

Pengolahan Limbah Cair Batik dengan Elektrokoagulasi dan Filtrasi-Adsorpsi untuk Keberlanjutan

Hendi Purnata^{1*}, Saepul Rahmat¹, Novita Asma Ilahi¹, Nurlinda Ayu Triwuri¹, Artdhita Fajar Pratiwi¹

¹Politeknik Negeri Cilacap, Cilacap, Indonesia

*Correspondence: hendipurnata@pnc.ac.id

ABSTRACT

Liquid effluents from the batik industry, especially those containing hazardous chemicals such as synthetic dyes and heavy metals, are a significant environmental problem, especially in areas such as Cilacap. Electrocoagulation technology offers an effective solution to treat this effluent by removing colours, chemicals and heavy metals through dissolution of metal electrodes that produce coagulants. This activity aims to explore the application of electrocoagulation in batik effluent treatment, focusing on process optimization and integrating filtration-adsorption systems. Batik effluent taken from the dyeing process using synthetic dyes was analysed and processed using electrocoagulation, followed by filtration using adsorbent media such as zeolite, fly ash, and activated carbon. The results of this activity showed that the electrocoagulation process was able to reduce water quality parameters, such as BOD, COD, TSS, and heavy metal concentrations such as chromium, to meet the quality standards set by environmental regulations. The application of a filtration-adsorption system further enhances the effectiveness of the process, with TSS reduction of up to 90% and chromium reduction of 80%. This technology not only reduces the negative impact of the effluent on the environment but also enables batik waste to be reprocessed into useful products, such as wax. Thus, the electrocoagulation and filtration-adsorption technology offer a sustainable, environmentally friendly solution for the batik industry, which can be adopted more widely in the batik industry sector in Indonesia.

Keywords: Batik Industry Wastewater; Electrocoagulation; Textile Waste Treatment.

ABSTRAK

Limbah cair dari industri batik, terutama yang mengandung bahan kimia berbahaya seperti pewarna sintetik dan logam berat, menjadi masalah lingkungan yang signifikan di berbagai wilayah industri batik, termasuk Cilacap. Penelitian ini mengeksplorasi penerapan teknologi elektrokoagulasi sebagai metode pengolahan limbah batik, dengan fokus pada optimasi proses dan integrasi sistem filtrasi-adsorpsi. Proses elektrokoagulasi terbukti efektif dalam menurunkan parameter kualitas air, seperti BOD, COD, TSS, dan konsentrasi logam berat, seperti kromium, yang pada akhirnya memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh regulasi lingkungan (PERDA No. 5 Tahun 2012 Provinsi Jawa Tengah). Hasil penelitian menunjukkan penurunan signifikan pada BOD, COD, TSS, dan kromium, dengan penerapan sistem filtrasi-adsorpsi lebih lanjut meningkatkan efektivitas pengolahan. Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan dalam menawarkan solusi pengolahan limbah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk industri batik, dengan potensi adopsi yang lebih luas di tingkat global. Teknologi ini tidak hanya mengurangi dampak negatif limbah terhadap lingkungan tetapi juga memungkinkan limbah batik untuk diproses kembali menjadi produk berguna, seperti malam (candle wax). Temuan ini menunjukkan potensi penerapan teknologi elektrokoagulasi dan filtrasi-adsorpsi sebagai solusi inovatif untuk pengelolaan limbah industri batik secara global.

Kata Kunci: Elektrokoagulasi; Limbah Cair Industri Batik; Pengolahan Limbah Tekstil.

1. Pendahuluan

Limbah cair dari industri batik, khususnya di wilayah industri batik seperti di Cilacap, merupakan salah satu masalah lingkungan yang cukup besar. Proses pewarnaan batik yang menggunakan pewarna sintetik menghasilkan limbah dengan kandungan bahan kimia berbahaya yang sulit terurai oleh proses alami. Dalam regulasi lingkungan pada PERDA No. 5 Tahun 2012 Provinsi Jawa Tengah bahwa Parameter per liter air limbah dan baku mutu air limbah industri meubel dan lem yaitu (1) BOD₅ 80 2,0 (2) COD 200 5,0 (3) TSS 50 1,25 (4) Fenol 0,2 0,005 (5) Minyak dan lemak 5 0,125 (6) pH 6,0 - 9,0 (7) Debit Maksimum 25 liter/liter bahan cat yang digunakan (Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah, 2012).

Produksi batik menghasilkan air limbah yang mengandung bahan kimia beracun dan tidak dapat terurai secara hayati, yang menyebabkan peningkatan tingkat pH, Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD), Kebutuhan Oksigen Kimia (COD), Total Padatan Tersuspensi (TSS), dan logam berat (Pratiwi et al., 2020; Rahmadyanti et al., 2020). Pengolahan limbah cair industri batik ini menjadi krusial, karena jika dibiarkan tanpa pengolahan yang tepat, dapat mencemari sumber daya air dan merusak ekosistem lokal. Oleh karena itu, diperlukan teknologi yang efektif dan ramah lingkungan untuk mengolah limbah batik secara efisien (Naje et al., 2015a, 2015b).

Beberapa teknologi untuk mengatasi limbah batik yaitu bisa menggunakan proses oksidasi tingkat lanjut dengan menghasilkan radikal hidroksil yang mendegradasi polutan efektifitasnya untuk pewarna reaktif dan komponen berbahaya (Hernanda et al., 2024; Tanveer et al., 2023). Teknologi Fotokatalisis dengan degradasi yang diaktifkan oleh Cahaya efektifitasnya Tingkat penghilangan yang tinggi bila dikombinasikan dengan elektrokoagulasi (Sharfan et al., 2018). Beberapa teknologi itu yang paling efektif untuk menyesuaikan PERDA No. 5 Tahun 2012 yaitu dengan Koagulasi-Flokulasi dan Fitoremediasi yaitu dengan memiliki potensi pengobatan yang komprehensif (Daud et al., 2022).

