Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.3, Juli 2026 Hal 21730 - 21738
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Efektivitas Kombinasi Elektrokoagulasi dan Foto-Fenton dalam Menurunkan TSS, COD, dan Warna pada Limbah Cair Batik di Sidoarjo

Aisyah Nadia, Tuhu Agung Rachmanto*, Restu Hikmah Ayu Murti

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya
***Koresponden email**: tuhu.tl@student.upnjatim.ac.id

Diterima: 18 Agustus 2026 Disetujui: 29 Agustus 2026

Abstract
The liquid waste from the batik industry contains synthetic dyes and pollutants that can degrade environmental quality if disposed of without treatment. This study aims to evaluate the effectiveness of the combination of electrocoagulation and Fenton's reagent in reducing COD, TSS, and color intensity of batik wastewater. Electrocoagulation was conducted in batch mode using four aluminum plates at a current strength of 3 A with a contact time variation of 20–60 minutes. The electrocoagulation effluent was then treated using Photo-Fenton for 120 minutes with varying molar ratios of H_2O_2:$FeSO_4$ of 10:0.10; 10:0.15; 10:0.20; 10:0.25; and 10:0.30. The research results show that a contact time of 60 minutes provides the best conditions in the electrocoagulation stage. After continuing with Photo-Fenton, the overall removal efficiency reached 90% COD, 95% TSS, and 94% color under the optimum conditions of each parameter. The combination of these two processes shows potential as a method for treating liquid waste from the batik industry.
Keywords*: electrolysis, advanced oxidation process, batik wastewater, cod, tss*

Abstrak
Limbah cair dari industri batik mengandung pewarna sintesis dan polutan yang dapat menurunkan kualitas lingkungan jika dibuang tanpa pengolahan. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi elektrokoagulasi dan reagen Fenton dalam mengurangi COD, TSS, dan intensitas warna limbah cair batik. Elektrokoagulasi dilakukan dalam mode batch menggunakan empat pelat aluminium dengan kekuatan arus 3 A dan variasi waktu kontak 20–60 menit. Efluen elektrokoagulasi kemudian diolah menggunakan Foto-Fenton selama 120 menit dengan rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$ yang bervariasi yaitu 10:0.10; 10:0.15; 10:0.20; 10:0.25; dan 10:0.30. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak selama 60 menit memberikan kondisi terbaik pada tahap elektrokoagulasi. Setelah melanjutkan dengan Photo-Fenton, efisiensi penghilangan secara keseluruhan mencapai 90% COD, 95% TSS, dan 94% warna di bawah kondisi optimum dari masing-masing parameter. Kombinasi dari kedua proses ini menunjukkan potensi sebagai metode untuk mengolah limbah cair dari industri batik.
Kata Kunci: *elektrolisis, oksidasi lanjutan, limbah batik, cod, tss*

1. Pendahuluan

Sektor industri batik di Indonesia mengalami pertumbuhan yang sangat pesat, namun aktivitas produksinya turut menghasilkan limbah cair yang beresiko tinggi mencemari ekosistem. Menurut [4], limbah cair tersebut mayoritas bersumber dari tahapan pewarnaan, pencucian serta pelorodan yang melibatkan penggunaan beragam zat kimia. Secara karakteristik, limbah batik memiliki intensitas warna yang sangat pekat dan mengandung polutan konsentrasi organik tinggi sehingga sulit terdegradasi secara alami. Jika limbah ini dilepaskan langsung ke badan air tanpa melalui sistem pengolahan yang tepat, keberadaannya dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan secara drastis.

Limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan industri batik memiliki karakteristik pencemar yang beragam, antara lain senyawa pewarna, bahan organik, logam, dan padatan tersuspensi. Kandungan berbagai pencemar tersebut dapat berkontribusi terhadap tingginya nilai TSS, COD, serta intensitas warna dalam limbah. Jika tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu, pembuangan limbah secara langsung ke badan air berpotensi menurunkan kualitas perairan dan memengaruhi kondisi ekosistem di sekitarnya. Oleh karena , diperlukan metode pengolahan yang mampu menurunkan kandungan pencemar sehingga air limbah dapat memenuhi persyaratan baku mutu sebelum dilepaskan ke lingkungan [13].

