

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR LAUNDRY MENGGUNAKAN KOMBINASI ELEKTROKOAGULASI DENGAN PLAT ALUMINIUM DAN ADSORPSI DENGAN KARBON AKTIF TEMPURUNG LONTAR

ANNA APRIANI MANIUK SOLO¹, MADALENA DA COSTA²

1. Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas San Pedro, Kupang-NTT

Email: annaamsolo@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengolahan limbah cair laundry menggunakan kombinasi metode elektrokoagulasi-adsorpsi. Adapun variasi dalam proses elektrokoagulasi diantaranya waktu elektrokoagulasi (20, 30, 60, dan 90 menit) dan rapat arus (12,5; 25; dan 75 A/m²). Sedangkan, variasi dalam proses adsorpsi diantaranya waktu kontak (30, 60, dan 90 menit) dan massa karbon aktif tempurung lontar (KATL) (0,5; 1,5; dan 3,0 gram). Hasil penelitian menunjukkan metode elektrokoagulasi-adsorpsi ini mampu menurunkan konsentrasi total fosfat, MBAS, COD, dan TSS dalam limbah cair laundry. Kombinasi proses ini menghasilkan efisiensi penyisihan total fosfat sebesar 95,57% (waktu adsorpsi 30 menit menggunakan 1,5 gram KATL); MBAS sebesar 85,22% (waktu adsorpsi 60 menit menggunakan 3,0 gram KATL); COD sebesar 96,21% (waktu adsorpsi 90 menit menggunakan 1,5 gram KATL); dan TSS sebesar 95,57% (waktu adsorpsi 90 menit menggunakan 3,0 gram KATL). Dalam Proses kombinasi ini berat aluminium yang terlarut sebesar 0,007 gr/L dengan konsumsi energi listrik sebesar 0,12 kWh/m³.

Kata kunci: elektrokoagulasi; adsorpsi; limbah cair laundry, lontar, plat aluminium.

ABSTRACT

A study was conducted on the treatment of laundry wastewater using a combined electrocoagulation-adsorption method. The electrocoagulation process variations included electrocoagulation time (20, 30, 60, and 90 minutes) and current density (12.5, 25, and 75 A/m²). Meanwhile, the adsorption process variations comprised contact time (30, 60, and 90 minutes) and the mass of papyrus shells activated carbon (KATL) (0.5, 1.5, and 3.0 grams). The results showed that this combination of the electrocoagulation-adsorption was effective to reducing the concentration of total phosphate, MBAS, COD, and TSS in laundry wastewater. The highest removal efficiencies achieved were 95.57% for total phosphate (at 30 minutes adsorption time with 1.5 grams KATL); 85.22% for MBAS (at 60 minutes adsorption time with 3.0 grams KATL); 96.21% for COD (at 90 minutes adsorption time with 1.5 grams KATL), and 95.57% for COD (at 90 minutes adsorption time with 3.0 grams KATL). In this combination process, the dissolved aluminium weight was 0.007 gr/L, with an electrical energy consumption of 0.12 kWh/m³.

Keywords: electrocoagulation; adsorption; laundry wastewater, lontar, aluminium electrode.

1. PENDAHULUAN

Usaha *laundry* (binatu) merupakan jasa mencuci, mengeringkan, menyetrika, serta meminimalisir tenaga dan waktu mencuci pakaian bagi masyarakat (Pratiwi dkk., 2021). Usaha *laundry* membutuhkan air sebanyak 15 L/Kg pakaian (Ho dkk., 2021). Dalam sehari usaha *laundry* mampu mencuci pakaian sebanyak 26-27 Kg/hari sehingga membutuhkan air bersih sebanyak 405 L/hari. Sebanyak 80% air bersih yang digunakan akan terkonversi menjadi limbah cair sebanyak 324 L/hari. Usaha *laundry* di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 15-20% per tahun yang berdampak pada peningkatan konsumsi air bersih serta produksi limbah cair (Oktiawan dkk., 2021). Limbah cair *laundry* mengandung total fosfat, natrium, kalium, magnesium, surfaktan, minyak, dan lemak yang berasal dari penggunaan detergen (Ho dkk., 2021). Kandungan tersebut dapat menyebabkan tingginya pH, TSS (*Total Suspended Solid*) (Dimoglo dkk., 2019), total fosfat (Oktiawan dkk., 2021), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan surfaktan anionik MBAS (Rengkugegana & Farahdiba, 2023) dalam limbah cair *laundry* sehingga tidak memenuhi baku mutu yang dibuang ke lingkungan dan dapat menyebabkan eutrofikasi. Eutrofikasi akan menyebabkan kelimpahan pertumbuhan alga yang berdampak pada peningkatan fitoplankton dan penurunan konsentrasi oksigen terlarut dalam air yang berujung pada kematian organisme air serta perubahan warna, rasa, dan bau akibat proses degradasi anaerobik (Akinnowo, 2023).

Kota Kupang merupakan daerah beriklim tropis dan kering yang hanya memiliki 49% luasan daerah dengan potensi air tanah tinggi sehingga kuantitas dan kualitas air sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi dan topografinya. Formasi geologi Kota Kupang yang didominasi oleh batuan gamping dengan porositas dan permeabilitas yang besar, serta kemiringan mencapai 25% (Sulaiman dkk., 2017) akan menyebabkan limbah cair *laundry* mudah mengalami infiltrasi ke dalam tanah dan mudah mengalami perlimpasan ke badan air permukaan. Berdasarkan hasil observasi terhadap beberapa usaha *laundry* di Kota Kupang, limbah cair *laundry* yang dihasilkan umumnya dibuang ke saluran air, tanah, ataupun sungai sekitar tanpa diolah terlebih dahulu. Hal tersebut dapat menyebabkan tingginya potensi pencemaran air akibat adanya infiltrasi dan limpasan dari limbah cair *laundry* ke dalam air tanah maupun air permukaan. Selain itu, kesuburan alga pada beberapa wilayah di Kota Kupang relatif tinggi dan beragam sehingga jika ada zat pencemar yang masuk ke dalam air akan semakin cepat pertumbuhan alga sehingga dapat merusak ekosistem perairan (Andini dkk., 2023). Oleh sebab itu, sebelum limbah cair *laundry* dibuang ke lingkungan perlu diolah terlebih dahulu untuk menjaga kualitas dan kuantitas air ditengah kelangkaan air dan juga sebagai upaya pencegahan peristiwa eutrofikasi.

