan, menggabungkan proses elektrokimia dan koagulasi untuk menghasilkan flok koagulan *in-situ* (seperti $Al(OH)_3$ dari elektroda Aluminium) yang mengendapkan polutan koloid dan terlarut [5]. Selain itu, Adsorpsi menggunakan bahan seperti Karbon Aktif dikenal efektif dalam menghilangkan zat warna dan senyawa organik karena kemampuannya menjerat polutan pada permukaan yang berpori [6]. Kombinasi kedua metode ini (EK diikuti Adsorpsi) diyakini mampu bekerja sinergis, di mana EK berperan sebagai *pretreatment* untuk mengurangi beban polutan makro, diikuti oleh Adsorpsi untuk menyerap polutan residu, sehingga menghasilkan efisiensi penyisihan polutan yang lebih optimal [7]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas kombinasi elektrokoagulasi – adsorpsi dalam menurunkan parameter zat warna, TSS dan COD pada limbah industri batik.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium dan bahan utama yang digunakan adalah air limbah batik sebanyak 5 liter sebagai sampel dan karbon aktif sebagai adsorben. Alat yang digunakan meliputi reaktor elektrokoagulasi berbahan akrilik berukuran $22\text{ cm} \times 12\text{ cm} \times 25\text{ cm}$, reaktor adsorpsi dengan ukuran sama, elektroda aluminium, power supply DC. Penelitian ini menggunakan dua variabel bebas, yaitu kuat arus listrik (1 A, 2 A, 3 A, 4 A, dan 5 A) serta waktu kontak (30, 60, 90, 120, dan 150 menit). Variabel tetap meliputi volume sampel (5 L), jarak antar elektroda (3 cm), dan jenis elektroda (aluminium). Parameter yang diuji sebagai variabel terikat adalah zat warna (Pt-Co), Total Suspended Solid (TSS), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD).

Penelitian dilakukan dengan sistem batch. Air limbah batik dimasukkan ke dalam reaktor elektrokoagulasi sebanyak 5 liter. Proses dijalankan dengan variasi kuat arus dan waktu kontak sesuai rancangan. Setelah proses elektrokoagulasi selesai, sampel diendapkan selama 30 menit untuk memisahkan flok. Selanjutnya, air olahan dialirkan ke dalam reaktor adsorpsi yang berisi karbon aktif selama 30 menit untuk tahap pemolesan akhir (*polishing process*).

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Karakteristik Awal

Hasil analisis awal pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa air limbah industri batik memiliki nilai zat warna sebesar 6742 Pt-Co, TSS sebesar 5100 mg/L, dan COD sebesar 2432 mg/L. Nilai-nilai tersebut jauh melampaui baku mutu air limbah industri batik menurut Permen LH No. 5 Tahun 2014. Kondisi ini menandakan bahwa limbah batik memiliki beban pencemar tinggi, baik dari bahan organik, zat warna sintetis, maupun partikel tersuspensi, sehingga diperlukan metode pengolahan yang efektif dan ramah lingkungan.

Tabel 1. Hasil Pengukuran karakteristik awal limbah batik

No	Parameter	Uji Awal
1	Zat Warna	6742 Pt-Co
2	TSS	5100 mg/L
3	COD	2432 mg/L

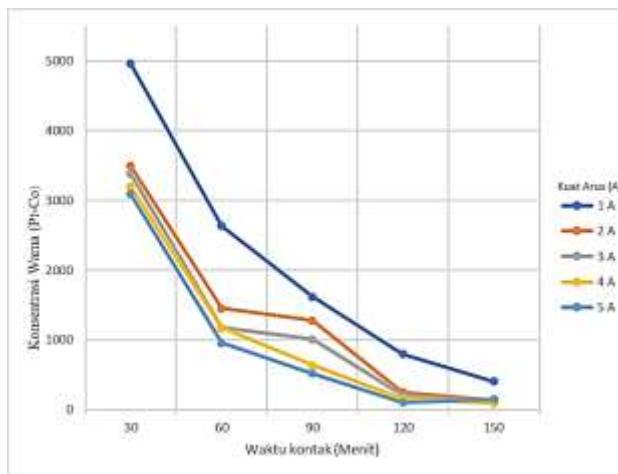
Efektivitas penyisihan dari Kombinasi elektrokoagulasi – Adsorpsi

