

Aplikasi Elektrokoagulasi Berulang Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu di Kota Bogor

Annisa Ramadhanti¹, Sutanto^{2*}, Muhammad Fathurrahman³

^{1,2,3}Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pakuan

Email : ¹annisaramadhanti2412@gmail.com, ²sutanto_psl@yahoo.co.id* (Corresponding author*), ³fathur110590@unpak.ac.id

Abstrak

Informasi Jurnal

Kata Kunci:

Limbah Cair Tahu,
Elektrokoagulasi Berulang,
TSS

Berkembangnya industri tahu meningkatkan jumlah limbah cair yang berpotensi menurunkan kualitas perairan jika dibuang tanpa pengolahan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pengulangan pada proses elektrokoagulasi dalam menurunkan kadar pencemar hingga memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII tentang Baku Mutu Air Limbah Pengolahan Kedelai. Air limbah tahu akan dilakukan elektrokoagulasi berulang dengan variasi tegangan (20V dan 30V), jarak plat elektroda 4 cm, dan variasi waktu (15, 30, 45, dan 60 menit). Air limbah tahu sebelumnya akan dilakukan karakteristik awal dan akhir setelah proses elektrokoagulasi. Tegangan dan waktu kontak terbaik yang dicapai pada penelitian ini yaitu pada tegangan 20 V selama 60 menit pada tahap pengolahan kedua. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya penurunan nilai COD, TSS dan DHL sedangkan nilai DO dan pH mengalami kenaikan. Pada penelitian ini nilai TSS sudah memenuhi baku mutu walaupun untuk parameter pH dan COD masih belum memenuhi baku mutu namun memberikan hasil yang menunjukkan bahwa kualitas air limbah semakin baik.

Abstract

Keyword:

Tofu Wastewater, Repeated
Electrocoagulation, TSS

The development of the tofu industry has increased the volume of liquid waste, which has the potential to degrade water quality if discharged without treatment. This study aims to determine the effect of repeated electrocoagulation processes in reducing pollutant concentrations to meet the quality standards stipulated in the Regulation of the Minister of Environment Number 5 of 2014, Appendix XVIII, concerning Wastewater Quality Standards for Soybean Processing Activities.

Tofu wastewater was treated using repeated electrocoagulation with variations in voltage (20 V and 30 V), electrode plate spacing of 4 cm, and contact time variations (15, 30, 45, and 60 minutes). Initial and final characteristics of the tofu wastewater were analyzed before and after the electrocoagulation process. The optimal voltage and contact time achieved in this study were 20 V for 60 minutes during the second treatment stage. This condition resulted in reductions in COD, TSS, and electrical conductivity (EC), while DO and pH values increased. In this study, the TSS value met the applicable quality standards; although the pH and COD parameters had not yet met the standards, the results indicate an overall improvement in wastewater quality.

PENDAHULUAN

Banyak masyarakat Indonesia gemar mengonsumsi tahu. Saat ini proses pembuatan tahu masih diproduksi dalam skala rumahan dan proses pembuatannya masih dilakukan secara tradisional. Karena tingginya biaya dan kurangnya pengetahuan masyarakat tentang pengelolaan limbah, semua limbah cair dibuang begitu saja ke lingkungan tanpa diolah.

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan pengolahan awal air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu metode yang sudah digunakan secara luas untuk pengolahan air limbah adalah elektrokoagulasi. Metode ini memiliki keunggulan diantaranya yaitu merupakan metode yang sederhana, efisien, baik digunakan untuk menghilangkan senyawa organik, tanpa

penambahan zat kimia sehingga mengurangi pembentukan residu (*sludge*), dan baik untuk menghilangkan padatan tersuspensi (Saputra, 2018). Elektrokoagulasi adalah metode koagulasi dengan menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia.

Terdapat bukti dari penelitian sebelumnya yang mendukung penggunaan metode elektrokoagulasi. Hudha dkk. (2014) menggunakan variabel waktu dan tegangan untuk mengelektrokoagulasi air limbah dari usaha tahu. Pada tegangan 6 V selama 90 menit, kadar COD menurun sebesar 42,11% dan kadar TSS menurun sebesar 77,27% pada waktu 60 menit. Selain itu, Anggoroningtyas (2023) menggunakan tegangan ideal 30 volt dan durasi elektrokoagulasi 60 menit pada sampel limbah cair produksi tahu. Hasil menunjukkan penurunan COD sebesar 54,68 persen dan penurunan TSS sebesar 85,47 persen. Namun penurunan kadar CODnya masih belum mencapai baku mutu yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Kedelai. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan limbah cair tahu dengan metode elektrokoagulasi berulang, dengan variasi tegangan dan waktu yang sama seperti pada penelitian Anggoroningtyas (2023) namun akan dilakukan berulang dengan dua tahapan untuk melihat apakah dengan adanya keberulangan akan menghasilkan hasil pengolahan limbah yang memenuhi baku mutu air limbah sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Kedelai.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari pengambilan sampel limbah cair tahu, karakterisasi limbah cair tahu, pengolahan limbah cair tahu dengan alat elektrokoagulasi sistem berulang, dan karakterisasi limbah setelah pengolahan. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan jerigen 5 L lalu dimasukkan ke dalam *cooler box* yang diisi dengan es balok untuk mempertahankan kondisi limbah. Limbah cair tahu diambil sebanyak 1 L untuk dianalisa karakteristik awalnya sebelum masuk ke dalam tahap pengolahan dengan proses elektrokoagulasi. Parameter yang akan dianalisa pada limbah cair tahu yaitu DO, pH, DHL, TSS dan COD.