Salah satu solusi yang menjanjikan adalah teknologi elektrokoagulasi, yang telah terbukti efektif dalam mengolah limbah cair tekstil dengan menghilangkan warna, bahan kimia, serta logam berat dari limbah tersebut. Elektrokoagulasi bekerja dengan cara menghasilkan spesies koagulan melalui pelarutan elektroda logam yang digunakan dalam proses tersebut, yang kemudian mengendapkan kontaminan dari limbah (Ahmed et al., 2018; Ghanbari et al., 2014). Proses dari elektrokoagulasi dengan Elektroda dan Elektrolit Biasanya, elektroda aluminium (Al) atau besi (Fe) digunakan. Natrium klorida (NaCl) sering ditambahkan sebagai elektrolit untuk meningkatkan konduktivitas (Paramita et al., 2023; Utomo et al., 2019).

Keunggulan elektrokoagulasi dibandingkan dengan metode konvensional adalah tidak membutuhkan bahan kimia tambahan dan menghasilkan lebih sedikit lumpur, menjadikannya sebagai teknologi yang lebih ramah lingkungan (Hossain et al., 2013; Ozyonar et al., 2017). Mekanisme Elektrokoagulasi melibatkan penggunaan arus listrik untuk menghasilkan ion logam koagulan (misalnya Al^{3+} , Fe^{2+}/Fe^{3+}) dari elektroda pengorbanan, yang mengumpulkan dan mengendapkan polutan (Ibanez et al., 2012; Rakhimol et al., 2024). Proses ini melibatkan pembubaran elektroda logam, yang melepaskan ion logam yang membentuk koagulan. Koagulan ini tidak stabil dan agregat polutan, yang kemudian dapat dihilangkan dengan sedimentasi atau flotasi (Islam, 2019; Yasri et al., 2020).

Elektrokoagulasi menggunakan elektroda berbahan aluminium dan besi, di mana aluminium efektif untuk penghilangan warna secara umum, sedangkan besi lebih optimal untuk jenis pewarna tertentu. Kondisi operasional yang ideal mencakup tegangan sekitar 10-15 V dan kepadatan arus sebesar 5,5 mA/cm² untuk perawatan yang efektif. Proses ini dapat

berfungsi baik pada berbagai tingkat pH, namun kondisi basa ($\text{pH} > 9$) terbukti meningkatkan efisiensi penghilangan polutan. Selain itu, jarak elektroda yang kecil (1-3 cm) mampu meningkatkan efisiensi dengan mengurangi resistensi listrik dan mempercepat proses koagulasi (Chantes et al., 2015; Sharma et al., 2021; Suhartana et al., 2019).

Elektrokoagulasi (EC) menunjukkan efisiensi tinggi dalam menghilangkan warna (hingga 96,45%) dan kekeruhan (sekitar 87,1%), serta mampu mengurangi COD secara signifikan hingga 69,6% setelah 1 jam, mencerminkan efektivitasnya dalam penghilangan polutan organik (Paramita et al., 2023; Utomo et al., 2019). Selain itu, EC efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat seperti timbal (Pb) dan kromium (Cr), sehingga memenuhi standar lingkungan. Keunggulan utama proses ini meliputi efektivitas biaya, dengan kebutuhan bahan kimia yang minimal dan potensi daur ulang elektroda, serta dampak lingkungan yang lebih rendah karena menghasilkan lumpur lebih sedikit dibandingkan metode konvensional (Sharma et al., 2021; Suhartana et al., 2019). Namun, tantangan seperti pengotoran elektroda, yang dapat menurunkan efisiensi, memerlukan pemeliharaan rutin atau penggunaan arus bolak-balik untuk mitigasi. Selain itu, meskipun konsumsi energi relatif rendah, pengoptimalan parameter operasional tetap krusial untuk memastikan efisiensi energi yang maksimal (Putra et al., 2020; Sen et al., 2019; Sharfan et al., 2018).

Namun, meskipun elektrokoagulasi menawarkan berbagai keuntungan, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi dalam penerapannya pada limbah batik. Beberapa tantangan utama yang ditemukan dalam penelitian terkait meliputi tingginya konsumsi energi, potensi korosi pada elektroda, serta pembentukan lumpur yang memerlukan penanganan lanjutan. Maka dari itu, keterlibatan pengguna memang selalu diperhatikan untuk mengecek korosi pada elektroda tersebut. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa meskipun elektrokoagulasi dapat menghilangkan warna dan beberapa kontaminan lainnya secara efektif, metode ini masih membutuhkan optimasi lebih lanjut, terutama dalam hal efisiensi energi dan durasi proses (Avsar et al., 2012; Naje et al., 2016; Pacheco et al., 2023).