Metode elektrokoagulasi adalah salah satu metode yang digunakan dalam pengolahan limbah cair *laundry* dengan menggunakan elektroda aluminium (Al). Metode ini melibatkan tiga proses, diantaranya elektrokimia, sedimentasi, dan flotasi. Proses ini memiliki keunggulan dimana tidak adanya penambahan bahan kimia selama proses pengolahan sehingga tidak ada polutan baru yang muncul. Namun, proses ini memiliki kelemahan diantaranya konsumsi energi yang tinggi dan adanya kemungkinan elektroda pasivasi (pasifnya elektroda karena korosi) akibat penggunaan yang terlalu sering sehingga menyebabkan arus listrik menurun yang berdampak pada penurunan efisiensi penyisihan air limbah. Oleh sebab itu perlu dilakukan kombinasi metode elektrokoagulasi dengan metode adsorpsi untuk mengatasi masalah tersebut. Kombinasi dengan metode adsorpsi dapat, mencegah pasivasi elektroda, mengurangi konsumsi listrik berlebih dalam pengolahan, dan meningkatkan efisiensi penyisihan kontaminan. Selain itu, bahan adsorben yang digunakan dalam proses lanjutan ini menggunakan menggunakan karbon aktif tempurung lontar yang mudah didapat, melimpah di alam, dan ekonomis karena merupakan limbah pertanian lokal

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan mulai dari bulan Juli sampai November 2024. Sampel limbah cair diambil dari salah satu lokasi usaha *laundry* yang terletak di Kelurahan Oebufu, Kecamatan Oebobo, Kota Kupang Nusa Tenggara Timur pada titik koordinat 10°10'31.23"S dan 123°37'15.07"E. Pengambilan sampel dilakukan pada pipa saluran pembuangan air limbah *laundry* dengan menggunakan metode *grab sampling* berdasarkan SNI 06-6980-2005. Sedangkan tempurung lontar yang digunakan dalam penelitian ini diambil di Kelurahan Oesapa, Kecamatan Kelapa Lima, Kota Kupang Nusa Tenggara Timur pada titik koordinat 10°8'26,27"S dan 123°39'19.44"E.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol sampel, *magnetic stirrer*, gelas beker, labu erlenmeyer, pH indikator, corong, oven, desikator, *drum klin*, reaktor elektrokoagulasi (berukuran P10 cm x L15 cm x T10 cm dan berbahan akrilik), plat aluminium, power supply, kabel penjepit buaya, dan kolom batch adsorpsi (berukuran P10 cm x L15 cm x T10 cm dan berbahan akrilik), dan batang pengaduk. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tempurung lontar, limbah cair *laundry*, larutan H₂SO₄ 0,1M, aquades, dan kertas saring Whatman 41.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Karakterisasi Awal Limbah Cair *Laundry*

Air limbah *laundry* dianalisis konsentrasi awal parameter total fosfat, MBAS, COD, dan TSS sebelum digunakan. Analisis sampel dilakukan di UPTD Laboratorium Lingkungan DLHK Provinsi NTT.

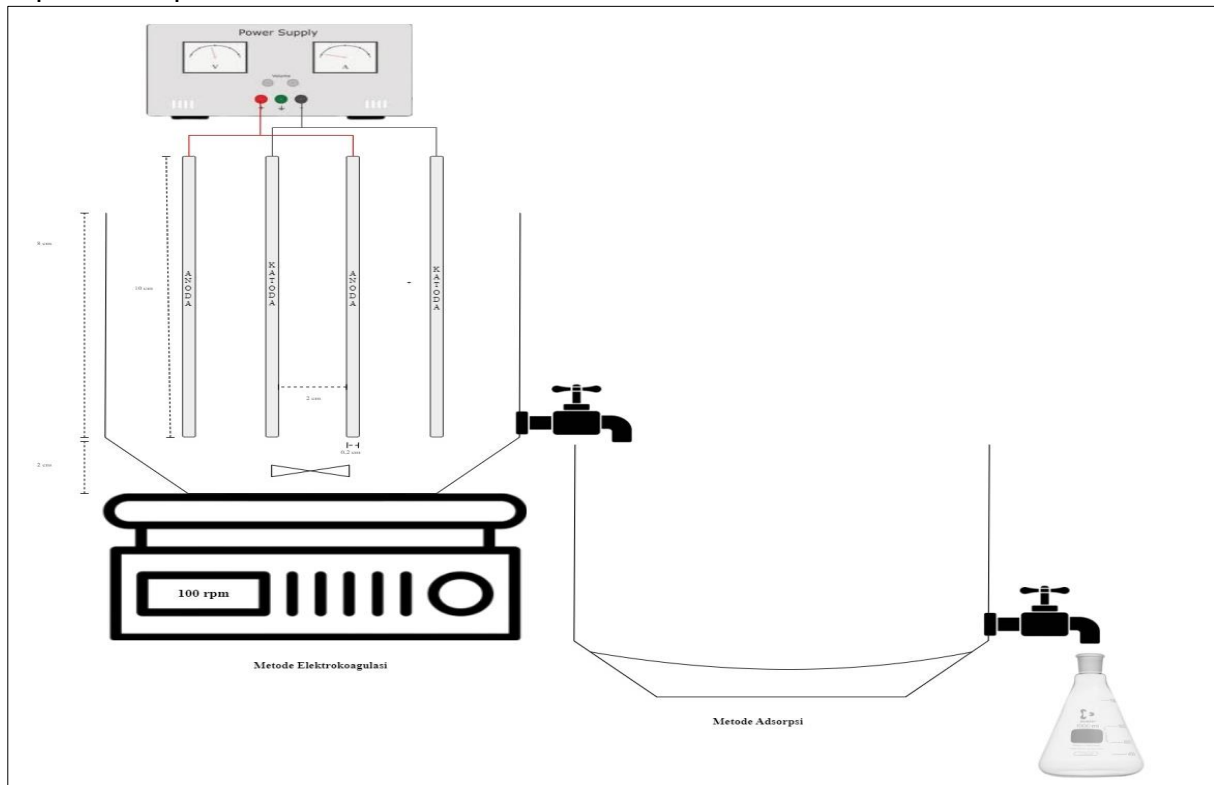
2.3.1 Preparasi Karbon Aktif

Tempurung lontar yang digunakan diambil dan dipisahkan dari kulit, sabut, dan daging buahnya. Kemudian dicuci dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama 12 jam. Setelah dikeringkan, tempurung lontar dikarbonasi menggunakan *drum klin* pada suhu 300-500°C selama 2 jam. Setelah proses karbonasi, karbon tempurung lontar didinginkan pada desikator. Karbon tempurung lontar digerus dan diayak dengan ayakan 200 mesh sehingga diperoleh serbuk karbon tempurung lontar berukuran 0,074 µm. Serbuk karbon tersebut kemudian diaktivasi dengan larutan H₂SO₄ 0,1M dengan perbandingan 1:2 selama 24 jam. Karbon yang sudah diaktivasi dicuci dengan aquades sampai pH filtrat menjadi netral (pH=7). Setelah itu, dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C dan didinginkan dalam desikator sehingga diperoleh karbon aktif tempurung lontar (KATL).

2.3.2 Perancangan Reaktor Elektrokoagulasi-Adsorpsi

Reaktor elektrokoagulasi-adsorpsi yang dirancang terbuat dari 2 unit reaktor yang terbuat dari kaca akrilik dengan tebal 0,2 cm. Masing-masing reaktor berukuran P10 cm x L15 cm x T10 cm. Volume reaktor tersebut adalah 1.500 cm³ dan jumlah air limbah *laundry* yang diolah sebanyak 1L. Reaktor elektrokoagulasi dilengkapi dengan 4 buah plat Aluminium (Al) yang dialiri oleh arus listrik DC (*Direct Current*) sehingga menghasilkan perbedaan muatan potensial yang mengakibatkan adanya reaksi reduksi dan oksidasi. Plat aluminium yang digunakan berukuran 4 cm x 10 cm. Dimana, dalam proses elektrokoagulasi ini plat elektroda Al disusun secara paralel monopolar. Penyusunan jarak antar elektroda Al juga diatur dengan

jarak 2 cm. Gambar reaktor elektrokoagulasi-adsorpsi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Reaktor Elektrokoagulasi-Adsorpsi