Pengolahan limbah dilakukan dengan proses elektrokoagulasi dengan menggunakan elektroda plat alumunium. Sebanyak 0,8 L limbah cair tahu akan dimasukkan ke dalam gelas piala 1 L dan dimasukkan dua lembar plat alumunium dengan jarak 2 cm yang nantinya akan dialiri listrik

dari DC *Power Supply*. Perlakuan yang diberikan terhadap limbah cair pabrik tahu dengan metode elektrokoagulasi merupakan kombinasi dari variabel waktu dan tegangan. Variasi waktu yang digunakan ada 4 variasi yaitu 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit. Tegangan yang akan diberikan terdiri dari 2 variasi yaitu 20 Volt dan 30 Volt dan jarak elektroda 4 cm. Variasi waktu dan tegangan dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya (Anggoroningtyas, 2023). Setelah proses pengolahan limbah cair secara elektrokoagulasi tahap pertama selesai, kemudian dilakukan tahap pengendapan flok-flok yang terbentuk selama 30 menit agar dapat dipisahkan. Hasil dari elektrokoagulasi tahap pertama dianalisa karakteristiknya. Selanjutnya air limbah hasil elektrokoagulasi tahap pertama dilakukan elektrokoagulasi kembali dan dianalisa karakterisasinya sebagai hasil dari elektrokoagulasi tahap kedua.

A. Pengukuran *Dissolved Oxygen* (DO)

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan DO meter. Sebelum pengukuran DO meter dikalibrasi terlebih dahulu dengan pembacaan terhadap udara. *Probe* yang sudah dihidupkan dibiarkan di udara kemudian pada alat DO meter tekan tombol "CAL" dan ditunggu hingga pembacaan stabil. Setelah proses kalibrasi selesai, dilanjutkan dengan pembacaan pada sampel. Sebanyak 100 mL sampel limbah dimasukkan ke dalam piala gelas lalu dimasukkan *probe* tersebut ke dalam sampel yang akan diukur tersebut. Tekan "READ" lalu tunggu hingga pembacaan stabil. Dicatat hasil dari pembacaan nilai DO tersebut.

B. Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan acuan SNI 6989.11:2019. Sebelum melakukan pengukuran pH pada sampel, dilakukan terlebih dahulu kalibrasi pH meter pada pH 7, pH 4 dan pH 10. Sampel sebelumnya dikondisikan terlebih dahulu suhunya. Sampel limbah cair industri tahu dimasukkan ke dalam piala gelas 100 mL. Elektroda dibilas terlebih dahulu dengan air suling kemudian dikeringkan dengan tisu. Langkah selanjutnya adalah mencelupkan elektroda ke dalam sampel hingga pH meter menunjukkan nilai yang sama setiap kali Skala atau angka yang muncul pada tampilan pH meter dicatat sebagai nilai pH dari sampel tersebut.

C. Pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL)

Pengukuran daya hantar listrik atau konduktivitas berdasarkan dengan SNI 6989.1:2019 menggunakan alat konduktometer. Sebelum

melakukan pengukuran pada sampel, elektroda dikalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan larutan baku KCl 0,01 M pada suhu 25°C hingga alat menunjukkan angka 1412 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada layar. Selanjutnya dilakukan pengukuran DHL pada sampel air limbah tahu. Elektroda yang telah dikalibrasi kemudian dimasukkan ke dalam sampel air limbah tahu untuk diukur. Hasil pembacaan nilai DHL kemudian dicatat.

