

Analisis Jenis Elektroda dan Waktu Kontak Pada Proses Elektrokoagulasi Untuk Pengolahan Limbah Cair *Laundry*

Fahrizal Adnan^{1)*}, Budi Nining Widarti¹⁾, Khusnul Khotimah¹⁾, Ibrahim¹⁾, Rahmahtriananda Faradilla¹⁾

¹⁾Program Studi S1 Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman

E-mail: fahrizaladnan@ft.unmul.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) di Kota Samarinda semakin meningkat, salah satunya usaha jasa pencucian pakaian (*laundry*). Seiring meningkatnya usaha mikro kecil yang memberi manfaat bagi perekonomian masyarakat, usaha mikro kecil *laundry* juga menghasilkan banyak limbah cair. Penggunaan detergen yang berlebihan akan menyebabkan pendangkalan pada perairan dan menghambat transfer oksigen dan Fosfat yang berlebih dalam air akan mengakibatkan terjadinya fenomena eutrofikasi. Eutrofikasi akan menyebabkan berkurangnya kadar oksigen yang terlarut dalam perairan yang memicu musnahnya biota air yang berada di dasar perairan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh jenis elektroda dan waktu kontak pada metode elektrokoagulasi dengan plat Aluminium-Aluminium (Al – Al) dan Aluminium-Besi (Al – Fe) dengan waktu kontak 45, 60, dan 90 menit sehingga dapat mengetahui efektivitas metode elektrokoagulasi dalam mengolah limbah cair *laundry*. Parameter pada penelitian ini adalah COD, Surfaktan, Fosfat, dan pH. Pada proses elektrokoagulasi ion Al^{3+} yang terbentuk pada anoda akan berikatan pada OH^- yang terbentuk pada katoda sehingga membentuk $Al(OH)_3$ sebagai koagulan untuk mengikat polutan. Kondisi optimum pada pengolahan terdapat pada elektroda Al-Al dengan waktu kontak 45 menit dengan penyisihan parameter COD sebesar 204 mg/L menjadi 78,20 mg/L dengan efisiensi 61,67%, Surfaktan sebesar 4,20 mg/L menjadi 2,62 mg/L dengan efisiensi 37,62%, Fosfat sebesar 2,61 mg/L menjadi 1,14 mg/L dengan efisiensi 56,32%, dan nilai pH sebesar 8,57 menjadi 9,19.

Kata Kunci: Limbah Cair *Laundry*, Elektrokoagulasi, Jenis Elektroda, Waktu Kontak

ABSTRACT

The development of Micro, Small, and Medium Enterprises in Samarinda City is on the rise, one of which is the laundry service business. As the number of micro and small businesses that benefit the local economy increases, the laundry service business also generates a significant amount of liquid waste. Excessive use of detergents can lead to water pollution and hinder oxygen transfer, while excessive phosphorus in water can cause eutrophication. Eutrophication reduces dissolved oxygen levels in water, leading to the extinction of aquatic life at the bottom of water bodies. This study was conducted to analyze the effect of electrode type and contact time on the electrocoagulation method using aluminium-aluminium (Al-Al) and aluminium-iron (Al-Fe) plates with contact times of 45, 60, and 90 minutes, thereby determining the effectiveness of the electrocoagulation method in treating laundry wastewater. The parameters in this study were COD, surfactants, phosphates, and pH. During the electrocoagulation process, Al^{3+} ions formed at the anode bind with OH^- ions formed at the cathode, forming $Al(OH)_3$ as a coagulant to bind pollutants. The optimal conditions for treatment were found with Al-Al electrodes and a contact time of 45 minutes, resulting in a reduction of COD from 204 mg/L to 78.20 mg/L with an efficiency of 61.67%, surfactants from 4.20 mg/L to 2.62 mg/L with an efficiency of 37.62%, phosphate from 2.61 mg/L to 1.14 mg/L with an efficiency of 56.32%, and pH from 8.57 to 9.19.

Keyword: Laundry Wastewater, Electrocoagulation, Elektroda Type, Contact Time

1. Pendahuluan

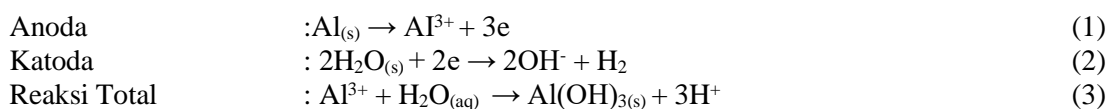
Perkembangan Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) di Kota Samarinda semakin meningkat, salah satunya usaha jasa pencucian pakaian (*laundry*). Seiring meningkatnya usaha mikro kecil yang memberi manfaat bagi perekonomian masyarakat, usaha mikro kecil *laundry* juga menghasilkan banyak limbah cair. Usaha *laundry* memberi andil pada pencemaran air karena usaha mikro kecil tidak memiliki unit pengolahan pada limbahnya. Air buangan *laundry* langsung dibuang ke lingkungan atau drainase yang selanjutnya akan mengalir ke badan air yang lebih besar (sungai) (Apema, Rahayu, Adnan, *et al.*, 2023). Penggunaan detergen yang berlebihan akan menyebabkan pendangkalan pada perairan dan menghambat transfer oksigen (Pungut, Al Kholif and Pratiwi, 2021). Fosfat yang berlebih dalam air akan mengakibatkan terjadinya fenomena eutrofikasi. Eutrofikasi adalah masalah lingkungan yang mengakibatkan tumbuhan tumbuh sangat cepat dibandingkan pertumbuhan yang normal. Eutrofikasi akan menyebabkan berkurangnya kadar oksigen yang terlarut dalam perairan yang memicu musnahnya biota air yang berada di dasar perairan (Rengkugegana and Farahdiba, 2023).

Selain surfaktan dan fosfat, air limbah *laundry* juga mengandung zat organik, padatan tersuspensi, serta bahan kimia lain yang dapat meningkatkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD). Tingginya COD menjadi indikator pencemaran air karena menunjukkan banyaknya senyawa organik yang membutuhkan oksigen untuk diuraikan. Hal ini berimplikasi pada menurunnya ketersediaan oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme akuatik, sehingga mengganggu kelangsungan hidup biota air. Dengan demikian, keberadaan limbah *laundry* yang tidak diolah dapat menimbulkan dampak lingkungan serius apabila terus dibuang secara langsung ke badan air (Dewi, Joko and Hanani, 2015).