2.3.3 Penentuan Waktu Optimum Dalam Pengolahan Limbah Cair *Laundry* Menggunakan Metode Elektrokoagulasi

Penentuan waktu optimum dalam pengolahan limbah cair *laundry* menggunakan metode elektrokoagulasi dilakukan dengan variasi waktu 20, 30, 60, dan 90 menit dengan menggunakan limbah cair *laundry* sebanyak 1 Liter. Tegangan listrik yang diberikan sebesar 3 Volt dengan kuat arus sebesar 0,02 A. Selama Proses elektrokoagulasi, dilakukan pengadukan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Limbah cair *laundry* yang telah diolah dengan proses elektrokoagulasi ini diamkan selama 15 menit dan diukur konsentrasi total fosfat, MBAS, COD, dan TSS. Setelah itu dihitung efisiensi penyisihannya. Nilai efisiensi menunjukkan besarnya penurunan konsentrasi parameter. Efisiensi penyisihan yang tinggi pada waktu tertentu menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi berjalan efektif. Waktu elektrokoagulasi yang menghasilkan efisiensi penyisihan parameter total fosfat, MBAS, COD, dan TSS yang tertinggi kemudian ditetapkan sebagai waktu elektrokoagulasi optimum.

2.3.4 Penentuan Rapat Arus Optimum Dalam Pengolahan Limbah Cair *Laundry* Menggunakan Metode Elektrokoagulasi

Penentuan rapat arus optimum dalam pengolahan limbah cair *laundry* menggunakan metode elektrokoagulasi dilakukan dengan variasi tegangan listrik sebesar 3V, 6V, dan 9 V. Dicatat kuat arus yang dihasilkan ketika divariasikan tegangan listrik dan luas plat tercelup untuk menghitung rapat arus yang dihasilkan. Proses elektrokoagulasi berlangsung selama waktu pengolahan optimum yang diperoleh pada penentuan waktu pengolahan optimum. Pengolahan dilakukan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Limbah cair *laundry* yang telah diolah dengan proses elektrokoagulasi ini diamkan selama 15 menit dan diukur konsentrasi total fosfat, MBAS, COD, dan TSS. Setelah itu dihitung efisiensi penyisihannya.

Rapat arus yang menghasilkan efisiensi penyisihan parameter total fosfat, MBAS, COD, dan TSS yang tertinggi kemudian ditetapkan sebagai rapat arus optimum.

2.3.5 Penentuan Waktu Optimum Dalam Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Metode Adsorpsi

Sebanyak 1 gram KATL direaksikan dengan 500 mL limbah cair laundry kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 100 rpm pada variasi waktu pengolahan 30, 60, dan 90 menit. Hasil pengolahan disaring menggunakan kertas saring Whatman 41. Kemudian hasil pengolahan diukur konsentrasi total fosfat, MBAS, COD, dan TSS. Setelah itu dihitung efisiensi penyisihannya. Waktu adsorpsi yang menghasilkan efisiensi penyisihan parameter total fosfat, MBAS, COD, dan TSS yang tertinggi kemudian ditetapkan sebagai waktu waktu adsorpsi optimum.

2.3.6 Penentuan Massa Adsorben Optimum Dalam Proses Adsorpsi

Sebanyak 0,5; 1,5; dan 3,0 gram KATL direaksikan dengan 500 mL limbah cair laundry kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 100 rpm selama waktu kontak optimum. Kemudian larutan disaring menggunakan kertas saring Whatman 41 dan diukur konsentrasi total fosfat, MBAS, COD, dan TSS. Setelah itu dihitung efisiensi penyisihannya. dengan waktu tersebut proses adsorpsi telah berjalan optimum ditunjukan dengan nilai efisiensi yang tinggi. Massa adsorpsi yang menghasilkan efisiensi penyisihan parameter total fosfat, MBAS, COD, dan TSS yang tertinggi kemudian ditetapkan sebagai massa adsorpsi optimum.

2.3.7 Pengolahan Air Limbah Laundry dengan Metode Kombinasi Elektrokoagulasi-Adsorpsi

Sebanyak 1 Liter limbah cair laundry dimasukan dalam reaktor elektrokoagulasi dan diberi tegangan listrik yang menghasilkan rapat arus optimum dan direaksikan selama waktu elektrokoagulasi optimum. Kemudian didiamkan selama 15 menit. Selanjutnya hasil pengolahan dalam proses elektrokoagulasi diolah lagi dalam reaktor adsorpsi yang berisi KATL sebanyak massa adsorben optimum. Kemudian diaduk dengan kecepatan 100 rpm selama waktu adsorpsi optimum. Kemudian larutan hasil pengolahan disaring menggunakan kertas saring Whatman 41 dan diukur konsentrasi total fosfat, MBAS, COD, dan TSS. Setelah itu dihitung efisiensi penyisihannya sehingga diperoleh efisiensi penyisihan konsentrasi total fosfat, MBAS, COD, dan TSS dalam proses pengolahan dengan kombinasi metode elektrokoagulasi-adsorpsi.

2.4 Analisis Data

2.4.1. Penentuan Rapat Arus

Rapat arus ditentukan dengan menggunakan persamaan 1.

$$\text{Rapat arus (A/m}^2\text{)} = \frac{\text{kuat arus (A)}}{\sum \text{sisi} \times \text{luas penampang (m}^2\text{)}} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 1}$$

1.4.2. Penentuan Efisiensi Penyisihan

Penentuan efisiensi penyisihan total fosfat, MBAS, COD dan TSS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$\text{Efisiensi (E)} = \frac{\text{Influen}-\text{Efluen}}{\text{Influen}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 2}$$

Dimana:

Influen = Konsentrasi awal (mg/L)

Effluen = Konsentrasi akhir setelah pengolahan (mg/L)

1.4.3. Penentuan Berat Aluminium Terlarut

Berat Anoda yang terlarut dihitung dengan persamaan 3.

$$\text{Berat Anoda terlarut}(M_w) = \frac{I \times t \times M_w}{Z \times F \times V} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 3}$$

Dimana:

I = Kuat Arus (A)

T = waktu elektrokoagulasi (detik)

M_w = Berat Molekul Al

Z = Jumlah elektron

V = Volume Air Limbah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Awal Limbah Cair *Laundry*

Hasil pengukuran konsentrasi awal limbah cair *laundry* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi Awal Air Limbah <i>Laundry</i>			
Parameter	Konsentrasi	Satuan	Baku Mutu
Total fosfat (PO ₄ -P)	1,354	mg/L	10*
MBAS	1,204	mg/L	10*
COD	844,41	mg/L	80**
TSS	196	mg/L	30**
pH	8	-	6-9**

* Baku Mutu Sesuai PermenLHK No 5 Tahun 2014

** Baku Mutu Air Limbah Domestik Nonkaku yang dibuang ke drainase sesuai PermenLHK No 11 Tahun 2025

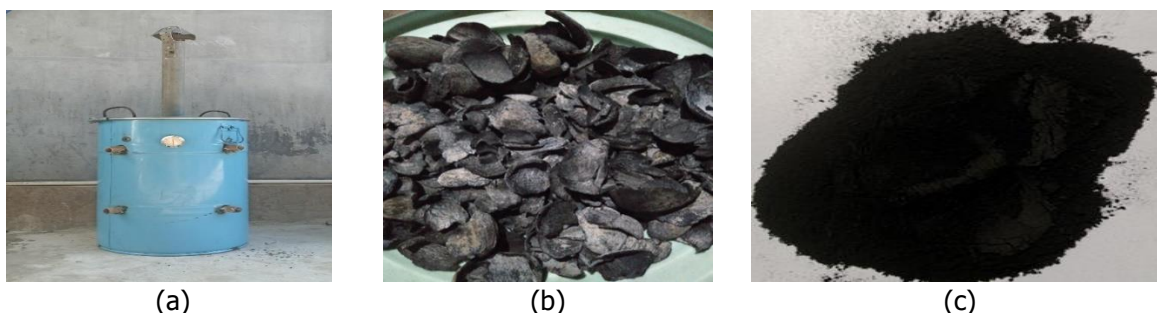
Limbah cair *laundry* tergolong dalam air limbah domestik. Berdasarkan tabel diatas, terlihat bahwa parameter COD dan TSS dalam limbah cair *laundry* belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan pada lampiran I Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 11 tahun 2021 tentang baku mutu air limbah domestik dan standar teknologi pengolahan air limbah domestik. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan untuk mencegah pencemaran lingkungan.