D. Penetapan *Total Suspended Solid* (TSS)

Penetapan padatan tersuspensi dilakukan dengan mengacu pada SNI 6989.3:2019. Sebanyak 50 mL sampel air limbah pabrik tahu disaring dengan peralatan vakum pada kertas saring dengan pori 1,5 μm yang sebelumnya telah ditimbang bobot kosongnya. Langkah selanjutnya adalah mengeringkan sampel yang telah disaring dalam oven dengan suhu 103–105°C selama 1 jam. Setelah itu, sampel ditimbang hingga mencapai berat yang konsisten setelah didinginkan dalam desikator

Perhitungan:

$$\text{mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh Uji (mL)}}$$

Keterangan:

A = Bobot kertas saring + residu kering (mg)

B = Bobot kertas saring (mg)

E. Penetapan *Chemical Oxygen Demand* (COD)

a) *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Berdasarkan SNI 6989.2:2019 *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah jumlah oksidan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ yang bereaksi dengan contoh uji dan dinyatakan sebagai mg O_2 untuk tiap 1000 mL contoh uji.

b) Kurva Kalibrasi

Menurut SNI 6989.2:2019 kurva kalibrasi adalah kurva yang menyatakan hubungan kadar larutan kerja dengan hasil pembacaan absorbansi yang merupakan garis lurus. Dibuat larutan kerja induk KHP (Kaliun Hidrogen Ptalat) yang setara dengan nilai COD 5000 mg O_2/L . Dipipet 2,5 mL larutan standar KHP pada konsentrasi 0, 100, 300, 500, 900 mg/L ke dalam tabung reflus. Ke dalam masing-masing tabung ditambahkan 1,5 mL *digest solution high range* dan 3,5 mL pereaksi sulfat. Tabung ditutup dan dikocok perlahan sampai homogen. Tabung kemudian diletakkan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150°C \pm 2 °C dan reflus selama 2 jam. Setelah proses reflus selesai, dinginkan larutan kerja sampai suhu ruang lalu baca dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm.

c) Sampel Limbah Pabrik Tahu

Sebanyak 2,5 mL sampel uji dipipet dan dimasukkan ke dalam tabung, ditambahkan 1,5 mL *digest solution high range* dan 3,5 mL pereaksi sulfat. Tabung ditutup dan dikocok perlahan sampai homogen. Tabung kemudian diletakkan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150°C \pm 2 °C dan reflus selama 2 jam. Setelah proses reflus selesai, dinginkan contoh uji sampai suhu ruang lalu baca dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm. Dilakukan pula penetapan blanko dengan cara kerja yang sama. Blanko pada penetapan ini digunakan air bebas organik.

Perhitungan

$$\text{Kadar COD (mg O}_2/\text{L)} = C \times F_p$$

Keterangan:

C = Nilai COD yang terbaca pada alat (mg/L)

F_p = Faktor pengenceran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan uji pendahuluan untuk melihat karakteristik awal dari sampel limbah cair pabrik tahu. Parameter yang diuji terdiri dari yaitu DO, pH, DHL, TSS dan COD. Penelitian ini menggunakan metode elektrokoagulasi berulang dengan dua tahapan dan menggunakan elektroda plat aluminium dengan kombinasi variabel waktu dan tegangan. Variasi waktu yang digunakan yaitu 15, 30, 45 dan 60 menit dengan tegangan yang akan diberikan yaitu 20 dan 30 Volt. Limbah cair pabrik tahu yang sudah selesai dilakukan pengolahan di tiap tahapnya akan dilakukan analisis dengan parameter yang sama seperti pada uji pendahuluan yaitu DO, pH, DHL, TSS dan COD.

A. Karakteristik Limbah Cair Tahu Sebelum dilakukan Pengolahan

Pada penelitian ini dilakukan uji pendahuluan untuk melihat karakteristik awal limbah cair tahu sebelum dilakukan pengolahan. Parameter yang di uji dapat dilihat hasilnya pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Limbah Cair Tahu Sebelum dilakukan Pengolahan

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Baku Mutu
1	DO	mg/L	0,21	-
2	pH	-	3,57	6,0 - 9,0*
3	DHL	$\mu\text{S}/\text{cm}$	3085	-
4	TSS	mg/L	990	200*
5	COD	mg/L	6475,00	300*

*PermenLH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Tahu

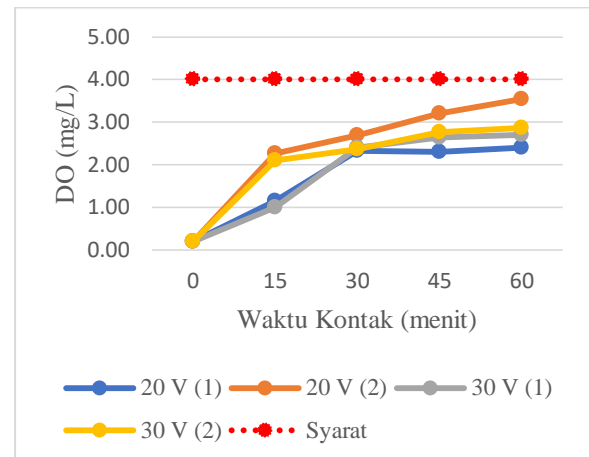
Berdasarkan Tabel 1 analisis yang dilakukan terhadap air limbah tahu sebelum pengolahan tidak memenuhi persyaratan mutu yang tercantum dalam PermenLH No.5 Tahun 2014. Konsentrasi oksigen terlarut dalam air limbah tahu sebelum pengolahan sangat rendah 0,21 mg/L. Rendahnya nilai DO menunjukkan kecilnya kelarutan oksigen yang terkandung dalam air limbah tersebut. Pada air limbah tahu ini juga menunjukkan nilai COD dan TSS yang tinggi yaitu 6475,00 mg/L dan 990 mg/L. Tingginya nilai TSS sebanding dengan nilai COD yang tinggi. Tingginya nilai TSS menunjukkan banyaknya padatan yang tersuspensi di dalam air. Padatan ini sebagian besar terdiri dari senyawa organik yang membutuhkan oksigen untuk terurai. Ketika suatu perairan mengandung banyak senyawa organik, maka semakin besar pula kebutuhan oksigen kimia untuk mengoksidasinya.

