

Perbedaan Jarak Elektroda Metode Elektrokoagulasi dalam Pengolahan Limbah Cair Domestik

Different of Electrode Spacing in Electrocoagulation Method in Domestic Waste Water Treatment

Elin Yuliani ¹⁾, Redi Yudha Irianto ^{2)*}, Agus Somad Saputra ³⁾, Muhamad Iqbal ⁴⁾

^{1, 2, 3, 4)} Jurusan Kesehatan Lingkungan, Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Bandung, Bandung, Indonesia

Abstrak

Industri diharapkan dapat mengelola limbah yang dihasilkannya. PT. X belum memiliki fasilitas pengolahan limbah untuk limbah kantin, sehingga air limbah langsung mengalir ke sungai. Air limbah kantin mengandung konsentrasi minyak dan lemak yang signifikan, mencapai 30,6 mg/L, melebihi standar kualitas 5 mg/L. Limbah cair diolah menggunakan proses elektrokoagulasi. Tujuan studi ini adalah untuk menentukan perbedaan jarak elektroda yang digunakan dalam metode elektrokoagulasi untuk menurunkan kandungan minyak dan lemak pada limbah cair rumah tangga. Studi ini menggunakan desain eksperimental dengan struktur pretest-posttest. Jarak elektroda bervariasi antara 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua jarak dapat mengurangi kadar minyak dan lemak, namun jarak elektroda 1,5 cm menghasilkan pengurangan terbesar, dengan penurunan persentase sebesar 89,11%. Uji ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan antar perlakuan ($p < 0,05$). Jarak elektroda 1,5 cm dianggap bermanfaat karena berada dalam rentang ideal, memungkinkan reaksi elektrokimia dalam metode elektrokoagulasi bekerja secara efisien untuk menyerap minyak dan lemak dalam limbah cair dan membentuk flok. Penelitian ini menawarkan solusi sederhana, praktis, dan efisien bagi perusahaan yang menghadapi masalah pengolahan limbah cair domestik di kantin.

Kata kunci: Air Limbah; Elektrokoagulasi; Jarak antar Elektroda; Minyak dan Lemak

Abstract

The industry is expected to manage the garbage it generates. PT. X does not yet have a waste treatment facility for canteen waste, thus the wastewater goes directly into the river. Canteen wastewater contains a significant concentration of oil and fat, reaching 30.6 mg/L, above the quality standard of 5 mg/L. Waste water is treated using the electrocoagulation process. The purpose of this study is to determine the difference in electrode spacing used in the electrocoagulation method for lowering the oil and fat content of home waste water. This study employed an experimental design with a pretest-posttest structure. Electrode spacing varied between 1 cm, 1.5 cm, and 2 cm. The findings revealed that all distances may reduce oil and fat levels, but the 1.5 cm electrode spacing produced the greatest reduction in oil and fat levels, with a percentage drop of 89.11%. The ANOVA test revealed significant differences across treatment changes ($p < 0.05$). The 1.5 cm electrode spacing was deemed beneficial because it was within the ideal range, allowing the electrochemical reaction in the electrocoagulation method to perform efficiently to absorb the oil and fat contained in the wastewater and form flocs. This study offers a simple, practical, and efficient solution for enterprises dealing with domestic waste water treatment issues in canteens.

Keywords: Electrode Spacing; Electrocoagulation; Oil and Grease; Wastewater

1. Pendahuluan

Sektor industri memberikan kontribusi besar terhadap PDB nasional dan merupakan salah satu penyedia lapangan kerja terbesar dalam perekonomian. Proses pengembangan ekonomi bertujuan untuk mencapai tingkat pertumbuhan tinggi dengan memaksimalkan potensi dan sumber daya yang tersedia.¹ Berdasarkan Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja Nomor SE.01/MEN/1979, industri atau perusahaan dengan lebih dari 200 karyawan wajib menyediakan fasilitas kantin guna meningkatkan kesejahteraan pekerja.² Limbah cair domestik dihasilkan dari aktivitas di kantin, yang meliputi produksi makanan hingga aktivitas

pendukung seperti mencuci alat makan dan membersihkan setelah konsumsi. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik,³ parameter penting yang perlu dipantau dalam limbah cair domestik adalah pH, BOD, COD, TSS, kandungan minyak dan lemak, total Coliform, dan debit aliran air limbah.⁴

