

Kinerja *Continuous Electrochemical Clarifier* (CEC) sebagai Teknologi Pengolahan Air Sumur Berkadar Besi dan Mangan Tinggi Menjadi Air Bersih

Suhirman^{1*}, Tubagus Fadhli Robby², Mutia Amyranti³

¹ *Proses Indutri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten, Serang-Indonesia*

² *Divisi Laboratorium Water Treatment, PT.Rofis Jaya Perkasa, Bogor- Indonesia*

³ *Teknik Kimia, Universitas Islam Syekh-Yusuf, Tangerang- Indonesia*

¹suhirman.suhirman@poltek-petrokimia.ac.id, ²tbfadhlirobby@yahoo.com, ³mutiaamyranti@unis.ac.id

Abstrak

Air sumur dari Klawas, Muara Enim, Sumatera Selatan, pada kedalaman ±110 m berwarna merah kecokelatan akibat tingginya kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn). Kualitas air awal belum memenuhi Permenkes No. 2 Tahun 2023 dengan kekeruhan 30,1 NTU, total dissolved solids (TDS) 18,6 mg/L, Fe 3,5 mg/L, Mn 0,55 mg/L, *Escherichia coli* 25 MPN/100 mL, dan total coliform 5 MPN/100 mL. Penelitian ini mengevaluasi kinerja *Continuous Electrochemical Clarifier* (CEC) berkapasitas 3 m³/jam untuk menghasilkan air bersih. Sistem CEC terdiri atas aerasi dalam tangki 5.000 L dan waktu tinggal 100 menit, unit electrochemical clarifier yang mencakup rapid mixing 1 menit, slow mixing 30 menit, dan sedimentasi 2 jam pada variasi muatan DC 100–500 Farad, serta filtrasi dan elektrodisisinfeksi pada 50 Farad. Hasil menunjukkan bahwa aerasi menurunkan Fe dan Mn hingga <0,001 mg/L dan <0,1 mg/L. Kondisi optimum pada muatan 350 Farad, sedangkan filtrasi menghasilkan kekeruhan <0,01 ± 0,00 NTU dan TDS 12,50 ± 0,10 mg/L. Elektrodisisinfeksi menghilangkan *E. coli* dan total coliform hingga 0 MPN/100 mL. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi aerasi, elektrokoagulasi berbasis anoda koagulan, filtrasi, dan elektrodisisinfeksi dalam sistem elektrokimia kontinyu untuk pengolahan air sumur berkadar Fe dan Mn tinggi menjadi air bersih sesuai Permenkes No. 2 Tahun 2023.

Kata Kunci : Air sumur, Aerasi, Anoda Koagulan, Clarifier, Elektrokimia

Abstract

Groundwater from Klawas, Muara Enim, South Sumatra, Indonesia, extracted at a depth of approximately 110 m, exhibited elevated iron (Fe) and manganese (Mn) concentrations, resulting in a reddish-brown appearance. Initial water quality failed to comply with Permenkes No. 2 of 2023, with turbidity of 30.1 NTU, total dissolved solids (TDS) of 18.6 mg L⁻¹, Fe of 3.5 mg L⁻¹, Mn of 0.55 mg L⁻¹, *Escherichia coli* of 25 MPN 100 mL⁻¹, and total coliforms of 5 MPN 100 mL⁻¹. This study evaluated a Continuous Electrochemical Clarifier (CEC) system (3 m³ h⁻¹) consisting of aeration, electrochemical clarification, filtration, and electro-disinfection. Aeration reduced Fe and Mn concentrations to <0.001 and <0.1 mg L⁻¹, respectively. Optimum clarification performance was achieved at 350 Faradays, while filtration decreased turbidity and TDS to <0.01 ± 0.00 NTU and 12.50 ± 0.10 mg L⁻¹. Electro-disinfection eliminated *E. coli* and total coliforms (0 MPN 100 mL⁻¹). The novelty of this work lies in the integration of aeration, sacrificial-anode electrocoagulation, filtration, and electro-disinfection within a continuous electrochemical treatment process, enabling efficient purification of Fe- and Mn-rich groundwater into clean water that complies with Permenkes No. 2 of 2023.

Keywords : Groundwater, Well water; Aeration, coagulant anode, Clarifier, Electrochemical

Article History:

