

Pengaruh Jarak Antar Plat Pada Elektrokoagulasi Terhadap Pengolahan Limbah Cair Industri Kecap

Dea Kirana Nurlaili, Aussie Amalia*

Program Studi Teknik Lingkungan, UPN “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

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

Diterima: 2 Oktober 2024

Disetujui: 07 Oktober 2024

Abstract

The production of sweet soy sauce in Indonesia was particularly high in 2021, resulting in wastewater with elevated levels of COD, BOD and TSS. Therefore, wastewater from the soy sauce industry needs to be treated before being discharged into water bodies. In this study, the electrocoagulation method was used to reduce the levels of BOD, COD and TSS. Electrocoagulation is a process in which the anode releases active coagulants in the form of metal ions into the solution and electrolysis reactions occur, releasing hydrogen gas at the cathode. The aim of this research was to determine the effectiveness of electrocoagulation in reducing pollutants such as BOD, COD and TSS in industrial effluents. The study involved varying the distance between the electrode plates and the contact time. The treated wastewater was from a soy sauce industry in Surabaya. The results showed that increasing the electrode distance to 1cm, 2cm, 3cm and 4cm with a contact time up to 180 minutes significantly improved the efficiency of BOD, COD and TSS reduction. The best removal was achieved at 4 cm electrode distance and 180 minutes contact time, with reduction rates of 72.0% for BOD, 83.3% for COD and 90.6% for TSS.

Keywords: *electrocoagulation, sweet soy sauce wastewater, distance between electrode plates, BOD, COD, TSS*

Abstrak

Produksi kecap manis di Indonesia pada tahun 2021 terbilang cukup tinggi sehingga limbah cair yang dihasilkan memiliki kandungan COD, BOD, dan TSS yang tinggi. Penelitian ini menggunakan metode elektrokoagulasi dalam menurunkan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) sebagai salah satu metode alternatif dalam menurunkan senyawa organik dan padatan tersuspensi pada limbah industri kecap. Tujuan dari penelitian ini adalah agar dapat mengetahui pengaruh jarak antar plat elektroda pada metode elektrokoagulasi dalam menurunkan kadar polutan BOD, COD dan TSS yang terkandung dalam limbah industri kecap. Variasi yang digunakan adalah variasi jarak plat elektroda dan waktu kontak dengan variasi jarak sebesar 1cm, 2cm, 3cm, dan 4cm dengan lama waktu proses kontak limbah hingga 180 menit. Limbah cair yang diolah merupakan limbah dari industri kecap di Surabaya. Hasil penelitian menunjukkan variasi jarak antar plat elektroda dan durasi kontak memengaruhi efisiensi penurunan BOD, COD, dan TSS. Penyisihan terbaik dengan metode elektrokoagulasi terjadi pada jarak 4cm lama waktu proses 180 menit, penurunan kadar BOD mencapai 72.0%, COD 83,3%, dan TSS 90,6%.

Kata Kunci: *elektroagulasi, industri kecap, jarak antar plat elektroda, BOD, COD, TSS*

1. Pendahuluan

Menurut BPS (2022), penggunaan kedelai untuk produksi kecap manis di Indonesia pada tahun 2021 cukup mencapai 325,220 ton. Dari Jumlah tersebut menandakan bahwa permintaan pasar terhadap konsumsi kecap manis terbilang tinggi. Tingginya permintaan produksi tentu akan memengaruhi buangan produksi suatu industri. Industri kecap sebagian besar terletak di dekat pemukiman dengan ketersediaan lahan yang terbatas, sehingga berpotensi menimbulkan konflik dengan penduduk setempat mengenai masalah pencemaran limbah [1]. Limbah yang dihasilkan industri kecap bergantung pada volume produksi. Limbah cair kecap memiliki *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang cukup besar sebesar 31,698 mg/L, *Biological Oxygen Demand* (BOD) sebesar 21,238 mg/L dan *Total Suspended Solids* (TSS) sebesar 3,776 mg/L [2]. Penelitian pendahuluan yang dilakukan oleh [3] pada industri kecap di Martapura menunjukkan bahwa proses produksinya menghasilkan 63 dus kecap setiap harinya (1 dus = 12 botol), memanfaatkan air sekitar 4.000 liter dan menghasilkan limbah cair dengan COD 18.000 mg. /L dan TSS sebesar 673 mg/L.

Elektrokoagulasi adalah salah satu proses pengolahan yang dapat menghilangkan polutan tanpa ditutuhkan bahan kimia sehingga proses ini lebih ramah lingkungan. Elektrokoagulasi merupakan kombinasi dari dua proses: proses elektrokimia dan proses koagulasi-flokulasi. Elektrokoagulasi berfungsi dengan mendestabilisasi suspensi, emulsi, dan larutan yang didalamnya terdapat partikel pengotor melalui aliran arus listrik searah lewat air, sehingga menghasilkan agregat yang mudah dipisahkan [4].

Elektroda pada proses elektrokoagulasi berfungsi untuk mengalirkan arus listrik ke dalam suatu larutan, sehingga memudahkan terjadinya reaksi kimia di dalam larutan tersebut [5]. Elektrokoagulasi adalah teknik yang mencakup reaksi reduksi dan oksidasi. Tempat dimana terjadi reduksi dinamakan katoda dan tempat terjadi oksidasi dinamakan anoda. Tanda penguraian elektrolit adalah migrasi ion positif (kation) ke katoda, di mana mereka memperoleh elektron, sedangkan ion negatif (anion) bergerak ke anoda, melepaskan elektron dalam proses oksidasi [6]. Elektrokoagulasi dapat mengurangi konsentrasi kontaminan BOD, COD, TSS, dan kekeruhan sebesar 80%-90%, bergantung pada variasi yang digunakan dalam penelitian [4]. Katoda nantinya akan menghasilkan ion kation H^+ yang akan tereduksi menjadi H_2 dan pada anoda aluminium akan teroksidasi menjadi $Al(OH)_3 + H_2$ [7].