PT. X adalah perusahaan yang bergerak di bidang produksi pakaian dan kain. Di perusahaan ini terdapat kantin yang beroperasi selama 6 (enam) hari kerja, dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB. Kantin ini melakukan aktivitas pengolahan bahan makanan hingga penyajian langsung kepada para karyawan. Kantin menghasilkan limbah cair domestik yang berasal dari pencucian peralatan masak dan alat makan yang digunakan setiap hari dengan output debit perhari mencapai 10-12 m³/hari. Limbah cair domestik dari kantin industri mengandung jumlah yang signifikan dari minyak dan lemak sebagai hasil dari pembersihan peralatan masak, pembuangan limbah makanan, dan penggunaan berulang minyak goreng.⁵ Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016, batas maksimum kandungan minyak dan lemak dalam limbah cair domestik adalah 5 mg/l.³ Pengukuran yang dilakukan di kantin PT. X menunjukkan bahwa limbah cairnya melebihi batas ambang, mencapai 30,6 mg/L. Data dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kadar minyak dan lemak sering melebihi batas ambang, mencapai 30,50-36,34 mg/L.⁶ Limbah domestik di kantin PT. X tidak diolah, sehingga dibuang langsung ke sungai, berpotensi mencemari lingkungan, terutama ekosistem sungai, menyumbat saluran drainase, dan menurunkan kadar oksigen terlarut di sungai.⁷

Metode pengolahan limbah konvensional, seperti perangkap lemak atau sedimentasi, memiliki efektivitas yang terbatas, terutama dalam menghilangkan partikel lemak koloidal. Rachmawati menemukan bahwa penggunaan perangkap lemak yang dimodifikasi dengan media filter karbon aktif untuk mengurangi kadar minyak dan lemak dalam limbah pengolahan kulit menghasilkan pengurangan sebesar 83,20% dalam kadar minyak dan lemak setelah 70 menit waktu kontak.⁸ Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah elektrokoagulasi, yang dapat mengurangi jumlah kelembapan dan lemak di udara melalui destabilisasi koloid, adsorpsi, dan pembentukan partikel dari gel hidrogen.⁹ Studi Suseno menyimpulkan bahwa dengan menggunakan elektrokoagulasi, parameter COD dan lemak dapat diturunkan dari nilai konsentrasi awal 360 mg/L dan 78 mg/L menjadi 60 mg/L dan 10 mg/L, masing-masing, dengan efisiensi pengurangan sebesar 83,33% dan 87,17%.¹⁰

Penelitian lain dilakukan oleh Koto terkait pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan menggunakan perbedaan variasi elektroda melalui proses elektrokoagulasi, dimana pada plat elektroda jenis aluminium diatur waktu kontak 60 menit dan diberikan tegangan sebesar 9 volt berhasil menurunkan parameter minyak dan lemak yang terkandung dalam limbah cair kelapa sawit sebesar 2 mg/L menjadi <1 mg/L.¹¹ Penelitian yang dilakukan oleh Sutanto dan Danang menggunakan elektrokoagulasi dengan arus 0,1 A dan tegangan 12V diaplikasikan pada cairan limbah rumah tangga, proses dihentikan pada tiap jeda waktu 10 menit untuk mengukur kandungan minyak dan lemak. Langkah penelitian diulang, akan tetapi arus listrik yang digunakan menjadi 0,3 A dan 0,5 A. Kondisi terbaik untuk memperoleh air bersih dibutuhkan waktu proses 90 menit dan arus listrik 0,5 A untuk menghasilkan penurunan kandungan minyak dan lemak sebesar 66,92%.¹²

Abdelaleem mengungkapkan hasil penelitiannya terkait proses elektrokoagulasi kontinu terhadap limbah yang tercemar minyak menunjukkan bahwa di bawah kondisi optimal dengan pH 3,81, jarak elektroda 1,5 cm, arus listrik 5 A, dan waktu kontak 51,42 menit, efisiensi penghilangan COD mencapai 91,2% dan O&G (*Oil and Grease*) sebesar 93,7%. Efisiensi pengolahan maksimum dicapai selama siklus operasional kedua, di mana konsentrasi residu COD dan O&G (*Oil and Grease*) masing-masing ditemukan sebesar 36,6 mg/L dan 14,2 mg/L, yang menghasilkan efisiensi penghilangan sebesar 99,26% dan 99,25%.¹³ Koto dalam penelitiannya menjelaskan bahwa efisiensi penyisihan polutan meningkat seiring dengan bertambahnya jarak antar elektroda dari jarak minimum hingga mencapai jarak optimal. Hal ini terjadi karena peningkatan jarak antar elektroda mengurangi efek elektrostatis yang menyebabkan ion-ion bergerak lebih lambat. Namun, jika jarak antar elektroda melebihi jarak optimal, efisiensi penurunan polutan menurun akibat perlambatan pembentukan ion.¹¹