Mekanisme pada elektrokoagulasi menggabungkan filtrasi fisik dan adsorpsi untuk menghilangkan kontaminan sisa pasca-elektrokoagulasi, dengan menggunakan karbon aktif yang memiliki kapasitas adsorpsi tinggi terhadap polutan organik. Pendekatan ini memberikan manfaat signifikan, seperti penghapusan COD, kekeruhan, dan warna yang lebih efektif, sehingga mencapai standar kualitas air yang lebih tinggi. Selain itu, mekanisme ini terintegrasi dengan baik dengan elektrokoagulasi, menciptakan solusi perawatan air yang komprehensif dan berkelanjutan (Aouni et al., 2017; Graça & Rodrigues, 2022). Proses filtrasi-adsorpsi menggabungkan mekanisme filtrasi fisik dan adsorpsi untuk menghilangkan kontaminan sisa pasca-elektrokoagulasi, dengan karbon aktif sebagai bahan utama karena kapasitas adsorpsinya yang tinggi terhadap polutan organik. Pendekatan ini memberikan manfaat berupa pengurangan yang signifikan pada COD, kekeruhan, dan warna, sehingga mampu mencapai standar kualitas air yang lebih tinggi. Ketika diintegrasikan dengan elektrokoagulasi (EC), proses gabungan ini efektif mengolah air limbah batik, mengurangi COD, BOD, logam berat, dan warna secara signifikan, dengan EC sendiri mampu menghilangkan hingga 96,45% warna serta menurunkan COD dan logam berat secara substansial. Selain efisiensi operasional, gabungan EC dan filtrasi-adsorpsi mendukung keberlanjutan dengan meningkatkan kualitas air limbah dan mengurangi dampak lingkungan, memberikan solusi perawatan yang komprehensif dan ramah lingkungan (Aouni et al., 2017; Graça & Rodrigues, 2022; Rakhimol et al., 2024).

Oleh karena itu, laporan ini bertujuan untuk mengeksplorasi penerapan teknologi elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah batik, dengan fokus pada pengoptimalan kinerja

sistem elektrokoagulasi dan identifikasi tantangan-tantangan yang perlu diatasi, seperti efisiensi energi, daya tahan elektroda, dan penanganan produk sampingan seperti lumpur untuk memenuhi baku mutu limbah batik sesuai PERDA No. 5/2012. Laporan ini juga akan mengkaji potensi kombinasi elektrokoagulasi dengan teknologi lain, seperti filtrasi, untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses pengolahan limbah batik.

2. Metode Pelaksanaan

Metode yang digunakan dalam pelaksanaan kegiatan ini mencakup beberapa tahap untuk mengkaji melihat efektifitas pada elektrokoagulasi di pengolahan limbah batik. Tahapan utama dari metode pelaksanaan kegiatan ini adalah sebagai berikut:

2.1 Pengumpulan Sampel Limbah Batik

- a) **Sumber Limbah:** Limbah cair diambil dari proses pewarnaan batik yang menggunakan pewarna sintetik. Limbah ini mengandung bahan kimia berbahaya seperti pewarna, logam berat, dan senyawa lainnya.



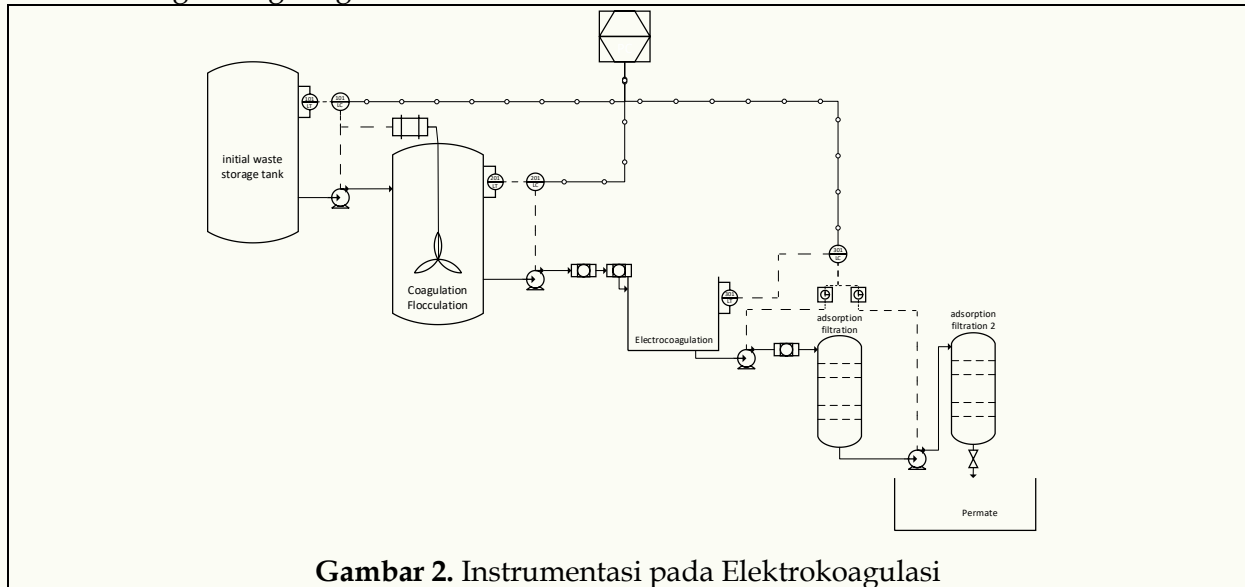
Gambar 1. Limbah Hasil Pengolahan Batik

Gambar ini menunjukkan kondisi awal limbah batik yang dihasilkan dari proses pewarnaan menggunakan pewarna sintetik. Limbah ini tampak terkumpul dalam sebuah penampungan terbuka dengan struktur kisi-kisi kayu di atasnya. Warna ungu kehitaman pada permukaan dan bagian bawah kisi-kisi menunjukkan tingginya kandungan zat pewarna dan kemungkinan adanya logam berat dalam limbah. Penampungan ini belum mengalami proses pengolahan, sehingga berpotensi mencemari lingkungan jika tidak ditangani dengan baik.