Nilai pH sebelum dilakukan pengolahan sebesar 3,57 dalam hasil analisis air limbah menunjukkan bahwa air limbah tersebut masih bersifat asam dan belum memenuhi kriteria mutu yang dipersyaratkan oleh PermenLH No.5 Tahun 2014. Nilai DHL pada air limbah sebelum pengolahan menunjukkan hasil 3085 μ S/cm. Tingginya nilai daya hantar listrik pada suatu perairan menunjukkan dalam perairan tersebut mengandung banyak ion-ion terlarut seperti garam-garam yang dapat menghantarkan listrik dengan baik. Tingginya nilai TSS dan COD yang melebihi baku mutu serta rendahnya nilai DO dan pH menunjukkan rendahnya kualitas air limbah tahu tersebut.

B. Hasil Pengolahan Limbah Cair Tahu Secara Elektrokoagulasi

1. Hubungan Tegangan dan Waktu Kontak Terhadap DO

Pengukuran DO dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut yang terkandung dalam air atau suatu perairan. Jika terdapat polutan organik dalam air yang dapat dirombak oleh mikroba, maka proses perombakan akan ini akan mengkonsumsi oksigen sehingga kadar oksigen terlarut semakin menurun (Sutanto & Artanti, 2019).

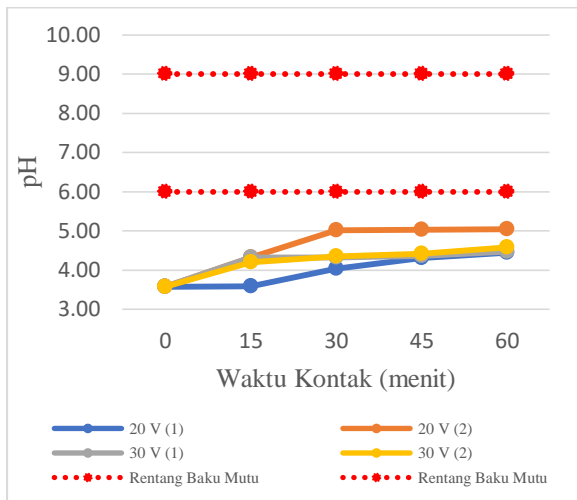


Gambar 1. Grafik Hubungan Waktu Kontak Terhadap Nilai DO pada berbagai Tegangan dan Tahapan

Dapat dilihat pada Gambar 1 terjadi peningkatan nilai DO pada air limbah setelah dilakukan proses elektrokoagulasi berulang. Limbah cair pabrik tahu sebelum dilakukan proses elektrokoagulasi memiliki nilai DO yang sangat rendah yaitu 0,21 mg/L. Setelah dilakukan proses elektrokoagulasi berulang nilai DO pada air limbah mengalami peningkatan. Peningkatan nilai DO tertinggi didapatkan pada saat proses elektrokoagulasi tahap kedua dengan tegangan 20 V selama 60 menit dengan hasil DO meningkat menjadi 3,54. Peningkatan nilai DO ini disebabkan karena semakin lama waktu kontak yang diberikan mengakibatkan berkurangnya kandungan polutan organik yang terkandung dalam air limbah tahu. Jika polutan organik berkurang maka maka aktivitas mikroba untuk merombak senyawa organik tersebut pun akan berkurang sehingga nilai DO akan bertambah. Mengacu pada (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, 2021) batas minimal kadar oksigen terlarut untuk perairan kelas dua ialah 4 mg/L.

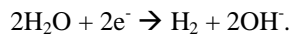
2. Hubungan Tegangan dan Waktu Kontak Terhadap pH

Nilai pH air limbah cair tahu sebelum dilakukan proses elektrokoagulasi adalah 3,57. Berikut Gambar 2 merupakan hasil pengolahan limbah tahu dengan elektrokoagulasi yang dilakukan berulang dengan dua tahapan.