Temuan sebelumnya menunjukkan bahwa jarak elektroda optimal dalam proses elektrokoagulasi bervariasi tergantung pada jenis limbah, namun sebagian besar penelitian masih terbatas pada limbah industri umum seperti tekstil, *laundry*, tahu, dan restoran, dengan fokus utama pada penurunan COD, BOD, dan TSS, bukan pada kandungan minyak dan lemak secara spesifik. Penelitian mengenai pengaruh variasi jarak elektroda terhadap penurunan minyak dan lemak pada limbah cair kantin industri masih sangat terbatas, padahal limbah ini memiliki karakteristik unik seperti fluktuasi beban organik harian dan variasi komposisi minyak dari aktivitas masak dan pengolahan makanan. Jarak antara elektroda berfluktuasi antara 1 - 2 cm.¹⁴ Penelitian ini bertujuan untuk mengisi *research gap* tersebut dengan mengkaji secara kuantitatif perbedaan variasi jarak elektroda terhadap penurunan kadar minyak dan lemak limbah cair kantin industri, menggunakan elektroda aluminium (Al) dengan parameter tetap (tegangan 12 volt, waktu kontak 60 menit) pada limbah cair domestik di kantin PT. X.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dengan desain satu kelompok pra-tes dan pasca-tes, di mana data pra-tes terdiri dari tingkat minyak dan lemak yang diukur sebelum perlakuan, sedangkan data pasca-tes terdiri dari tingkat minyak dan lemak setelah perlakuan. Sampel penelitian berupa limbah cair domestik yang diambil dari kantin PT. X dengan metode *grab sampling* selama 6 hari pengulangan. Analisis dilakukan menggunakan uji *One-way Anova* kemudian dilanjutkan menggunakan uji *Post Hoc* metode *LSD*.

Proses pengolahan limbah cair kantin industri menggunakan alat elektrokoagulasi ini dilakukan secara *batch* dengan rangkaian elektroda aluminium (Al) yang dihubungkan ke catu daya (*power supply*) dengan tegangan tetap 12 Volt. Limbah cair dimasukkan ke dalam reaktor pengolahan (*tank/batch reactor*), kemudian dialiri arus listrik searah sehingga terjadi reaksi elektrokimia dimana logam anoda (Al) teroksidasi dan larut menjadi ion Al^{3+} . Ion Al^{3+} membentuk spesi hidroksida ($Al(OH)_3$) di dalam larutan yang berfungsi sebagai koagulan alamiah, mengikat partikel minyak, lemak, dan koloid lain sehingga mengendap.¹⁵

Setelah waktu kontak sesuai perlakuan (60 menit), campuran limbah–koagulan dibiarkan mengendap (sedimentasi sederhana), lalu fase cair atas (*supernatan*) diambil sebagai hasil pengolahan untuk diuji kandungan minyak dan lemak. Penelitian dilakukan menggunakan alat yang memiliki kapasitas tampung sebesar 7 Liter air limbah dengan waktu kontak yang ditetapkan selama 60 menit.

3. Hasil dan Pembahasan

Standar kualitas air limbah domestik untuk kadar minyak dan lemak adalah 5 mg/L, sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. Berdasarkan hasil uji kadar minyak dan lemak di PT. X, ditemukan bahwa:

Tabel 1 Hasil Pengukuran Kadar Minyak dan Lemak

Pengulangan	<i>Pretest 1</i> cm (mg/L)	<i>Posttest 1</i> cm (mg/L)	<i>Pretest 1,5</i> cm (mg/L)	<i>Posttest 1,5</i> cm (mg/L)	<i>Pretest 2</i> cm (mg/L)	<i>Posttest 2</i> cm (mg/L)
1	32,50	7,00	31,80	3,20	31,68	10,40
2	34,20	7,80	34,60	3,80	34,00	11,20
3	31,80	7,00	32,30	3,40	32,00	10,70
4	31,80	6,85	31,50	3,20	31,50	10,00
5	32,50	8,00	32,50	3,90	32,50	10,80
6	33,20	7,30	32,80	3,80	33,15	11,20
Rata-Rata	32,66	7,32	32,58	3,55	32,47	10,71
Hasil Minimal	31,80	6,85	31,50	3,20	31,50	10,00
Hasil Maksimal	34,20	8,00	34,60	3,90	34,00	11,20