Elektrokoagulasi merupakan salah satu alternatif pengolahan yang dapat diterapkan pada limbah cair karena mampu memanfaatkan arus listrik searah untuk menghasilkan koagulan langsung dari elektroda logam. Koagulan yang terbentuk berperan dalam mendestabilisasi dan mengikat berbagai kontaminan, termasuk padatan tersuspensi dan zat warna, melalui pembentukan flok yang selanjutnya dapat dipisahkan dari fase cair. Proses koagulasi, flokulasi, dan flotasi yang berlangsung selama pengolahan menjadikan elektrokoagulasi berpotensi dalam menurunkan berbagai parameter pencemar dan memperbaiki kualitas air limbah [12]. Namun, kemampuan elektrokoagulasi dalam menguraikan senyawa organik terlarut hingga tingkat yang rendah masih terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengolahan lanjutan yang bersifat oksidatif untuk menguraikan senyawa organik yang masih tersisa sehingga penyisihan pencemar dapat ditingkatkan.

Untuk mengatasi keterbatasan proses elektrokoagulasi dalam menghilangkan senyawa organik terlarut yang masih tersisa, diperlukan proses pengolahan lanjutan yang lebih efektif. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah Foto-Fenton, yaitu proses oksidasi lanjut (*Advanced Oxidation Process*/AOP) yang mengkombinasikan ion Fe^{2+}, hidrogen peroksida (H_2O_2), dan penyinaran sinar ultraviolet (UV). Kombinasi tersebut menghasilkan radikal hidroksil (•OH) yang bersifat sangat reaktif dan memiliki kemampuan oksidasi tinggi, sehingga mampu mendegradasi senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, bahkan hingga termineralisasi menjadi CO_2 dan H_2O. Oleh karena itu, proses Foto-Fenton berpotensi meningkatkan efisiensi penyisihan pencemar yang belum dapat dihilangkan secara optimal melalui proses elektrokoagulasi [5].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas kombinasi elektrokoagulasi dan Foto-Fenton dalam menurunkan kadar COD, TSS, dan intensitas warna pada limbah cair industri batik. Penelitian dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh waktu kontak pada proses elektrokoagulasi serta rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$ pada proses Foto-Fenton terhadap efisiensi penyisihan parameter pencemar. Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan kondisi pengolahan yang efektif dalam meningkatkan kualitas limbah cair batik.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan kombinasi proses elektrokoagulasi dan Foto-Fenton untuk mengolah limbah cair industri batik. Tahap pertama dilakukan proses elektrokoagulasi menggunakan reaktor batch dengan elektroda aluminium pada kuat arus tetap 3 A dan variasi waktu kontak 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Efluen dengan efisiensi penyisihan terbaik selanjutnya digunakan sebagai influen pada proses Foto-Fenton. Sebelum proses Foto-Fenton, pH efluen disesuaikan sesuai kondisi optimum, kemudian ditambahkan reagen $FeSO_4$ dan H_2O_2 dengan variasi rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$ sebesar 10:0,10; 10:0,15; 10:0,20; 10:0,25; dan 10:0,30. Selanjutnya sampel disinari menggunakan lampu UV selama 120 menit. Hasil pengolahan dianalisis berdasarkan parameter COD, TSS, dan warna, kemudian efisiensi penyisihan dihitung dari konsentrasi sebelum dan sesudah pengolahan.

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini berlangsung selama enam bulan, mulai Januari hingga Juli 2026. Seluruh tahapan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Riset dan Kimia, Program Studi Teknik Lingkungan, UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

2.2 Bahan dan Alat

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi reaktor elektrokoagulasi, elektroda aluminium, power supply DC, reaktor Foto-Fenton, lampu UV, pompa sirkulasi, pH meter, COD Heating, buret, erlenmeyer, gelas beker *(beaker*), pipet volume, pipet ukur, pipet tetes, pompa vakum, oven, desikator, timbangan analitik, dan spatula kaca. Bahan yang digunakan meliputi limbah cair industri batik sebagai sampel, aquades, H_2O_2, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, H_2SO_4, NaOH, larutan FAS, indikator ferroin, serta reagen analisis COD.