Gambar 2. Grafik Hubungan Waktu Kontak Terhadap Nilai pH pada berbagai Tegangan dan Tahapan

Nilai pH setelah dilakukan proses elektrokoagulasi lebih besar dibandingkan sebelum dilakukan proses elektrokoagulasi. Meningkatnya pH disebabkan karena reaksi reduksi yang terjadi pada katoda lebih dominan dibandingkan dengan reaksi oksidasi pada anoda. Pada katoda terjadi reaksi reduksi H_2O menjadi H_2 dan OH^- .

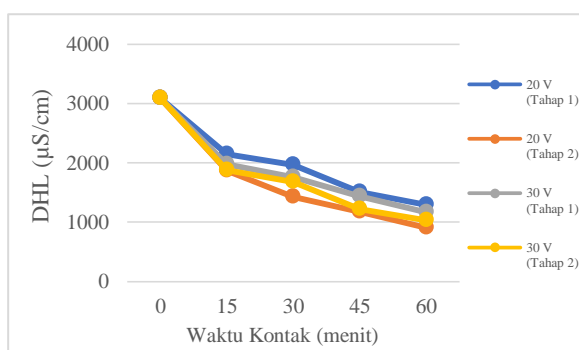


Besarnya tegangan dan lamanya waktu kontak akan menghasilkan OH^- yang semakin banyak pula, banyaknya OH^- yang dihasilkan akan menaikkan pH dan larutan bersifat basa (Yunitasari dkk., 2017). Hal ini selaras dengan pernyataan Vinod. K.G. & Imran Ali (2012) yang menyatakan bahwa pembentukan OH^- dan gas H_2 akan membuat pH larutan sedikit meningkat selama proses elektrokoagulasi.

Nilai pH meningkat setelah dilakukan proses elektrokoagulasi. Peningkatan pH tertinggi terjadi saat elektrokoagulasi tahap kedua dengan tegangan 20 V selama 60 menit menghasilkan pH yang awalnya 3,57 naik menjadi 5,05. Namun kenaikan pH yang dihasilkan setelah proses elektrokoagulasi ini masih belum memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII. Baku mutu air limbah ini menetapkan batas nilai pH untuk limbah cair untuk industri tahu adalah 6,0-9,0.

3. Tegangan dan Waktu Kontak Terhadap DHL

Nilai DHL mengukur seberapa kuat suatu larutan dalam menghantarkan arus listrik. Adanya



pengolahan dengan elektrokoagulasi berulang ini membuat nilai DHL pada air limbah tahu menurun seiring dengan bertambahnya waktu kontak. Grafik perubahan daya hantar listrik pada air limbah tahu sebelum dan sesudah proses elektrokoagulasi berulang diperlihatkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Grafik Hubungan Waktu Kontak Terhadap Nilai DHL pada berbagai Tegangan dan Tahapan

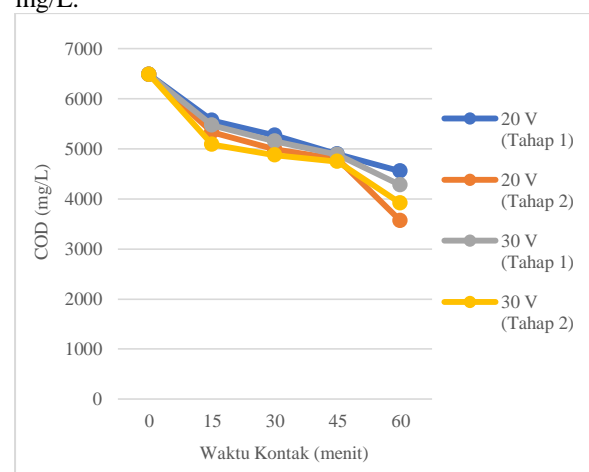
Pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 3, diperlihatkan bahwa pada tahap elektrokoagulasi kedua dengan tegangan 20 V dan waktu kontak selama 60 menit menghasilkan penurunan nilai DHL terbaik dalam proses elektrokoagulasi ini. Pada tegangan dan waktu kontak serta tahapan inilah menghasilkan penurunan nilai DHL terkecil yang awalnya 3085 $\mu S/cm$ turun menjadi 902 $\mu S/cm$. Pada waktu dan tegangan ini sebagian besar ion-ion sudah terflokulasi sehingga ion-ion penghantar listrik dalam larutan berkurang dan menyebabkan nilai DHL pada air limbah semakin menurun.

4. Hubungan Tegangan dan Waktu Kontak Terhadap TSS

Padatan tersuspensi atau TSS dalam air limbah menggambarkan kandungan polutan organik maupun anorganik yang dapat disaring atau diendapkan. Air limbah industri tahu sebelum dilakukan proses elektrokoagulasi berulang memiliki kadar TSS yang cukup tinggi yaitu 990 mg/L.