3.2 Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif Tempurung Lontar (KATL)

KATL dihasilkan dari proses karbonasi tempurung lontar yang dilanjutkan dengan proses aktivasi secara kimia menggunakan aktivator H₂SO₄. Tujuan karbonasi adalah untuk menguraikan komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin menjadi unsur karbon (Rodrigues & Braghini Junior, 2019) dan mengeluarkan senyawa-senyawa non karbon yang ada dalam tempurung lontar (Ifa dkk., 2021).

Berdasarkan hasil pengamatan, pada proses karbonasi selama 30 menit dengan suhu 360°C dihasilkan asap hitam dan berbau yang keluar dari cerobong *drum klin*. Hal ini menunjukkan

adanya dehidrasi gugus hidroksil yang menyebabkan pemutusan ikatan glikosidik dan cincin piran sehingga terjadi pembentukan oligosakarida, asam, keton, CO_2 , CO, dan produk lainnya. Ketika suhu meningkat menjadi 400°C pada proses karbonasi selama 60 menit, terdapat asap berwarna putih yang keluar dari cerobong *drum klin* dan muncul asap cair atau tar. Hal ini menandakan adanya pembentukan gas CO_2 dan CO serta pemutusan ikatan C-O dan C-C pada struktur selulosa sehingga terbentuk levoglucosan yang akan menjadi asap cair atau tar. Kemudian ketika suhu meningkat menjadi 420°C pada proses karbonasi selama 120 menit, terbentuk asap yang tidak berwarna yang menunjukkan bahwa terjadi pembentukan gas CH_4 dan H_2 serta sudah adanya struktur grafite karbon yang terbentuk sehingga proses karbonasi dihentikan (Chen dkk., 2022). Hasil karbonasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Gambar (a) Desain *drum klin*; (b) Karbon Tempurung Lontar; dan (c) Serbuk Karbon Tempurung Lontar

Setelah dikarbonasi, karbon tempurung lontar diaktivasi menggunakan larutan H_2SO_4 . Tujuan aktivasi ini adalah untuk menghilangkan pengotor yang masih terikat pada karbon, meningkatkan luas permukaan, dan meningkatkan kemampuan penyerapan adsorben (Nitsae dkk., 2021). Karbon aktif yang dihasilkan digunakan sebagai adsorben dalam kombinasi metode elektrokoagulasi-adsorpsi untuk menurunkan parameter total fosfat, MBAS, COD, dan TSS dalam limbah cair *laundry*. Berdasarkan hasil analisis kadar air dan kadar abu, kualitas karbon aktif yang dihasilkan memenuhi mutu karbon yang dipersyaratkan dalam SNI 06-3730-1995. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 2.

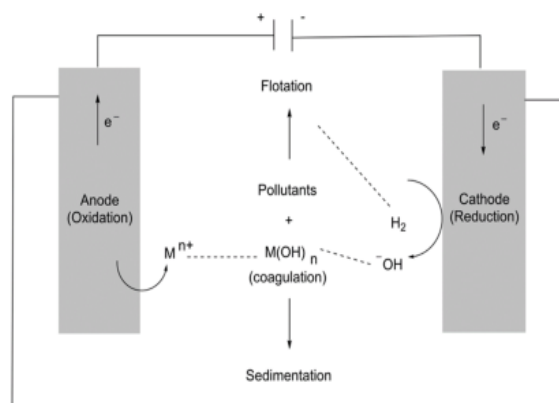
Tabel 2. Kadar Air dan Kadar Abu Karbon Aktif Tempurung Lontar

No.	Parameter	Karbon Aktif Tempurung Lontar	Baku Mutu	Pemenuhan Baku Mutu
1.	Kadar Air	12,10 %	≤ 15 %	Memenuhi
2.	Kadar Abu	2,5 %	≤ 10 %	Memenuhi

3.3 Kondisi Optimum Dalam Pengolahan dengan Metode Elektrokoagulasi

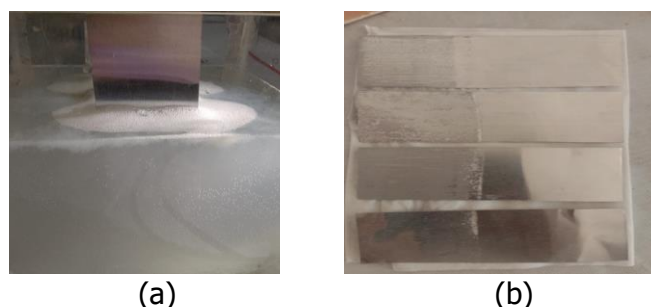
Metode elektrokoagulasi adalah salah satu metode pengolahan air dan air limbah dengan menggunakan arus listrik yang dialirkan melalui elektroda untuk mendestabilkan polutan dalam larutan elektrolit. Metode ini melibatkan 4 proses diantaranya elektrolisis, koagulasi, flotasi dan sedimentasi. Dalam proses elektrokoagulasi, elektroda yang diberi arus positif (anoda) akan mengalami reaksi oksidasi menghasilkan pelarutan logam elektroda (M^{n+}). Selain itu, elektroda yang diberi arus negatif (katoda) akan mengalami reaksi reduksi sehingga air akan terurai dan menghasilkan ion OH^- dan gas H_2 . Ion OH^- dan kation logam terlarut (M^{n+}) akan saling berinteraksi membentuk koagulan logam hidroksida ($\text{M}(\text{OH})_n$) yang memicu terjadinya proses koagulasi polutan sehingga terbentuk flok. Flok yang dihasilkan

kemudian terdorong naik ke atas permukaan oleh gas H_2 sehingga terjadi proses flotasi. Selain itu, beberapa logam yang dihasilkan akan mengikat polutan dan terendap ke dasar reaktor melalui proses sedimentasi (Bharti dkk., 2023). Mekanisme proses elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme Proses Elektrokoagulasi (Jovanović dkk., 2021)

Berdasarkan hasil pengamatan selama proses pengolahan limbah cair *laundry* menggunakan metode elektrokoagulasi, terlihat adanya gelembung gas yang naik ke permukaan air dan scum pada permukaan air. Hal ini menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi telah terjadi. Adanya gas H_2 yang mendorong flok naik ke permukaan dan membentuk scum menunjukkan bahwa proses flotasi telah terjadi. Selain itu, tampak adanya pori-pori pada permukaan plat elektroda Al setelah proses elektrokoagulasi. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi pelarutan logam Aluminium dalam air (Pramastya, 2023). Kondisi plat Aluminium selama proses dan setelah proses elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kondisi plat Aluminium (a) Saat Proses Elektrokoagulasi dan (b) Setelah Proses Elektrokoagulasi