Proses elektrokoagulasi menghasilkan reaksi gas hidrogen dan ion logam di katoda, sedangkan pada anoda menghasilkan Aluminium Hidroksida ($Al(OH)_3$), sehingga terjadi pembentukan flok yang mengagregasi padatan tersuspensi sehingga menjernihkan air.

Faktor utama yang mempengaruhi efektivitas elektrokoagulasi berkaitan dengan pengoperasiannya seperti, kepadatan arus, tegangan, waktu pengoperasian hingga kondisi limbah seperti pH, alkalinitas dan konduktivitas terhadap reaktor elektrokoagulasi dan elektroda elektrokoagulasi (permukaan elektroda dan jarak elektroda) [8]:

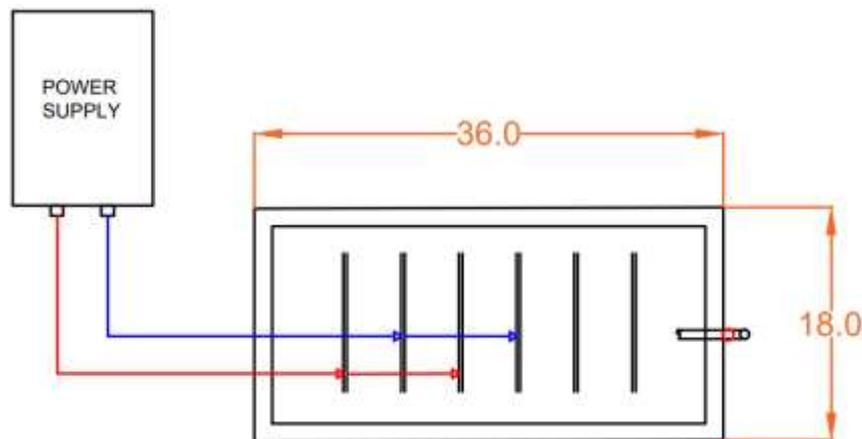
1. Kepadatan arus
Kepadatan arus menentukan dosis koagulan di anoda dan pertumbuhan gas hidrogen (H_2) di katoda. Kepadatan arus memengaruhi spesies logam yang terhidrolisis melalui evolusi pH selama proses elektrokoagulasi sebagai fungsi alkalinitas air.
2. pH air dan alkalinitas
pH merupakan faktor kunci lain yang memengaruhi kinerja elektrokoagulasi, terutama mekanisme koagulasi karena pH mengatur spesies logam terhidrolisis yang dihasilkan dalam media reaktif dan memengaruhi mekanisme elektrokoagulasi.
3. Jarak antar elektroda
Jarak elektroda memengaruhi hambatan listrik dan gelembung gas yang dihasilkan. Ketika jarak antar elektroda semakin kecil, semakin banyak gelembung gas yang dihasilkan secara elektrokimia, sehingga menyebabkan perpindahan massa yang tinggi serta laju reaksi yang tinggi antara koagulan dan polutan. Semakin besar jaraknya akan memengaruhi besarnya hambatan elektrolit sehingga arus yang mengalir akan mengecil.
4. Tegangan
Tegangan memengaruhi laju elektrolisis pembentukan koagulan. Tegangan yang lebih tinggi biasanya meningkatkan laju penggumpalan karena menghasilkan lebih banyak ion logam dari elektroda. Ion-ion ini membantu dalam pengikatan dan pengendapan kontaminan. Tegangan yang lebih tinggi berarti konsumsi energi yang lebih tinggi.
5. Waktu kontak
Durasi kontak dengan elektroda berdampak signifikan pada proses elektrokoagulasi. Perpanjangan waktu kontak dengan ion logam yang menempel pada elektroda berkorelasi dengan penurunan kadar COD yang lebih besar, yang menunjukkan bahwa durasi kontak mempengaruhi reaksi kimia. Peningkatan durasi kontak meningkatkan kemanjuran reaksi.
6. Desain reaktor elektrokoagulasi
Desain reaktor elektrokoagulasi sangat memengaruhi keseluruhan kinerja proses elektrokoagulasi, pengaruhnya terhadap efektivitasnya yaitu aliran, pembentukan flok, hasil penyisihan dan karakteristik flotasi/pengendapan
7. Konduktivitas air
Konduktivitas air mempengaruhi jumlah daya listrik yang dikonsumsi. Peningkatan konduktivitas air memerlukan konsumsi daya listrik yang lebih besar.
8. Ketebalan Plat
Pelat elektroda yang lebih tebal meningkatkan daya tarik elektrostatisnya untuk reduksi dan oksidasi ion logam dalam larutan.