Sumber: Data primer, pemeriksaan sesuai SNI 06-6989.10.2004

Data tabel 1 pemantauan yang diperoleh, kadar minyak dan lemak pada bak elektrokoagulasi dengan jarak elektroda 1 cm sebelum perlakuan menunjukkan nilai rata-rata sebesar 32,66 mg/L dengan rentang antara 31,80 mg/L hingga 34,20 mg/L. Setelah perlakuan elektrokoagulasi diterapkan, terjadi penurunan kadar menjadi rata-rata 7,32 mg/L dengan variasi nilai antara 6,85 mg/L sampai 8 mg/L. Pada perlakuan dengan jarak elektroda 1,5 cm, kadar minyak dan lemak sebelum perlakuan tercatat rata-rata 32,58 mg/L dengan rentang 31,50 mg/L hingga 34,60 mg/L, kemudian setelah elektrokoagulasi, kadar tersebut menurun signifikan menjadi rata-rata 3,55 mg/L dengan rentang 3,20 mg/L sampai 3,90 mg/L. Sementara itu, untuk jarak elektroda 2 cm, kadar minyak dan lemak sebelum perlakuan berada di sekitar rata-rata 32,47 mg/L (31,50 mg/L – 34 mg/L), namun setelah diberi perlakuan terjadi peningkatan kadar menjadi rata-rata 10,71 mg/L dengan rentang 10,00 mg/L hingga 11,20 mg/L.

Data tersaji pada tabel 2, diketahui hasil penurunan minyak dan lemak untuk jarak antar elektroda 1 cm memiliki nilai rata-rata 25,34 mg/L dengan rentang 24,5 mg/L – 26,4 mg/L, untuk jarak antar elektroda sebesar 1,5 cm memiliki nilai rata-rata penurunan 29,03 mg/L dengan rentang 28,3 mg/L – 30,8 mg/L, dan untuk jarak antar elektroda sebesar 2 cm memiliki nilai rata-rata penurunan 21,75 mg/L dengan rentang 21,28 mg/L – 22,8 mg/L.

Tabel 2 Selisih Penurunan Kadar Minyak dan Lemak

Pengulangan	Selisih pada Jarak 1 cm (mg/L)	Selisih pada Jarak 1,5 cm (mg/L)	Selisih pada Jarak 2 cm (mg/L)
1	25,50	28,60	21,28
2	26,40	30,80	22,80
3	24,80	28,90	21,30
4	24,95	28,30	21,50
5	24,50	28,60	21,70
6	25,90	29,00	21,95
Rata-Rata	25,34	29,03	21,75
Hasil Minimal	24,5	28,30	21,28
Hasil Maksimal	26,4	30,80	22,80

Tabel 3 menunjukkan persentase penurunan kadar minyak dan lemak pada setiap perlakuan cukup signifikan. Pada variasi pertama dengan jarak antar elektroda 1 cm menunjukkan rata-rata persentase penurunan sebesar 77,46%. dengan rentang 75,38% - 78,46% dan variasi kedua yaitu dengan jarak antar elektroda 1,5 cm persentase penurunannya sebesar 89,11% dengan rentang 88% - 89,94% lalu dengan jarak antar elektroda 2 cm persentase penurunan yang terjadi sebesar 67% dengan rentang 66,21% - 68,25%.

Tabel 3 Persentase Penurunan Kadar Minyak dan Lemak

Pengulangan	Jarak 1 cm (%)	Jarak 1,5 cm (%)	Jarak 2 cm (%)
1	78.46	89.94	67.17
2	77.19	89.02	67.06
3	77.99	89.47	66.56
4	78.46	89.84	68.25
5	75.38	88.00	66.77
6	78.01	88.41	66.21
Rata-Rata	77.46	89,11	67
Hasil Minimal	75.38	88	66,21
Hasil Maksimal	78.46	89,94	68,25

Faktor yang Memengaruhi Tingginya Kadar Minyak dan Lemak

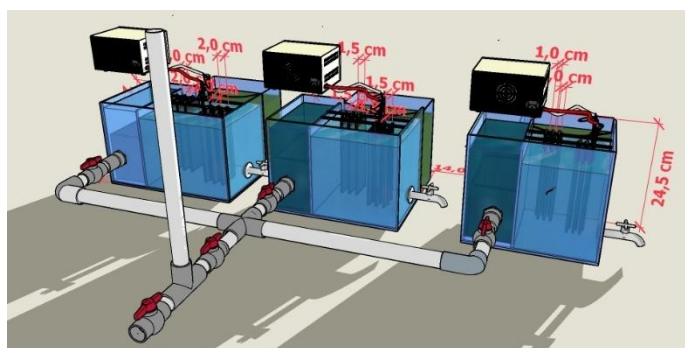
Minyak dan lemak yang terkandung pada limbah cair domestik di kantin PT. X dihasilkan dari aktivitas yang terjadi di kantin PT. X mulai dari memasak, makan dan minum, serta pencucian alat masak dan alat makan. Pengolahan limbah cair belum dilakukan sehingga air limbah yang dihasilkan dari kegiatan di wastafel langsung mengalir ke badan sungai.