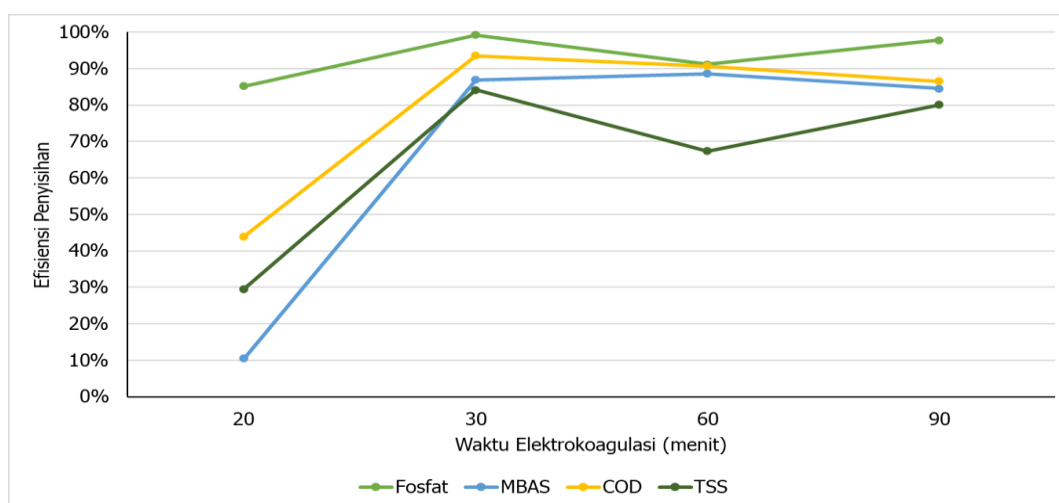
3.3.1 Waktu Optimum Dalam Pengolahan Limbah Cair *Laundry* Menggunakan Metode Elektrokoagulasi

Waktu pengolahan dalam metode elektrokoagulasi adalah faktor operasional yang berpengaruh terhadap keberhasilan proses elektrokoagulasi. Ketika waktu pengolahan ditingkatkan, pelarutan anoda akan meningkat dan terjadi peningkatan pembentukan koagulan logam hidroksida. Dengan demikian, pembentukan flok yang dihasilkan dari interaksi antara koagulan dan polutan akan meningkat dan menyebabkan peningkatan efisiensi penyisihan polutan. Namun, ketika waktu pengolahan optimal telah tercapai, efisiensi penyisihan akan konstan dan bahkan menurun karena tidak tersedianya sejumlah flok (Boinpally dkk., 2023).

Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi penyisihan total fosfat, COD, dan TSS meningkat dengan adanya peningkatan waktu pengolahan dari 20 – 30 menit. Hal ini terjadi karena

adanya peningkatan pelarutan elektroda Al sehingga koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dapat diproduksi dan membentuk flok dengan polutan dalam limbah cair *laundry*. Koagulan tersebut dihasilkan dari interaksi antara Al^{3+} dan OH^- yang dihasilkan dari reaksi redoks selama arus diberikan kepada elektroda Al pada waktu pengolahan 20-30 menit. Namun, ketika waktu pengolahan ditingkatkan menjadi 60-90 menit efisiensi penyisihan total fosfat, COD, dan TSS mengalami penurunan hal ini terjadi karena karena tidak terbentuknya sejumlah flok antara koagulan dan polutan akibat pembentukan gas H_2 dan O_2 yang berlebih.

Berdasarkan hasil analisis efisiensi penyisihan parameter pada Gambar 5, waktu optimum dalam pengolahan limbah cair *laundry* menggunakan metode elektrokoagulasi adalah 30 menit dengan efisiensi penyisihan total fosfat, MBAS, COD, dan TSS secara berturut-turut sebesar 99,26%; 86,98%; 93,53%; dan 84,18%.



Gambar 5. Efisiensi Penyisihan Parameter Pada Variasi Waktu Pengolahan Dengan Metode Elektrokoagulasi

3.3.2 Rapat Arus Optimum Dalam Metode Elektrokoagulasi

Rapat arus (A/m^2) menyatakan besarnya kuat arus per luas penampang elektroda yang tercelup. Rapat arus menunjukan jumlah ion logam yang terlarut dari permukaan elektroda. Rapat arus merupakan faktor operasional yang berpengaruh terhadap ukuran flok, laju pembentukan gelembung gas, dan dosis koagulan. Peningkatan rapat arus akan meningkatkan laju pelarutan anoda sehingga jumlah flok logam hidroksida semakin meningkat dan meningkatkan efisiensi penyisihan polutan (Bharti dkk., 2023). Selain itu, peningkatan rapat arus akan meningkatkan jumlah gelembung gas dan mengurangi ukuran flok sehingga proses flotasi dapat berjalan cepat dan efisiensi penyisihan polutan semakin tinggi (Graça & Rodrigues, 2022).

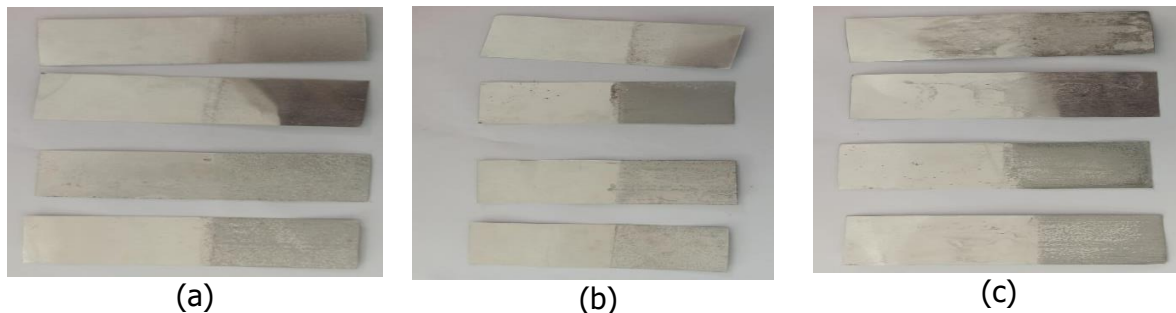
Penentuan rapat arus optimum dilakukan pada variasi tegangan sebesar 3V, 6V, dan 9V dengan menggunakan limbah cair *laundry* sebanyak 1L. Tegangan listrik yang diberikan akan menghasilkan kuat arus dan rapat arus yang terinci dalam Tabel 3. Proses elektrokoagulasi berlangsung selama 30 menit dimana waktu ini adalah waktu elektrokoagulasi optimum yang didapat pada perlakuan sebelumnya. Berdasarkan Hukum Faraday terjadinya dekomposisi massa aluminium (Al) berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan. Semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin banyak plat Al yang terlarut di dalam air. Hal ini akan meningkatkan pembentukan koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang mendorong pembentukan flok yang lebih banyak (Yang dkk., 2022) sehingga mempercepat penghilangan kontaminan

dalam limbah cair *laundry*.