Pemilihan bahan plat untuk elektrokoagulasi harus disesuaikan dengan limbah spesifik dan kontaminan yang ada atau yang ditargetkan untuk dihilangkan. Elektroda yang biasa digunakan terdiri dari aluminium, besi, atau sejumlah kecil baja tahan karat, karena logam-logam ini hemat biaya, tersedia, terbukti efisien, dan tidak beracun [4]. Elektrokoagulasi menawarkan banyak manfaat, termasuk peralatan yang mudah digunakan dan mudah digunakan, menghasilkan limbah yang jernih, tidak berbau, dan tidak berwarna, serta menghasilkan flok yang lebih besar yang memudahkan pemisahan. Prosedur ini tidak memerlukan bahan kimia, menghasilkan TDS yang lebih rendah, dan beroperasi secara efisien pada spektrum kondisi suhu yang luas. Meskipun demikian, kelemahan elektrokoagulasi mencakup ketidakefektifannya dalam mengolah limbah dengan karakteristik elektrolit tinggi, ketergantungan pada tegangan listrik dan integritas elektroda, dan perlunya penggantian elektroda secara sering, yang dapat mengurangi efisiensi [9].

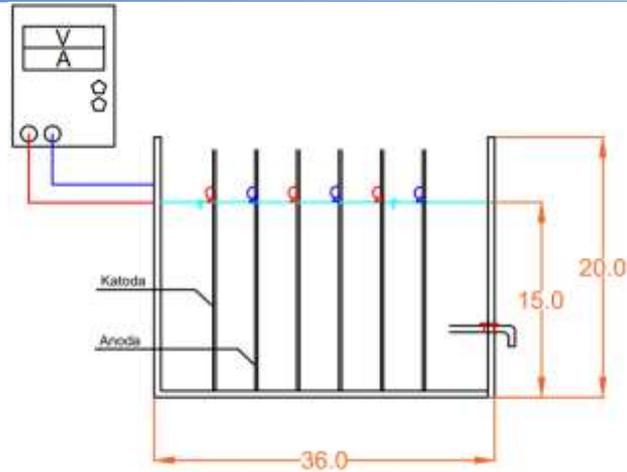
Penelitian ini menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variabel jarak antar pasang elektroda aluminium. Tegangan yang diberikan sebesar 12 volt, dengan durasi kontak 20, 60, 100, 140, dan 180 menit. Parameter yang dievaluasi pada penelitian ini adalah BOD, COD, dan TSS. Metode elektrokoagulasi digunakan dalam penelitian ini untuk mengolah limbah cair dari usaha kecap pada tingkat industri kecil di Surabaya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan dari limbah cair industry kecap yang masih belum dilakukan pengolahan, dan bahan untuk analisa BOD, COD dan TSS. *Power supply* (sumber tegangan DC) merupakan salah satu alat utama untuk menunjang proses elektrokogulasi, reaktor sebagai bak elektrokoagulasi yang terbuat dari akrilik dengan panjang 36cm, lebar 18cm dan tinggi 20 m yang ditunjukkan pada gambar 1, Aluminium sebagai elektroda katoda dan anoda dengan dimensi plat elektroda panjang 20cm, lebar 17cm dan dengan ketebalan plat 2 mm, *stopwatch*, erlenmeyer, pipet volumetri, beaker glass, gelas ukur, botol untuk menyimpan sampel serta ember penyimpanan limbah. Volume limbah cair yang digunakan sebanyak 10 liter.



Gambar 1: Design Reaktor Penelitian Tampak Atas

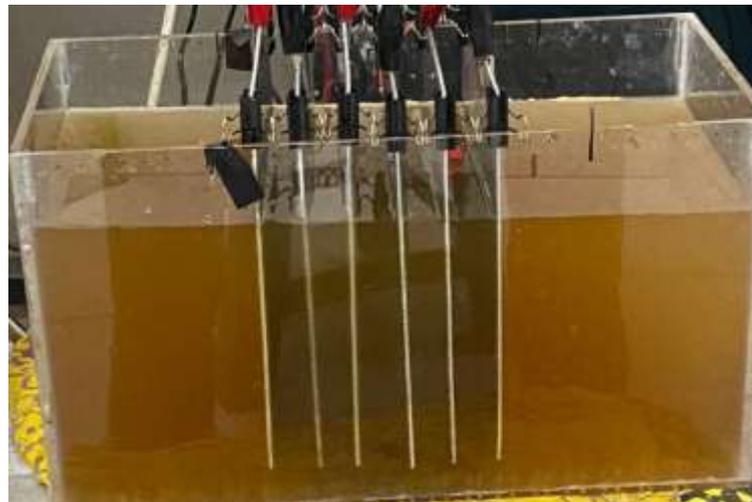


Gambar 2: Design Reaktor Penelitian tampak samping

Reaktor yang digunakan untuk elektrokoagulasi adalah jenis batch. Reaktor elektrokoagulasi berupa tangki akrilik berukuran panjang 36 cm, lebar 18 cm, dan tinggi 20 m. Kedelapan pelat elektroda tersebut disusun empat pasang, diposisikan pada jarak tertentu dan dihubungkan dengan sumber listrik. Jarak antara pelat elektroda dan lama kontak pada penelitian ini sesuai dengan variasi penelitian: 1 cm, 2 cm, 3 m, dan 4 cm, dengan lama kontak 20 menit, 60 menit, 100 menit, 140 menit, dan 180 menit. Setelah peralatan disiapkan, limbah cair yang akan diolah dimasukkan ke dalam reaktor elektrokoagulasi, diikuti dengan mengaktifkan catu daya dan *stopwatch*.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini memanfaatkan limbah cair dari perusahaan kecap di Surabaya. Sampel dikumpulkan dari tangki penyimpanan limbah pabrik kecap yang berfungsi sebagai tempat pembuangan proses industri. Air limbah yang akan diolah dimasukkan ke dalam reaktor elektrokoagulasi 10 liter, seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 3** di bawah. Sebelum dilakukan pengolahan perlu dilakukan uji awal karakteristik agar mengetahui besar penurunan kadar parameter pencemar pada limbah industri kecap.