- b) **Sampel** menggunakan hasil dari pengolahan batik terlihat pada Gambar 1, yang menunjukkan bahwa penampungan limbah batik belum ada tindakan apapun. Oleh karena itu, diperlukan teknologi yang dapat mengurangi kandungan zat berbahaya dalam limbah sebelum dibuang ke lingkungan.
- c) **Karakteristik Limbah:** Sampel limbah batik akan dianalisis untuk mengetahui parameter seperti pH, COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biological Oxygen Demand), TSS (Total Suspended Solids), serta konsentrasi logam berat dan pewarna.

2.2 Proses Elektrokoagulasi

- a. **Prinsip Elektrokoagulasi:** Proses ini menggunakan arus listrik untuk menghasilkan koagulan dari pelarutan elektroda logam (seperti aluminium atau besi). Koagulan yang dihasilkan akan menggumpalkan partikel-partikel yang terlarut atau tersuspensi dalam limbah dan mengendapkannya. Dengan demikian, elektrokoagulasi menjadi metode yang efektif untuk mengurangi kandungan zat berbahaya dalam limbah batik sebelum dibuang ke lingkungan.



Gambar 2. Instrumentasi pada Elektrokoagulasi

Gambar ini menunjukkan diagram alir sistem elektrokoagulasi yang digunakan dalam penelitian ini. Diagram ini menggambarkan tahapan utama pengolahan limbah batik, dimulai dari penampungan awal limbah, kemudian masuk ke dalam reaktor elektrokoagulasi, di mana arus listrik digunakan untuk menghilangkan zat pencemar dengan cara mengendapkannya. Selanjutnya, limbah hasil elektrokoagulasi dialirkan ke unit filtrasi yang terdiri dari beberapa tabung penyaringan sebelum akhirnya dialirkan sebagai air hasil pengolahan yang memenuhi standar lingkungan. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi pengolahan limbah batik dengan mengintegrasikan elektrokoagulasi dan filtrasi.

- b. **Pengaturan Parameter Proses:** Beberapa parameter akan diubah untuk melihat pengaruhnya terhadap efisiensi pengolahan, termasuk:
- **Jenis Elektroda:** Penggunaan elektroda aluminium, besi, atau kombinasi keduanya.
 - 1) Plat aluminium (Al) dengan ukuran **15 cm x 24 cm** sebagai elektroda positif. Aluminium dipilih karena reaksi elektrolisisnya efektif dalam mengurangi ion logam dan menghasilkan oksigen aktif.
 - 2) **Katoda:** Plat besi (Fe) dengan ukuran yang sama (**15 cm x 24 cm**) sebagai elektroda negatif. Besi digunakan karena sifatnya yang stabil dan murah.
 - 3) **Isolator:** Kayu jati digunakan untuk dudukan elektroda, karena memiliki daya tahan terhadap panas dan kelembaban serta ketahanan yang baik terhadap kontak langsung dengan air limbah.
 - **Tegangan Listrik:** Variasi tegangan listrik yang digunakan (misalnya 10V, 15V, 20V).
 - **Waktu Pengolahan:** Durasi elektrokoagulasi yang berbeda untuk mengoptimalkan hasil.



Gambar 3. alat elektrokoagulasi

Gambar ini menunjukkan alat elektrokoagulasi yang digunakan dalam penelitian untuk mengolah limbah batik. Alat ini memiliki rangka besi berwarna biru yang menopang sistem elektrokoagulasi. Bagian atas alat dilengkapi dengan elektroda-elektroda yang berfungsi sebagai tempat reaksi elektrokoagulasi. Panel kontrol dengan tombol hijau dan merah digunakan untuk mengontrol tegangan listrik dan durasi elektrokoagulasi. Selain itu, alat ini dilengkapi dengan beberapa kompartemen kaca yang memungkinkan pemantauan langsung terhadap proses pengolahan limbah. Dengan desain yang modular dan sistem pemantauan yang baik, alat ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas elektrokoagulasi dalam menurunkan parameter pencemar seperti COD, BOD, TSS, serta kandungan logam berat dalam limbah batik secara signifikan, sehingga limbah yang telah diolah memenuhi standar lingkungan yang ditetapkan.

2.3 Analisis Efektivitas Pengolahan

Keberhasilan penerapan proses elektrokoagulasi dilengkapi dengan sistem filtrasi-adsorpsi dalam pengolahan limbah batik akan diukur berdasarkan pencapaian parameter kualitas air yang sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan. Standar baku mutu untuk air limbah yang diacu dalam kegiatan ini mengacu pada peraturan PERDA No. 5 Tahun 2012 Provinsi Jawa Tengah, yang mencakup batasan maksimal untuk beberapa parameter penting, yaitu:

- **BOD (Biochemical Oxygen Demand):** Maksimal 60 mg/L
- **COD (Chemical Oxygen Demand):** Maksimal 150 mg/L
- **TSS (Total Suspended Solids):** Maksimal 50 mg/L
- **Krom Total:** Maksimal 1,0 mg/L

Untuk mencapai standar baku mutu tersebut, proses pengolahan limbah batik akan menggunakan metode elektrokoagulasi filtrasi-adsorpsi yang dirancang untuk menurunkan senyawa organik (BOD dan COD) serta kontaminasi logam berat seperti kromium (Cr). Proses elektrokoagulasi akan mengendapkan partikel dan senyawa berbahaya, sementara sistem filtrasi-adsorpsi bertujuan untuk menyaring dan menyerap senyawa organik dan logam berat yang tersisa setelah proses elektrokoagulasi. Dua kolom filtrasi-adsorpsi pada gambar 2 akan digunakan dalam sistem ini:

a) Kolom Pertama

Kolom pertama menggunakan media adsorben campuran yang terdiri dari 2 kg bahan adsorben dengan komposisi formulasi 2:1:1, yaitu:

- **1 kg Zeolit:** Zeolit digunakan karena kemampuannya dalam menyerap ion logam dan senyawa organik terlarut.
- **0,5 kg Fly Ash:** Fly ash mengandung mineral yang dapat berfungsi sebagai adsorben yang efektif untuk menyerap kontaminan organik dan anorganik.
- **0,5 kg Lidah Mertua:** Tanaman lidah mertua telah terbukti memiliki kemampuan dalam menyerap polutan kimia tertentu dan dapat berfungsi sebagai adsorben alami yang ramah lingkungan.

