

Efektifitas Pengolahan Kombinasi Elektrokoagulasi-Filtrasi Dalam Menyisihkan TSS dan COD pada Air Limbah Kawasan Industri

Felano Elga Bahctiar¹, Mohamad Mirwan^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya

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

Diterima: 29 April 2024

Disetujui: 3 Mei 2024

Abstract

Rapid industrial development in Indonesia has led to the establishment of numerous industrial zones, raising concerns about environmental pollution due to high levels of TSS and COD. Electrocoagulation is shown to be effective in removing TSS and COD by generating flocs through an electrochemical process, although these flocs can still pass through sedimentation processes. Filtration has been identified as a method to maximise the results of electrocoagulation. The aim of this research is to investigate the effect of adding NaCl salt to electrocoagulation treatment under flow system conditions and to evaluate the effectiveness of combining electrocoagulation and filtration under flow system conditions in removing TSS and COD from wastewater. Industrial wastewater was fed into an electrocoagulation reactor at a current intensity of 5 A and then continuously fed into filtration at a rate of 0.2 L/min. Aluminium electrodes and filtration media, namely quartz sand and activated carbon, are used. Research variables include NaCl salt addition (0; 0.2; 0.5) gram/L and sampling duration (80, 100, 120, 140) minutes. The results show that the addition of 0.5 g/l NaCl salt achieves a high TSS removal of 80.67% and COD removal of 62.04% at a sampling time of 100 minutes. The combination of electrocoagulation and filtration successfully removed 90.22% of TSS and 71.68% of COD.

Keywords: *wastewater, industrial area, electrocoagulation, filtration, NaCl*

Abstrak

Perkembangan industri di Indonesia semakin pesat sehingga kawasan industri banyak bermunculan. Maraknya kawasan industri meningkatkan bahaya pencemaran lingkungan seperti air karena memiliki TSS dan COD yang tinggi. Elektrokoagulasi memiliki kemampuan yang baik untuk menyisihkan TSS dan COD dengan menghasilkan flok karena proses elektrokimia dimana flok ini masih bisa lolos pada proses sedimentasi. Proses yang dapat memaksimalkan hasil elektrokoagulasi adalah filtrasi. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh penambahan garam NaCl pada pengolahan elektrokoagulasi secara sistem flow (alir) dan menganalisa efektifitas kombinasi elektrokoagulasi dan filtrasi secara sistem flow (alir) dalam menyisihkan parameter TSS dan COD air limbah kawasan industri. Air limbah kawasan industri dialirkan pada reaktor elektrokoagulasi dengan kuat arus 5A yang kemudian dialirkan secara terus menerus menuju reaktor filtrasi. dengan debit 0,2 L/menit. Elektroda yang digunakan dari bahan aluminium dan media filtrasi yang digunakan pasir silika dan karbon aktif. Variasi penelitian yaitu penambahan garam NaCl (0; 0,2; 0,5) gram/L serta waktu sampling (80, 100, 120, 140) menit. Hasil penelitian didapat dengan penambahan garam NaCl 0,5 gram/L memiliki penyisihan TSS yang tinggi sebesar 80.67% dan COD 62.04% pada waktu sampling ke 100 menit. Untuk kombinasi elektrokoagulasi-filtrasi mampu menyisihkan TSS sebesar 90.22% COD sebesar 71.68%.

Kata Kunci: *air limbah, kawasan industri, elektrokoagulasi, filtrasi, NaCl*

1. Pendahuluan

Perkembangan industri di Indonesia semakin pesat sehingga kawasan industri banyak bermunculan untuk mendukung berlangsungnya kegiatan industri. Kawasan industri sendiri berfungsi sebagai lokasi untuk mengintegrasikan kegiatan industri yang memiliki perlengkapan sarana dan prasarana dalam menunjang operasional industri. Maraknya kawasan industri meningkatkan bahaya pencemaran lingkungan seperti air tanah dan air permukaan karena air limbah yang dihasilkan tiap industri [1].

Air limbah kawasan industri memiliki kadar TSS (*total suspended solid*) yang lumayan tinggi dengan nilai berdasarkan hasil uji laboratorium 665,217 mg/L [2]. Kandungan TSS pada air limbah kawasan industri disebabkan oleh lumpur, tanah liat, dan residu bahan baku industri yang ikut dan ter homogen pada air buangan industri [3]. Kandungan Total Suspended Solid (TSS) yang tinggi dalam air dapat menyebabkan air terlihat keruh karena TSS ini terdiri dari partikel koloid yang tidak larut dalam air atau

terdispersi, sehingga sulit mengendap secara alami tanpa proses pengolahan. Akibatnya, ketika masuk ke dalam air, hal ini dapat merusak kondisi fisik air dan lingkungan sekitarnya [4].

Kadar COD air limbah kawasan industri cukup tinggi pada uji laboratorium mencapai 746,5 mg/L [5]. Tingginya kadar COD dalam air dapat mengakibatkan penurunan bahkan habisnya kandungan oksigen terlarut dalam air. Hal ini berdampak pada organisme yang hidup di dalam air karena kebutuhan oksigen untuk mereka tidak terpenuhi. Akibatnya, organisme tersebut dapat mati karena kekurangan oksigen [6]. Salah satu opsi teknologi untuk mengurangi kadar TSS dalam air limbah adalah melalui metode elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi yang melibatkan aliran arus listrik searah melalui sepasang elektroda yang tercelup dalam air limbah untuk menghilangkan kontaminan. Prinsip dasar elektrokoagulasi melibatkan reaksi elektrokimia di mana terjadi transfer elektron dari anoda (oksidasi) ke katoda (reduksi) [7]. Arus listrik searah (DC) memulai reaksi reduksi-oksidasi, yang merupakan reaksi kimia yang terlibat dalam proses elektrokoagulasi. Ion terlihat bergerak dalam larutan reaksi: ion negatif tertarik ke anoda yang bermuatan positif, sedangkan ion positif (kation) tertarik ke katoda yang bermuatan negatif. Anion adalah ion yang bermigrasi ke arah anoda [8]. Elektroda berbahan aluminium (Al) memiliki efisiensi penyisihan yang tinggi karena bersifat reaktif, selain itu elektroda dari bahan Al memiliki harga murah dan mudah diperoleh di pasaran [9].