A. Penyisihan Zat Warna

Dari hasil pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa konsentrasi zat warna menurun secara signifikan dari 6742 Pt-Co menjadi hanya 93 Pt-Co pada arus 4A dan 150,1 Pt-Co pada arus 5A setelah 150 menit reaksi. Efisiensi penyisihan tertinggi mencapai 98,6–99%, menandakan kombinasi elektrokoagulasi–adsorpsi sangat efektif untuk menghilangkan zat warna sintetis pada limbah batik. Proses elektrokoagulasi menghasilkan ion Al^{3+} yang bereaksi dengan air membentuk $Al(OH)_3$, yang kemudian menggumpalkan partikel pewarna. Tahap adsorpsi memperkuat proses ini dengan menyerap molekul warna yang masih terlarut. Pada kuat arus rendah (1A), efisiensi masih rendah karena pembentukan flok belum optimal, namun peningkatan arus mempercepat reaksi elektrokimia dan meningkatkan jumlah flok aktif. Secara keseluruhan, kombinasi kedua proses menunjukkan efektivitas tertinggi dibandingkan penerapan tunggal elektrokoagulasi atau adsorpsi [8].

Tabel 2. Hasil Pengukuran Zat Warna (Pt-Co) pada berbagai waktu dan kuat arus

Waktu Kontak (Menit)	Kuat Arus				
	1 A	2 A	3 A	4 A	5 A
30	4963	3496	3380	3198	3092
60	2637	1456	1175	1175	961
90	1623	1283	1014	642	524
120	800	255	205	155	108
150	406	141	110	93.40	150.10



Gambar 1. Hubungan antara waktu kontak dan kuat arus dengan penurunan Zat Warna

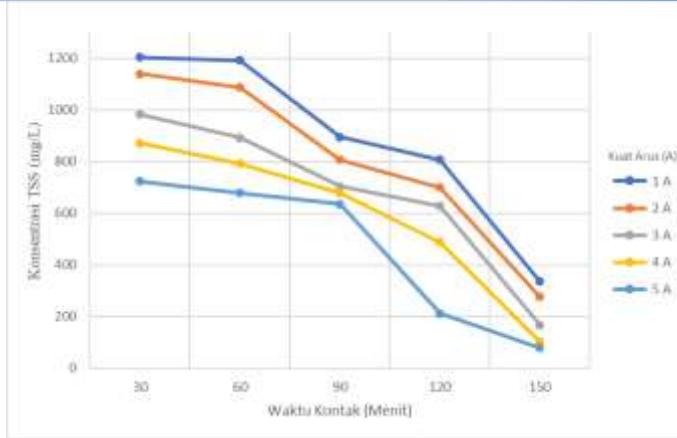
Pada **Gambar 1**, grafik menunjukkan tren penurunan yang curam pada awal proses dan cenderung stabil mendekati menit ke-150. Arus 5A menghasilkan penurunan paling cepat dan signifikan dibanding arus lainnya. Peningkatan efisiensi pada arus tinggi disebabkan oleh meningkatnya jumlah ion aluminium yang bereaksi membentuk flok yang aktif. Sementara itu, penurunan yang lebih lambat pada arus rendah mengindikasikan keterbatasan reaksi oksidasi-reduksi di anoda dan katoda. Kombinasi dengan adsorpsi memperkuat hasil akhir dengan menurunkan warna secara maksimal melalui mekanisme penyisihan fisik pada pori karbon aktif [9].

B. Penyisihan TSS (*Total Suspended Solid*)

Nilai TSS mengalami penurunan signifikan dari 5100 mg/L menjadi 80 mg/L pada arus 5A dan waktu reaksi 150 menit, dengan efisiensi penyisihan mencapai 98,4%. Arus 4A juga memberikan hasil yang tinggi, dengan konsentrasi akhir sebesar 104 mg/L. Penurunan TSS disebabkan oleh terbentuknya flok besar selama proses elektrokoagulasi, di mana ion Al^{3+} yang dihasilkan dari anoda bereaksi membentuk $Al(OH)_3$ yang berfungsi sebagai koagulan alami. Pada arus rendah (1A–2A), penyisihan lebih lambat karena ion yang terbentuk masih sedikit, sehingga proses penggumpalan kurang efektif. Tahap adsorpsi membantu menyerap partikel halus yang tidak terkoagulasi pada tahap awal. Secara keseluruhan, peningkatan kuat arus dan waktu reaksi berbanding lurus dengan efektivitas penyisihan padatan tersuspensi, menunjukkan bahwa kombinasi elektrokoagulasi–adsorpsi bekerja sinergis menurunkan kadar TSS [10].