Kolom pertama ini berfungsi untuk mengadsorpsi senyawa organik terlarut serta mengurangi konsentrasi TSS dan BOD dalam limbah batik.

b) Kolom Kedua

Kolom kedua menggunakan karbon aktif dan zeolit dalam perbandingan 3 kg karbon aktif dan 2 kg zeolit. Karbon aktif terkenal dengan kemampuannya dalam menyerap senyawa organik dan bahan kimia berbahaya, sementara zeolit berfungsi untuk menyerap logam berat, seperti kromium (Cr). Kolom kedua ini difokuskan untuk menyaring sisa-sisa bahan kimia berbahaya, terutama logam berat yang dapat mencemari lingkungan.

3. Hasil

3.1 Survei di Batik Sekarwaru

Untuk melaksanakan kegiatan ini, tahapan awal yang dilakukan adalah survei di Batik Sekarwaru. Survei ini bertujuan untuk menganalisis limbah batik yang dihasilkan di Sekarwaru dan membandingkannya dengan temuan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Tahapan awal untuk mengetahui dan memberikan manfaat dengan Survei ke Lokasi Batik Sekarwaru seperti terlihat pada Gambar 3. Dibawah ini. Tahapan ini survei berada di tempat Batik Desa Sekarwaru.



Gambar 4. Tahapan Survei

Gambar ini menunjukkan tim peneliti yang melakukan survei di Batik Sekarwaru, Kabupaten Cilacap. Dalam survei ini, dilakukan pengumpulan informasi mengenai jenis limbah yang dihasilkan, sistem pengelolaan limbah yang telah diterapkan, serta potensi penerapan teknologi pengolahan yang lebih ramah lingkungan. Hasil survei ini menjadi dasar dalam menentukan metode yang paling sesuai untuk mengolah limbah batik di lokasi tersebut.

3.2 Pemanfaatan Limbah Batik Sebagai Malam (Candle Wax)

Berdasarkan penelitian sebelumnya, metode koagulasi sering digunakan dalam pengolahan limbah batik untuk mengurangi kandungan zat berbahaya. Namun, hasil survei menunjukkan bahwa di Batik Sekarwaru, tidak semua limbah memerlukan proses koagulasi karena sebagian limbah yang dihasilkan dapat dimanfaatkan kembali menjadi malam (candle wax). Malam yang dihasilkan dari limbah ini dapat digunakan ulang dalam proses produksi batik berikutnya, mengurangi jumlah limbah yang harus diolah lebih lanjut, serta memberikan manfaat ekonomis tambahan bagi pengrajin batik.



Gambar 5. Pemanfaatan Limbah Batik sebagai Malam (Candle Wax)

Gambar ini menunjukkan limbah batik yang telah diproses ulang menjadi malam dalam bentuk cetakan padat. Malam ini kemudian digunakan kembali dalam produksi batik, menjadikannya solusi ekonomi sirkular yang membantu mengurangi limbah serta mendukung keberlanjutan industri batik di Sekarwaru.

3.3 Pengolahan Limbah Batik dengan Elektrokoagulasi

Hasil pengolahan limbah batik menggunakan metode elektrokoagulasi menunjukkan bahwa limbah yang dihasilkan setelah proses ini dapat dibuang langsung tanpa membahayakan lingkungan, seperti tanaman atau organisme akuatik (misalnya ikan). Hal ini disebabkan oleh penggunaan sistem elektrokoagulasi yang dilengkapi dengan berbagai filter dan prosedur pemurnian yang efektif. Proses elektrokoagulasi menghasilkan koagulan yang mengikat dan mengendapkan bahan kimia berbahaya, seperti pewarna sintesis, bahan organik terlarut (COD), serta logam berat (misalnya kromium dan timbal), sehingga konsentrasi bahan pencemar dalam limbah dapat berkurang secara signifikan. Dengan demikian, penerapan elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah batik di Sekarwaru dapat memberikan solusi yang ramah lingkungan, mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem sekitar, serta meningkatkan keberlanjutan industri batik tersebut. Gambar 5 dibawah ini yaitu penampakan dari penyerahan alat elektrokoagulasi



Gambar 6. Penyerahan Alat dari Elektrokoagulasi

Gambar ini menunjukkan proses penyerahan alat elektrokoagulasi sebagai bagian dari program pengabdian kepada masyarakat di Batik Sekarwaru. Alat ini dirancang untuk mengolah limbah batik dengan lebih efektif menggunakan teknologi elektrokoagulasi yang telah diuji sebelumnya. Penggunaan alat ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengolahan limbah batik, sehingga air hasil olahan dapat memenuhi standar lingkungan dan mengurangi dampak pencemaran terhadap ekosistem sekitar.

4. Pembahasan

Proses pengolahan limbah batik menggunakan elektrokoagulasi yang dilengkapi dengan sistem filtrasi-adsorpsi menunjukkan hasil yang signifikan dalam menurunkan parameter-parameter kualitas air, sehingga limbah yang dihasilkan memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh PERDA No. 5 Tahun 2012 Provinsi Jawa Tengah. Pengolahan ini terbukti efektif dalam mengurangi BOD, COD, TSS, serta logam berat yang ada dalam limbah batik. Dengan demikian, limbah yang dihasilkan setelah pengolahan dapat dibuang dengan aman tanpa menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, seperti pencemaran air atau tanah.