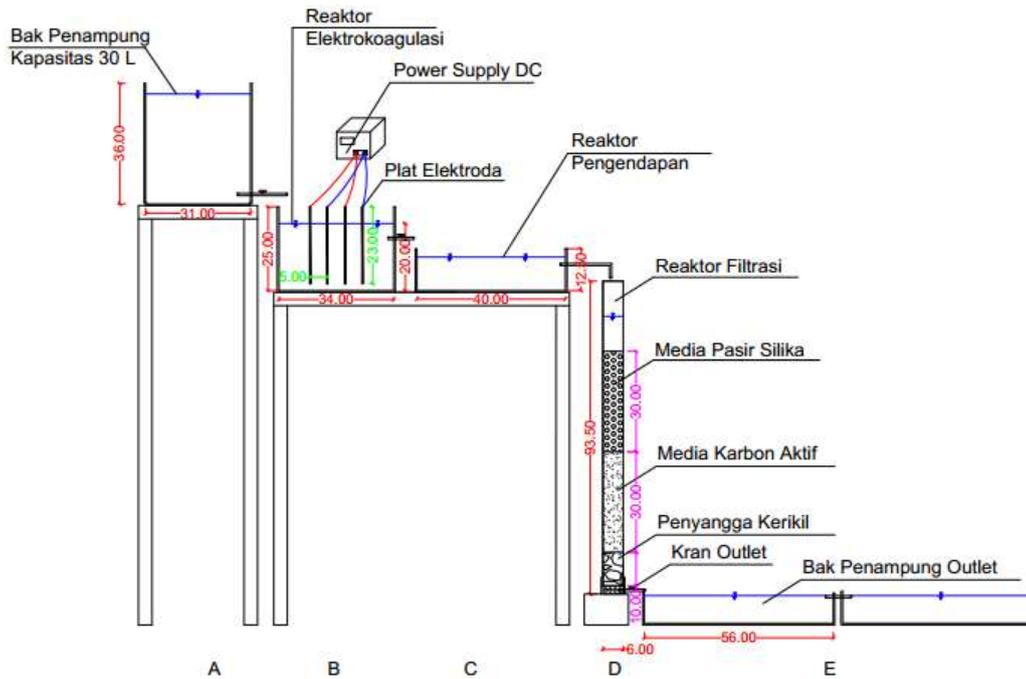
Setelah proses elektrokoagulasi, flok yang dihasilkan dapat diendapkan melalui proses sedimentasi. Meskipun demikian, kemungkinan masih ada sisa flok yang bisa lolos dan terbawa ke tahap pengolahan berikutnya. Untuk memaksimalkan hasil dari proses elektrokoagulasi, penggunaan proses filtrasi dapat menjadi solusi. Dengan melewatkannya melalui media filter, filtrasi berupaya menghilangkan koloid dan partikulat tersuspensi dari air limbah. Padatan berpori atau yang memiliki ruang kecil mungkin merupakan media yang digunakan dalam proses filtrasi. Filternya lebih efektif dan menghasilkan air dengan kualitas lebih baik bila pori-pori atau celahnya lebih sempit. Selain pengaruh ukuran pori media filter, ketinggian juga mempengaruhi proses filtrasi. Kemampuan untuk menghilangkan partikel tersuspensi dari air meningkat seiring dengan meningkatnya media filtrasi; namun, hal ini diimbangi dengan peningkatan headloss [10]. Salah satu media filter yang dapat digunakan adalah pasir silika. Manfaat pasir silika adalah dapat menguraikan bahan organik dalam air limbah dan menahan partikel tersuspensi. Karbon aktif merupakan media filter lain yang sering digunakan selain pasir silika. Karena karbon aktif dapat menarik dan mengikat kotoran-kotoran pada air di permukaannya, maka karbon aktif berfungsi sebagai filter yang efisien dalam proses filtrasi [11].

Lindi TPA telah diolah secara efektif dengan kombinasi elektrokoagulasi dan pengolahan air filtrasi pasir silika untuk menurunkan kadar TSS dari 251 mg/L menjadi 178 mg/L dan kadar COD dari 561 mg/L menjadi 339 mg /L L. Untuk mengetahui seberapa baik kombinasi pengolahan ini dalam menghilangkan TSS dan COD dari air limbah, maka dilakukan penelitian pengolahan air limbah di kawasan industri menggunakan metode gabungan elektrokoagulasi-filtrasi dengan media filter pasir silika dan tambahan media karbon aktif.

2. Metode Penelitian

Penelitian secara eksperimental pengolahan air limbah kawasan industri menggunakan metode kombinasi elektrokoagulasi-filtrasi secara sistem *flow* (alir) atau adanya aliran air limbah dengan debit pengolahan sebesar 0,2 L/menit. Sebelum melakukan penelitian dilakukan uji awal air limbah kawasan industri untuk mengetahui persen penyisihan parameter setelah dilakukan pengolahan. Parameter air limbah yang akan disisihkan adalah TSS (*total suspended solid*) dan COD (*chemical oxygen demand*). Air limbah diambil dari inlet Instalasi Pengolahan Air Limbah komunal kawasan industri di salah satu kawasan industri di kabupaten Sidoarjo.

Rangkaian reaktor penelitian terdiri dari reaktor elektrokoagulasi dengan ukuran 34 cm x 17 cm x 25 cm dari bahan kaca, reaktor pengendapan dengan ukuran 40 cm x 30 cm x 12,5 cm dari bahan kaca, dan reaktor filtrasi dengan ukuran diameter 6 cm tinggi 93,5 cm yang terbuat dari pipa pvc. Plat elektroda yang digunakan berjumlah 2 pasang berbahan aluminium yang disusun secara monopolar paralel dengan jarak 5 cm. Untuk kuat arus yang digunakan pada *power supply* 5 A. Media filter yang digunakan yaitu pasir silika ukuran 8-16 mesh dengan tinggi media 30 cm dan karbon aktif jenis granular (GAC) dengan tinggi 30 cm. Pada reaktor filtrasi terdapat media penyangga kerikil dengan tinggi 10 cm dan terdapat underdrain.