2.3 Prosedur Penelitian

Proses Elektrokoagulasi

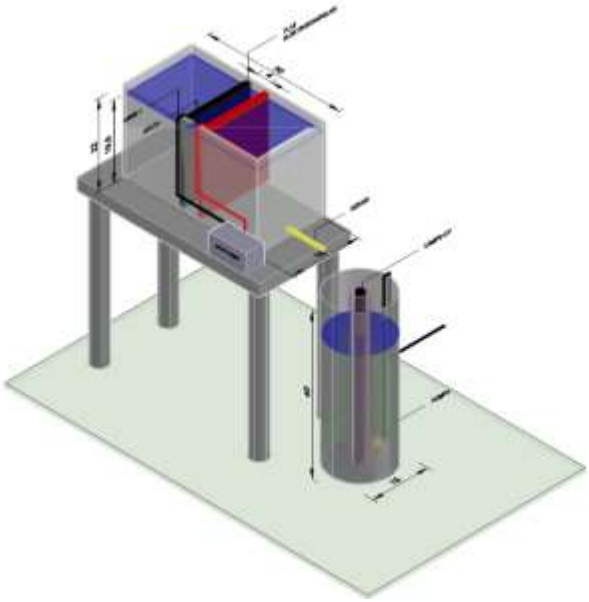
Sebanyak 12 mL limbah cair industri batik dimasukkan ke dalam reaktor elektrokoagulasi yang dilengkapi elektroda aluminium sebagai anoda dan katoda dengan jarak antar-elektroda 4 cm. Proses elektrokoagulasi dilakukan pada kuat arus 3 A dengan tegangan yang menyesuaikan secara otomatis (±6,13 V). Waktu kontak divariasikan selama 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Pengambilan sampel dilakukan pada masing-masing waktu kontak tersebut untuk kemudian dianalisis terhadap parameter TSS, COD, dan

warna. Kondisi waktu kontak dengan efisiensi penyisihan terbaik digunakan sebagai kondisi optimum dan efluennya selanjutnya digunakan pada proses Foto-Fenton.

Proses Foto-Fenton

Efluen elektrokoagulasi pada kondisi optimum kemudian digunakan sebagai bahan baku proses Foto-Fenton. pH efluen diatur hingga pH 3 menggunakan H_2SO_4, kemudian ditambahkan H_2O_2 dan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ sesuai variasi rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$, yaitu 10:0,10; 10:0,15; 10:0,20; 10:0,25; dan 10:0,30. Campuran dihomogenkan dengan pengadukan, kemudian dilakukan penyinaran UV selama waktu reaksi yang telah ditentukan. Setelah proses selesai, efluen dianalisis terhadap parameter TSS, COD, dan warna untuk menentukan efisiensi penyisihan dan kondisi optimum.

2.4 Gambar Reaktor



Gambar1. Tampak Depan Reaktor Elektrokoagulasi dan Foto-Fenton
Sumber: Data primer hasil pengujian, 2026

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Limbah Cair Batik

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berupa air limbah batik yang diambil secara langsung dari outlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada salah satu industri batik rumahan di Kampung Jetis, Kabupaten Sidoarjo. Sebelum diberikan perlakuan menggunakan metode elektrokoagulasi, sampel terlebih dahulu dianalisis untuk mengetahui karakteristik awal limbah. Analisis karakteristik awal dilakukan di Laboratorium Riset dan Kimia Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur. Hasil pengujian karakteristik awal air limbah disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik Awal Industri Batik

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu
TSS	mg/L	164	50
COD	mg/L	2683,2	150
pH	-	8,1	6-9
Suhu	^oC	25,8	
Warna	PtCo	356,9	200

Sumber: Analisis Laboratorium, 2026

Berdasarkan data yang tersaji pada **Tabel 1**, karakteristik air limbah yang digunakan terbukti melampaui ambang batas baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Konsentrasi parameter pencemar yang tinggi ini mengindikasikan bahwa limbah tersebut memiliki risiko ekologis yang besar. Oleh karena itu, penerapan proses pengolahan menjadi langkah yang mutlak diperlukan guna mereduksi beban polutan dan meminimalisir dampak negatif terhadap kualitas lingkungan perairan di sekitar titik pembuangan.

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.3, Juli 2026 Hal 21730 - 21738
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

3.2 Penyisihan TSS Air Limbah di Elektrokoagulasi dan Foto-Fenton

Analisis hasil pengujian awal, konsentrasi TSS limbah cair industri batik sebesar 164 mg/L. Nilai tersebut masih melebihi baku mutu air limbah industri batik berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, yaitu sebesar 50 mg/L. Kondisi ini menunjukkan bahwa limbah masih mengandung partikel tersuspensi, seperti sisa zat pewarna, serat kain, dan bahan kimia proses pembatikan. Apabila dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan, partikel tersebut dapat meningkatkan kekeruhan perairan sehingga menghambat penetrasi cahaya matahari dan mengganggu proses fotosintesis organisme akuatik. Oleh karena itu, diperlukan proses pengolahan untuk menurunkan konsentrasi TSS hingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Tabel 1. Nilai TSS Limbah Cair Batik di EK dan FF