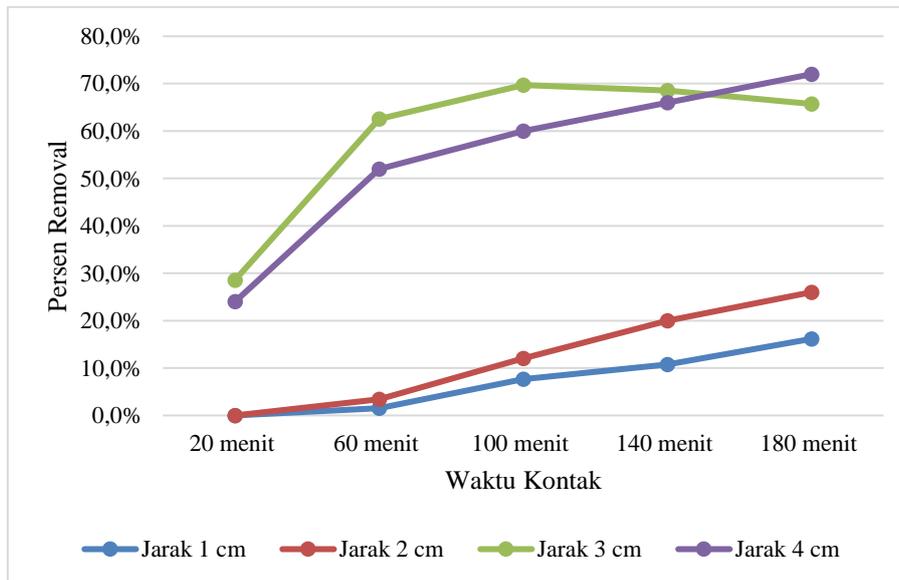


Gambar 3. Limbah Cair Industri Kecap
 Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024

Pengaruh Jarak Antar Plat dan Waktu Kontak Terhadap Penurunan Kadar BOD

Tabel 1. Persen Penyisihan Parameter BOD

Jarak Plat	Waktu Kontak (menit)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Persen Penyisihan
1 cm	20	5824	5824	0.0%
	60		5734	1.5%
	100		5376	7.7%
	140		5197	10.8%
	180		4883	16.2%
2 cm	20	4480	4480	0.0%
	60		4328	3.4%
	100		3942	12.0%
	140		3584	20.0%
	180		3315	26.0%
3 cm	20	3136	2240	28.6%
	60		1174	62.6%
	100		950	69.7%
	140		986	68.6%
	180		1075	65.7%
4 cm	20	4480	3405	24.0%
	60		2150	52.0%
	100		1792	60.0%
	140		1523	66.0%
	180		1254	72.0%



Gambar 4. Pengaruh Jarak Antar Plat dan Waktu Kontak Terhadap Penurunan Kadar BOD
Sumber: Hasil Analisa, 2024

Berdasarkan Gambar 4 terlihat adanya penurunan konsentrasi BOD. Semakin besar jarak antar plat dan semakin lama proses kontak limbah dengan elektrokoagulasi menyebabkan meningkatnya penyisihan kadar BOD dalam limbah. Pada jarak 1 cm, terlihat bahwa persentase removal BOD meningkat secara bertahap seiring dengan bertambahnya waktu kontak. Penyisihan kadar parameter BOD, mulai menaik di menit ke-60 dengan persen penyisihan 1,5% dan terus meningkat hingga mencapai 16,2% pada menit ke-180. Persentase removal BOD pada jarak 2 cm juga menunjukkan peningkatan bertahap. Sama seperti pada jarak 1 cm, akan tetapi mulai meningkat dari menit ke-60 sebesar 3,4% hingga 26% pada menit ke-180. Pada jarak 3 cm, terjadi peningkatan yang lebih cepat dalam persentase removal BOD. Persentase penyisihan tertinggi jarak 3 cm pada menit ke-100 sebesar 69,7%. Akan tetapi terjadi penurunan persentase

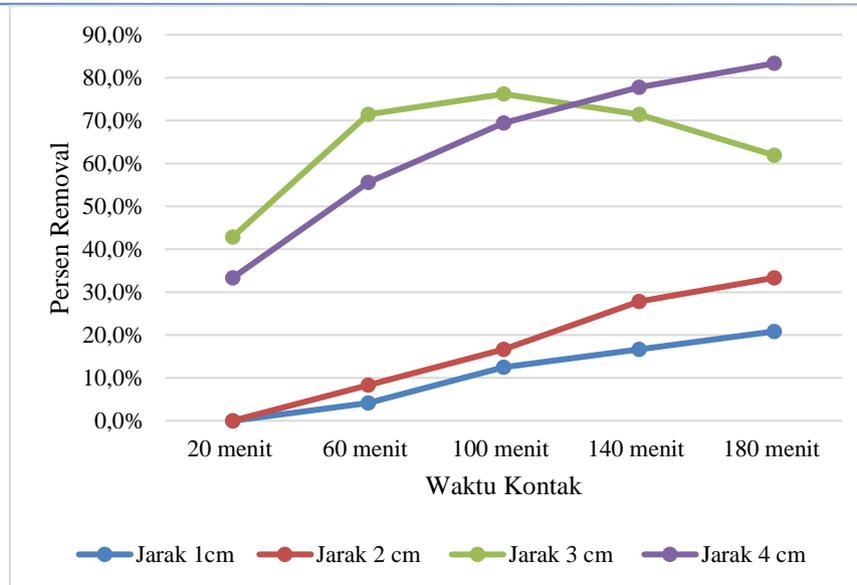
removal setelah menit ke-100. Over koagulan dapat menyebabkan *redissolution* atau re-suspensi partikel yang sudah terkoagulasi sebelumnya, sehingga meningkatkan kembali kandungan organik dalam air. Persentase penyisihan kadar BOD tertinggi terdapat pada jarak 4 cm dengan persentase penyisihan 73,3% pada menit ke-180.