Gambar 1. Skema Reaktor Kombinasi Elektrokoagulasi-Filtrasi Sistem *Flow* (Alir)
Sumber : Peneliti, 2024

Reaktor dijalankan dengan adanya aliran air limbah yang kemudian melakukan pengambilan sampel air limbah setelah proses elektrokoagulasi dan proses filtrasi pada tiap variasi yaitu penambahan garam NaCl (0 gram/L, 0.2 gram/L, 0.5 gram/L) dan waktu sampling (80 menit, 100 menit, 120 menit, dan 140 menit). Setelah itu dilakukan analisis kadar TSS di laboratorium secara gravimetri dan analisis kadar COD dengan refluks tertutup secara titrimetri. Setelah mengetahui nilai TSS dan COD hasil pengolahan maka dilakukan analisis efisiensi penyisihan TSS dan COD untuk mengetahui efektifitas kombinasi pengolahan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Awal Air Limbah

Air limbah kawasan industri memiliki karakteristik awal dengan nilai pH 7.2, nilai TSS sebesar 900 mg/L, nilai COD sebesar 2592 mg/L. Untuk parameter pH sudah memenuhi baku mutu air limbah 6-9, sedangkan untuk parameter TSS serta COD melampaui baku mutu air limbah sebesar untuk TSS 150 mg/L untuk COD 100 mg/L. Acuan baku mutu untuk kegiatan kawasan industri menggunakan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013. Masih terlampauinya kadar TSS dan COD pada air limbah maka perlu dilakukan pengolahan agar tidak menyebabkan pencemaran air.

Tabel 1. Hasil Uji Awal Air Limbah Kawasan Industri

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu
1.	pH	-	7.2	6-9
2.	TSS	mg/L	900	150
3.	COD	mg/L	2592	100

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

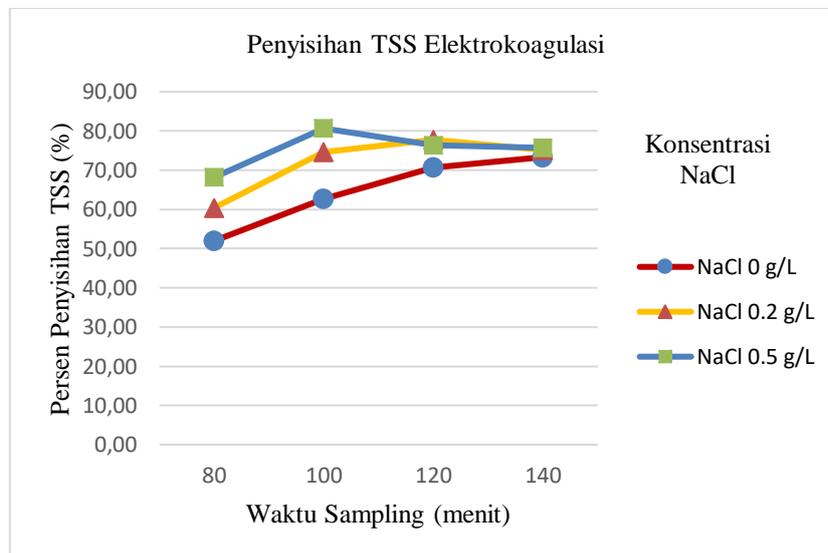
3.2 Penyisihan TSS Pada Proses Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi sistem *flow* (alir) atau adanya aliran air limbah dengan debit sebesar 0,2 L/menit dilakukan dengan tujuan mengolah air limbah kawasan industri untuk menyisihkan kadar TSS dalam air limbah. Elektrokoagulasi adalah proses koagulasi yang melibatkan aliran arus listrik searah melalui sepasang elektroda yang terendam dalam air limbah untuk menghilangkan kontaminan pencemar dalam air limbah yang pada penelitian ini yaitu TSS. Elektrokoagulasi melibatkan reaksi elektrokimia dalam air limbah dengan terjadi transfer elektron dari anoda yang merupakan reaksi oksidasi ke katoda yang disebut reaksi reduksi [7]. Hasil pengolahan proses elektrokoagulasi dalam menyisihkan TSS air limbah dapat dilihat di tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Penyisihan TSS Proses Elektrokoagulasi Sistem *Flow* (Alir)

No.	Waktu Sampling (Menit)	Uji Awal (mg/L)	Uji Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)
Garam NaCl 0 gram/L				
1.	80	900	432	52
2.	100	900	336	62.67
3.	120	900	264	70.67
4.	140	900	240	73.33
Garam NaCl 0.2 gram/L				
1.	80	900	356	60.44
2.	100	900	228	74.67
3.	120	900	200	77.78
4.	140	900	224	75.11
Garam NaCl 0.5 gram/L				
1.	80	900	286	68.22
2.	100	900	174	80.67
3.	120	900	212	76.44
4.	140	900	204	77.33

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 2. Grafik Hubungan Penambahan Garam NaCl dan Waktu Sampling Terhadap Persen Penyisihan TSS Elektrokoagulasi Sistem *Flow* (Alir)

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Berdasarkan hasil penelitian terlihat pola perubahan nilai TSS pada air limbah kawasan industri yang telah dilakukan proses elektrokoagulasi secara sistem *flow* (alir). Pada variasi penambahan garam NaCl 0 gram/L atau tanpa penambahan garam NaCl untuk penyisihan tertinggi pada waktu sampling 140 menit dengan nilai presentasi penyisihan parameter TSS sebesar 73.33%. Kemudian variasi penambahan garam NaCl 0,2 gram/Liter untuk penyisihan tertinggi pada waktu sampling 120 menit dengan presentase penyisihan parameter TSS sebesar 77.78%. Sedangkan pada variasi penambahan garam NaCl 0,5 gram/L memiliki penyisihan tertinggi pada waktu sampling 100 menit dengan presentase penyisihan parameter TSS sebesar 80.67%. Hal ini menunjukkan semakin besar penambahan garam NaCl dan semakin lama waktu proses pengolahan elektrokoagulasi maka semakin tinggi presentase penyisihan parameter TSS.