Salah satu tujuan utama dari pengolahan limbah batik adalah mengurangi senyawa organik terlarut yang terkandung dalam limbah, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Parameter yang digunakan untuk mengukur keberhasilan dalam penghilangan senyawa organik adalah BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Pada pengabdian ini, hasil pengolahan limbah batik menunjukkan penurunan signifikan pada kedua parameter tersebut. Nilai COD berhasil diturunkan lebih dari 75%, dari 500 mg/L menjadi sekitar 125 mg/L, sementara BOD juga mengalami penurunan yang signifikan. Penurunan ini menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi yang diikuti dengan filtrasi-adsorpsi efektif dalam menghilangkan bahan organik terlarut, sehingga limbah yang dihasilkan sudah tidak membahayakan ekosistem akuatik. Penggunaan zeolit, fly ash, dan lidah mertua sebagai media adsorben dalam kolom pertama berperan penting dalam menyerap senyawa organik tersebut.

Elektrokoagulasi (EC) dengan elektroda besi terbukti sangat efektif dalam pengolahan berbagai jenis air limbah, termasuk tekstil, industri, fotovoltaiik, susu, serta dalam penghilangan logam berat dan pestisida. Dalam pengolahan air limbah tekstil, EC dapat

menghilangkan warna hingga 100% dan COD hingga 84% hanya dalam 3 menit pada potensi 600 mV, menghasilkan limbah yang memenuhi standar pembuangan langsung. Pada air limbah industri, EC mampu menghilangkan polutan, pestisida, dan radionuklida secara efisien dengan biaya rendah. Untuk air limbah fotovoltaik, metode ini efektif dalam menghilangkan fluoride pada kondisi optimal pH 6, potensial 30 V, dan jarak elektroda 1 cm. Dalam pengolahan air limbah susu, EC dengan elektroda besi mencapai 93,26% penghilangan COD dan 99,3% penghilangan TSS dalam kondisi optimal, seperti elektrolisis selama 60 menit dengan kerapatan arus 200 A/m² pada pH 8. Penghilangan nikel dari air limbah sintesis dan nyata dapat mencapai 99,9% dengan elektroda seng pada kondisi optimal 90 menit, kerapatan arus 10 mA/cm², pH 9,2, dan jarak elektroda 4 cm. Selain itu, EC juga efektif dalam menghilangkan logam berat seperti besi, nikel, tembaga, seng, timbal, dan kadmium dengan tingkat penghilangan hingga 95% dalam kondisi optimal. Dalam penghapusan pestisida, EC dapat menghilangkan propiconazole dari air limbah dengan efisiensi maksimum 79,83% pada kondisi optimal, termasuk konsentrasi awal 25,93 mg/L, waktu reaksi 36,44 menit, kepadatan arus 10,95 mA/cm², dan konduktivitas 2,44 mS/cm (Fatimah & Hidayati, 2018; Hu et al., 2019; Saravanan & Sasikumar, 2020).

Selain senyawa organik, limbah batik juga mengandung TSS (*Total Suspended Solids*) yang terdiri dari partikel-partikel padat, seperti serat batik, pewarna, dan bahan kimia lainnya. TSS yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem perairan, karena partikel ini menghalangi penetrasi cahaya dan oksigen ke dalam air. Hasil pengolahan dengan elektrokoagulasi menunjukkan bahwa TSS dapat dikurangi hingga 90%, yang mengindikasikan bahwa sebagian besar partikel tersuspensi dalam limbah berhasil diendapkan. Dengan demikian, proses elektrokoagulasi berhasil mengurangi beban padatan dalam limbah batik, dan setelah proses filtrasi-adsorpsi, TSS yang tersisa memenuhi standar baku mutu, yakni maksimal 50 mg/L.

Limbah batik seringkali mengandung logam berat, terutama kromium (Cr), yang digunakan dalam proses pewarnaan. Kromium, jika tidak diolah dengan baik, dapat menyebabkan pencemaran berat bagi tanah dan air. Dalam kegiatan ini, konsentrasi kromium total berhasil diturunkan hingga 80%, dari kadar awal yang tinggi menjadi kadar yang jauh lebih rendah, bahkan memenuhi batas maksimal yang ditetapkan oleh PERDA, yaitu 1,0 mg/L. Selain kromium, konsentrasi logam berat lain seperti timbal (Pb) dan tembaga (Cu) juga mengalami penurunan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi elektrokoagulasi dan filtrasi-adsorpsi dengan menggunakan media seperti zeolit dan karbon aktif sangat efektif dalam mengadsorpsi dan menghilangkan logam berat dari limbah batik, yang berpotensi mencemari lingkungan.