Tabel 3. Hasil Pengukuran TSS (mg/L) pada berbagai waktu dan kuat arus

Waktu Kontak (Menit)	Kuat Arus				
	1 A	2 A	3 A	4 A	5 A
30	1204	1140	984	872	724
60	1192	1088	892	792	680
90	896	808	704	680	636
120	808	700	628	488	212
150	336	276	168	104	80



Gambar 2. Hubungan antara waktu kontak dan kuat arus dengan penurunan TSS

Pada **Gambar 2**, grafik menunjukkan penurunan kadar TSS yang konsisten dari nilai awal 5100 mg/L menjadi hanya 80 mg/L pada arus 5A setelah waktu reaksi 150 menit, dengan efisiensi penurunan mencapai 98,4%. Arus 4A juga menunjukkan performa tinggi dengan hasil akhir 104 mg/L. Proses elektrokoagulasi menghasilkan flok yang besar dan mudah mengendap, terutama pada arus tinggi, karena peningkatan reaksi oksidasi di anoda yang membentuk ion Al^{3+} dalam jumlah banyak. Pada arus 1A, penyisihan lebih lambat karena pembentukan koagulan masih terbatas, menghasilkan nilai TSS akhir 336 mg/L. Penurunan TSS semakin optimal ketika tahap adsorpsi dilakukan, karena partikel halus sisa flok turut terserap oleh karbon aktif.

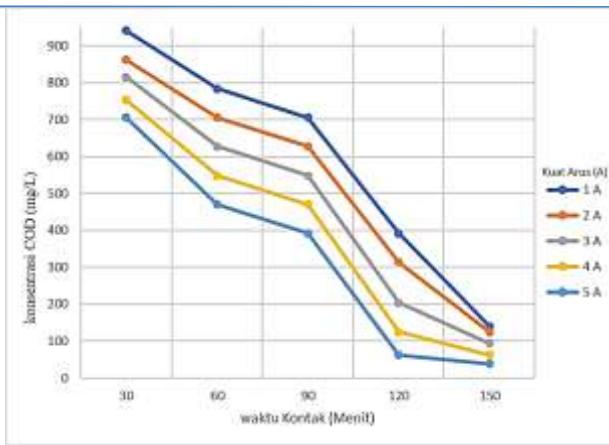
C. Penyisihan COD (Chemical Oxygen Demand)

Berdasarkan data pada **Tabel 3**, nilai COD awal sebesar 2432 mg/L menurun drastis menjadi 39 mg/L pada arus 5A dan 63 mg/L pada arus 4A setelah 150 menit, dengan efisiensi penyisihan masing-masing sebesar 98,4% dan 97,4%. Penurunan COD yang signifikan ini menunjukkan bahwa proses oksidasi dan reduksi selama elektrokoagulasi berjalan efektif, menghasilkan degradasi senyawa organik kompleks menjadi bentuk sederhana yang mudah diadsorpsi oleh karbon aktif. Arus yang lebih besar meningkatkan produksi gas hidrogen dan oksigen yang berperan dalam mengoksidasi senyawa organik, serta mempercepat pembentukan flok. Sementara pada arus rendah, reaksi elektrokimia berjalan lambat sehingga penyisihan belum maksimal. Kombinasi dengan adsorpsi menjadi kunci dalam menghilangkan residu organik yang tidak terurai secara sempurna selama proses elektrokoagulasi, sehingga total penurunan COD mencapai hasil optimal [11].

Tabel 4. Hasil Pengukuran COD (mg/L) pada berbagai waktu dan kuat arus

Waktu Kontak (Menit)	Kuat Arus				
	1 A	2 A	3 A	4 A	5 A
30	941	862	815	753	706
60	784	706	627	549	470
90	706	627	549	470	392
120	392	314	204	125	63
150	141	125	94	63	39

Sesuai dengan **Gambar 3** grafik memperlihatkan bahwa nilai COD turun dari 2432 mg/L menjadi hanya 39 mg/L pada arus 5A setelah 150 menit, dengan efisiensi penyisihan sebesar 98,4%. Arus 4A memberikan hasil akhir 63 mg/L, sedangkan arus 1A masih menyisakan 141 mg/L. Peningkatan arus mempercepat reaksi elektrokimia, menghasilkan lebih banyak gelembung gas hidrogen dan oksigen yang membantu proses oksidasi dan flotasi bahan organik. Pada tahap adsorpsi, karbon aktif menyerap sisa senyawa organik yang belum terdegradasi, sehingga kombinasi kedua proses menghasilkan air olahan dengan kandungan COD sangat rendah dan jauh di bawah ambang baku mutu [12].