Penyisihan polutan dalam air limbah dapat terjadi melalui proses elektrokoagulasi karena terjadi peluruhan logam aluminium dari anoda akibat reaksi oksidasi. Peluruhan ini menghasilkan ion Al^{3+} yang berikatan dengan senyawa air dan membentuk $Al(OH)_3$ sebagai koagulan. Koagulan ini berperan dalam membentuk flok-flok yang mengikat parameter TSS, sehingga polutan tersebut dapat diendapkan dan disisihkan dari air limbah [12]. 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 [13].

Hasil uji menunjukkan bahwa penyisihan tertinggi terjadi pada variasi penambahan garam NaCl sebesar 0,5 gram per liter dengan waktu sampling selama 100 menit, di mana persentase penyisihannya mencapai 80,67%. Dalam kondisi ini, parameter TSS berhasil diturunkan dari 900 mg/L pada uji awal menjadi 174 mg/L setelah proses elektrokoagulasi. Penambahan garam NaCl pada air limbah meningkatkan konduktivitasnya, yang mengakibatkan peningkatan daya hantar listrik dalam air limbah. Hal ini menyebabkan arus listrik yang mengalir pada elektroda menjadi lebih kuat, yang berakibat akan meningkatkan produksi $Al(OH)_3$ sebagai koagulan dalam proses elektrokoagulasi. Dengan demikian, peningkatan daya hantar listrik mempercepat proses elektrokoagulasi dengan meningkatkan efisiensi pembentukan flok dan penyisihan polutan dalam air limbah [14].

Penambahan garam NaCl dalam air limbah pada proses elektrokoagulasi dapat menghambat pasivasi dari anoda Al dan meningkatkan konduktivitas air limbah. Ion klorin (Cl^-) dari NaCl akan menyerap dan menembus ke dalam lapisan pasivasi yang terjadi di permukaan anoda berupa lapisan berbentuk logam oksida (Al_2O_3). Kemudian lapisan dapat rusak dan anoda dapat meluruhkan ion Al^{3+} dimana pembentukan koagulan akan kembali efektif sehingga dapat mengikat padatan tersuspensi dalam air limbah [15]. Pada variasi penambahan garam NaCl 0 gram/L penyisihan optimum pada waktu sampling ke 140 menit, sedangkan variasi penambahan garam NaCl 0,2 gram/L dan 0,5 gram/L penyisihan masing-masing pada waktu sampling 120 menit dan 100 menit. Pada titik ini, elektroda yang digunakan telah mencapai kejenuhan, terlihat dari pembentukan flok-flok yang menutupi sebagian plat elektroda. Hal ini mengakibatkan penurunan kinerja dalam menarik ion-ion negatif dalam air limbah selama proses elektrokoagulasi [16].

3.3 Penyisihan COD Pada Proses Elektrokoagulasi

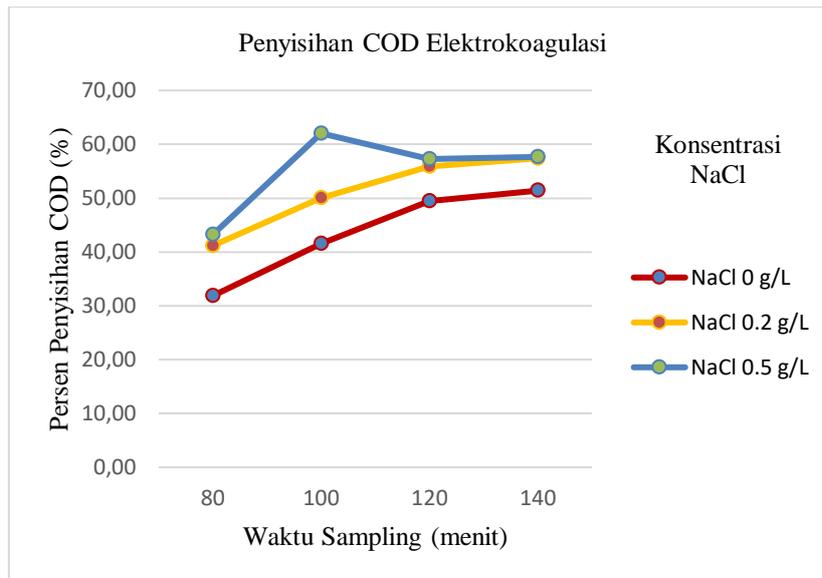
Penambahan garam NaCl 0 gram/L atau tanpa penambahan garam NaCl mendapatkan penyisihan COD paling tinggi 51,39% dengan mampu menyisihkan COD pada uji awal 2592 mg/L menjadi 1260 mg/L. Untuk variasi penambahan garam NaCl 0,2 gram/L mendapatkan penyisihan COD tertinggi sebesar 57.41% dengan mampu menyisihkan COD pada uji awal 2592 mg/L menjadi 1104 gram/L. Sedangkan pada variasi penambahan garam NaCl 0,5 gram/L mendapatkan penyisihan COD tertinggi sebesar 62.04% dengan mampu menyisihkan COD pada uji awal 2592 mg/L menjadi 984 mg/L.

Berdasarkan hasil proses elektrokoagulasi sistem flow (alir) atau adanya aliran air limbah terhadap waktu sampling semakin lama proses elektrokoagulasi semakin besar juga penyisihan parameter COD (chemical oxygen demand). Variasi penambahan garam NaCl 0 gram/L atau tanpa penambahan garam NaCl mendapatkan penyisihan tertinggi pada waktu sampling 140 menit sebesar 51.39%, penambahan garam NaCl 0,2 gram/L mendapatkan penyisihan COD tertinggi pada waktu sampling 140 menit sebesar 57.41%, sedangkan pada variasi penambahan garam NaCl 0,5 gram/L mendapatkan penyisihan tertinggi pada waktu sampling 100 menit sebesar 62.04%. hal ini menunjukkan semakin lama proses elektrokoagulasi berjalan maka semakin melimpah koloid yang terikat membentuk flok sehingga menurunkan kadar COD dalam air limbah. Semakin lamanya elektrolisa hasil dari reaksi kimia juga akan semakin banyak sehingga semakin lama proses elektrokoagulasi makin banyak bahan pencemar yang teroksidasi [17].