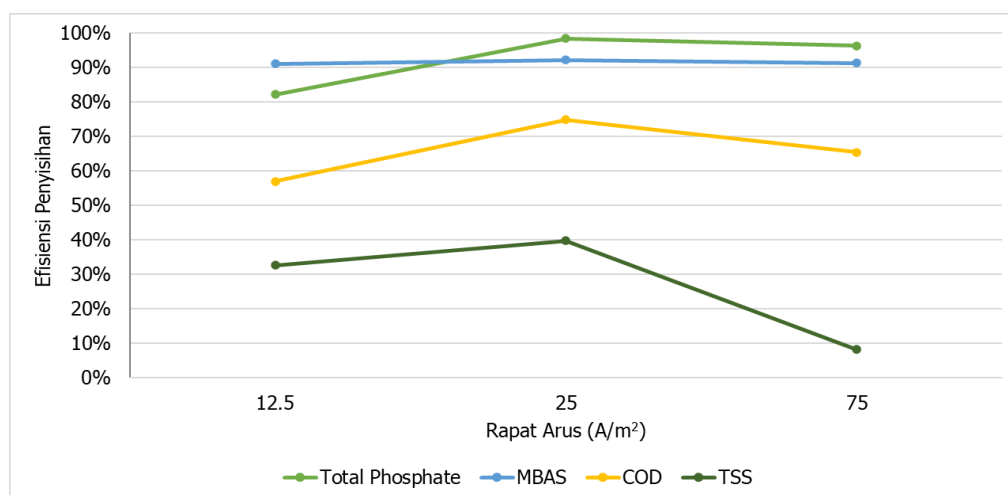
Tabel 3. Tegangan, Kuat Arus dan Rapat Arus Dalam Proses Elektrokoagulasi Limbah cair *Laundry*

Tegangan (V)	Kuat Arus (A)	Luas Plat Terselup (m ²)	Rapat Arus (A/m ²)
3	0,02	0,0016	12,5
6	0,04	0,0016	25
9	0,12	0,0016	75

Berdasarkan hasil pengamatan, plat anoda Al yang diberi tegangan listrik sebesar 9V dengan rapat arus sebesar 75 A/m² memiliki permukaan dengan penampakan pori yang lebih banyak setelah proses adsorpsi dibandingkan dengan plat Al yang diberi tegangan listrik 3V dan 6V. Hal ini menunjukkan bahwa rapat arus yang tinggi menghasilkan pelarutan plat Al yang relatif banyak sehingga dapat berpotensi meningkatkan pembentukan koagulan Al(OH)₃. Gambar Plat Al setelah proses elektrokoagulasi pada variasi rapat arus dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kondisi Plat Al Setelah Proses Elektrokoagulasi Dengan (a) Rapat Arus 12,5 A/m²; (b) Rapat Arus 25 A/m²; dan (c) Rapat Arus 75 A/m²



Gambar 7. Efisiensi Penyisihan Parameter Pada Variasi Rapat Arus

Berdasarkan hasil analisis efisiensi penyisihan parameter pada Gambar 7, efisiensi penyisihan total fosfat, MBAS, COD, dan TSS akan naik dengan adanya peningkatan rapat arus dari 12,5–25 A/m². Hal ini disebabkan oleh laju pelarutan anoda Al yang semakin tinggi akibat reaksi oksidasi sehingga pembentukan ion Al³⁺ akan semakin cepat. Selain itu, peningkatan

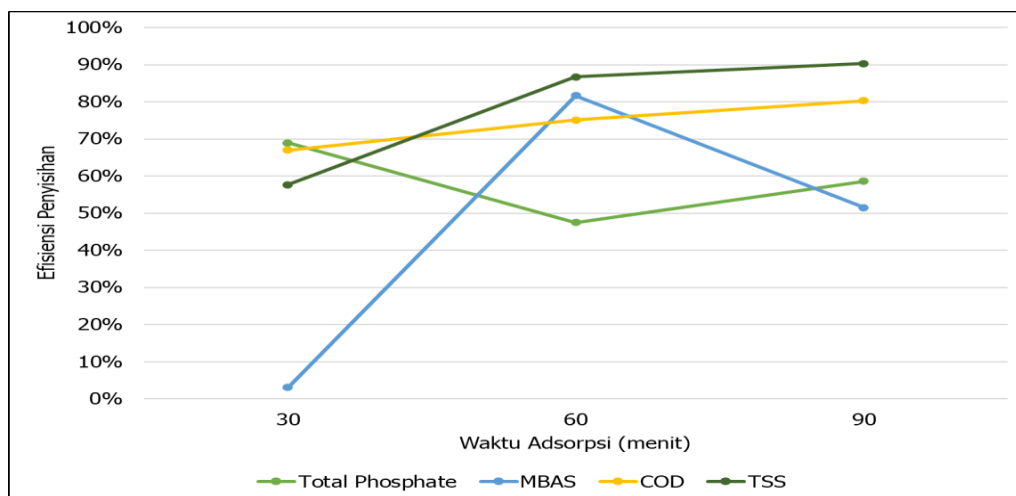
rapat arus juga berdampak pada peningkatan pembentukan ion OH^- akibat reaksi oksidasi. Peningkatan pembentukan Al^{3+} dan OH^- sehingga mendorong terbentuknya koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang lebih banyak dan mengikat polutan dalam limbah cair *laundry*. Namun ketika rapat arus dinaikan, efisiensi penyisihan total fosfat, MBAS, COD, dan TSS menjadi relatif kecil. Hal ini dapat disebabkan oleh terbentuknya endapan flok yang berukuran lebih kecil dan kurang stabil akibat adanya pembentukan gas H_2 dan O_2 yang berlebih selama proses elektrolisis. Selain itu, dapat juga disebabkan oleh terbentuknya lapisan oksida di permukaan elektroda yang dapat menghambat pelepasan ion Al sehingga elektroda Al mengalami pasivasi. Rapat arus optimum untuk pengolahan limbah cair *laundry* menggunakan metode elektrokoagulasi adalah 25 A/m^2 dengan persentase efisiensi penyisihan total fosfat, MBAS, COD, dan TSS masing-masing sebesar 98,52%; 92,26%; 74,87%; dan 39,80%. Berdasarkan hasil analisis terhadap efisiensi penyisihan parameter total fosfat, MBAS, COD, dan TSS, maka kondisi optimum dalam pengolahan limbah cair *laundry* menggunakan metode elektrokoagulasi adalah 30 menit dengan rapat arus sebesar 25 A/m^2 .

3.4 Kondisi Optimum Dalam Pengolahan Limbah Cair *Laundry* Menggunakan Metode Adsorpsi

3.4.1 Waktu Pengolahan Optimum Dalam Metode Adsorpsi

Waktu adsorpsi merupakan faktor operasional yang penting dalam proses adsorpsi. Adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorben akan berlangsung cepat pada waktu pengolahan tahap awal. Namun, akan berlangsung lambat ketika situs aktif adsorben menjadi jenuh (Ifa dkk., 2021).

Efisiensi penyisihan MBAS, COD, dan TSS akan meningkat pada tahap awal selama waktu kontak 30 – 60 menit. Hal ini disebabkan karena banyaknya situs aktif yang tersedia pada permukaan KATL. Hal ini disebabkan oleh laju adsorpsi awal yang cepat sehingga mempengaruhi peningkatan efisiensi penyisihan MBAS, COD, dan TSS. Ketika waktu kontak ditingkatkan menjadi 90 menit, proses melambat dan laju adsorpsi menurun. Hal ini karena situs aktif pada permukaan KATL telah ditempati oleh adsorbat. Akhirnya, sistem mencapai kesetimbangan, dan laju adsorpsi menyeimbangkan laju desorpsi.