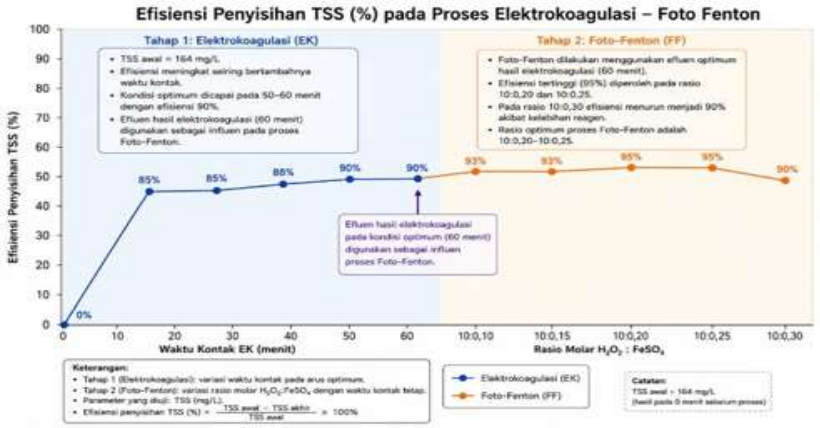
Tahapan	Variabel	TSS (mg/L)		Efisiensi TSS (%)
		Kadar Awal	Kadar Akhir	
	Waktu Kontak (td)			
EK	0 Menit		-	-
	20 Menit		24	85
	30 Menit	164	24	85
	40 Menit		20	88
	50 Menit		16	90
	60 Menit		16	90

Tahapan Lanjutan	Variasi Perbandingan Molaritas	Kadar Awal (mg/L)	Kadar Akhir (mg/L)	Efisiensi TSS dari konsentrasi awal (%)
FF	10:0,10		12	93
	10:0,15		12	93
	10:0,20	164	8	95
	10:0,25		8	95
	10:0,30		16	90

3.3

Sumber: Analisis Laboratorium, 2026

Berdasarkan data pada **Tabel 2,** kombinasi proses elektrokoagulasi dan Foto-Fenton mampu menurunkan kadar TSS limbah batik secara bertahap. Pada tahap elektrokoagulasi efisiensi penyisihan TSS meningkat dari 85% pada waktu 20-30 menit menjadi 90% pada waktu 60 menit. Hasil terbaik dari elektrokoagulasi kemudian digunakan sebagai influen pada proses Foto-Fenton. Setelah dilakukan pengolahan lanjutan, efisiensi penyisihan TSS kembali meningkat hingga mencapai 95% pada rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$ sebesar 10:0,20 dan 10:0,25.



Gambar 2. Pengaruh Waktu Kontak Elektrokoagulasi dan Rasio Molaritas H_2O_2:$FeSO_4$ pada proses Foto-Fenton Efisiensi Penyisihan TSS
Sumber: Data primer hasil pengujian, 2026

Grafik pada **Gambar 2** menunjukkan bahwa peningkatan waktu kontak elektrokoagulasi berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan TSS. Semakin lama waktu kontak maka semakin tinggi efisiensi penyisihan TSS. Hal ini disebabkan karena partikel yang terkandung umumnya bermuatan negatif selama proses elektrolisis. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi yang menghasilkan ion Al^{3+} yang selanjutnya bereaksi dengan OH^- membentuk senyawa $Al(OH)_3$. Senyawa $Al(OH)_3$ berperan sebagai koagulan yang mampu mengdestabilisasi partikel koloid dan mengikat padatan tersuspensi sehingga membentuk flok yang lebih besar. Selain itu, pada katoda terbentuk gas hidrogen (H_2) yang membantu mengangkat flok ke permukaan elektrokoagulasi [1]. Akibatnya partikel tersuspensi dalam limbah dapat dipisahkan dengan lebih efektif sehingga efisiensi penyisihan TSS meningkat seiring bertambahnya waktu kontak.

Grafik pada **Gambar 2** juga menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan TSS meningkat setelah efluen elektrokoagulasi diolah menggunakan proses Foto-Fenton. Efisiensi penyisihan meningkat hingga mencapai 95% pada rasio 10:0,20 dan 10:0,25. Peningkatan tersebut mengindikasikan bahwa rasio tersebut merupakan kondisi yang lebih efektif dalam menghasilkan radikal hidroksil (•OH), keberadaan spesies besi yang terbentuk selama proses Foto-Fenton diduga turut berkontribusi terhadap pemisahan partikel yang masih tersuspensi sehingga fisiensi penyisihan TSS meningkat dibandingkan setelah proses elektrokoagulasi

Namun, pada rasio 10:0,30 efisiensi menurun menjadi 93%. Penurunan ini diduga disebabkan oleh penambahan reagen yang melebihi kondisi optimum sehingga sebagai radikal hidroksil mengalami reaksi samping *radical scavenging* elektrokoagulasi [2]. Pada kondisi tersebut H_2O_2 dan Fe^{2+} yang berlebih dengan radikal hidroksil sehingga jumlah radikal hidroksil yang tersedia untuk mengoksidasi kontaminan menjadi berkurang. Selain itu, pembentukan endapan Fe $(OH)_3$ yang berlebih berpotensi menyebabkan sebagian partikel yang tersuspensi dan terukur sebagai TSS pada saat analisis. Hasil ini menunjukkan bahwa proses Foto-Fenton memiliki kondisi optimum, sehingga penambahan reagen secara berlebih tidak selalu meningkatkan efisiensi penyisihan TSS elektrokoagulasi [6].