Tabel 3. Hasil Penyisihan COD Proses Elektrokoagulasi Sistem *Flow* (Alir)

No.	Waktu Sampling (Menit)	Uji Awal (mg/L)	Uji Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)
Garam NaCl 0 gram/L				
1.	80	2592	1766.40	31.85
2.	100	2592	1516	41.51
3.	120	2592	1309.6	49.48
4.	140	2592	1260	51.39
Garam NaCl 0.2 gram/L				
1.	80	2592	1524.7	41.18
2.	100	2592	1294	50.08
3.	120	2592	1144.30	55.85
4.	140	2592	1104	57.41
Garam NaCl 0.5 gram/L				
1.	80	2592	1472	43.21
2.	100	2592	984	62.04
3.	120	2592	1108.5	57.23
4.	140	2592	1096.46	57.70

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 3. Grafik Hubungan Penambahan Garam NaCl dan Waktu Sampling Terhadap Persen Penyisihan COD Proses Elektrokoagulasi Sistem *Flow* (Alir)
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Penambahan NaCl memberikan dampak terhadap besarnya jumlah Al^{3+} dalam air limbah proses elektrokoagulasi. Semakin banyak penambahan garam NaCl semakin besar jumlah Al terlarut (Al^{3+}). Al^{3+} adalah sebuah kation yang memiliki muatan positif dan akan mengalami reaksi hidrolisis dalam air, menghasilkan pembentukan flok yang berhubungan dengan pembentukan $Al(OH)_3$ [18]. $Al(OH)_3$ yang dihasilkan pada proses elektrokoagulasi membawa muatan positif karena mengikat ion H^+ pada permukaan flok, yang memungkinkannya untuk menghilangkan COD dalam air limbah. Ini terjadi karena ion koagulan berinteraksi dengan ion senyawa organik yang bermuatan negatif, membentuk flok. Mekanisme elektrokoagulasi mengikuti prinsip double layer di mana pembentukan flokulasi partikel terjadi melalui adsorpsi. Koagulan, yang memiliki muatan positif, menarik ion negatif dalam air limbah seperti senyawa organik, membentuk gumpalan yang dapat mengurangi COD dalam air limbah [19]. Selain itu, penyisihan COD dikarenakan bahan-bahan organik yang terlarut dalam air limbah akan ikut terikat dan mengalami oksidasi karena adanya oksidator kuat O_2 yang dihasilkan karena elektrolisa elektroda [20].

3.4 Penyisihan TSS Pada Proses Kombinasi Elektrokoagulasi-Filtrasi

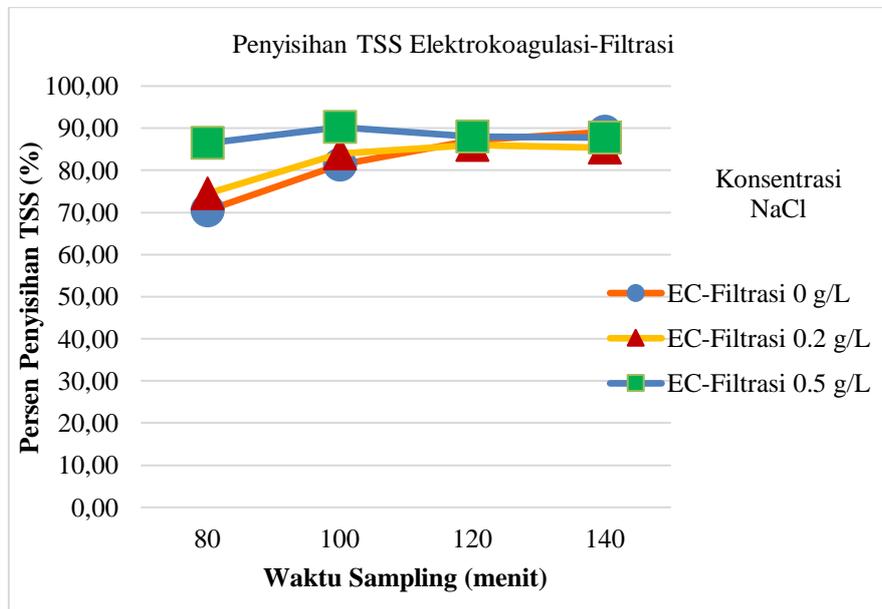
Hasil menggunakan metode kombinasi elektrokoagulasi dan filtrasi secara sistem flow (alir) atau adanya aliran air limbah dengan perbedaan waktu sampling dalam menurunkan parameter TSS (total suspended solid) air limbah kawasan industri untuk variasi penambahan garam NaCl 0 gram/L atau tanpa penambahan garam NaCl didapatkan hasil persen penyisihan TSS pengolahan kombinasi elektrokoagulasi-filtrasi terhadap waktu sampling 80 menit, 100 menit, 120 menit, 140 menit secara berturut-turut sebesar 70.44%; 81.33%; 87.11%; dan 89.11%. Variasi penambahan garam NaCl 0.2 gram/L didapatkan persen penyisihan TSS setelah proses pengolahan elektrokoagulasi-filtrasi terhadap waktu sampling 80 menit, 100 menit, 120 menit, 140 menit secara berturut-turut sebesar 74.44%; 84.00%; 86.53%; dan 85.33%. Variasi penambahan garam NaCl 0.5 gram/L didapatkan persen penyisihan TSS setelah proses pengolahan elektrokoagulasi-filtrasi terhadap waktu sampling 80 menit, 100 menit, 120 menit, 140 menit secara berturut-turut sebesar 86.44%; 90.22%; 88.00%; dan 87.78%.

Proses pengolahan kombinasi elektrokoagulasi-filtrasi sistem flow (alir) atau adanya aliran air limbah untuk penyisihan TSS (total suspended solid) terkecil pada variasi penambahan NaCl 0 gram/L pada waktu sampling 80 menit dengan mampu menurunkan TSS dari uji awal 900 mg/L menjadi 266 mg/L setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi-filtrasi dengan persen penyisihan sebesar 70.44%. Sedangkan penyisihan tertinggi pada variasi penambahan garam NaCl 0,5 gram/L pada waktu sampling 100 menit dengan mampu menurunkan TSS dari uji awal 900 mg/L menjadi 88 mg/L dengan persen penyisihan sebesar 90.22%. Untuk hasil penyisihan TSS tertinggi ini sudah memenuhi baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Lampiran IV tentang Baku Mutu Air Limbah untuk kegiatan kawasan industri.