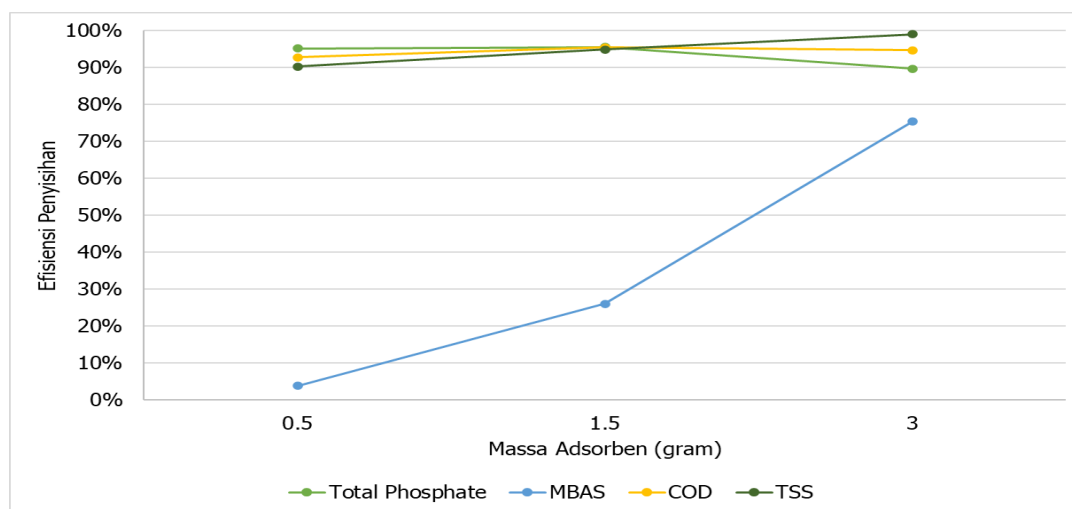
Gambar 8. Efisiensi Penyisihan Parameter Pada Variasi Waktu Adsorpsi

Berdasarkan analisis efisiensi penyisihan pada Gambar 8, waktu kontak optimum untuk menurunkan total fosfat, MBAS, COD, dan TSS dalam limbah cair *laundry* secara berturut-turut adalah 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 90 menit dengan efisiensi penyisihan secara berturut-turut sebesar 68,98%; 81,73%; 80,31%; dan 90,31%.

3.4.2 Massa Adsorben Optimum Dalam Metode Adsorpsi

Massa adsorben mempengaruhi adsorpsi adsorbat dan waktu kesetimbangan yang dapat menginformasikan ketersediaan tempat bagi pengikatan adsorbat dan luas permukaan adsorbat. Namun, kapasitas adsorpsi dapat menurun melampaui jumlah adsorben optimal karena adanya situs aktif yang jenuh (Titchou dkk., 2021).

Berdasarkan hasil analisis efisiensi penyisihan pada Gambar 9, efisiensi penyisihan total fosfat, MBAS, COD, dan TSS akan meningkat dengan peningkatan massa KATL dari 0,5 – 3 gram. Massa KATL optimum untuk menyisihkan total fosfat dan COD pada limbah cair *laundry* adalah 1,5 gram dengan efisiensi penyisihan secara berturut-turut sebesar 95,57% dan 95,42%. Penggunaan massa adsorben KATL sampai dengan 1,5 gram dapat menurunkan efisiensi penyisihan total fosfat dan COD dikarenakan adanya situs aktif yang tidak jenuh. Selain itu, massa KATL optimum untuk menyisihkan MBAS dan TSS pada limbah cair *laundry* adalah 3,0 gram dengan persentase efisiensi penyisihan secara berturut-turut sebesar 75,42% dan 98,98%.

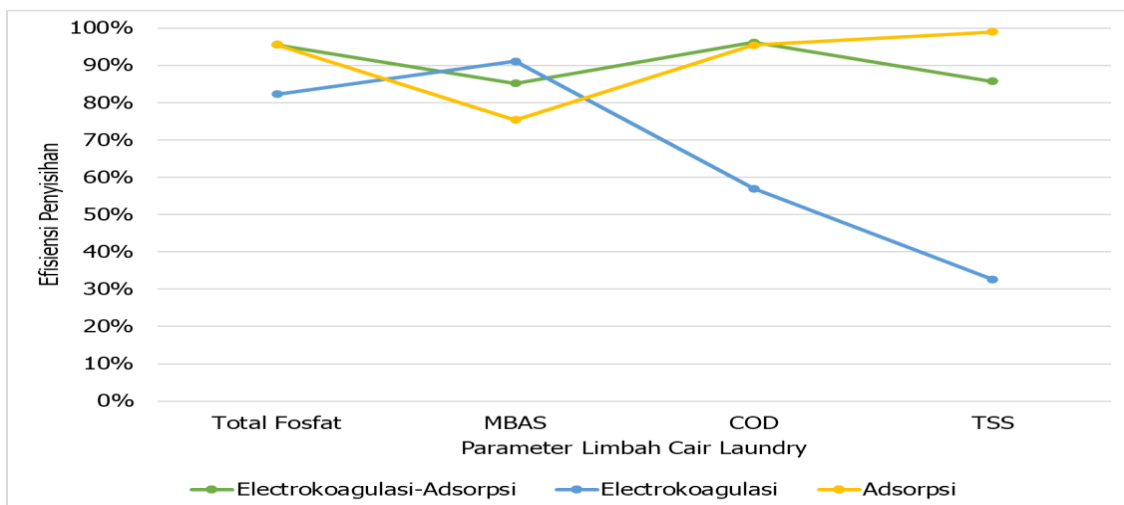


Gambar 9. Efisiensi Penyisihan Parameter Pada Variasi Massa Adsorben

3.5 Pengolahan Limbah Cair *Laundry* dengan Metode Kombinasi Elektrokoagulasi-Adsorpsi

Pengolahan limbah cair *laundry* diawali dengan proses elektrokoagulasi menggunakan plat Al selama 30 menit dengan rapat arus 25 A/m². Pengolahan ini akan melarutkan anoda Al sebesar 0,007 gr/L. Selanjutnya hasil pengolahan diolah kembali menggunakan metode adsorpsi dengan menggunakan waktu adsorpsi optimum dan dosis KATL optimum.

Berdasarkan hasil analisis efisiensi penyisihan parameter pada Gambar 10, efisiensi penyisihan total fosfat, MBAS, COD, dan TSS pada limbah cair *laundry* meningkat setelah diolah menggunakan kombinasi elektrokoagulasi dan adsorpsi. Kombinasi elektrokoagulasi dan adsorpsi mampu menyisihkan polutan dalam limbah cair *laundry* dengan efisiensi penyisihan total fosfat, MBAS, COD, dan TSS masing-masing sebesar 95,57%; 85,22%; 96,21%; dan 85,71%.