3.4 Penyisihan COD Air Limbah di Elektrokoagulasi dan Foto-Fenton

Analisis awal terhadap karakteristik limbah cair industri batik menunjukkan bahwa konsentrasi COD mula-mula mencapai 2683,2 mg/L. Nilai tersebut jauh melebihi baku mutu air limbah industri tekstil berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 sebesar 150 mg/L. Berdasarkan **Tabel 3**, efisiensi penyisihan COD meningkat pada setiap tahapan pengolahan. Pada proses elektrokoagulasi efisiensi penyisihan COD meningkat dari 5% pada waktu 20 menit menjadi 28% pada waktu kontak 60 menit. Efluen hasil elektrokoagulasi selanjutnya diolah menggunakan proses foto Fenton yang mampu meningkatkan efisiensi penyisihan hingga mencapai 90% pada rasio H_2O_2:$FeSO_4$ 10:0,30.

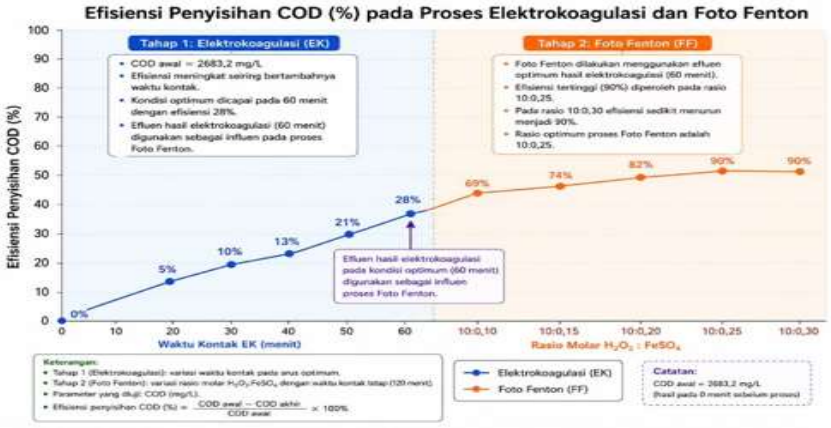
Tabel 3. Nilai COD Limbah Cair Batik di EK dan FF

Tahapan	Variabel	COD (mg/L)		Efisiensi COD (%)
		Kadar Awal	Kadar Akhir	
EK	Waktu Kontak (td) 0 Menit	2683,2	-	-
	20 Menit		2545,6	5
	30 Menit		2408,0	10
	40 Menit		2339,2	13
	50 Menit		2132,8	21
	60 Menit		1926,4	28

Tahapan Lanjutan	Variasi Perbandingan Molaritas	Kadar Awal (mg/L)	Kadar Akhir (mg/L)	Efisiensi COD dari konsentrasi awal (%)
FF	10:0,10	2683,3	825,6	69
	10:0,15		688	74
	10:0,20		481,6	82
	10:0,25		344	87
	10:0,30		275,2	90

Sumber: Analisis Laboratorium, 2026

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.3, Juli 2026 Hal 21730 - 21738
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



Gambar 4. Pengaruh Waktu Kontak Elektrokoagulasi dan Rasio Molaritas H2O2:FeSO4 pada proses Foto-Fenton Efisiensi Penyisihan COD
Sumber: Data primer hasil pengujian, 2026

Penurunan COD pada proses elektrokoagulasi dapat dijelaskan berdasarkan teori *electrical double layer*. Berdasarkan gagasan tersebut, ion- ion koagulan yang bermuatan positif akan menetralkan muatan serta mengadsorpsi ion negatif senyawa organik lainnya. Interaksi tersebut menyebabkan terbentuknya flok yang semakin membesar sehingga dapat mengendap dengan sendirinya. Pengendapan flok ini dapat menyebabkan terjadinya penurunan senyawa organik yang terkandung dalam limbah. Selain proses koagulasi dan pengendapan, pada katoda juga terjadi pembentukan ion OH^- serta pelepasan gas (H_2). Gas hidrogen yang dilepaskan membentuk gelembung-gelembung gas yang dapat mengikat partikel pencemar dan membawanya ke permukaan. Akibatnya nilai konsentrasi bahan organik dalam limbah berkurang dan nilai COD mengalami penurunan [3].