Tabel 4. Hasil Penyisihan TSS Proses Kombinasi Elektrokoagulasi-Filtrasi Sistem *Flow* (Alir)

No.	Waktu Sampling (Menit)	Uji Awal (mg/L)	Uji Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)
Garam NaCl 0 gram/L				
1.	80	900	266	70.44
2.	100	900	168	81.33
3.	120	900	116	87.11
4.	140	900	98	89.11
Garam NaCl 0.2 gram/L				
1.	80	900	230	74.44
2.	100	900	144	84.00
3.	120	900	126	86.00
4.	140	900	132	85.33
Garam NaCl 0.5 gram/L				
1.	80	900	122	86.44
2.	100	900	88	90.22
3.	120	900	108	88.00
4.	140	900	110	87.78

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 4. Grafik Hubungan Penambahan Garam NaCl dan Waktu Sampling Terhadap Persen Penyisihan TSS Proses Kombinasi Elektrokoagulasi-Filtrasi Sistem *Flow* (Alir)

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Parameter TSS dalam air limbah kawasan industri mampu tersisihkan pada proses kombinasi elektrokoagulasi-filtrasi disebabkan pada proses elektrokoagulasi, terjadi oksidasi elektroda aluminium yang menghasilkan Al^{3+} , yang kemudian bergabung dengan ion OH^- untuk membentuk $Al(OH)_3$. Hasil pembentukan senyawa ini berperan sebagai koagulan yang mengikat polutan dalam air limbah. Flok yang terbentuk selama proses elektrokoagulasi akan didorong ke permukaan air oleh gas H_2 yang dihasilkan dari reduksi elektroda. Hal ini menyebabkan flok-flok saling bertemu dan bergabung menjadi lebih besar serta lebih berat, kemudian mengendap perlahan ke dasar reaktor. Proses pengendapan ini dapat diamati dari banyaknya flok yang terkumpul di bagian bawah reaktor elektrokoagulasi [21].

Kemudian pada proses filtrasi flok yang terbentuk di proses elektrokoagulasi dan masih lolos dari proses pengendapan akan tersisihkan karena tersaring dan tertahan pada media filter yang dipakai sehingga air yang dihasilkan menjadi jernih akibat padatan tersuspensi dalam air limbah menurun [22]. kandungan TSS dalam proses filtrasi dapat tersisihkan disebabkan adanya pemisahan secara fisika dengan cara penyaringan padatan-padatan yang lebih besar pada rongga pasir silika dan rongga pori dari karbon aktif sehingga padatan tersuspensi akan ditahan pada rongga media filter yang digunakan [23].

Berdasarkan waktu sampling pada tiap variasi penambahan garam NaCl setelah proses elektrokoagulasi-filtrasi menunjukkan kenaikan persen penyisihan TSS pada air limbah. Untuk variasi

penambahan garam NaCl 0 gram/L dan penambahan garam NaCl 0.2 gram terlihat dari waktu sampling 80 menit sampai 100 menit mengalami kenaikan persen penyisihan TSS yang kemudian untuk waktu sampling selanjutnya melandai dan cenderung turun sedikit. Pada variasi penambahan garam 0.5 gram/L terlihat kenaikan persen penyisihan TSS dari waktu sampling 80 menit ke 100 menit yang kemudian terjadi penurunan pada waktu sampling 120 menit dan setelah itu cenderung melandai. Kenaikan ini disebabkan karena pada proses awal yaitu elektrokoagulasi dimana semakin lama proses elektrokoagulasi maka konsentrasi TSS pada air limbah semakin kecil. Kenaikan juga didukung dengan adanya filtrasi dimana air limbah yang mengalir terus menerus pada reaktor filtrasi yang di dalamnya terjadi proses penyaringan oleh media pasir sehingga padatan tersuspensi akan diakumulasi pada permukaan dan rongga-rongga media.

Kecenderungan penurunan dan melandai kemudian yang terlihat di grafik penelitian pada persen penyisihan TSS setelah pengolahan elektrokoagulasi-filtrasi bisa dikarenakan padatan tersuspensi dalam air limbah yang tertahan dan terakumulasi di celah-celah media filter pada waktu sampling ini menyebabkan sedikit penyumbatan atau mulai jenuhnya media filter [24].

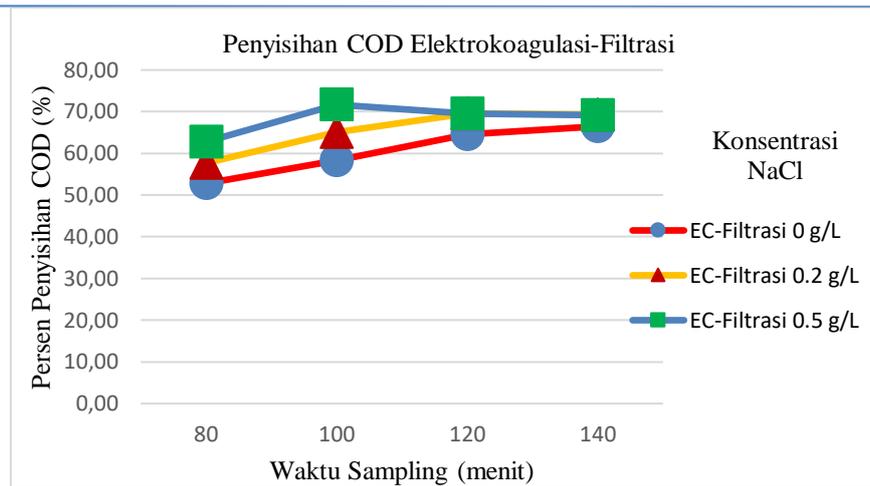
3.5 Penyisihan COD Pada Proses Kombinasi Elektrokoagulasi-Filtrasi

Variasi penambahan garam NaCl 0 gram/L atau tanpa penambahan garam NaCl didapatkan hasil persen penyisihan COD pengolahan kombinasi elektrokoagulasi-filtrasi terhadap waktu sampling 80 menit, 100 menit, 120 menit, 140 menit secara berturut-turut sebesar 52.80%; 58.33%; 64.51%; dan 66.49%. Variasi penambahan garam NaCl 0.2 gram/L didapatkan persen penyisihan COD setelah proses pengolahan elektrokoagulasi-filtrasi terhadap waktu sampling 80 menit, 100 menit, 120 menit, 140 menit secara berturut-turut sebesar 57.70%; 65.09%; 69.60%; dan 69.32%. Variasi penambahan garam NaCl 0.5 gram/L didapatkan persen penyisihan TSS setelah proses pengolahan elektrokoagulasi-filtrasi terhadap waktu sampling 80 menit, 100 menit, 120 menit, 140 menit secara berturut-turut sebesar 62.79%; 71.68%; 69.52%; dan 69.19%.