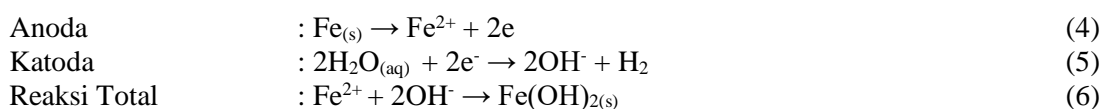
Metode alternatif untuk mengolah limbah cair *laundry* dalam mengurangi pencemar dalam air yaitu dengan menggunakan elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan limbah menggunakan arus listrik sehingga pada reaksinya akan melepaskan ion positif yang berfungsi sebagai koagulan dalam proses koagulasi sehingga dapat mengurangi ion-ion logam dan berbagai polutan (padatan tersuspensi, logam, minyak). Reaksi ini akan terus berlangsung hingga terbentuknya flok-flok tanpa meningkatkan salinitas air. Elektrokoagulasi ini dikenal karena pengerjaannya yang mudah dan lumpur yang dihasilkan tidak terlalu banyak (Farida Hanum, Rondang Tambun, *et al.*, 2015). Elektrokoagulasi adalah alternatif ramah lingkungan untuk mengurangi beban pencemar dalam air, termasuk kontaminan organik dan anorganik. Pada proses elektrokoagulasi, dua elektroda yang biasanya terbuat dari logam besi atau aluminium diberi arus listrik searah dan dimasukkan kedalam air limbah (Juherah and ANSAR, 2019).

Sebuah elektroda dalam sel elektrokimia dapat disebut anoda atau katoda. Anoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel dan terjadi oksidasi. Katoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron memasuki sel terjadi reduksi (Wardana and Alfarisi, 2024). Aluminium adalah logam yang umum digunakan sebagai elektroda dalam proses elektrokoagulasi. Semakin jauh ke kiri dalam sistem deret potensial, suatu unsur akan semakin mudah teroksidasi, sementara semakin ke kanan, unsur tersebut lebih mudah tereduksi. Besi memiliki sifat sebagai agen pengoksidasi dengan nilai potensial standar reduksi yang positif. Besi hidroksida sering digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan limbah cair. Senyawa besi hidroksida ini akan mengadsorpsi pada permukaan zat warna dalam larutan (Jati and Aviandharie, 2015).

Menurut (Masrullita *et al.*, 2021) reaksi yang terjadi pada plat aluminium saat proses elektrokoagulasi pada sisi anoda ditunjukkan pada persamaan berikut.



Menurut Jati dan Aviandharie., (2015), reaksi yang terjadi pada elektroda besi sebagai berikut:



2. Metode Penelitian

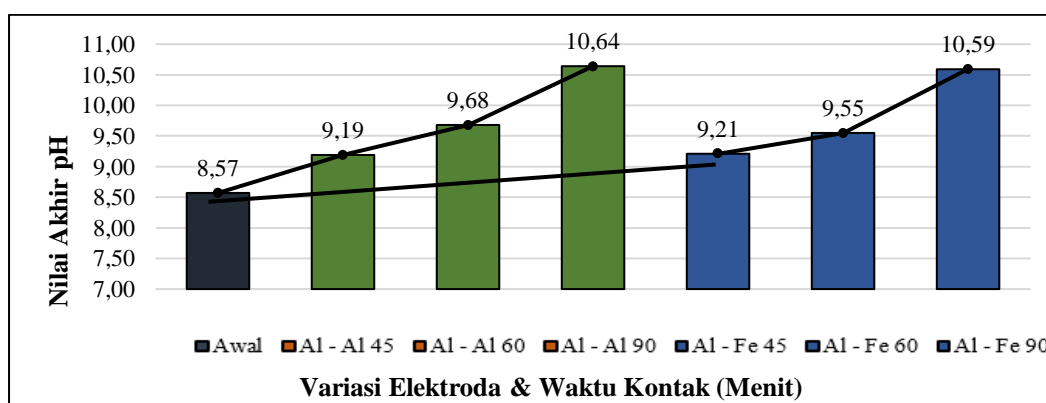
Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental skala laboratorium (*batch*) dengan fokus pada proses elektrokoagulasi sebagai teknologi pengolahan limbah cair *laundry*. Pendekatan ini dipilih untuk mengukur secara kuantitatif efisiensi penyisihan polutan (COD, Surfaktan, dan Fosfat) akibat variasi kondisi perlakuan. Dalam penelitian ini, terdapat dua variabel bebas utama yang dimanipulasi: jenis elektroda (pasangan Aluminium-Aluminium/Al-Al dan Aluminium-Besi/Al-Fe) dan waktu kontak (45, 60, dan 90 menit). Penelitian ini dikendalikan dengan menetapkan variabel kontrol yang konstan, yaitu jarak antar plat elektroda (2 cm) dan kuat tegangan listrik (25 Volt), untuk memastikan bahwa perubahan hasil hanya disebabkan oleh variabel bebas yang diuji. Pengambilan sampel limbah *laundry* awal dilakukan secara *grab sample* dan karakteristik awalnya dianalisis sebagai data pembandingan. Setelah proses elektrokoagulasi dilakukan sesuai kombinasi variabel, sampel air olahan akan dianalisis untuk mengukur variabel terikat, yaitu konsentrasi akhir COD, Surfaktan, Fosfat, serta nilai pH dan Konduktivitas. Hasil akhir diolah dengan menghitung efisiensi penyisihan polutan dalam persentase, kemudian dianalisis untuk menentukan jenis elektroda dan waktu kontak optimum yang memberikan efisiensi penyisihan terbesar.

Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan, yaitu pengambilan sampel limbah cair *laundry* dari sumbernya di Samarinda, diikuti dengan analisis karakteristik awal (seperti COD, Surfaktan, Fosfat, pH, dan Konduktivitas) sebagai data pembandingan sebelum pengolahan. Setelah sampel tersedia, dilanjutkan dengan tahap eksperimen inti yang dilakukan dalam skala *batch* menggunakan reaktor elektrokoagulasi. Pada tahap ini, dilakukan serangkaian pengujian dengan menerapkan enam kombinasi perlakuan yang melibatkan variasi jenis elektroda (Al-Al dan Al-Fe) dan waktu kontak (45, 60, dan 90 menit), sementara variabel kontrol seperti jarak antar elektroda dan tegangan listrik dijaga konstan. Setelah setiap periode waktu kontak selesai, proses dihentikan, dan sampel air olahan segera diambil untuk memasuki tahap analisis pasca-pengolahan. Sampel olahan ini diuji kembali parameter yang sama dengan sampel awal di laboratorium terakreditasi untuk mendapatkan data konsentrasi akhir polutan. Tahap akhir adalah pengolahan dan analisis data, di mana efisiensi penyisihan polutan (COD, Surfaktan, dan Fosfat) dihitung dalam persentase untuk setiap kombinasi perlakuan. Perbandingan hasil ini kemudian digunakan untuk menentukan kondisi operasional optimum (jenis elektroda dan waktu kontak) yang menghasilkan efisiensi penyisihan tertinggi, yang selanjutnya menjadi dasar dalam penarikan kesimpulan penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Konsentrasi pH

Derajat keasaman (pH) merupakan suatu indikator basa atau asam dari suatu larutan (Yolanda and Suprihatin, 2015). Pengujian nilai pH air sampel dilakukan di Laboratorium Teknologi Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman dengan menggunakan metode uji dengan pH meter berdasarkan SNI 06-6989.11:2004. Berdasarkan hasil pengujian nilai pH pada sampel limbah cair *laundry* setelah dilakukan pengolahan dapat diketahui pengaruh pengolahan dengan menggunakan metode elektrokoagulasi terhadap nilai pH. Grafik pengukuran hasil analisis pengujian nilai pH setelah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi ditunjukkan pada Gambar 1,



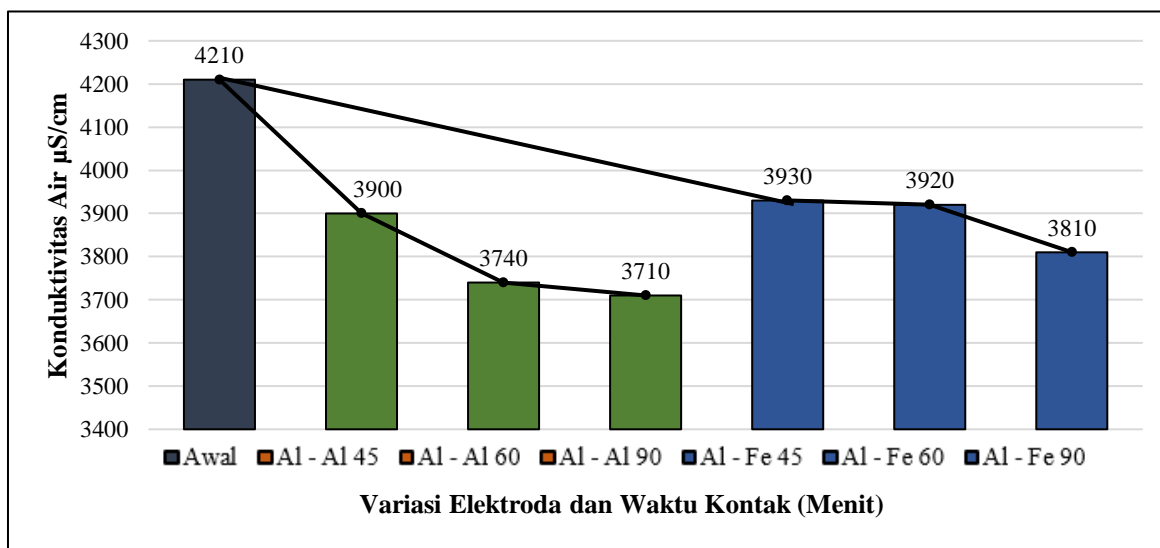
Gambar 1. Grafik Nilai Konsentrasi pH

Nilai derajat keasaman (pH) awal limbah cair *laundry* adalah 8,57, hal ini menandakan pH air sampel menunjukkan kondisi basa. Nilai derajat keasaman (pH) air sampel setelah dilakukan pengolahan mengalami kenaikan. Adapun hasil dari pengolahan dengan variasi elektroda Aluminium-Aluminium (Al-Al) dengan variasi waktu kontak 45 menit, 60 menit, dan 90 menit berturut-turut adalah 9,19; 9,68; dan 10,64. Hasil dari pengolahan dengan variasi elektroda Aluminium-Besi (Al-Fe) dengan variasi waktu kontak 45 menit, 60 menit, dan 90 menit berturut-turut adalah 9,21; 9,55; dan 10,59.

Pada proses elektrokoagulasi logam di anoda berperan sebagai koagulan, sementara di katoda terjadi reaksi reduksi air menjadi ion hidroksida (OH^-). Peningkatan nilai pH ini disebabkan oleh terjadinya reaksi utama yang dihasilkan selama proses elektrokoagulasi yaitu semakin lama waktu kontak maka akan semakin banyak ion hidroksida (OH^-) yang terbentuk, sehingga pH akhir larutan akan semakin meningkat. Ion OH^- ini berfungsi untuk menetralkan ion H^+ dalam larutan, sehingga pH meningkat bahkan semakin basa. Tegangan listrik juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan pH dalam proses elektrokoagulasi, karena semakin tinggi voltase atau tegangan yang digunakan maka akan semakin banyak ion OH^- yang diproduksi pada katoda, sehingga pH larutan meningkat (Amri, Destinefa and Zultiniar, 2020)