Meskipun demikian, efisiensi penyisihan COD cenderung lebih rendah dibandingkan penyisihan TSS. Kondisi ini menunjukkan bahwa elektrokoagulasi lebih efektif dalam menghilangkan partikel tersuspensi dibandingkan senyawa organik terlarut. Sebagian senyawa organik dalam limbah batik memiliki struktur aromatik, sehingga tidak mudah terikat atau dipisahkan melalui proses elektrokoagulasi. Selain itu, elektrokoagulasi tidak secara signifikan mendegradasi senyawa organik secara kimia, melainkan lebih dominan pada mekanisme pemisahan secara fisik. Oleh karena itu, meskipun terjadi penurunan, efisiensi penyisihan COD relatif terbatas dibandingkan parameter lainnya.

Untuk menghilangkan senyawa organik yang masih tersisa, pengolahan dilanjutkan menggunakan proses Foto-Fenton. Pada proses ini, ion Fe^{2+} bereaksi dengan H_2O_2 menghasilkan radikal hidroksil (•OH) yang memiliki potensial oksidasi sangat tinggi. Penyinaran sinar UV mempercepat regenerasi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} sehingga pembentukan radikal hidroksil berlangsung secara berkelanjutan. Radikal hidroksil yang terbentuk kemudian menyerang dan mengoksidasi senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, bahkan hingga termineralisasi menjadi CO_2 dan H_2O. Akibatnya, jumlah senyawa organik yang memerlukan oksigen untuk proses oksidasi berkurang sehingga nilai COD mengalami penurunan secara signifikan [10].

Peningkatan efisiensi penyisihan COD dipengaruhi oleh rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$ yang digunakan selama proses Foto-Fenton. Semakin besar rasio molar hingga mencapai kondisi optimum, semakin banyak radikal hidroksil yang terbentuk sehingga proses oksidasi senyawa organik berlangsung lebih efektif. Pada penelitian ini, rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$ sebesar 10:0,30 menghasilkan efisiensi penyisihan COD tertinggi, yaitu sebesar 90%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi elektrokoagulasi dan Foto-Fenton mampu bekerja secara sinergis dalam menurunkan beban organik limbah batik. Elektrokoagulasi berperan sebagai tahap pengolahan awal yang mengurangi sebagian senyawa organik dan padatan tersuspensi, sedangkan Foto-Fenton berfungsi sebagai tahap pengolahan lanjutan yang mendegradasi senyawa organik yang masih tersisa melalui mekanisme oksidasi lanjut. Meskipun efisiensi penyisihan COD mencapai 90%, konsentrasi COD akhir masih berada di atas baku mutu yang dipersyaratkan sehingga optimasi kondisi operasi masih diperlukan.

3.5 Penyisihan Warna Air Limbah di Elektrokoagulasi dan Foto-Fenton

Pada tahap awal, kadar warna limbah cair tercatat sebesar 356,9 PTCo sebelum dilakukan proses elektrokoagulasi dan foto Fenton. Nilai tersebut berada di atas batas maksimum yang diinginkan sehingga limbah perlu diolah terlebih dahulu agar memenuhi standar sebelum dibuang ke badan air.

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.3, Juli 2026 Hal 21730 - 21738
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