Penurunan konsentrasi terbesar terjadi pada jarak antar plat 4 cm dengan waktu kontak selama 180 menit yaitu kandungan BOD pada limbah cair industri kecap yang berawal 4032 mg/L menjadi 1075 mg/L. Waktu kontak yang semakin lama dalam proses elektrokoagulasi, meningkatkan penghilangan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD). Hal ini terjadi karena kontak yang lebih lama memungkinkan reaksi elektrokoagulasi berlangsung lebih efektif, sehingga lebih banyak kontaminan, termasuk senyawa organik yang berkontribusi pada BOD, dapat terkoagulasi dan dihilangkan dari air limbah [13].

Pengaruh Jarak Antar Plat dan Waktu Kontak Terhadap Penurunan Kadar COD

Tabel 2. Persen Penyisihan Parameter COD

Jarak Plat	Waktu Kontak (menit)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Persen Penyisihan
1 cm	20	9024	9024	0.0%
	60		8648	4.2%
	100		7896	12.5%
	140		7520	16.7%
	180		7144	20.8%
2 cm	20	7200	7200	0.0%
	60		6600	8.3%
	100		6000	16.7%
	140		5200	27.8%
	180		4800	33.3%
3 cm	20	4200	2400	42.9%
	60		1200	71.4%
	100		1000	76.2%
	140		1200	71.4%
	180		1600	61.9%
4 cm	20	7200	4800	33.3%
	60		3200	55.6%
	100		2200	69.4%
	140		1600	77.8%
	180		1200	83.3%



Gambar 5. Pengaruh Jarak Antar Plat dan Waktu Kontak Terhadap Penurunan Kadar COD
Sumber: Hasil Analisa, 2024

Dari **Gambar 5** diatas dapat terlihat penurunan kadar COD. Semakin besar jarak antar plat dan semakin lama proses kontak limbah dengan elektrokoagulasi meningkatkan penyisihan COD dalam limbah. Pada jarak 1 cm, terlihat bahwa persentase removal COD meningkat secara bertahap seiring dengan bertambahnya waktu kontak. Penyisihan kadar parameter COD, mulai menaik di menit ke-60 dengan persen penyisihan 4,2% dan terus meningkat hingga mencapai 20,8% pada menit ke-180. Persentase removal COD pada jarak 2 cm juga menunjukkan peningkatan bertahap. Sama seperti pada jarak 1 cm, mulai meningkat dari menit ke-60 sebesar 8,3% hingga 33,3% pada menit ke-180. Pada jarak 3 cm, terjadi peningkatan yang lebih cepat dalam persentase removal COD. Persentase penyisihan tertinggi jarak 3 cm pada menit ke-100 sebesar 76,2%. Akan tetapi terjadi penurunan persentase removal setelah menit ke-100. Hal ini disebabkan oleh terjadinya *overcoagulant* pada menit ke-140 dan menit ke-180. Persentase penyisihan kadar COD tertinggi terdapat pada jarak 4 cm dengan persentase penyisihan 83,3% pada menit ke-180.

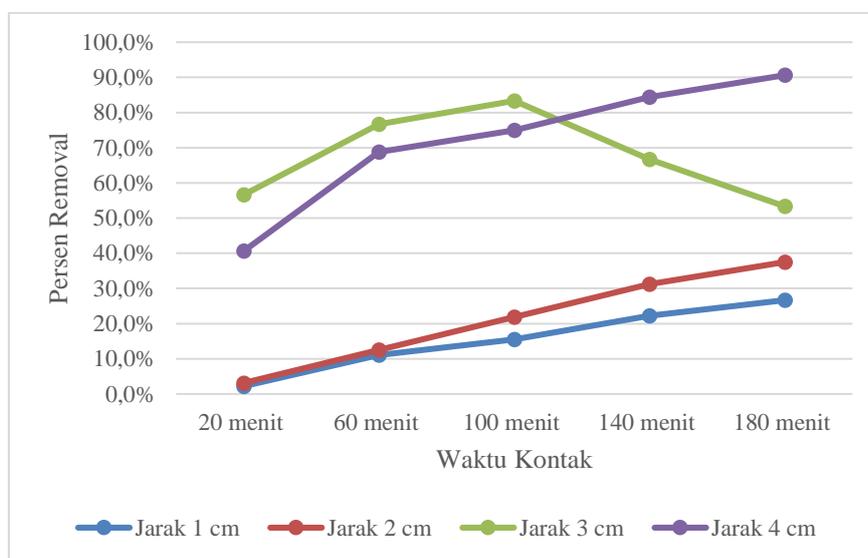
Penurunan konsentrasi terbesar terjadi pada jarak antar plat 4 cm dengan waktu kontak selama 180 menit yaitu kandungan COD pada limbah cair industri kecap yang berawal 7200 mg/L menjadi 1200 mg/L. Waktu kontak yang semakin lama dalam proses elektrokoagulasi meningkatkan penghilangan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD).