3.2 Analisis Konduktivitas Air

Konduktivitas menggambarkan kemampuan larutan dalam menghantarkan arus listrik yang dihantarkan oleh ion yang terkandung di dalamnya. Ion memiliki karakteristik dalam menghantarkan arus listrik, sehingga nilai konduktivitas listrik hanya menunjukkan konsentrasi ion total dalam larutan (Irwan and Afdal, 2016). Pengujian nilai konduktivitas air sampel dilakukan di Laboratorium Teknologi Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman dengan menggunakan metode uji dengan konduktivimeter berdasarkan SNI 06-6989.1:2004. Pengujian konduktivitas sebelum dan setelah pengolahan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari metode elektrokoagulasi. Grafik pengukuran hasil analisis pengujian konduktivitas air setelah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi ditunjukkan pada Gambar 2,

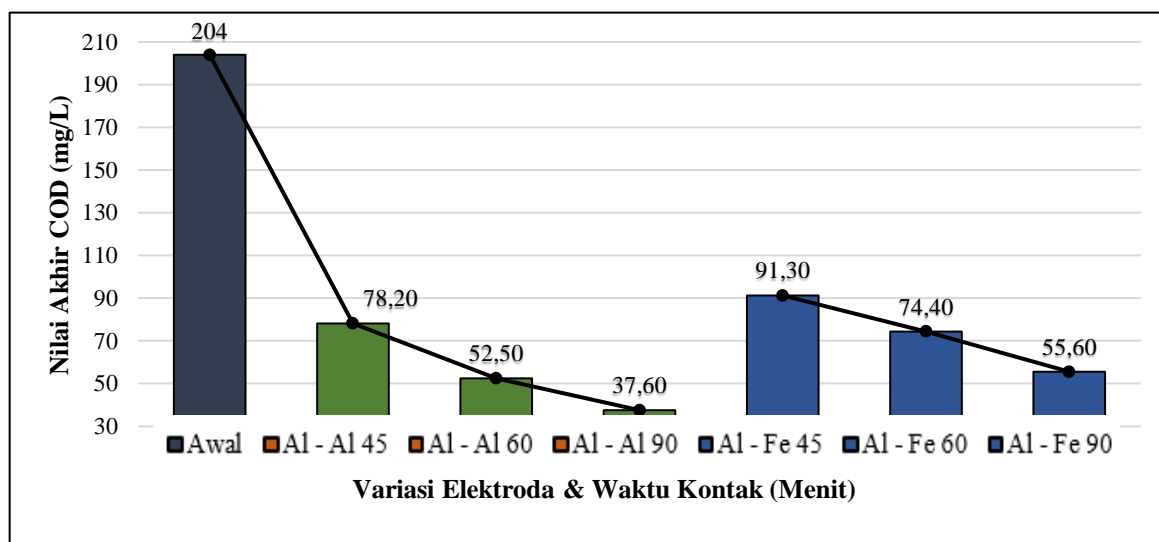


Gambar 2. Grafik Nilai Konduktivitas Air

Nilai konduktivitas awal limbah cair *laundry* sebesar 4210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ yang mengalami penurunan setelah proses elektrokoagulasi dengan variasi elektroda dan waktu kontak. Pada elektroda Al-Al, nilai konduktivitas menurun hingga 3710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada 90 menit, sedangkan elektroda Al-Fe hanya mencapai 3810 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada waktu yang sama. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak maka semakin optimal proses pengendapan ion dan pembentukan flok, sehingga konsentrasi ion terlarut dalam air berkurang. Flok hidroksida logam hasil hidrolisis Al^{3+} dan Fe^{2+} bersifat non-konduktif sehingga mampu menjepit polutan bermuatan dan menurunkan kemampuan air menghantarkan listrik (Nurlaili *et al.*, 2024)

3.3 Analisis Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD)

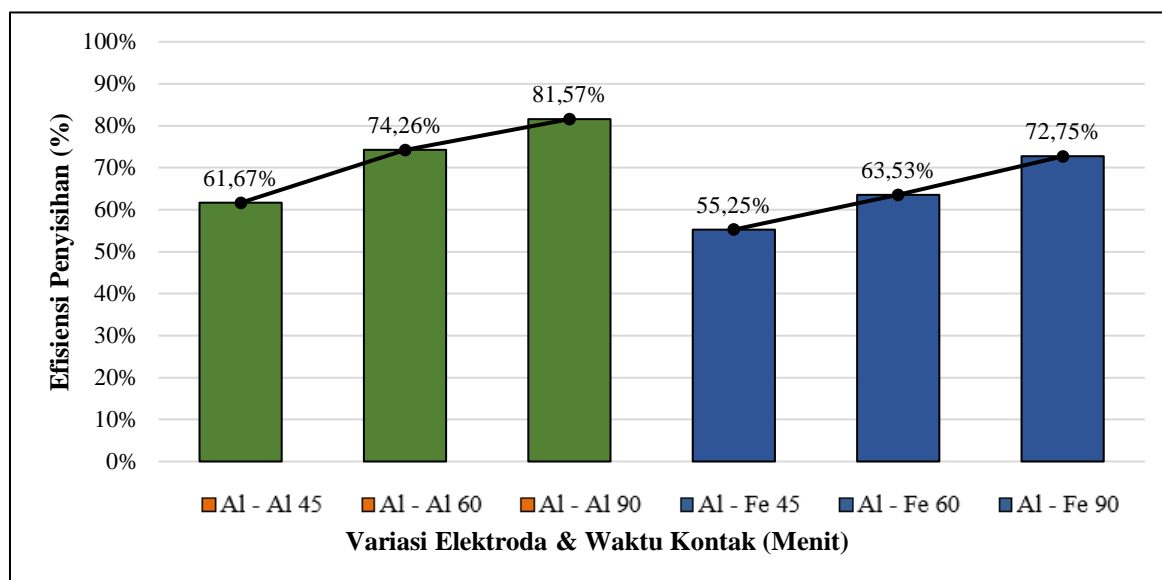
Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat-zat anorganik dan organik. Penurunan COD menunjukkan kebutuhan oksigen untuk senyawa-senyawa kimia, di mana bahan-bahan yang diukur adalah yang tidak dapat diuraikan secara biokimia (Nurmaliakasih, Syakur and Zaman, 2017). Pengujian nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air sampel dilakukan di PT. Indonesia Prima Laboratorium, Samarinda, dengan menggunakan metode uji refluks tertutup berdasarkan SNI 6989:2:2019. Pengujian nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air sampel dilakukan untuk mengetahui efektivitas dari metode elektrokoagulasi terhadap penyisihan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) Grafik pengukuran hasil analisis pengujian nilai pH setelah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi ditunjukkan pada Gambar 3,