Kadar minyak dan lemak tidak terlalu berfluktuasi saat dilakukan pengukuran data *pretest* dikarenakan menu makanan yang dihidangkan menggunakan bumbu masak dan pengolahan masakan yang hampir sama serta aktivitas yang dilakukan oleh penjamah pun cenderung sama setiap harinya. Pengulangan kedua mendapatkan data hasil pengukuran *pretest* kadar minyak dan lemak yang mengalami kenaikan sebesar 34,26 mg/L yang diakibatkan adanya pencucian alat masak di kantin PT. X dalam jumlah yang lebih banyak dibandingkan dengan hari lainnya saat dilakukan penelitian.

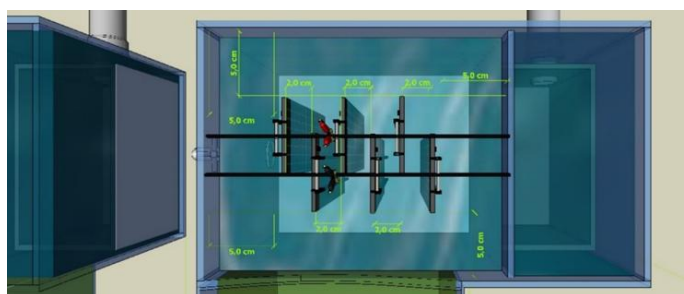
Faktor yang memengaruhi Proses Elektrokoagulasi dalam Menurunkan Kadar Minyak dan Lemak

Faktor yang memengaruhi adanya penurunan kadar minyak dan lemak pada proses elektrokoagulasi ialah arus listrik, pH, jarak, dan waktu kontak yang ditetapkan. Arus listrik yang digunakan sebesar 0,5 A dengan tegangan 12 volt. pH air limbah sebelum dilakukan perlakuan mencapai angka 6,1 dan waktu kontak ditetapkan selama 60 menit.

Perlakuan alat penelitian yang digunakan, sebelum air limbah diolah menggunakan proses elektrokoagulasi, terdapat proses *pre-treatment* pada air limbah yang masuk dengan ditamhakkannya *basket strainer* yang berfungsi menangkap sisa makanan yang masih tercampur dengan air limbah. Sehingga saat proses elektrokoagulasi terjadi diharapkan tidak ada sisa makanan yang ikut ke dalam air limbah domestik (*grey water*).



Gambar 1 Inovasi Alat Elektrokoagulasi dengan 3 Variasi Jarak



Gambar 2 Penempatan Plat Elektroda dengan Jarak 2 cm

Proses elektrokoagulasi berlangsung ketika oksidasi elektroda terjadi di anoda sehingga mengakibatkan pelepasan ion logam, seperti ion aluminium (Al^{3+}), ke dalam larutan. Ion-ion ini kemudian bereaksi dengan ion hidroksida (OH^-) yang terbentuk di katoda melalui elektrolisis air, sehingga membentuk koagulan aluminium hidroksida [$\text{Al}(\text{OH})_3$] yang bersifat amorf dan memiliki kapabilitas adsorpsi tinggi terhadap partikel koloid seperti minyak dan lemak yang terlarut atau teremulsi dalam air. Koagulan ini berperan dalam mendestabilisasi emulsi minyak-air dengan mengikat partikel-partikel minyak dan lemak, sehingga partikel tersebut mengagregasi membentuk flok-flok yang lebih besar dan mudah dipisahkan.¹⁶

Selain itu, reaksi elektrolisis menghasilkan gas hidrogen (H_2) pada katoda, yang membentuk gelembung-gelembung kecil yang merekat pada flok minyak dan lemak. Proses ini membantu flotasi dengan mengapungkan flok ke permukaan, sehingga partikel padat tersebut dapat dipisahkan secara mekanis. Penambahan aerasi yang memberikan oksigen juga berkontribusi meningkatkan oksidasi pada anoda, memperbanyak ion logam koagulan yang dihasilkan, serta memperbaiki kontak antara flok dan kontaminan. Dengan demikian, efisiensi penangkapan minyak dan lemak melalui elektrokoagulasi dapat meningkat secara signifikan.¹⁶

Secara keseluruhan, proses elektrokoagulasi menggabungkan reaksi redoks, pembentukan koagulan, adsorpsi, agregasi flok, dan flotasi gas untuk menghilangkan minyak dan lemak dari air limbah secara efektif, dengan efisiensi penghilangan minyak dan lemak yang dapat mencapai lebih dari 89% dalam kondisi optimal pada penelitian yang telah dilakukan. Penelitian yang telah dilakukan sejalan dengan Azis dalam penelitiannya yang mengemukakan bahwa terdapat beberapa keunggulan dari metode elektrokoagulasi dibandingkan dengan metode lain dalam pengolahan limbah cair, yaitu elektrokoagulasi mampu menghilangkan minyak dan lemak hingga lebih dari 90% dalam waktu proses yang relatif singkat (sekitar 15–30 menit) dengan kerapatan arus optimal dan penggunaan elektroda aluminium atau besi.