5. Hubungan Tegangan dan Waktu Kontak Terhadap COD

Nilai COD dalam suatu perairan menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua bahan organik dalam air dengan menggunakan reaksi kimia. Air limbah tahu sebelum dilakukan proses pengolahan dengan elektrokoagulasi berulang memiliki nilai COD yang tinggi yaitu 6475,00 mg/L.



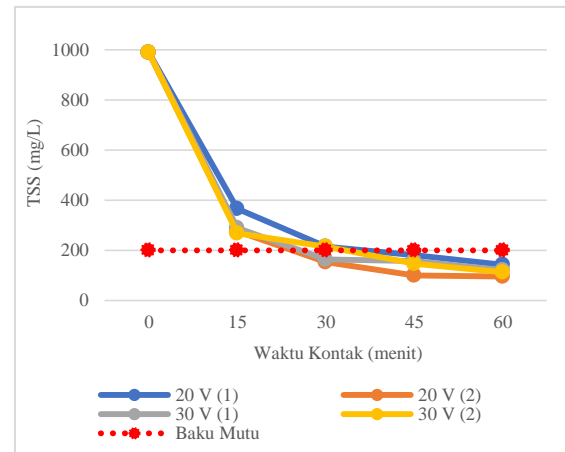
Gambar 5. Grafik Hubungan Waktu Kontak Terhadap Nilai COD pada berbagai Tegangan dan Tahapan

Dapat dilihat pada Gambar 5 menunjukkan grafik penurunan nilai COD pada air limbah tahu setelah dilakukan proses elektrokoagulasi berulang. Nilai COD mengalami penurunan pada setiap kenaikan waktu kontak yang diberikan. Hal ini membuktikan bahwa metode elektrokoagulasi ini mampu mendegradasi senyawa organik dalam air limbah tahu sehingga dapat mengurangi zat pencemar yang ada di dalam air limbah tahu tersebut.

Berdasarkan teori *double layer*, penurunan COD disebabkan flok yang terbentuk oleh ion senyawa organik berikatan dengan ion koagulan yang bersifat positif (Yulianto dkk., 2009). Berdasarkan gagasan ini, flok yang membantu menurunkan kadar COD terbentuk karena koagulan bermuatan positif menyerap ion negatif dari air limbah, termasuk nitrit, fosfat, dan senyawa organik lainnya. Flok-flok yang terbentuk ini akan bertambah besar hingga dapat menggandung sendirinya. Pengendapan flok ini akan menyebabkan terjadinya penurunan senyawa organik yang terkandung dalam limbah. Pada katoda akan dilepaskan ion OH⁻ dan akan pula melepaskan gas hidrogen yang akan membentuk gelembung-gelembung gas. Polutan yang terdapat pada air limbah akan menempel pada gelembung-gelembung gas tersebut (Nur dkk., 2020). Akibatnya, nilai COD turun karena kontaminan yang menempel pada gelembung naik ke permukaan.

Hasil terendah pada penurunan nilai COD air limbah tahu ini terjadi pada saat proses elektrokoagulasi tahap kedua dengan tegangan 20 V selama 60 menit menghasilkan penurunan kadar COD menjadi 3562,50 mg/L dengan efisiensi sebesar 44,98%. Namun hasil ini masih belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII yaitu maksimal nilai COD yang terkandung sebesar 300 mg/L. Pada penelitian Anggoroningtyas (2023) menunjukkan adanya penurunan kadar COD dengan efisiensi 54,68% pada pengolahan limbah tahu dengan elektrokoagulasi *batch*. Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Hayadi et al., (2011) menghasilkan efisiensi penurunan COD dengan metode elektrokoagulasi pada limbah tahu sebesar 50,61%. Mengacu pada penelitian (Pramessti, 2020) elektrokoagulasi dilakukan pada sampel limbah cair industri tekstil dengan variasi tegangan 5V; 12V; 20V; dan 24V dan berbagai variasi laju alir yaitu 0,5 mL/s; 0,7 mL/s; 1,0 mL/s; 1,5 mL/s; dan 2,0 mL/s menghasilkan penurunan kadar COD yang paling optimum dan memasuki baku mutu pada laju alir 0,5 mL/s dengan tegangan 20V.

Meskipun nilai COD pada air limbah tahu ini belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam PermenLH No. 5 Tahun 2014, namun dengan adanya penurunan nilai COD setelah proses elektrokoagulasi berulang menunjukkan adanya perubahan kualitas dari air limbah tahu tersebut.