Gambar 3. Grafik Nilai Konsentrasi COD

Kadar COD awal limbah cair *laundry* sebesar 204 mg/L yang menggambarkan kondisi berada di atas baku mutu yang ditetapkan. Pengolahan dengan metode elektrokoagulasi menunjukkan penurunan konsentrasi COD yang signifikan pada semua variasi elektroda dan waktu kontak. Elektroda Al-Al menurunkan kadar COD hingga 37,60 mg/L pada 90 menit dengan efisiensi 81,57%, sedangkan Al-Fe mencapai 55,60 mg/L dengan efisiensi 72,75%. Mekanisme penyisihan COD terjadi melalui pembentukan flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang mengadsorpsi senyawa organik serta didukung oleh proses flotasi akibat gelembung gas hidrogen, sehingga semakin lama waktu kontak maka semakin banyak polutan yang terendapkan (Amri, Destinefa and Zultiniar, 2020). Secara keseluruhan, elektroda Al-Al lebih optimal dibandingkan Al-Fe karena menghasilkan flok yang lebih stabil dan kompak, dengan nilai optimum diperoleh pada waktu kontak 45 menit dengan kadar COD yaitu 78,20 mg/L yang telah memenuhi baku mutu sekaligus efisien dari segi waktu dan biaya operasional.

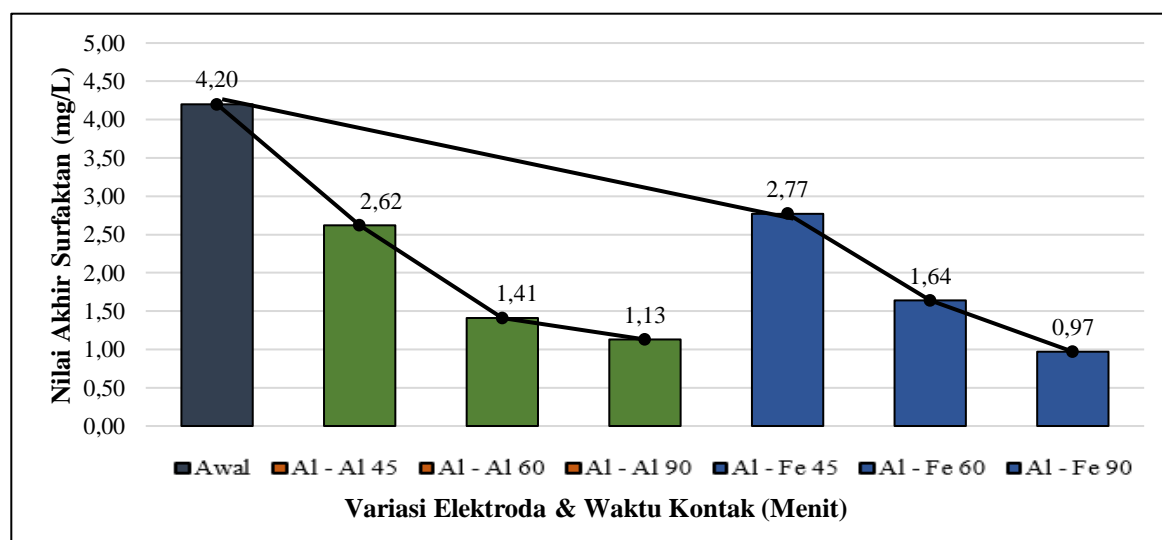
Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi elektroda Al-Al dan Al-Fe pada waktu kontak 45, 60, dan 90 menit mampu menurunkan kadar COD hingga di bawah baku mutu. Efisiensi penyisihan tertinggi diperoleh pada elektroda Al-Al dengan waktu kontak 90 menit sebesar 81,57%, lebih tinggi dibandingkan elektroda Al-Fe sebesar 72,75%. Keunggulan Al-Al disebabkan oleh terbentuknya flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang lebih stabil, besar, dan kompak sehingga meningkatkan proses adsorpsi terhadap senyawa organik (Juherah and ANSAR, 2019). Nilai optimum dicapai pada elektroda Al-Al dengan waktu kontak 45 menit yang menurunkan COD menjadi 78,20 mg/L, dimana hasil ini telah memenuhi baku mutu lingkungan sekaligus efisien dari segi waktu dan biaya operasional.