Proses ini melibatkan mekanisme oksidasi elektrokimia, koagulasi, dan flotasi yang bekerja simultan sehingga penurunan minyak dan lemak lebih efektif dibandingkan koagulan kimia yang hanya mengandalkan reaksi kimia koagulasi saja.¹⁷ Elektrokoagulasi menghasilkan ion koagulan secara in situ dari elektroda melalui reaksi elektrolisis, sehingga tidak perlu menambah bahan kimia koagulan yang dapat menimbulkan residu kimia dan perubahan pH drastis.¹⁸ Hal ini membuat proses lebih ramah lingkungan dan mengurangi biaya operasional serta pengelolaan limbah lumpur kimia. elektrokoagulasi pun relatif mudah dioperasikan dengan peralatan sederhana dan dapat diatur berdasarkan kerapatan arus dan waktu kontak, sehingga dapat disesuaikan dengan karakteristik limbah yang beragam.¹⁷

Proses elektrokoagulasi dapat digabungkan dengan aerasi untuk meningkatkan efisiensi penghilangan minyak dan lemak hingga 99,92%. Elektrokoagulasi juga mampu mengurangi limbah padat dan polutan sekunder, menghasilkan flok yang lebih besar dan lebih mudah dipisahkan, sehingga lumpur yang dihasilkan lebih sedikit dan lebih mudah diolah dibandingkan dengan lumpur hasil penambahan koagulan kimia yang biasanya lebih banyak dan mengandung bahan kimia berbahaya.¹⁷

Pengaruh Jarak antar Elektroda terhadap Penurunan Kadar Minyak dan Lemak

Pengujian metode elektrokoagulasi dengan variasi jarak antar elektroda 1 cm memberikan penurunan kadar minyak dan lemak hingga rata-rata 7,32 mg/L yang belum memenuhi standar baku mutu kesehatan lingkungan sebesar 5 mg/L sesuai dengan PMK No 68 Tahun 2016 terkait Standar Baku Mutu Air Limbah Domestik. Hal ini disebabkan oleh adanya ketidaksempurnaan proses reduksi-oksidasi (redoks) yang terjadi selama proses elektrokoagulasi karena arus listrik mengalir langsung antar elektroda tanpa melewati larutan, sehingga reaksi oksidasi aluminium di anoda dan reduksi air di katoda menjadi tidak optimal atau bahkan terhenti. Ion Al^{3+} yang sangat penting untuk pembentukan koagulan tidak terbentuk dengan baik, sehingga proses koagulasi dan pengendapan kontaminan menjadi sangat berkurang. Gas hidrogen yang biasanya terbentuk di katoda juga berkurang, mengganggu mekanisme flotasi yang membantu penghilangan partikel.

Data hasil pemeriksaan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Saputra yang menyimpulkan bahwa jarak antar elektroda yang terlalu dekat mengakibatkan peningkatan jumlah koagulan yang terbentuk. Kondisi ini dapat menyebabkan gangguan pada sistem akibat hubungan singkat antar elektroda (*short circuit*), sehingga mengganggu proses pengolahan limbah.¹⁹

Metode elektrokoagulasi dengan jarak elektroda 1,5 cm merupakan jarak yang paling efektif untuk mengurangi kadar minyak dan lemak pada limbah cair domestik di kantin PT. X. Pada jarak tersebut, pembentukan koagulan dari ion logam elektroda aluminium berlangsung dengan baik sehingga mampu mengikat dan mengendapkan minyak dan lemak secara maksimal tanpa menimbulkan risiko *short circuit* yang dapat mengganggu proses elektrokimia. Pernyataan ini sejalan dengan hasil penelitian Koto (2021) yang menunjukkan bahwa efisiensi penghilangan polutan meningkat seiring dengan peningkatan jarak antar elektroda dari jarak terendah menuju jarak optimal. Pada posisi jarak optimal, efek elektrostatik yang menurunkan kecepatan gerak ion-ion berkurang, sehingga memberikan waktu yang cukup bagi logam hidroksida (koagulan) yang terbentuk untuk menggumpal dan membentuk flok, yang kemudian meningkatkan efisiensi penghilangan polutan dalam larutan.¹¹