Gambar 4. Grafik Hubungan Waktu Kontak Terhadap Nilai TSS pada berbagai Tegangan dan Tahapan

Seperti yang terlihat pada Gambar 4, nilai TSS menurun seiring bertambahnya durasi kontak selama proses elektrokoagulasi berulang. Dengan menggunakan elektroda aluminium, anoda mengalami proses oksidasi untuk menghasilkan Al³⁺ sementara katoda mereduksi H₂O menjadi H₂ dan OH⁻. Reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda ini akan menghasilkan koagulan Al(OH)₃ yang selanjutnya akan mengikat kontaminan yang terkandung dalam air limbah ke dalam rongga molekulnya. Proses penurunan TSS berkaitan dengan TSS yang merupakan polutan yang berada dalam bentuk tersuspensi. Jika suatu materi tersuspensi maka material tersebut berbentuk solid dengan ukuran tertentu. Material solid ini dapat dengan mudah teradsorpsi ke dalam koagulan Al(OH)₃ atau teradsorpsi ke dalam gelembung udara (Saputra, 2018). Hasil dari adsorpsi ini akan terflotasi atau terpisahkan ke atas sehingga akan menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi TSS dalam air limbah tersebut.

Dengan pemberian tegangan 20 V selama 45 menit pada tahap pertama elektrokoagulasi sudah mampu memberikan nilai TSS yang sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam PermenLH No. 5 tahun 2014. Walaupun penurunan nilai TSS paling optimal didapatkan pada saat proses elektrokoagulasi tahap kedua dengan tegangan 20 V selama 60 menit menghasilkan penurunan nilai TSS menjadi 94 mg/L dengan efisiensi penurunan sebesar 90,51%. Berdasarkan Peraturan Menteri Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII untuk parameter TSS memiliki

baku mutu 200 mg/L sehingga hasil pengolahan limbah dengan elektrokoagulasi berulang untuk paramter TSS sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

6. Perbandingan Kualitas Air Limbah Tahu Sebelum dan Sesudah Proses Elektrokoagulasi Pada Kondisi Terbaik

Berikut Tabel 2 menunjukkan kualitas air limbah tahu sebelum dilakukan pengolahan yang dibandingkan dengan hasil terbaik setelah dilakukan pengolahan dengan elektrokoagulasi berulang pada tegangan 20 V dengan waktu kontak selama 60 menit di tahap kedua proses elektrokoagulasi.

Tabel 2. Perbandingan Kualitas Air Limbah Tahu Sebelum dan Sesudah Pengolahan

No.	Parameter	Satuan	Hasil Sebelum Pengolahan	Hasil Setelah Pengolahan	Baku Mutu	Efisiensi Penurunan (%)
1	DO	mg/L	0,21	3,54	-	-
2	pH	-	3,57	5,05	6,0 - 9,0*	-
3	DHL	μ S/cm	3085	902	-	-
4	TSS	mg/L	990	94	200*	90,51
5	COD	mg/L	6475,00	3562,50	300*	44,98

*PermenLH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Tahu

Dapat dilihat pada Tabel 2, adanya peningkatan pada nilai oksigen terlarut atau DO pada sampel air limbah tersebut setelah dilakukan pengolahan dengan elektrokoagulasi berulang. Terjadi kenaikan nilai DO dari 0,21 mg/L menjadi 3,54 mg/L. Begitupun dengan nilai pH pada air limbah tersebut. Nilai pH pada air limbah sebelum dilakukan proses elektrokoagulasi berulang menghasilkan nilai 3,57. Setelah dilakukan proses elektrokoagulasi berulang nilai pH mengalami kenaikan menjadi 5,05. Sedangkan untuk parameter DHL, TSS dan COD mengalami penurunan setelah air limbah tahu diolah dengan elektrokoagulasi berulang.

Pada parameter DHL nilai daya hantar listrik dari air limbah tahu mengalami penurunan dari 3085 μ S/cm menjadi 902 μ S/cm. Parameter TSS mengalami penurunan dari 990 mg/L menjadi 94 mg/L. Hasil ini merupakan hasil pengolahan terbaik pada proses elektrokoagulasi tahapan kedua dengan tegangan 20 V dan waktu kontak selama 60 menit. Proses ini memiliki efisiensi penurunan terbaik yaitu sebesar 90,51% jika dibandingkan dengan tahap, waktu dan tegangan yang lainnya. Penurunan nilai TSS ini sebanding dengan turunnya nilai COD pada air limbah tahu setelah proses elektrokoagulasi berulang. Pada Tabel 2 dapat dilihat air limbah tahu sebelum adanya pengolahan menghasilkan nilai COD sebesar 6475,00 mg/L. Setelah dilakukan proses elektrokoagulasi berulang didapatkan hasil penurunan terbaik pada tahap kedua