Gambar 4. Grafik Efisiensi Konsentrasi COD

3.4 Analisis Konsentrasi Surfaktan

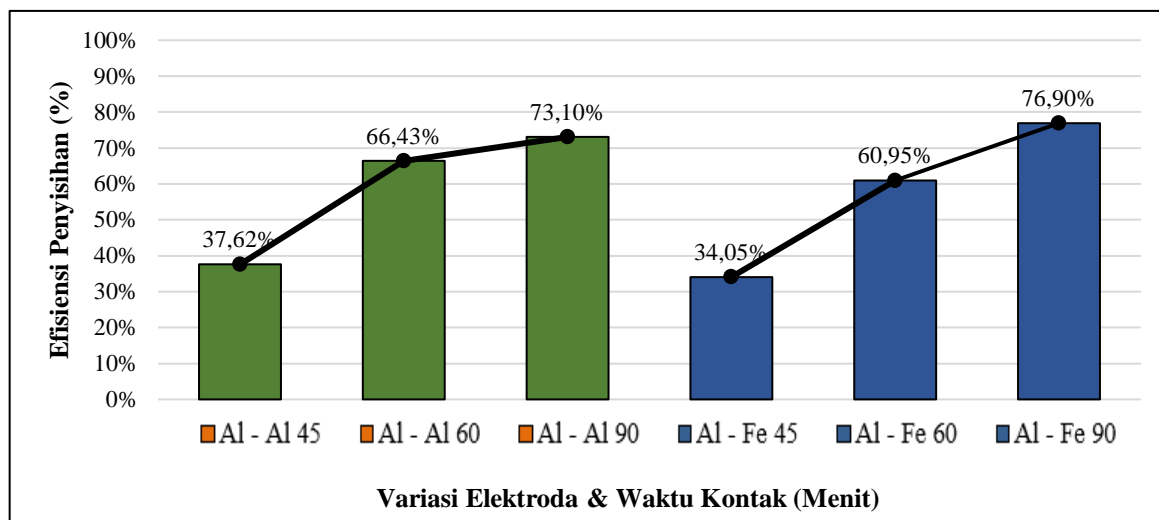
Hasil analisis surfaktan pada limbah cair *laundry* menunjukkan keberadaan surfaktan anionik, yaitu senyawa aktif yang umum digunakan dalam deterjen karena kemampuannya menurunkan tegangan permukaan air dan melarutkan kotoran. Pengujian konsentrasi surfaktan dilakukan menggunakan metode MBAS (*Methylene Blue Active Substances*) berdasarkan SNI 06-6989.51-2005, pada pengujian dengan metode ini surfaktan anionik bereaksi dengan metilen biru membentuk kompleks berwarna biru yang larut dalam kloroform. Intensitas warna biru yang terbentuk merepresentasikan jumlah surfaktan yang terkandung dalam sampel limbah cair *laundry*. Grafik pengukuran hasil analisis pengujian nilai konsentrasi surfaktan setelah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi ditunjukkan pada Gambar 5,



Gambar 5. Grafik Nilai Konsentrasi Surfaktan

Kadar surfaktan awal limbah cair *laundry* sebesar 4,20 mg/L teridentifikasi melebihi baku mutu. Setelah dilakukan pengolahan dengan metode elektrokoagulasi, kadar surfaktan menurun signifikan pada semua variasi elektroda dan waktu kontak. Elektroda Al-Al menurunkan kadar surfaktan hingga 1,13 mg/L pada waktu kontak 90 menit, sedangkan elektroda Al-Fe menghasilkan kadar terendah 0,97 mg/L pada waktu kontak yang sama. Mekanisme penyisihan terjadi melalui pembentukan flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang bermuatan positif sehingga mampu mengadsorpsi surfaktan anionik dan membentuk partikel hidrofobik

yang terikat serta mengendap dengan bantuan gelembung gas hidrogen. Hasil ini membuktikan bahwa metode elektrokoagulasi efektif menurunkan kadar surfaktan hingga di bawah baku mutu, dengan efisiensi penyisihan meningkat seiring bertambahnya waktu kontak. Berikut ini grafik presentase efisiensi penurunan konsentrasi surfaktan pada air sampel setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 6,

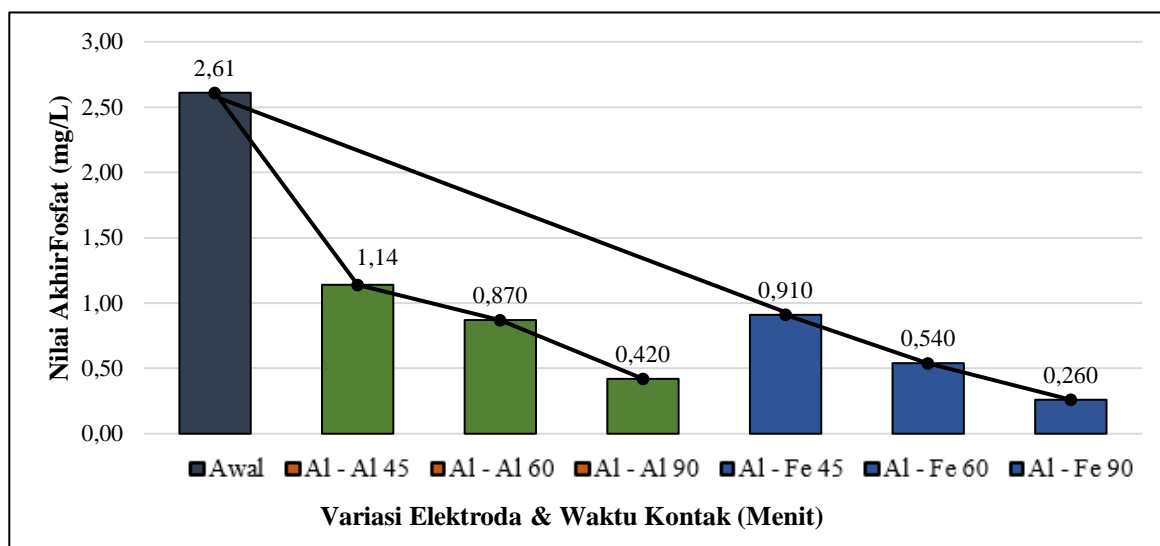


Gambar 6. Grafik Efisiensi Konsentrasi Surfaktan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi elektroda Al-Al dan Al-Fe pada waktu kontak 45, 60, dan 90 menit mampu menurunkan kadar surfaktan hingga di bawah baku mutu. Efisiensi penyisihan tertinggi pada elektroda Al-Al terjadi pada menit ke-90 sebesar 73,10%, sedangkan elektroda Al-Fe mencapai 76,90% pada waktu yang sama sehingga memberikan kinerja lebih unggul. Keunggulan Al-Fe disebabkan oleh terbentuknya gelembung gas hidrogen (H_2) yang lebih banyak pada katoda, sehingga mempercepat proses flotasi untuk partikel koloid dan pengotor ke permukaan. Namun, nilai optimum ditinjau dari efisiensi waktu dan biaya operasional diperoleh pada elektroda Al-Al dengan waktu kontak 45 menit, yang menurunkan kadar surfaktan menjadi 2,62 mg/L dan telah memenuhi baku mutu menurut PERMEN LH RI No. 05 Tahun 2014.