Variasi jarak antar elektroda sebesar 2 cm dalam pengolahan limbah cair domestik menggunakan metode elektrokoagulasi di kantin menunjukkan efektivitas yang kurang dalam menurunkan kadar minyak dan lemak. Hal ini terjadi karena peningkatan resistansi listrik pada jarak elektroda yang lebih lebar menyebabkan arus listrik yang mengalir menjadi lebih kecil, sehingga pelepasan ion Al^{3+} sebagai koagulan berkurang. Kondisi ini mengakibatkan pembentukan flok aluminium hidroksida yang berperan dalam mengikat dan mengendapkan minyak dan lemak tidak berjalan dengan optimal. Jarak elektroda yang terlalu jauh membuat proses pengikatan minyak dan lemak menjadi kurang efektif. Temuan ini juga sejalan dengan penelitian Raiqa (2022) yang menyatakan bahwa semakin besar jarak antar elektroda, semakin tinggi hambatan arus listrik yang terjadi, sehingga interaksi antar molekul menjadi lemah apabila elektroda ditempatkan terlalu berjauhan.²⁰

Tabel 3 menunjukkan data hasil uji analisis varians (ANOVA), bahwa terdapat perbedaan yang jelas dan signifikan antara kelompok yang diuji. Nilai signifikansi 0,000 ($p < 0,05$) menegaskan bahwa perbedaan tersebut terjadi akibat perlakuan atau kondisi yang berbeda pada masing-masing kelompok. Tidak adanya perbedaan median antar kelompok ditolak, menunjukkan bahwa variasi jarak elektroda memberikan pengaruh yang berbeda terhadap perubahan nilai antara *pretest* dan *posttest*.

Tabel 4 Hasil Uji *One-way Anova*

Posttest	Sig.
Between Groups	,000
Within Groups	
Total	

Sumber: Data Primer, 2025

Uji *Post Hoc* kemudian dilakukan untuk menguji perbedaan spesifik antar kelompok setelah uji *One-way Anova* menunjukkan ada perbedaan signifikan secara keseluruhan, sekaligus mengendalikan kesalahan statistik akibat banyaknya perbandingan. Berikut merupakan hasil setelah dilakukan uji *post hoc* pada SPSS.

Tabel 5 Hasil Uji *Post Hoc*

	(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)
LSD	Jarak antar Elektroda 1 cm	Jarak antar Elektroda 1,5 cm	3,77500*
		Jarak antar Elektroda 2 cm	-3,39167*
	Jarak antar Elektroda 1,5 cm	Jarak antar Elektroda 2 cm	-7,16667*

Sumber: Data Primer, 2025

Berdasarkan hasil uji *Post Hoc* LSD, nilai *mean difference* menunjukkan bahwa jarak antar elektroda 1,5 cm menghasilkan penurunan minyak dan lemak terbaik dibandingkan jarak 1 cm dan 2 cm. Dari data yang didapatkan, dihasilkan jarak antar elektroda 1,5 cm memiliki nilai signifikansi yang lebih besar dibandingkan dengan variasi jarak 1 cm dan 2 cm.

4. Simpulan dan Saran

Variasi jarak elektroda berpengaruh signifikan terhadap efektivitas proses elektrokoagulasi dalam menurunkan kadar minyak dan lemak limbah cair domestik kantin industri. Jarak elektroda 1,5 cm menunjukkan kinerja paling optimal dengan efisiensi penurunan sebesar 89,11% dan kadar akhir 3,55 mg/L yang telah memenuhi baku mutu air limbah domestik sesuai Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Oleh karena itu, jarak elektroda 1,5 cm direkomendasikan sebagai konfigurasi optimal dalam penerapan teknologi elektrokoagulasi untuk pengolahan limbah cair kantin industri.