Gambar 3. Hubungan antara waktu kontak dan kuat arus dengan penurunan Zat Warna

4. Kesimpulan

Kombinasi proses elektrokoagulasi–adsorpsi terbukti sangat efektif dalam menurunkan kadar zat warna, TSS, dan COD pada limbah cair industri batik. Pada kondisi optimum (5A dan waktu reaksi 150 menit), efisiensi penyisihan mencapai 98–99% untuk seluruh parameter. Peningkatan kuat arus dan waktu kontak berperan penting dalam mempercepat reaksi elektrokimia dan memperbesar pembentukan flok, sedangkan tahap adsorpsi menyempurnakan penyisihan residu polutan. Secara keseluruhan, metode ini efisien dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah batik.

5. Daftar Pustaka

- [1] B. S. D. Dewanti, T. F. Prastiwi, and A. T. Sutan Haji, “Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Kombinasi Metode Netralisasi Dan Elektrokoagulasi,” *J. Rekayasa Dan Manaj. Agroindustri*, vol. 7, no. 3, p. 358, 2019, doi: 10.24843/jrma.2019.v07.i03.p03.
- [2] F. Fitriyah, T. Akbari, and I. Alfandiana, “Pengolahan Limbah Cair Batik Banten secara Koagulasi Menggunakan Tawas dan Adsorpsi dengan Memanfaatkan Zeolit Alam Bayah,” *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 2499–2509, 2021, doi: 10.32672/jse.v7i1.3705.
- [3] J. Sharma, S. Sharma, and V. Soni, “Classification and impact of synthetic textile dyes on Aquatic Flora: A review,” *Reg. Stud. Mar. Sci.*, vol. 45, 2021, doi: 10.1016/j.rsma.2021.101802.
- [4] N. N. Maulida, “Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi Pada Skala Laboratorium (Studi Kasus Batik Komar),” 2019.
- [5] F. Nashrullah and M. Hidayat, “Integrasi Proses Elektrokoagulasi-Elektrooksidasi sebagai Alternatif dalam Pengolahan Limbah Cair Batik Zat Warna Naftol,” *J. Rekayasa Proses*, vol. 10, no. 1, pp. 29–34, 2016.
- [6] S. Oko, A. Kurniawan, and D. Angreni, “Pengaruh Massa Adsorben Blending CaO Dari Cangkang Telur dan Karbon Teraktivasi untuk Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue,” *Metana*, vol. 18, no. 2, pp. 99–104, 2022, doi: 10.14710/metana.v18i2.49376.
- [7] Hendi Purnata, Saepul Rahmat, N. A. Ilahi, N. Ayu Triwuri, and Artdhita Fajar Pratiwi, “Pengolahan Limbah Cair Batik dengan Elektrokoagulasi dan Filtrasi-Adsorbsi untuk Keberlanjutan,” *Room Civ. Soc. Dev.*, vol. 4, no. 1, pp. 197–210, 2025, doi: 10.59110/rcsd.528.
- [8] J. J. Cis-trans, R. P. Sihombing, and Y. T. Sarungu, “Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil dengan Metoda Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Besi (Fe) dan Aluminum (Al),” vol. 6573, pp. 11–18, 2022, doi: 10.17977/um0260v6i22022p011.
- [9] M. Lutfi, R. Yulianingsih, P. Korespondensi, and L. Batik, “Design and Performance Test Wastewater Treatment Instrument of Batik with Time Detention Variety and Zeolite Adsorption Column Composition,” vol. 6, no. 3, pp. 242–250, 2018.
- [10] M. Elektrokoagulasi, B. L. Devy, and A. R. Haryanto, “Jurnal Teknik Kimia USU Pengaruh Beda Potensial dan Waktu Kontak terhadap Penurunan Kadar COD,” vol. 10, no. 2, pp. 63–69, 2021.
- [11] G. G. Elia and R. Widayatno, “Penurunan Kadar COD BOD Dan TSS Limbah Cair Pabrik Tahu,” *11th Univ. Res. Colloq. 2020 Univ. 'Aisyiyah Yogyakarta*, pp. 72–78, 2020.
- [12] D. Majid, P. Studi, T. Lingkungan, U. Pgri, and A. Buana, “Penurunan Kadar BOD, COD Dan Turbiditas Limbah Cair Industri Batik Melalui Metode Kombinasi Pretreatment Filtrasi Adsorpsi Dan Elektrokoagulasi,” vol. 11, no. 3, pp. 258–269, 2023.