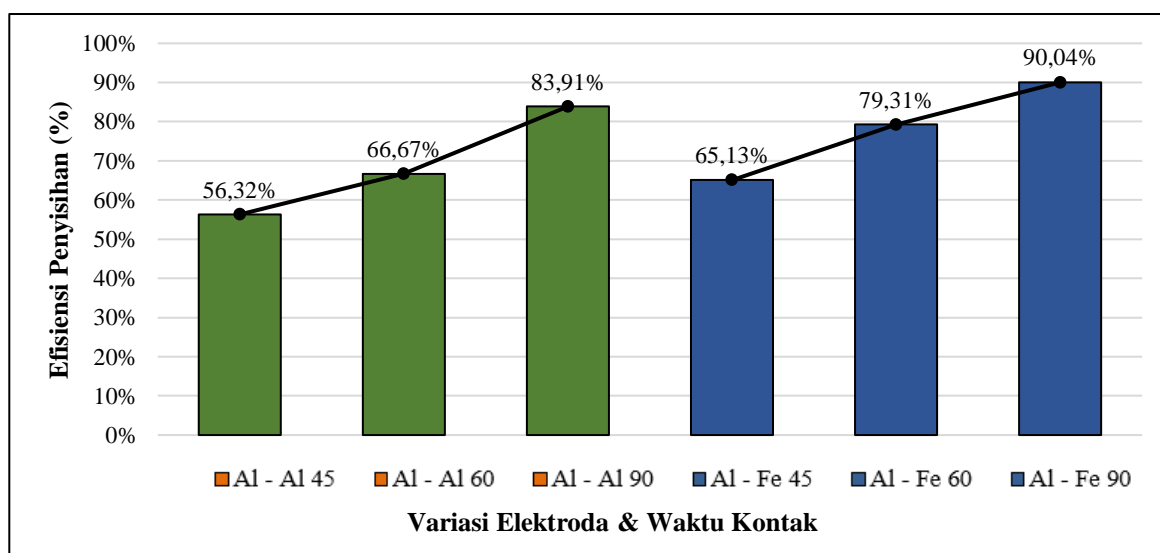
3.5 Analisis Konsentrasi Fosfat

Fosfat merupakan salah satu komponen penting dalam deterjen yang berfungsi sebagai builder untuk melunakkan air sadah serta meningkatkan efektivitas kerja surfaktan. Pada penelitian ini, pengujian kadar fosfat dilakukan dengan metode spektrofotometri berdasarkan SNI 6989.31-2021 di PT. Indonesia Prima Laboratorium, Samarinda. Hasil analisis menunjukkan adanya penurunan konsentrasi fosfat setelah proses elektrokoagulasi, yang mengindikasikan bahwa metode ini efektif dalam menyisihkan fosfat dari limbah cair *laundry*. Penurunan kadar fosfat terjadi karena ion fosfat berikatan dengan koagulan yang terbentuk selama proses elektrokoagulasi, sehingga membentuk endapan dan mengurangi konsentrasi fosfat terlarut dalam air limbah. Berdasarkan hasil analisis laboratorium pada Tabel 6, dibuat grafik penurunan kadar fsofat setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Nilai Konsentrasi Fosfat

Kadar fosfat awal limbah cair *laundry* sebesar 2,61 mg/L berada di atas baku mutu yang ditetapkan. Setelah dilakukan pengolahan dengan metode elektrokoagulasi, kadar fosfat menurun signifikan pada semua variasi elektroda dan waktu kontak. Elektroda Al-Al menurunkan kadar fosfat hingga 0,42 mg/L pada 90 menit dengan efisiensi penyisihan tinggi, sedangkan elektroda Al-Fe menghasilkan nilai terendah 0,26 mg/L pada waktu yang sama. Mekanisme penyisihan terjadi melalui oksidasi anoda aluminium yang melepaskan ion Al^{3+} dan bereaksi dengan fosfat membentuk endapan AlPO_4 , serta didukung oleh pembentukan flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang mengadsorpsi fosfat dan mengendap melalui proses *flocculant settling*. (Setiawan *et al.*, 2022). Hasil ini menunjukkan bahwa elektrokoagulasi efektif menurunkan kadar fosfat hingga di bawah baku mutu, dengan efisiensi penyisihan meningkat seiring bertambahnya waktu kontak. Berikut ini grafik presentase efisiensi penurunan konsentrasi fosfat pada air sampel setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Efisiensi Konsentrasi Fosfat

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi elektroda Al-Al dan Al-Fe pada waktu kontak 45, 60, dan 90 menit mampu menurunkan kadar fosfat hingga di bawah baku mutu. Efisiensi tertinggi pada elektroda Al-Al terjadi pada menit ke-90 sebesar 83,91%, sedangkan elektroda Al-Fe mencapai 90,04% pada waktu yang sama sehingga lebih unggul dibandingkan Al-Al. Keunggulan Al-Fe disebabkan oleh terbentuknya gelembung gas hidrogen (H_2) lebih banyak pada katoda yang mendukung proses flotasi partikel koloid dan pengotor (Fitriah, Kasim and Purnomo, 2022). Meskipun demikian, nilai optimum ditinjau dari efisiensi waktu dan biaya operasional diperoleh pada elektroda Al-

Al dengan waktu kontak 45 menit, yang menurunkan kadar fosfat menjadi 1,14 mg/L dan telah memenuhi baku mutu lingkungan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian elektrokoagulasi limbah cair *laundry*, dapat ditarik dua kesimpulan utama mengenai efektivitas proses. Pertama, **kombinasi jenis elektroda secara signifikan memengaruhi kinerja pengolahan**. Elektroda **Aluminium-Aluminium (Al-Al)** terbukti lebih efektif dalam menaikkan pH dan mencapai efisiensi penyisihan *Chemical Oxygen Demand (COD)* tertinggi. Sebaliknya, kombinasi **Aluminium-Besi (Al-Fe)** menunjukkan performa unggul dalam mereduksi kadar **Surfaktan** dan **Fosfat**. Kedua, **waktu kontak memiliki korelasi positif** dengan peningkatan efisiensi penyisihan ketiga polutan tersebut, di mana nilai pH juga cenderung meningkat seiring lamanya proses. Meskipun efisiensi penyisihan polutan mencapai puncaknya pada waktu kontak **90 menit** (COD 81,57% dengan Al-Al, Surfaktan 76,90% dengan Al-Fe, dan Fosfat 90,04% dengan Al-Fe), penelitian merekomendasikan **kondisi optimum operasional** yang berbeda. Dengan mempertimbangkan faktor efisiensi waktu dan biaya, **elektroda Al-Al dengan waktu kontak 45 menit** menjadi pilihan yang dianjurkan. Hal ini didasarkan pada temuan bahwa pada kondisi tersebut, konsentrasi semua pencemar telah berhasil diturunkan **di bawah baku mutu lingkungan**, sementara nilai pH akhir yang dihasilkan berada dalam kisaran yang mendekati standar baku mutu.