5. Daftar Pustaka

1. Kambono H, Budiningsih T, Setyo Wardoyo T, Dasel Manuputty R. Peranan Sektor Industri dan Jasa Dalam Perekonomian Indonesia. 2024;10(1). Available from: <http://ejurnal.pps.ung.ac.id/index.php/Aksara>
2. Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi. Surat Edaran Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. SE.01/MEN 1979 Tentang Pengadaan Kantin dan Ruang Tempat Makan [Internet]. 1979 [cited 2025 Apr 1]. Available from: <https://drive.google.com/file/d/0B-3dC1HEsaNIOTFjYzQwODgtNmM2Mi00OGJkLTkyMTItZTEwNjJkMWU3OTgw/view?usp=sharing&resourcekey=0-pDmyINHA-xXsNwZmS7KKww>
3. Permen LHK. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik [Internet]. 2016 [cited 2025 Apr 1]. Available from: <https://jdih.maritim.go.id/en/peraturan-menteri-lingkungan-hidup-dan-kehutanan-no-p68menlhksetjenkum182016-tahun-2016>
4. Wacana G, Hasan NY, Pujiono. Penurunan Kadar Minyak Dan Lemak Pada Limbah Cair Kantin Menggunakan Metode Adsorpsi Zeolit. J Kesehat Siliwangi. 2021 Dec 29;2(2):477–84.
5. Wicaksono BA. Efisiensi Rancang Bangun Alat Pengolahan Limbah Cair. 39(1):46–54.
6. Aniska S, Hasan NY, Nurjaman U. Penurunan Minyak Dan Lemak Pada Limbah Cair Kantin Menggunakan Modifikasi Grease Trap Media Zeolit. J Kesehat Siliwangi [Internet]. 2022 [cited 2025 Apr 4];2(3). Available from: <https://doi.org/10.34011/jks.v2i3.1058>
7. Kautsar EI, Hidayah N, Hasan NY, Hanurawaty NY. Perbedaan Variasi Luas Permukaan Plate Settler Pada Grease Trap Dalam Menurunkan Kadar Minyak Dan Lemak Kantin PT . X. 2024;7.
8. Rachmawati S, Irmawartini, Kahar. Perbedaan Waktu Kontak Media Saring Karbon Aktif Menggunakan Grease Trap Termodifikasi Terhadap Kadar Minyak Dan Lemak Limbah Cair Penyampan Kulit Di Pt. Garut Makmur Perkasa. J Kesehat Siliwangi. 2021 Dec 27;2(2):431–9.
9. Sallam Mohammed M, El A, Sayed A El, Shehawy R El, Afify H. Treatment of Industrial Oil and Soap Wastewater by Using the Application of Electrocoagulation Process [Internet]. Vol. 78, American Scientific Research Journal for Engineering. 2021. Available from: <http://asrjetsjournal.org/>
10. Suseno HP. Penurunan Konsentrasi Minyak Lemak Dan Cod Pada Limbah Cair Cuci Mobil Dan Motor

Secara Elektroflokulasi. 2021.

11. Koto I. Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Dengan Memvariasikan Elektroda Melalui Proses Elektrokoagulasi. 2021;
12. Sutanto, Widjajanto D. Pengaruh Arus Listrik terhadap Penurunan Kandungan Minyak dan Lemak pada Perpaduan Proses Oksidasi dan Elektrokoagulasi Air Limbah. Vol. 10, Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro. 2024.
13. Abdelaleem E, Abd-Elaziz ES, Mohamed A, Ahmed EM. Efficiency Evaluation of the Continuous Flow Electrocoagulation Process for the Treatment of Oily-Contaminated Wastewater. *Ecol Eng Environ Technol* [Internet]. 2024 [cited 2025 Mar 25];25(12):203–17. Available from: [https://www.ecoet.com/pdf-194187-115752?filename=Efficiency Evaluation of.pdf](https://www.ecoet.com/pdf-194187-115752?filename=Efficiency%20Evaluation%20of.pdf)
14. Hernaningsih T. Tinjauan Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Dengan Proses Elektrokoagulasi. 2016;9(1):31–46.
15. Maghfirah I. Penurunan kadar pencemar pada limbah cair rumah tangga dengan metode elektrokoagulasi non kontinu. 2022;
16. Muvel H, Jindal MK, Tewari PK, Anand V. Advancements in electrocoagulation for oily wastewater treatment: Mechanisms, efficiency, and applications. *J Water Process Eng* [Internet]. 2024 Dec 1 [cited 2025 Jul 28];68:106291. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221471442401523X>
17. Azis Ramadani T, Azzahro A, Setiawan A, Mayangsari NE, Dermawan D. Peningkatan Kinerja Proses Elektrokoagulasi Melalui Aerasi Untuk Mengurangi Parameter Minyak Dan Lemak Dari Industri Minyak Kelapa. Vol. 11, Jukung Jurnal Teknik Lingkungan. 2025.
18. Masrullita, Hakim L, Nurlaila R, Azila N. Pengaruh Waktu dan Kuat Arus pada Pengolahan Air Payau menjadi Air Bersih dengan Proses Elektrokoagulasi. *J Teknol Kim Unimal*. 2021 May;
19. Edy Saputra, Farida Hanum. Pengaruh Jarak Antara Elektroda Pada Reaktor Elektrokoagulasi Terhadap Pengolahan Effluent Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *J Tek Kim USU* [Internet]. 2017 Jan 24 [cited 2025 Jun 12];5(4):33–8. Available from: https://www.researchgate.net/publication/336649171_Pengaruh_Jarak_Antara_Elektroda_Pada_Reaktor_Elektrokoagulasi_Terhadap_Pengolahan_Effluent_Limbah_Cair_Pabrik_Kelapa_Sawit
20. Raiqa S. Pengolahan Limbah Cair Pencucian Kendaraan Bermotor menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Pasangan Elektroda Aluminium dan Besi. 2022;