Pengaruh Jarak Antar Plat dan Waktu Kontak Terhadap Penurunan Kadar TSS

Tabel 3. Persen Penyisihan Parameter TSS

Jarak Plat	Waktu Kontak (menit)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Persen Penyisihan
1 cm	20	450	440	2.2%
	60		400	11.1%
	100		380	15.6%
	140		350	22.2%
	180		330	26.7%
2 cm	20	320	310	3.1%
	60		280	12.5%
	100		250	21.9%
	140		220	31.3%
	180		200	37.5%
3 cm	20	300	130	56.7%

Jarak Plat	Waktu Kontak (menit)	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	Persen Penyisihan
	60	320	70	76.7%
	100		50	83.3%
	140		100	66.7%
	180		140	53.3%
	20		190	40.6%
4 cm	60	320	100	68.8%
	100		80	75.0%
	140		50	84.4%
	180		30	90.6%



Gambar 6. Pengaruh Jarak Antar Plat dan Waktu Kontak Terhadap Penurunan Kadar TSS
 Sumber: Hasil Analisa, 2024

Berdasarkan **Gambar 6** terlihat adanya perbedaan persentase penyisihan untuk masing-masing jarak dan waktu kontak. Semakin lama proses kontak limbah dengan elektrokoagulasi meningkatkan penyisihan TSS dalam limbah.. Pada jarak 1 cm, terlihat bahwa persentase removal TSS meningkat secara bertahap seiring dengan bertambahnya waktu kontak. Berbeda dengan penyisihan pada parameter BOD dan COD, Penyisihan kadar parameter TSS telah terjadi sedari menit ke-20 dengan persen penyisihan 2,2% dan terus meningkat hingga mencapai 26,7% pada menit ke-180. Persentase removal TSS pada jarak 2 cm juga menunjukkan hal yang serupa. Penyisihan parameter TSS telah terjadi sedari menit ke-20 sebesar 3,1% hingga 37,5% pada menit ke-180. Pada jarak 3 cm, terjadi peningkatan yang lebih cepat dalam persentase removal TSS. Persentase penyisihan pada menit ke-20 sebesar 23,3% dan penyisihan tertinggi jarak 3 cm pada menit ke-100 sebesar 83,3%. Akan tetapi terjadi penurunan persentase removal setelah menit ke-100. Hal ini disebabkan oleh terjadinya Over Koagulan pada menit ke-140 dan menit ke-180. Persentase penyisihan kadar TSS tertinggi terdapat pada jarak 4 cm dengan persentase penyisihan 90,6% pada menit ke-180.

Penurunan konsentrasi terbesar terjadi pada jarak antar plat 4 cm dengan waktu kontak selama 180 menit yaitu kandungan TSS pada limbah cair industri kecap yang berawal 320 mg/L menjadi 30 mg/L. Waktu kontak yang semakin lama dalam proses elektrokoagulasi meningkatkan penghilangan *Total Suspended Solid* (TSS).

Pada jarak 1 cm dan 2 cm terjadi korsleting antar plat yang disebabkan oleh terjadinya peningkatan kuat arus, penurunan tegangan, pembentukan gas yang sedikit dibanding jarak 3 cm dan 4 cm. Dimana hal ini merupakan salah satu tanda bahwa terjadi korsleting antar plat dalam sistem elektrokoagulasi. peningkatan arus listrik secara tiba-tiba, yang terjadi karena resistensi antara plat berkurang drastis akibat

korsleting. Sebaliknya, tegangan bisa menurun secara signifikan karena jalur pendek yang terjadi antar plat. Korsleting dapat mengurangi efisiensi pembentukan gelembung gas (seperti hidrogen dan oksigen) yang seharusnya terjadi pada plat elektroda [10].

Penyisihan polutan air limbah dapat terjadi karena pada proses elektrokoagulasi terjadi peluruhan logam aluminium dari anoda karena reaksi oksidasi yang menghasilkan ion Al^{3+} yang kemudian berikatan dengan senyawa air dan membentuk $Al(OH)_3$ sebagai koagulan yang mengikat polutan menjadi flok-flok [11]. Semakin lama waktu pengolahan elektrokoagulasi Waktu pengolahan elektrokoagulasi semakin lama untuk pembentukan H_2 dan OH^- dalam air limbah semakin melimpah juga. Oleh karena itu semakin banyak jumlah senyawa kompleks yang mengikat polutan dan jumlah gas hidrogen yang memberikan penyisihan polutan dalam air limbah semakin tinggi [12].

Penurunan persen penyisihan pada jarak 3 cm dapat disebabkan oleh terjadinya *overcoagulant* pada menit ke-140 dan menit ke-180. Koagulan berlebih dapat menyebabkan peningkatan BOD, COD dan TSS residu dalam air limbah yang diproses, terutama jika proses pemisahan flok tidak sempurna. *overcoagulant* dapat menyebabkan redissolusi atau re-suspensi partikel yang sudah terkoagulasi sebelumnya, meningkatkan kembali kandungan organik dalam air. *Overcoagulant* dapat menyebabkan redissolusi atau re-suspensi partikel yang sudah terkoagulasi sebelumnya, meningkatkan kembali kandungan organik dalam air. Ketika koagulan dalam air terlalu banyak dapat menyebabkan terjadinya pembentukan flok yang tidak sempurna sehingga flok-flok tersebut akan sulit untuk mengendap ataupun terpisah dan akan tetap berada dalam air limbah yang diolah. Pada COD *overcoagulant* dapat meningkatkan konsentrasi ion logam dalam air.