5. Pengakuan

Penelitian ini dapat terlaksana dengan dana penelitian dari Fakultas Teknik Universitas Mulawarman.

6. Daftar Pustaka

- Amri, I., Destinefa, P. And Zultiniar, Z. (2020) 'Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Air Bersih Dengan Metode Elektrokoagulasi Secara Kontinyu', *Chempublish Journal*, 5(1), Pp. 57–67. Doi: 10.22437/Chp.V5i1.7651.
- Apema, F. D., Rahayu, D. E., Adnan, F., *Et Al.* (2023) 'Penggunaan Media Sarang Tawon Dan Bioball Pada Biofilter Aerob Pada Pengolahan Limbah Cair Laundry', *Jurnal Teknologi Lingkungan Unmul*, 7(1), P. 81. Doi: 10.30872/Jtlunmul.V7i1.11809.
- Dewi, G. C., Joko, T. And Hanani, Y. (2015) 'Kemampuan Tawas Dan Serbuk Biji Asam Jawa (*Tamarindusindica*) Untuk Menurunkan Kadar Cod (Chemical Oxygen Demand) Pada Limbah Cair Laundry', *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 3(3), Pp. 745–753. Doi: <https://doi.org/10.14710/Jkm.V3i3.12737>.
- Fitriah, G. D., Kasim, K. P. And Purnomo, B. C. (2022) 'Penurunan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Bersih Dengan Metode Elektrokoagulasi', *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika Dan Masyarakat*, 22(2), P. 253. Doi: 10.32382/Sulolipu.V22i2.2897.
- Irwan, F. And Afdal, A. (2016) 'Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik Dengan Total Dissolved Solid (Tds) Dan Temperatur Pada Beberapa Jenis Air', *Jurnal Fisika Unand*, 5(1), Pp. 85–93. Doi: 10.25077/Jfu.5.1.85-93.2016.
- Jati, B. N. And Aviandharie, S. A. (2015) 'Kombinasi Teknologi Elektrokoagulasi Dan Fotokatalisis Dalam Mereduksi Limbah Berbahaya Dan Beracun Cr (Vi)', *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 37(2), P. 133. Doi: 10.24817/Jkk.V37i2.1822.
- Masrullita, M. *Et Al.* (2021) 'Pengaruh Waktu Dan Kuat Arus Pada Pengolahan Air Payau Menjadi Air Bersih Dengan Proses Elektrokoagulasi', *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 10(1), Pp. 111–122. Doi: 10.29103/Jtku.V10i1.4184.
- Mulyani, R., Si, M. And Nurani, C. V (2017) *Pengolahan Limbah Surfaktan Dengan Elektro-Oksidasi Kimia Termediasi Kobal (Bahan Ajar Aplikasi Kimia Terapan)*. Available At: www.penerbit-nurani.com.
- Juherah, J. And Ansar, M. (2019) 'Pengolahan Limbah Cair Dengan Elektrokoagulasi Dalam Menurunkan Kadar Fosfat(Po4) Pada Limbah Laundry', *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika Dan Masyarakat*, 18(2), P. 106. Doi: 10.32382/Sulolipu.V18i2.1142.
- Nurlaili, D. K. *Et Al.* (2024) 'Pengaruh Jarak Antar Plat Pada Elektrokoagulasi Terhadap Pengolahan Limbah Cair Industri Kecap', *Jurnal Serambi Engineering*, 1x(4), Pp. 11078–11088.
- Nurmaliakasih, D. Y., Syakur, A. And Zaman, B. (2017) *Penyisihan Cod Dan Bod Limbah Cair Industri Karet Dengan Sistem Horizontal Roughing Filtration (Hrf) Dan Plasma Dielectric Barrier Discharge (Dbd)*, *Jurnal Teknik Lingkungan*. Available At: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/Tlingkungan>
- Pungut, P., Al Kholif, M. And Pratiwi, W. D. I. (2021) 'Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (Cod) Dan Fosfat Pada Limbah Laundry Dengan Metode Adsorpsi', *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 13(2), Pp. 155–165. Doi: 10.20885/Jstl.Vol13.Iss2.Art6.

Rengkugegana, M. E. And Farahdiba, A. U. (2023) 'Efektivitas Metode Elektrokoagulasi Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Laundry', *Envirous*, 3(2). Doi: 10.33005/Envirous.V3i2.4.

Setiawan, A. *Et Al.* (2022) 'Efektifitas Penyisihan Fosfat Pada Air Limbah Menggunakan Metode Kombinasi Elektrokoagulasi Dan Fotokatalis Dengan Kaolin-Tio₂', *Metana*, 18(2), Pp. 105–113. Doi: 10.14710/Metana.V18i2.49639.

Wardana, D. S. And Alfarisi, M. R. (2024) *Optimasi Proses Elektrokoagulasi Untuk Pengolahan Limbah Ciprofloxacin*. Available At: <http://Eprints.Untirta.Ac.Id/Id/Eprint/39824>.

Yolanda, G. M. And Suprihatin (2015) *Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Dengan Proses Elektrokoagulasi*. Available At: <http://Repository.Ipb.Ac.Id/Handle/123456789/76964>.

Farida Hanum, Rondang Tambun, *Et Al.* (2015) 'Aplikasi Elektrokoagulasi Dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit', *Jurnal Teknik Kimia Usu*, 4(4), Pp. 13–17. Doi: 10.32734/Jtk.V4i4.1508.