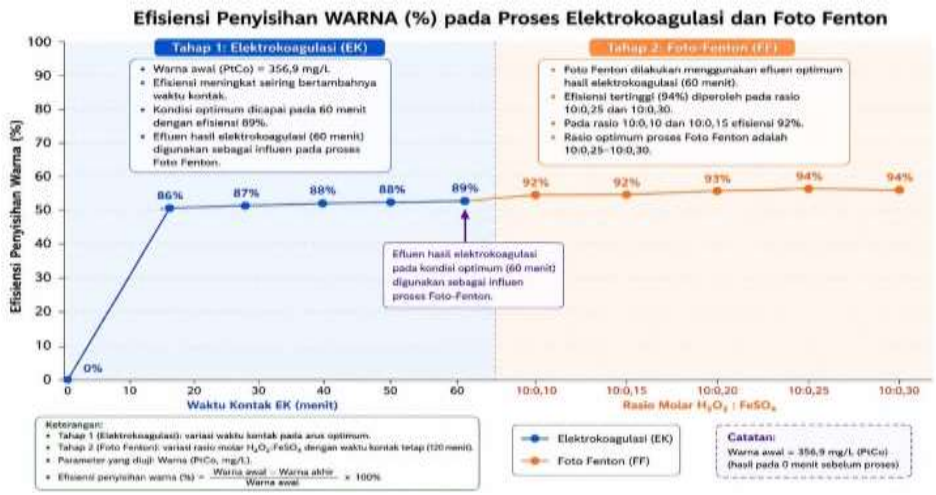
Tabel 2. Nilai Warna Limbah Cair Batik

Tahapan	Variabel	Warna PtCo		Efisiensi Warna (%)
		Kadar Awal	Kadar Akhir	
	Waktu Kontak (td)			
EK	0 Menit		-	-
	20 Menit	356,9	51,7	86
	30 Menit		44,8	87
	40 Menit		42,6	88
	50 Menit		41,9	88
	60 Menit		40,4	89

Tahapan Lanjutan	Variasi Perbandingan Molaritas	Kadar Awal PtCo	Kadar Akhir PtCo	Efisiensi Warna dari konsentrasi awal (%)
FF	10:0,10	356,9	27,6	92
	10:0,15		26,9	92
	10:0,20		24	93
	10:0,25		23,2	94
	10:0,30		22,5	94

Sumber: Analisis Laboratorium, 2026

Penurunan intensitas warna pada **Tabel 4** menunjukkan bahwa kombinasi proses elektrokoagulasi dan foto Fenton mampu menghilangkan senyawa penyebab warna pada limbah batik secara efektif. Pada tahap elektrokoagulasi, efisiensi warna meningkat dari 86% pada waktu kontak 20 menit menjadi 89% pada 60 menit. Pengolahan lanjutan menggunakan foto Fenton kemudian meningkatkan efisiensi penyisihan hingga mencapai 94% pada rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$ sebesar 10:0,30. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi elektrokoagulasi dan foto Fenton mampu meningkatkan penyisihan warna melalui dua mekanisme yang berbeda.



Gambar 1. Pengaruh Waktu Kontak Elektrokoagulasi dan Rasio Molaritas H_2O_2:$FeSO_4$ pada proses Foto-Fenton Efisiensi Penyisihan Warna
Sumber: Data primer hasil pengujian, 2026

Penyisihan warna pada kombinasi proses elektrokoagulasi dan Foto-Fenton berlangsung melalui dua mekanisme yang saling melengkapi. Pada tahap elektrokoagulasi, ion Al^{3+} yang dihasilkan dari pelarutan anoda bereaksi dengan ion OH^- membentuk flok $Al(OH)_3$ yang berfungsi sebagai koagulan aktif. Flok tersebut mampu mengadsorpsi molekul zat warna sehingga senyawa penyebab warna terikat dan mudah dipisahkan melalui proses pengendapan. Kondisi tersebut meningkatkan proses adsorpsi dan pengendapan, sehingga efisiensi penyisihan warna hingga mencapai 89% pada waktu kontak 60 menit.

Efluen hasil elektrokoagulasi pada kondisi optimum selanjutnya diolah menggunakan proses Foto-Fenton sebagai tahap pengolahan lanjutan. Pada proses ini, reaksi antara Fe^{2+} dan H_2O_2 yang dipercepat oleh radiasi UV menghasilkan radikal hidroksil (•OH) yang bersifat sangat reaktif. Radikal hidroksil

kemudian mengoksidasi gugus kromofor penyusun zat warna sehingga struktur senyawa pewarna terdegradasi menjadi senyawa yang lebih sederhana dan intensitas warna limbah semakin berkurang [11]. Selain itu, karena sebagian besar zat warna dan padatan telah dihilangkan pada tahap elektrokoagulasi, proses Foto-Fenton dapat bekerja lebih efektif dalam mengoksidasi sisa senyawa penyebab warna. Oleh karena itu, efisiensi penyisihan warna meningkat dari 89% setelah elektrokoagulasi menjadi 94% setelah proses Foto-Fenton.