Gambar 10. Efisiensi Penyisihan Parameter Dalam Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Kombinasi Elektrokoagulasi-Adsorpsi

Metode gabungan elektrokoagulasi-adsorpsi merupakan pendekatan yang menjanjikan karena dapat meningkatkan penyisihan polutan seperti total fosfat dan COD dalam limbah cair *laundry*. Selain itu, metode gabungan elektrokoagulasi-adsorpsi ini dapat meningkatkan efisiensi penyisihan polutan dalam limbah cair *laundry* menggunakan arus listrik yang relatif rendah dan waktu yang lebih singkat. Berdasarkan hasil analisis, konsumsi energi untuk pengolahan limbah cair *laundry* menggunakan metode ini adalah 0,12 kWh/m³.

4. KESIMPULAN

Kombinasi elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium dan adsorpsi dengan Karbon Aktif Tempurung Lontar (KATL) dapat menurunkan total fosfat, MBAS, COD, dan TSS pada limbah cair *laundry*. Kombinasi elektrokoagulasi-adsorpsi dapat menurunkan total fosfat dari limbah cair *laundry* sebesar 95,57% pada waktu elektrokoagulasi 30 menit dengan rapat arus 25 A/m² dan waktu adsorpsi selama 30 menit dengan massa KATL sebesar 1,5 gram. Kombinasi elektrokoagulasi-adsorpsi dapat menurunkan MBAS dari limbah cair *laundry* sebesar 85,22% dengan pada elektrokoagulasi 30 menit dengan rapat arus sebesar 25 A/m² dan waktu adsorpsi selama 60 menit dengan massa KATL sebesar 3,0 gram. Selain itu, dapat juga menurunkan 96,21% COD dan 85% TSS dari limbah cair *laundry* pada waktu elektrokoagulasi 30 menit dengan rapat arus sebesar 25 A/m² dan waktu adsorpsi 90 menit dengan massa KATL sebesar 1,5 gram untuk penghilangan COD dan massa KATL sebesar 3,0 gram untuk penghilangan TSS. Metode gabungan elektrokoagulasi-adsorpsi merupakan pendekatan yang menjanjikan karena dapat meningkatkan penyisihan polutan seperti total fosfat dan COD dalam limbah cair *laundry*. Dalam proses kombinasi ini, berat aluminium terlarut adalah 0,007 g/L dengan konsumsi listrik sebesar 0,12 kWh/m³.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat-Kemendikbudristek yang telah membantu mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Dosen Pemula Afirmasi (PDP-Afirmasi) Tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Akinnowo, S. O. (2023). Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environmental Challenges*, 12(March). <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>
- Andini, N., Putri, N., Sinaga, J. Y. N., Juniati, Y., Aulia, C., Ariyanti, I., Febrianti, A. K., Fathin, U., & Edelwis, T. W. (2023). Abundance and Distribution of Macroalgae in the Nusa Tenggara and Their Effect on Algae Blooms. *BIO Web of Conferences*, 79. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237913001>
- Bharti, M., Das, P. P., & Purkait, M. K. (2023). A review on the treatment of water and wastewater by electrocoagulation process: Advances and emerging applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6), 111558. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111558>
- Boinpally, S., Kolla, A., Kainthola, J., Kodali, R., & Vemuri, J. (2023). A state-of-the-art review of the electrocoagulation technology for wastewater treatment. *Water Cycle*, 4(June 2022), 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.01.001>
- Chen, D., Cen, K., Zhuang, X., Gan, Z., Zhou, J., Zhang, Y., & Zhang, H. (2022). Insight into biomass pyrolysis mechanism based on cellulose, hemicellulose, and lignin: Evolution of volatiles and kinetics, elucidation of reaction pathways, and characterization of gas, biochar and bio-oil. *Combustion and Flame*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2022.112142>
- Dimoglo, A., Sevim-Elibol, P., Dinç, Gökmen, K., & Erdoğan, H. (2019). Electrocoagulation/electroflotation as a combined process for the laundry wastewater purification and reuse. *Journal of Water Process Engineering*, 31(December 2018). <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100877>
- Graça, N. S., & Rodrigues, A. E. (2022). The Combined Implementation of Electrocoagulation and Adsorption Processes for the Treatment of Wastewaters. *Clean Technologies*, 4(4), 1020–1053. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040063>
- Ho, K. C., Teow, Y. H., Sum, J. Y., Ng, Z. J., & Mohammad, A. W. (2021). Water pathways through the ages: Integrated laundry wastewater treatment for pollution prevention. *Science of the Total Environment*, 760, 143966. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143966>
- Ifa, L., Teknologi, F., Universitas, I., Indonesia, M., Nurjannah, N., Indonesia, U. M., Syarif, T., Indonesia, U. M., Darnengsih, D., & Indonesia, U. M. (2021). Bioadsorben dan Aplikasinya Prof . (Issue December).
- Jovanović, T., Velinov, N., Petrović, M., Najdanović, S., Bojić, D., Radović, M., & Bojić, A. (2021). Mechanism of the electrocoagulation process and its application for treatment of wastewater: A review. *Advanced Technologies*, 10(1), 63–72. <https://doi.org/10.5937/savteh2101063j>
- Nitsae, M., Solle, H. R. L., Martinus, S. M., & Emola, I. J. (2021). Studi adsorpsi metilen biru menggunakan arang aktif tempurung lontar (*Borassus flabellifer* L.) asal Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kimia Riset*, 6(1), 46–57.
- Oktiawan, W., Samadikun, B. P., Junaidi, Bramahesa, I. G. N., Taqiyya, T. A., Amrullah, M. R., & Basyar, C. (2021). Effect of electrode configuration and voltage variations on electrocoagulation process in surfactant removal from laundry wastewater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 896(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/896/1/012049>
- Pramastya, C. R. (2023). Modifikasi Kombinasi Elektrokoagulasi & Adsorpsi untuk Menyisihkan Fosfat dan TSS pada Limbah Laundry. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(4), 7040–7049. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i4.6728>
- Pratiwi, D. T., Putra, F. I., Pratiwi, P. A., & Hasan, A. (2021). Kajian Potensi dan

- Pengembangan Strategi dengan Analisis SWOT dan AHP Pada Usaha Laundry K. Seminar Dan Konferensi Nasional IDEC 2021, 1, 3.1-3.9. <https://idec.ft.uns.ac.id/wp-content/uploads/IDEC2021/PROSIDING/SILOGBIS/ID060.pdf>
- Rengkugegana, M. E., & Farahdiba, A. U. (2023). Efektivitas Metode Elektrokoagulasi sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Laundry. *EnviroUS*, 3(2), 5–11.
- Rodrigues, T., & Braghini Junior, A. (2019). Charcoal: A discussion on carbonization kilns. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 143(August). <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.104670>
- Sulaiman, A., Sutirto, & Lembang, Y. R. (2017). Pemetaan Potensi Air Tanah Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Kota Kupang. *Prosiding Seminar Nasional Seri 7*, 531–546.
- Titchou, F. E., Zazou, H., Afanga, H., El Gaayda, J., Akbour, R. A., & Hamdani, M. (2021). Removal of Persistent Organic Pollutants (POPs) from water and wastewater by adsorption and electrocoagulation process. *Groundwater for Sustainable Development*, 13(March), 100575. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100575>
- Yang, Y., Li, Y., Mao, R., Shi, Y., Lin, S., Qiao, M., & Zhao, X. (2022). Removal of phosphate in secondary effluent from municipal wastewater treatment plant by iron and aluminum electrocoagulation: Efficiency and mechanism. *Separation and Purification Technology*, 286(January), 120439. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.120439>