Hal ini bisa mengakibatkan fouling pada sistem, yang dapat mempengaruhi kualitas air dan meningkatkan nilai COD karena adanya bahan anorganik tambahan. Begitupula pada parameter TSS, jika sistem pengolahan tidak mampu menangani jumlah flok yang besar ini, maka TSS dalam air limbah yang diolah bisa meningkat. Flok yang terbentuk dalam jumlah besar juga dapat mengalami re-suspensi akibat arus air atau gangguan mekanis, yang pada akhirnya meningkatkan nilai TSS [16]. Flok yang besar dan padat dari *overcoagulant* bisa menjadi sulit dipisahkan melalui pengendapan atau filtrasi.

Elektrokoagulasi melibatkan beberapa tahap, termasuk pembentukan ion logam, hidrolisis ion-ion tersebut untuk membentuk hidroksida logam, dan elektrolisis air, yang menghasilkan gelembung kecil hidrogen di katoda. Mekanisme penghilangan polutan terkait dengan destabilisasi kontaminan dan pembentukan flok, yang kemudian dapat dihilangkan dari air [14]. Penurunan yang terjadi pada polutan Elektroda akan menghasilkan gas oksigen dan gas hidrogen yang dapat mempengaruhi penyisihan parameter pencemar. Molekul-molekul yang terkandung dalam limbah kecap berkumpul menjadi flok, dan partikel koloid dalam limbah tersebut menempel pada partikel atau senyawa lain. Misalnya, koloid $Al(OH)_3$ memiliki muatan positif karena permukaannya mengikat ion H^+ . Koagulan memiliki muatan positif mengadsorpsi ion limbah bermuatan negatif, seperti fosfat, surfaktan, dan senyawa organik lainnya, sehingga terjadi pembentukan flok yang memfasilitasi penurunan polutan [15].

Penyisihan polutan air limbah dapat terjadi karena pada proses elektrokoagulasi terjadi peluruhan logam aluminium dari anoda karena reaksi oksidasi yang menghasilkan ion Al^{3+} yang kemudian berikatan dengan senyawa air dan membentuk $Al(OH)_3$ sebagai koagulan yang mengikat polutan menjadi flok-flok [11]. Waktu pengolahan elektrokoagulasi semakin lama untuk pembentukan H_2 dan OH^- dalam air limbah semakin melimpah juga. Oleh karena itu semakin banyak jumlah senyawa kompleks yang mengikat polutan dan jumlah gas hidrogen yang memberikan penyisihan polutan dalam air limbah semakin tinggi [12]. Flok yang terbentuk pada proses elektrokoagulasi akan terdorong ke atas permukaan air oleh gas H_2 yang telah terbentuk karena reduksi dari plat elektroda sehingga flok-flok saling bertabrakan dan menggumpal menjadi besar serta lebih berat lagi yang kemudian akan mengendap secara perlahan ke dasar reaktor dengan ditandai banyaknya flok yang ada di bawah reaktor elektrokoagulasi [17].

Penyisihan polutan pencemar pada air limbah disebabkan oleh proses elektrokoagulasi terjadi destabilisasi partikel-partikel bahan organik pada air limbah oleh koagulan $Al(OH)_3$ yang dihasilkan dari reaksi reduksi-oksidasi elektroda yang digunakan serta oleh medan listrik didalam air limbah. Koagulan akan mengikat polutan dalam air limbah membentuk flok yang memiliki ukuran dan massa lebih besar lagi sehingga dapat mengendap ke dasar gas. Sementara untuk koloid yang tidak terikat akan mengalami flotasi karena adanya gas hidrogen dalam proses elektrokoagulasi sehingga kandungan COD dalam air limbah ikut turun [18]. Penyisihan pada proses elektrokoagulasi pada proses pengolahan yang lama maka semakin bertambahnya waktu proses elektrokoagulasi bisa menghasilkan koagulan yang melimpah, dimana polutan organik mengalami koagulasi dan membentuk flok sehingga konsentrasi polutan berkurang [19].

Kedekatan elektroda dapat menyebabkan peningkatan dosis koagulan, namun hal ini juga akan mengakibatkan gangguan berupa hubungan pendek antar elektroda. Namun demikian, peningkatan jarak

antara elektroda mengakibatkan berkurangnya efisiensi pemrosesan karena meningkatnya hambatan arus, yang menyebabkan berkurangnya konduktivitas [20].

4. Kesimpulan

Pengaruh jarak plat pada pengolahan elektrokoagulasi secara *Batch* terhadap penurunan parameter BOD, COD, dan TSS pada air limbah industri kecap mendapatkan hasil terbaik pada variasi jarak 4 cm di waktu kontak selama 180 menit untuk nilai BOD sebesar 154 mg/L dengan persen penyisihan sebesar 72,0%, nilai COD sebesar 1200 mg/L dengan persen penyisihan sebesar 83,3%, dan nilai TSS sebesar 30 mg/L dengan persen penyisihan sebesar 90,6%. Jarak elektrokoagulasi menentukan aliran, Jika jarak elektroda terlalu dekat, arus listrik yang lebih besar dapat mengalir, meningkatkan produksi ion koagulan yang dapat mempercepat penghilangan kontaminan.