Peningkatan efisiensi penyisihan warna sebesar 5% menunjukkan bahwa sebagian besar zat warna telah berhasil dihilangkan pada tahap elektrokoagulasi. Dengan demikian, proses Foto-Fenton berperan sebagai tahap pengolahan lanjutan (*polishing process*) untuk mengoksidasi sisa zat warna yang masih terlarut dan sulit dipisahkan melalui proses koagulasi. Kombinasi kedua proses tersebut saling melengkapi, sehingga penyisihan warna menjadi lebih tinggi dibandingkan penggunaan elektrokoagulasi saja.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, kombinasi elektrokoagulasi dan Foto-Fenton mampu meningkatkan penyisihan TSS, COD, dan warna pada limbah cair industri batik. Pada proses elektrokoagulasi, peningkatan waktu kontak dari 20 hingga 60 menit meningkatkan efisiensi penyisihan karena semakin lama waktu kontak, semakin lama pula interaksi antara koagulan yang terbentuk dengan kontaminan sehingga proses pembentukan flok dan pemisahan pencemar berlangsung lebih optimal. Pada kuat arus 3 A dan waktu kontak 60 menit, diperoleh efisiensi penyisihan sebesar 90% untuk TSS, 28% untuk COD, dan 89% untuk warna. Pengolahan lanjutan menggunakan Foto-Fenton meningkatkan efisiensi penyisihan menjadi 95% untuk TSS pada rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$ 10:0,20, serta 90% untuk COD dan 94% untuk warna pada rasio molar 10:0,30. Meskipun kombinasi kedua proses tersebut mampu meningkatkan penyisihan parameter pencemar, konsentrasi COD akhir sebesar 275,2 mg/L masih berada di atas baku mutu sebesar 150 mg/L. Dengan demikian, sinergis elektrokoagulasi dan Foto-Fenton efektif meningkatkan penyisihan TSS, COD, dan warna, tetapi diperlukan optimasi proses lebih lanjut untuk mencapai baku mutu COD.

5. Daftar Pustaka

[1] Agustina, E. B., Yuniarto, A. H. P., Rachman, D. A., & Dewi, A. T. (2022). Pengaruh Jarak Elektroda dan Waktu Terhadap Kandungan COD dan TSS Menggunakan Metode Filtrasi-Elektrokoagulasi pada Pengolahan Limbah Batik. *Lontar Physics Today*, *1*(1), 45-50.

[2] Andili, E. A., & Rahmanto, T. A. (2021). Pengelolaan Limbah Cair Jasa Pencucian Kendaraan Dengan Metode Elektrokoagulasi. *Envirous*, *2*(1), 130-136.

[3] Amri, I., Destinefa, P., & Zultiniar, Z. (2020). Pengolahan limbah cair tahu menjadi air bersih dengan metode elektrokoagulasi secara kontinyu. *Chempublish Journal*, *5*(1), 57-67.

[4] Apriyani, N. (2018). Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya. Media Ilmiah Teknik Lingkungan, 3(1), 21–29. https://doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640.

[5] Hendrawan, Y., Susanti, H., & Wijaya, D. (2023). Efektivitas kombinasi elektrokoagulasi dan Foto-Fenton dalam pengolahan limbah cair industri batik. Jurnal Pengelolaan Lingkungan Dan Sumber Daya Alam, 59–67.

[6] Lesa, W. S., Ali, M., & Rosariawari, F. (2020). Proses foto Fenton dalam reaktor resirkulasi untuk menyisihkan beban pencemar pada lindi. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, *6*(1).

[7] Lyngsie, G., Krumina, L., Tunlid, A., & Persson, P. (2018). Generation of hydroxyl radicals from reactions between a dimethoxyhydroquinone and iron oxide nanoparticles. July, 2–10. https://doi.org/10.1038/s41598-018-29075-5

[8] Nurlaili, D. K., & Amalia, A. (2024). Pengaruh Jarak Antar Plat Pada Elektrokoagulasi Terhadap Pengolahan Limbah Cair Industri Kecap. *Serambi Engineering*, IX(4). https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/547

[9] Pimentel Prates, M., de Oliveira Loures Marcionílio, S. M., Borges Machado, K., Medeiros de Araújo, D., Martínez-Huitle, C. A., Leão Arantes, A. L., & Ferreira da Silva Gadêlha, J. E. (2023). Fenton: A systematic review of its application in wastewater treatment. *Processes*, *11*(8), 2466.

[10] Ramos, M. D. N., Santana, C. S., Velloso, C. C. V., Silva, A. H. M. da, Magalhães, F., & Aguiar, A. (2021). A review on the treatment of textile industry effluents through Fenton processes.

[11] Tangahu, B. V., & Ningsih, D. A. (2016). Uji Penurunan Kandungan COD, BOD pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan Scirpus Grossus dan Iris Pseudacorus dengan Sistem Pemaparan Intermittent. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, *8*(2), 121-130.

[12] Ridantami, V., Wasito, B., & Prayitno, P. (2017). Pengaruh Tegangan Dan Waktu Pada Pengolahan Limbah Radioaktif Uranium Dan Thorium Dengan Proses Elektrokoagulasi. Jurnal Forum Nuklir, 102–107.

[13] Utami, R. W, & Dzulfaroh, A. (2022). Pengolahan Limbah Batik dengan Metode Kombinasi Koagulasi dan Fotokatalis. Jurnal Rekayasa Lingkungan, 35–44.