Tabel 3. Hasil Penyisihan COD Proses Elektrokoagulasi Sistem *Flow* (Alir)

No.	Waktu Sampling (Menit)	Uji Awal (mg/L)	Uji Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)
Garam NaCl 0 gram/L				
1.	80	2592	1223.40	52.80
2.	100	2592	1080	58.33
3.	120	2592	920	64.51
4.	140	2592	868.48	66.49
Garam NaCl 0.2 gram/L				
1.	80	2592	1096.36	57.70
2.	100	2592	904.88	65.09
3.	120	2592	788	69.60
4.	140	2592	795.3	69.32
Garam NaCl 0.5 gram/L				
1.	80	2592	964.55	62.79
2.	100	2592	734.12	71.68
3.	120	2592	790	69.52
4.	140	2592	798.60	69.19

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Gambar 5. Grafik Hubungan Penambahan Garam NaCl dan Waktu Sampling Terhadap Persen Penyisihan COD Proses Kombinasi Elektrokoagulasi-Filtrasi Sistem *Flow* (Alir)
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Proses pengolahan kombinasi elektrokoagulasi-filtrasi sistem flow (alir) atau adanya aliran air limbah untuk penyisihan COD (chemical oxygen demand) terkecil pada variasi penambahan NaCl 0 gram/L pada waktu sampling 80 menit dengan mampu menurunkan COD dari uji awal 2592 mg/L menjadi 1223.40 mg/L setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi-filtrasi dengan persen penyisihan sebesar 52.80%. Sedangkan penyisihan tertinggi pada variasi penambahan garam NaCl 0,5 gram/L pada waktu sampling 100 menit dengan mampu menurunkan COD dari uji awal 2592 mg/L menjadi 734.12 mg/L dengan persen penyisihan sebesar 71.68%.

Penyisihan parameter COD dalam air limbah kawasan industri mampu dicapai menggunakan kombinasi pengolahan elektrokoagulasi-filtrasi karena dalam proses elektrokoagulasi, terjadi destabilisasi partikel-partikel bahan organik dalam air limbah oleh koagulan $Al(OH)_3$ yang dihasilkan dari reaksi reduksi-oksidasi elektroda serta medan listrik di dalam air limbah. Koagulan ini akan menangkap polutan dalam air limbah dan membentuk flok dengan ukuran dan massa yang lebih besar, sehingga dapat mengendap ke dasar. Sementara itu, koloid yang tidak terikat akan mengalami flotasi karena adanya gas hidrogen dalam proses elektrokoagulasi, yang pada akhirnya mengakibatkan penurunan kandungan COD dalam air limbah.[25].

Kemudian penyisihan COD pada air limbah dapat terjadi karena adanya proses filtrasi flok-flok yang berikatan dengan senyawa organik dari elektrokoagulasi akan tertahan pada media filter yang pasir silika dan karbon aktif [22]. Pasir silika mampu menarik partikel yang melewati sehingga tetap terperangkap pada permukaan atau celah-celah media tersebut karena gaya tarik-menarik elektrostatis pasir silika. Hal ini dapat mengurangi konsentrasi COD dalam air limbah karena senyawa organik yang terperangkap oleh flok pada proses elektrokoagulasi tersaring oleh media pasir silika. Penggunaan media filter berupa karbon aktif juga dapat meningkatkan efisiensi proses filtrasi karena kemampuannya dalam menyerap bahan pencemar mikro seperti partikel organik dalam air limbah, yang pada akhirnya mengakibatkan penurunan konsentrasi COD dalam air limbah [11][26].

4. Kesimpulan

Penambahan garam NaCl pada pengolahan elektrokoagulasi secara sistem flow (alir) atau adanya aliran air limbah terhadap penyisihan parameter TSS pada air limbah kawasan industri mendapatkan hasil terbaik pada variasi penambahan garam NaCl 0,5 gram/L di waktu sampling 100 menit dengan mampu menurunkan TSS dan COD menjadi 174 mg/L dan 984 mg/L dengan persentase penyisihan sebesar 80.67% dan 62.04%. Efisiensi terbaik dari pengolahan kombinasi elektrokoagulasi-filtrasi secara sistem flow (alir) atau adanya aliran air limbah dalam penyisihan parameter TSS dan COD pada air limbah kawasan industri didapatkan sebesar 90.22% dan 71.68% yang didapat pada variasi penambahan garam NaCl 0,5 gram/L di waktu sampling 100 menit.

5. Referensi

- [1] M. A. Arif, I. Abdullah, E. M. Rangkuti, and Z. Zainal, "Manajemen Pengolahan Air Limbah Industri di Kawasan Industri Medan," *Juripol*, vol. 4, no. 2, pp. 468–477, 2021, doi:

- 10.33395/juripol.v4i2.238.
- [2] F. Rahmawati A, W. Oktawan, and W. Dwi Nugraha, "Detail Engineering Desain (Ded) Sistem Penyaluran Air Limbah Dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Kawasan Industri Bsb City, Mijen Kota Semarang," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–10, 2013.
- [3] M. R. Harahap, L. D. Amanda, and A. H. Matondang, "Analisis Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid) pada Limbah Cair Dengan Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis," *J. Amin.*, vol. 2, no. 2, pp. 79–83, 2020.
- [4] T. R. Kurniati and M. Mujiburohman, "Pengaruh Beda Potensial dan Waktu Kontak Elektrokoagulasi Terhadap Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Cair Laundry," *11th Univ. Res. Colloq. 2020 Univ. 'Aisyiyah Yogyakarta*, pp. 309–313, 2020.
- [5] H. S. Yekti, "Analisis Dampak Pencemaran Lingkungan Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. Surabaya Industrial Estate Rungkut (SIER) Surabaya Dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)," UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, 2021.
- [6] S. N. Rohmah, H. R. IW, and N. Hilal, "Efisiensi Tanaman Azolla Pinnata Dalam Menurunkan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Pada Limbah Cair Sohun Di Desa Arcawinangun Kecamatan Purwokerto Timur Kabupaten Banyumas Tahun 2018," *Bul. Keslingmas*, 2019, doi: 10.31983/keslingmas.v38i1.4072.
- [7] N. Lintang *et al.*, "Pengolahan Air Limbah Tahu Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dan Adsorpsi Secara Kontinyu [Tofu Wastewater Treatment Using Continuous Electrocoagulation and," vol. 9, no. 2, pp. 140–150, 2023.
- [8] Masthura, "Penerapan Metode Elektrokoagulasi Sebagai Alternatif Pengolahan Air Bersih," *Lemb. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy. UIN Sumatera Utara*, p. 71, 2019.
- [9] A. Tahreen, M. S. Jami, and F. Ali, "Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review," *J. Water Process Eng.*, vol. 37, no. April, p. 101440, 2020, doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101440.
- [10] F. Rachman, "Pengolahan Limbah Laundry Menggunakan Metode Fitoremediasi Dan Filtrasi," Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.uii.ac.id/bitstream/handle/123456789/41719/18513160.pdf?sequence=1>
- [11] F. H. Isma, "Efektivitas Pengolahan Limbah Pasar Ikan Menggunakan Rapid Sand Filter dalam Menyisihkan Kadar Turbiditas, BOD, COD, dan TSS," Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, 2022. [Online]. Available: [http://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/21578/1/Fera Hendra Isma, 150702061, FST, TL, 082240609583.pdf](http://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/21578/1/Fera%20Hendra%20Isma,150702061,FST,TL,082240609583.pdf)
- [12] L. Hermida, I. Kustiani, and Suharno, "Evaluasi Kinerja Sistem Elektrokoagulasi Batch Recycle Dengan Susunan Elektroda Monopolar Dalam Mengolah Limbah Cair Tapioka," *J. Profesi Ins. Univ. Lampung*, vol. 1, no. 1, pp. 20–28, 2020, doi: 10.23960/jpi.v1n1.13.
- [13] M. E. Rengkugegana, "Pengolahan Limbah Laundry Dengan Metode Elektrokoagulasi Secara Kontinyu," UPN "Veteran" Jawa Timur, 2022.
- [14] Sutanto and N. Rohadi, "Pengaruh Penambahan Garam Dapur (NaCl) Terhadap Perubahan Arus Listrik dan Kandungan Logam Pada Pengolahan Air Limbah Industri Secara Elektrokoagulasi," *Tek. Elektro*, vol. 5, no. 492, pp. 119–126, 2020.
- [15] Y. Yu, Y. Zhong, M. Wang, and Z. Guo, "Electrochemical behavior of aluminium anode in supergravity field and its application in copper removal from wastewater by electrocoagulation," *Chemosphere*, vol. 272, 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129614.
- [16] R. Ardiansyah, T. M. Putra, and D. R. Suminar, "Pengaruh Waktu Pada Proses Elektrokoagulasi Air Laut Secara Batch," vol. 14, no. 2, pp. 65–72, 2021.
- [17] N. P. Setianingrum, A. Prasetya, and Sarto, "Pengaruh Tegangan Listrik, Jarak Antar Elektroda dan Waktu Kontak Terhadap Penurunan Zat Warna Remazol Red RB Menggunakan Metode Elektrokoagulasi," pp. 147–155, 2017.
- [18] C. R. Pramastya, "Modifikasi Kombinasi Elektrokoagulasi - Adsorpsi untuk Menyisihkan Fosfat dan TSS pada Limbah Laundry," Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya, 2024. [Online]. Available: <https://repository.upnjatim.ac.id/19555/>
- [19] I. Amri, Pratiwi Destinefa, and Zultiniar, "Pengolahan limbah cair tahu menjadi air bersih dengan metode elektrokoagulasi secara kontinyu," *Chemublish J.*, vol. 5, no. 1, pp. 57–67, 2020, doi: 10.22437/chp.v5i1.7651.
- [20] I. Firfansyah, "Pengaruh Waktu Kontak Dan Kerapatan Arus Proses Elektrokoagulasi Dalam Mengolah Limbah Cair Bengkel Tugas Akhir," 2022.

- [21] A. Khaer and Rusli, "Kombinasi Elektrokoagulasi Dengan Media Clay Filter Dalam Menurunkan Kadar Fosfat (PO₄) Limbah Laundry," vol. 18, no. 2, pp. 211–215, 2018.
- [22] N. Damajanti and S. Ubaidillah, "Penyisihan COD dan TSS pada Limbah Cair Industri Tahu dengan Kombinasi Metode Elektrokoagulasi dan Filtrasi Menggunakan Media Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica* L)," *Proc. Ser. Phys. Form. Sci.*, vol. 6, pp. 70–74, 2023, doi: 10.30595/pspfs.v6i.854.
- [23] A. A. Rahmani, A. Arifin, and G. C. Asbanu, "Efisiensi Pengolahan Limbah Beton Ready-Mix Dengan Metode Elektrokoagulasi dan Adsorpsi," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 20, no. 2, pp. 375–381, 2022, doi: 10.14710/jil.20.2.375-381.
- [24] I. Ariani, "Penurunan Kadar Total Suspended Solid (TSS) Pada Air Limbah Domestik Dengan Menggunakan Reaktor "Aerokarbon Biofilter "," Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2007.
- [25] R. P. R. Vatra and Arifin, "Pengolahan Air Lindi TPABatu Layang Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dan Filtrasi," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 7, no. 2, pp. 737–744, 2023, doi: <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i2.2467>.
- [26] A. A. Sulianto, E. Kurniati, and A. A. Hapsari, "Perancangan Unit Filtrasi untuk Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Sistem Downflow," *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 6, no. 3, pp. 31–39, 2019, doi: 10.21776/ub.jsal.2019.006.03.4.