elektrokoagulasi dengan tegangan 20 V dan waktu kontak selama 60 menit. Pada tahap, tegangan dan waktu ini menghasilkan efisiensi penurunan terbaik yaitu sebesar 44,98%. Hasil analisis setelah dilakukan pengolahan dengan metode elektrokoagulasi berulang untuk parameter TSS sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII jika dibandingkan dengan hasil sebelum dilakukan pengolahan. Namun untuk parameter DO, pH dan COD masih belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan pada PermenLH No. 5 Tahun 2014. Hal tersebut disebabkan banyaknya polutan-polutan yang terkandung dalam air limbah tahu tersebut. Namun dilihat dari grafik yang disajikan sebelumnya dapat terlihat bahwa semakin lama waktu kontak yang diberikan membuat nilai COD dan DHL semakin menurun dan membuat nilai pH dan DO dari air limbah setelah dilakukan pengolahan semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas air limbah tahu semakin baik walaupun untuk parameter DO, pH dan COD masih belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dalam penelitian ini waktu kontak paling optimum adalah selama 60 menit dengan tegangan yang diberikan yaitu 20 V saat proses elektrokoagulasi ini berada ditahapan kedua.
2. Hasil elektrokoagulasi berulang ini dianalisis dan pengolahan terbaik menghasilkan mutu air: DO=3,54 mg/L; pH=5,05; DHL=902 μ S/cm; TSS=94 mg/L (efisiensi penurunan 90,51%); dan COD=3562,50 mg/L (efisiensi penurunan 44,98%).
3. Parameter yang memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam PermenLH No. 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII adalah parameter TSS. Hasil dari parameter DO, pH dan COD belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan pada pada dalam PermenLH No. 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII namun memberikan hasil yang menunjukkan bahwa kualitas air limbah semakin baik.

B. Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait elektrokoagulasi berulang ini dengan melakukan *treatment* pengolahan limbah yang lain agar dapat menurunkan nilai COD dan menaikkan nilai DO seperti melakuan aerasi. Selain itu perlu adanya perlakuan awal sebelum dilakukannya elektrokoagulasi untuk parameter pH dengan penambahan basa agar dapat menaikkan nilai pH dari air limbah tersebut. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan memperbesar kapasitas wadah pengolahan limbah dikarekan flok-flok yang terbentuk cukup banyak saat waktu kontak yang diberikan semakin lama sehingga proses elektrokoagulasi dapat lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoroningtyas, A. K. (2023). *Efektivitas dan Efisiensi Penurunan Kadar COD dan TSS dalam Limbah Cair Industri Tahu Secara Elektrokoagulasi* [Skripsi]. Universitas Pakuan.
- Hayadi, N. S., Endro, I., Ms, S., Sumiyati, S., & Msi, S. T. (2011). *Analisis Penyisihan Kadar COD, BOD dan TSS Pada Limbah Tahu Menggunakan Alat Elektrokoagulasi (Studi Kasus: Limbah Cair Industri Tahu Ringintelu Kelurahan Kalipancur Semarang)*.
- Hudha, M., Jimmy, & Muyassaroh. (2014). *Studi Penurunan COD dan TSS Limbah Cair Industri Tahu menggunakan Proses Elektrokimia*.
- Ningrum, S. O. (2018). Analisis Kualitas Badan Air dan Kualitas Air Sumur di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 1–12.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Kedelai (2014).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (2021).
- Pramesti, N. A. (2020). *Optimasi Laju Alir dan Voltase dalam Elektrokoagulasi Sistem Kontinyu untuk Pengolahan Limbah Tekstil* [Skripsi]. Universitas Pakuan.
- Saputra, A. I. (2018). Penurunan TSS Air Limbah Laboratorium Rumah Sakit Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *JNPH*, 6(2), 6–13.
- SNI 6989.1:2019 Air dan Air Limbah – Bagian 1: Cara Uji Daya Hantar Listrik (DHL) (2019).
- SNI 6989.2:2019 Air dan Air Limbah - Bagian 2: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri (2019).
- SNI 6989.3:2019 Air dan Air Limbah – Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solids/TSS) Secara Gravimetri (2019).
- SNI 6989.11:2019 Air dan Air Limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan pH Meter (2019).
- Sutanto, & Artanti, K. (2019). Pengolahan Limbah Cair Kosmetik Secara Elektrokoagulasi Sistem Batch. *Ekologia : Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, 19(2), 44–54. <https://journal.unpak.ac.id/index.php/ekologia>
- Vinod. K.G., & Imran Ali. (2012). *Environmental Water: Advances in Treatment, Remediation, and Recycling*. Elsevier.
- Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I., & Pravitasari, V. A. (2009). *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik pada Skala Laboratorium dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi*. 5(1), 6–11.
- Yunitasari, Y., Elystia, S., Andesgur, I., Program, M., Lingkungan, S. T., Dosen, L., Lingkungan, T., Pengendalian, L., Pencegahan, D., & Lingkungan, P. (2017). Metode Elektrokoagulasi untuk Mengolah Limbah Cair Batik di Unit Kegiatan Masyarakat Rumah Batik Andalan PT. Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP). *Jom F TEKNIK*, 4(1), 1–9.