Namun, dapat menyebabkan adanya kemungkinan korsleting antar plat. Jarak plat berpengaruh pada performa pengolahan elektrokoagulasi. Pada jarak 1 cm dan 2 cm ada kemungkinan terjadi korsleting antar plat melihat tanda-tanda yang terjadi dimana terjadi peningkatan kuat arus, penurunan tegangan, dan pembentukan gas yang sedikit dibanding jarak 3cm dan 4cm. dan pada jarak 3cm arus listrik yang mengalir lebih besar daripada jarak 4 cm sehingga pembentukan koagulan terjadi lebih cepat dan menyebabkan produksi koagulan yang berlebihan. Jarak 4 cm merupakan yang paling stabil diantara jarak lainnya.

5. Referensi

- [1] Istiqomah, I., Hamzani, S., & Syarifudin, A. (2018). Pengaruh Penambahan Serbuk Biji Asam Jawa (*Tamarindus indicalin*) Sebagai Koagulan Untuk Menurunkan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Dan TSS (Total Suspended Solid) Pada Limbah Cair Industri Kecap. *Jurnal Kesehatan Lingkungan: Jurnal dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 15(1), 579-584.
- [2] Indriyati, I., & Susanto, J. P. (2009). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kecap Secara Koagulasi Dan Flokulasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*, 10(3), 265-270.
- [3] Istiqomah, I., Hamzani, S., & Syarifudin, A. (2018). Pengaruh Penambahan Serbuk Biji Asam Jawa (*Tamarindus indicalin*) Sebagai Koagulan Untuk Menurunkan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Dan TSS (Total Suspended Solid) Pada Limbah Cair Industri Kecap. *Jurnal Kesehatan Lingkungan: Jurnal dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 15(1), 579-584.
- [4] Hernaningsih, T. (2016). Tinjauan Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Dengan Proses Elektrokoagulasi. *Jurnal BPPT*, 31-46.
- [5] Jati, B. N., & Aviandharie, S. A. (2015). Kombinasi teknologi elektrokoagulasi dan fotokatalisis dalam mereduksi limbah berbahaya dan beracun Cr (VI). *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 37(2), 133-140.
- [6] Marlina, M. (2023). *Penurunan Kadar Logam Seng (Zn) Pada Limbah Cair Industri Batik Dengan Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- [7] Afandi, A. M., Rijal, I., & Aziz, T. (2017). Pengaruh waktu dan tegangan listrik terhadap limbah cair rumah tangga dengan metode elektrolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(2), 114-119.
- [8] Hakizimana, J. N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P., & Naja, J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, 404, 1-21.
- [9] Budiany, R., Yayok, S. P., & Mohamad, M. (2014). Proses elektrokoagulasi pengolahan limbah laundry. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1), 15-22.
- [10] Yasri, N. G., Ingelsson, M., Nightingale, M., Jaggi, A., Dejak, M., Kryst, K., ... & Roberts, E. P. (2022). Investigation of electrode passivation during electrocoagulation treatment with aluminum electrodes for high silica content produced water. *Water Science and Technology*, 85(3), 925-942.
- [11] Hermida, L., Kustiani, I., & Suharno, S. (2020). Evaluasi Kinerja Sistem Elektrokoagulasi Batch Recycle Dengan Susunan Elektroda Monopolar Dalam Mengolah Limbah Cair Tapioka. *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, 1(1), 20-28.
- [12] Rengkugegana, M. E. (2022). *Pengolahan Limbah Laundry Dengan Metode Elektrokoagulasi Secara Kontinyu* (Doctoral dissertation, UPN Veteran Jawa Timur).
- [13] Sugito, S., Al Kholif, M., Tyas, Y. A. N., & Sutrisno, J. (2022). Pengaruh Elektrokoagulasi pada Penurunan Kadar BOD, COD, dan Amonia untuk Mengolah Limbah Cair Industri Pembekuan Udang (Cold Storage). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 13(1).

- [14] Moreno, H. A., Cocke, D. L., Gomes, J. J. A., Morkovsky, P., Peterson, E., & Parga, J. R. (2006). *Electrocoagulation: COD Removal Mechanism*. American Institute of Chemical Engineers.
- [15] Setianingrum, N. P., Prasetya, A., & Sarto, S. (2017). Pengurangan zat warna Remazol Red Rb menggunakan metode elektrokoagulasi secara batch. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(2), 78-85.
- [16] Jiang, J. Q., & Graham, N. J. D. (1996). Enhanced coagulation using Al/Fe (III) coagulants: effect of coagulant chemistry on the removal of colour-causing NOM. *Environmental technology*, 17(9), 937-950.
- [17] Khaer, A., & Rusli, R. (2019). Kombinasi Elektrokoagulasi Dengan Media Clay Filter Dalam Menurunkan Kadar Fosfat (PO₄) Limbah Laundry. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 18(2), 211-215.
- [18] Vatra, R. P. R. (2023). Pengolahan Air Lindi TPA Batu Layang Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dan Filtrasi. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(2), 737-744.
- [19] Damajanti, N., & Ubaidillah, S. (2023). Penyisihan COD dan TSS pada Limbah Cair Industri Tahu dengan Kombinasi Metode Elektrokoagulasi dan Filtrasi Menggunakan Media Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica* L). *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 6, 62-66.
- [20] Igwegbe, C. A., Onukwuli, O. D., Ighalo, J. O., Umembamalu, C. J., & Adeniyi, A. G. (2021). Comparative analysis on the electrochemical reduction of colour, COD and turbidity from municipal solid waste leachate using aluminium, iron and hybrid electrodes. *Sustainable Water Resources Management*, 7(3), 39.