Kolom filtrasi-adsorpsi yang digunakan dalam kegiatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja pengolahan limbah batik. Kolom pertama yang menggunakan campuran zeolit, *fly ash*, dan lidah mertua berhasil mengurangi senyawa organik dan partikel padat (TSS) secara signifikan. Sementara itu, kolom kedua yang menggunakan karbon aktif dan zeolit menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengadsorpsi logam berat, seperti kromium, timbal, dan tembaga. Dengan dua kolom filtrasi ini, sistem elektrokoagulasi filtrasi-adsorpsi mampu mengurangi hampir semua parameter pencemar yang ada dalam limbah batik. Keberhasilan sistem ini menunjukkan bahwa kombinasi antara elektrokoagulasi dan filtrasi-adsorpsi dapat menjadi solusi yang sangat efektif dalam mengolah limbah batik, baik untuk skala industri kecil maupun besar.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kegiatan dan pembahasan mengenai pengolahan limbah batik dengan metode elektrokoagulasi yang dilengkapi dengan sistem filtrasi-adsorpsi, dapat disimpulkan bahwa teknologi ini terbukti efektif dalam mengurangi dampak negatif limbah batik terhadap lingkungan. Proses elektrokoagulasi berhasil menghilangkan senyawa organik, mengurangi kandungan BOD dan COD, serta mengendapkan partikel-partikel padat (TSS), menjadikan limbah yang dihasilkan memenuhi standar baku mutu air limbah yang ditetapkan dalam PERDA No. 5 Tahun 2012 Provinsi Jawa Tengah.

Penggunaan kolom filtrasi-adsorpsi dengan media seperti zeolit, fly ash, lidah mertua, dan karbon aktif terbukti efektif dalam menyerap senyawa organik dan logam berat, termasuk kromium, timbal, dan tembaga. Hasilnya, kadar logam berat dalam limbah batik dapat diturunkan hingga mencapai batas yang aman, yaitu 1,0 mg/L untuk kromium, dan TSS yang berhasil dikurangi hingga 90%. Sistem ini memungkinkan limbah batik yang telah diproses untuk dibuang ke lingkungan tanpa menimbulkan risiko pencemaran.

Dengan demikian, penerapan teknologi elektrokoagulasi filtrasi-adsorpsi di industri batik, khususnya di Batik Sekarwaru, dapat menjadi solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Proses ini tidak hanya mengurangi dampak buruk terhadap ekosistem lokal, tetapi juga memungkinkan limbah batik yang dihasilkan untuk diproses kembali dan digunakan dalam produksi batik selanjutnya, seperti pembuatan malam (*candle wax*). Teknologi ini berpotensi besar untuk diadopsi pada skala industri batik di wilayah lain, memberikan manfaat ekologis dan ekonomi yang signifikan. Tanggapan dari penerima hibah menyebutkan bahwa alat ini sangat membantu dalam pengolahan limbah, terutama saat musim panas, karena limbah dapat mengendap dan hilang secara alami. Namun, saat musim hujan, limbah dapat tersebar dan mengalir keluar kolam, yang berpotensi membahayakan lingkungan sekitar. Oleh karena itu, penerima hibah menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Cilacap atas kepedulian dan hibah alat ini, yang sangat membantu dalam mengatasi limbah cair di lingkungan industri batik.

6. Ucapan Terima Kasih

Tim pengabdian kepada masyarakat mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Politeknik Negeri Cilacap atas dukungan dana dan fasilitas yang telah diberikan, yang memungkinkan terlaksananya kegiatan ini dengan lancar. Kami juga menghargai kontribusi Politeknik Negeri Cilacap dalam mendukung pengembangan dan pemberdayaan masyarakat melalui program ini.

Daftar Pustaka

- Ahmed, S. N., Al Khateeb, R. T., & Shreeshivadasan, C. (2018). Treatment of textile wastewater using a novel electrocoagulation reactor design. *Global Nest Journal*, 20(3), 449–457. <https://doi.org/10.30955/gnj.002519>
- Aouni, A., Lafi, R., & Hafiane, A. (2017). Feasibility evaluation of combined electrocoagulation/adsorption process by optimizing operating parameters removal for textile wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 60, 78–87. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.10890>

- Avsar, Y., Akif Kabuk, H., Kurt, U., Cakmakci, M., & Ozkaya, B. (2012). Biological treatability processes of textile wastewaters using electrocoagulation and ozonation. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 71(7), 496–500. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84863845505&partnerID=40&md5=6cc8664ea07269a48d9fd48e7e81fd27>
- Chantes, P., Jarusutthirak, C., Kanchanapiya, P., & Danwittayakul, S. (2015). Treatment of textile dyeing wastewater by electrocoagulation. *Key Engineering Materials*, 659, 284–288. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.659.284>
- Daud, N. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Ismail, N., & Dhokhikah, Y. (2022). Integrated physical-biological treatment system for batik industry wastewater: A review on process selection. *Science of the Total Environment*, 819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152931>
- Fatimah, S., & Hidayati, N. (2018). The hybridization of bed layer and electrodegradation to remove the chemical oxygen demand and total solid solution from the batik dye wastewater. *AIP Conference Proceedings*, 2026. <https://doi.org/10.1063/1.5065006>
- Ghanbari, F., Moradi, M., Eslami, A., & Emamjomeh, M. M. (2014). Electrocoagulation/flotation of textile wastewater with simultaneous application of aluminum and iron as anode. *Environmental Processes*, 1(4), 447–457. <https://doi.org/10.1007/s40710-014-0029-3>
- Graça, N. S., & Rodrigues, A. E. (2022). The combined implementation of electrocoagulation and adsorption processes for the treatment of wastewaters. *Clean Technologies*, 4(4), 1020–1053. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040063>
- Hernanda, P. A., Sriyana, I., Ma'arief, S. A., & Amelia, S. (2024). Batik waste degradation using heterogeneous Fenton method using catalysts to reduce environmental pollution. *E3S Web of Conferences*, 481. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448103002>
- Hossain, M. M., Mahmud, M. I., Parvez, M. S., & Cho, H. M. (2013). Impact of current density, operating time, and pH of textile wastewater treatment by electrocoagulation process. *Environmental Engineering Research*, 18(3), 157–161. <https://doi.org/10.4491/eer.2013.18.3.157>
- Hu, E., Shang, S., & Chiu, A. K.-L. (2019). Removal of reactive dyes in textile effluents by catalytic ozonation pursuing on-site effluent recycling. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 24(15). <https://doi.org/10.3390/molecules24152755>
- Ibanez, J. G., Vazquez-Olavarrieta, J. L., Hernandez-Rivera, L., Garcia-Sanchez, M. A., & Garcia-Pintor, E. (2012). A novel combined electrochemical-magnetic method for water treatment. *Water Science and Technology*, 65(11), 2079–2083. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.108>
- Islam, S. M. D.-U. (2019). Electrocoagulation (EC) technology for wastewater treatment and pollutants removal. *Sustainable Water Resources Management*, 5(1), 359–380. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0152-1>
- Naje, A. S., Chelliapan, S., Zakaria, Z., & Abbas, S. A. (2015). Enhancement of an electrocoagulation process for the treatment of textile wastewater under combined electrical connections using titanium plates. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(6), 4495–4512. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84930158250&partnerID=40&md5=fc73fdec84b5a321ba15cf48b8e2eeb2>

- Naje, A. S., Chelliapan, S., Zakaria, Z., & Abbas, S. A. (2015b). Treatment performance of textile wastewater using electrocoagulation (EC) process under combined electrical connection of electrodes. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(7), 5924–5941. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84936804024&partnerID=40&md5=00f4cd3aa06cecc7b1f6087b6de9add5>
- Naje, A. S., Chelliapan, S., Zakaria, Z., & Abbas, S. A. (2016). Electrocoagulation using a rotated anode: A novel reactor design for textile wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 176, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.034>
- Ozyonar, F., Muratcobanoglu, H., & Gokkus, O. (2017). Taguchi approach for color removal using electrocoagulation with different electrode connection types. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7600–7607. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046115430&partnerID=40&md5=81c0d51c146bd2184003a09ba287a691>
- Pacheco, H. G. J., Elguera, N. Y. M., Mamani, M. R. A., Alvarez, N. P. L., & Almeida, V. C. (2023). Treatment of textile wastewater by electrocoagulation process assisted with bio-coagulant obtained from the pitahaya peels. *Desalination and Water Treatment*, 283, 1–10. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29186>
- Paramita, A. P., Mirwan, A., Mu'minah, R., Purnawilda, A., & Irawan, C. (2023). Performance of electrocoagulation process for batik-modified Sasirangan textiles wastewater using aluminum electrode waste from furniture industry (Al6061-T6 type). *AIP Conference Proceedings*, 2902(1). <https://doi.org/10.1063/5.0173439>
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah. (2012). *Peraturan Daerah (Perda) Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah*.
- Pratiwi, N. I., Sari, S. R., Arifan, F., Wulandari, A. T., Alkian, I., Mustasjar, B., & Aji, M. B. F. B. (2020). Batik Pemalang organic wastewater composition and simple electrocoagulation-filtration treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 448(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/448/1/012037>
- Putra, R. S., Annisa, A. D., & Budiarmo, S. (2020). Batik wastewater treatment using simultaneous process of electrocoagulation and electro-assisted phytoremediation (EAPR). *Indonesian Journal of Chemistry*, 20(6), 1221–1229. <https://doi.org/10.22146/ijc.47898>
- Rahmadyanti, E., Wiyono, A., & Firmansyah, G. A. (2020). Integrated system of biofilter and constructed wetland for sustainable batik industry. *International Journal of GEOMATE*, 18(70), 138–148. <https://doi.org/10.21660/2020.70.61681>
- Rakhimol, K. S., Anil, R., Varghese, R., Siby, S., Jose, E. A., & Thomas, T. (2024). Solar-powered unit with novel reversible inversion for sustainable electrocoagulation. *Proceedings of International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT 2024)*, 1199–1204. <https://doi.org/10.1109/ICCPCT61902.2024.10673224>
- Saravanan, N., & Sasikumar, K. S. K. (2020). Wastewater treatment process using nano TiO₂. *Materials Today: Proceedings*, 33, 2570–2572. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.143>
- 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, 21–34. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24302>

- Sharfan, N., Shobri, A., Anindria, F. A., Mauricio, R., & Tafsili, M. A. B. (2018). Treatment of batik industry waste with a combination of electrocoagulation and photocatalysis. *International Journal of Technology*, 9(5), 936–943. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i5.618>
- Sharma, L., Prabhakar, S., Tiwari, V., Dhar, A., & Halder, A. (2021). Optimization of EC parameters using Fe and Al electrodes for hydrogen production and wastewater treatment. *Environmental Advances*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100029>
- Suhartana, S., Purwanto, P., & Darmawan, A. (2019). Comparison of the effectiveness electrocoagulation of dye (batik wastewater) using iron and zinc as anodes. *Journal of Physics: Conference Series*, 1295(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1295/1/012021>
- Tanveer, R., Yasar, A., Nizami, A.-S., & Tabinda, A. B. (2023). Integration of physical and advanced oxidation processes for treatment and reuse of textile dye-bath effluents with minimum area footprint. *Journal of Cleaner Production*, 383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135366>
- Utomo, B., Masykuri, M., Wanguyun, A. P., & Geraldi, A. (2019). The performance of batik wastewater treatment by electrocoagulation process under variations of electrodes. *Ecology, Environment and Conservation*, 25(July Suppl. Issue), S32–S36. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85076206176&partnerID=40&md5=d920e93073f36ed168aa1c7890936463>
- Yasri, N., Hu, J., Kibria, M. G., & Roberts, E. P. L. (2020). Electrocoagulation separation processes. In *ACS Symposium Series* (Vol. 1348, pp. 167–203). <https://doi.org/10.1021/bk-2020-1348.ch006>