Received 00 Jun 20xx

Revised 00 Jul 20xx

Accepted 00 Jul 20xx

Available online 00

Sep 20xx

1. Pendahuluan

Kebutuhan masyarakat terhadap air bersih merupakan persoalan yang kompleks karena air digunakan untuk berbagai keperluan, seperti mandi (Rasmini *et al.*, 2024), cuci (Surahman *et al.*, 2025), kakus (Nugroho, 2021), serta kebutuhan domestik lainnya. Kualitas air bersih harus memenuhi ketentuan peraturan kesehatan no 32 tahun 2017 dan no 2 tahun 2023. Parameter fisika (Kallista *et al.*, 2023), kimia (Kallista *et al.*, 2023), dan mikrobiologi (Puspasari *et al.*, 2023), agar aman digunakan bagi masyarakat. Sumber air yang umum dimanfaatkan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari adalah air tanah atau air sumur (Ramadhani *et al.*, 2023). Air tanah dangkal umumnya diperoleh dari sumur gali (Badu, 2023). Air tanah dalam diperoleh dari sumur bor (Ramadhani *et al.*, 2023). Air tanah dangkal terbentuk akibat peresapan air permukaan dengan kedalaman sekitar ± 15 meter, sedangkan air tanah dalam berasal dari lapisan akuifer yang lebih dalam dengan kedalaman ≥ 15 m (Utari & Ibrahim, 2022).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kualitas air tanah di kota Palembang, khususnya air sumur bor, belum memenuhi baku mutu air bersih (Aprianti1 *et al.*, 2025). Air sumur bor di wilayah ini umumnya memiliki kandungan besi (Fe) yang tinggi, yang ditandai dengan warna kekuningan hingga kecokelatan, bau logam, serta menimbulkan noda karat pada peralatan rumah tangga (Badu, 2023). Air sumur dikategorikan berdasarkan kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn), yaitu rendah apabila $Fe < 0,3$ ppm dan $Mn < 0,1$ ppm; sedang pada $Fe 0,3-1,0$ ppm dan $Mn 0,1-0,5$ ppm; tinggi apabila $Fe > 1,0$ ppm dan $Mn > 0,5$ ppm (Pamungkas *et al.*, 2023). Selain itu, air sumur bor di Palembang juga sering menunjukkan tingkat kekeruhan yang tinggi serta nilai pH yang bersifat asam, sehingga tidak sesuai dengan persyaratan kualitas air bersih untuk keperluan sanitasi dan domestik (Djana *et al.*, 2024). Kondisi tersebut menyebabkan air sumur bor tidak layak digunakan secara langsung tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (Permenkes) nomor 2 Tahun 2023, kadar besi maksimum dalam air sumur bor untuk keperluan *higiene* sanitasi adalah 0,2 mg/L (Rambe, 2023), warna maksimum 10 TCU (Devi Lestari *et al.*, 2025), dan kekeruhan dibawah 0,1 ppm (Syafudin *et al.*, 2025). Data tersebut menunjukkan bahwa kualitas air sumur di klawas-Muara Enim belum memenuhi standar yang dipersyaratkan, sehingga diperlukan upaya pengolahan air yang efektif.

Pengolahan air sumur menggunakan elektrokimia, khususnya melalui proses elektrokoagulasi dan elektrooksidasi sudah banyak dilakukan namun belum dilakukan secara sistem terintegrasi dengan beberapa alat (Dube, 2025), sebagai alternatif teknologi pengolahan air bersih yang efektif dan ramah lingkungan. Metode elektrokimia dipilih karena mampu menghasilkan koagulan secara melalui reaksi elektrolisis, sehingga tidak memerlukan penambahan bahan kimia dalam jumlah besar (Waryati *et al.*, 2024). Proses ini terbukti efektif dalam menurunkan berbagai parameter pencemar pada air sumur bor, seperti kadar besi (Fe), kekeruhan, warna, serta mikroorganisme patogen. Dalam proses elektrokimia, elektroda logam umumnya aluminium dialiri arus listrik searah (DC) sehingga terjadi pelarutan elektroda anoda yang menghasilkan ion logam (Al^{3+} atau Fe^{2+}/Fe^{3+}) (Masrullita, 2021). Ion-ion tersebut berperan sebagai *koagulan* aktif yang mampu mendestabilisasi dan mengikat partikel tersuspensi, koloid, serta logam terlarut didalam air. Sementara itu, reaksi pada elektroda katoda menghasilkan ion hidroksida (OH^-) yang dapat meningkatkan pH air dan mempercepat pengendapan besi terlarut menjadi senyawa hidroksida yang bersifat sukar larut (Ibrahim *et al.*, 2023). Mekanisme ini menjadikan proses elektrokimia efektif dalam menurunkan kadar besi serta memperbaiki kualitas fisika dan kimia air.

Tujuan meningkatkan efisiensi pengolahan, proses elektrokimia pada penelitian ini dikombinasikan dengan tahap filtrasi menggunakan media pasir silika sebagai proses pemisahan lanjutan (Cahyani *et al.*, 2025). Filtrasi berfungsi untuk menyaring *flok* dan endapan yang terbentuk selama proses elektrokoagulasi, khususnya endapan besi hidroksida dan partikel tersuspensi lainnya (Utari & Ibrahim, 2022). Pasir silika dipilih karena memiliki stabilitas kimia yang baik, ukuran butir yang seragam, serta efektif dalam menurunkan kekeruhan dan meningkatkan kejernihan air hasil pengolahan. Selain itu, sistem pengolahan dilengkapi dengan unit elektrodisinfektan sebagai tahap akhir pengolahan air (Firmansyah, 2023). Elektrodisinfektan berperan dalam menurunkan kandungan mikroorganisme patogen melalui pembentukan spesies oksidator selama proses elektrolisis, sehingga air hasil pengolahan menjadi lebih aman untuk keperluan *higiene* sanitasi (Puspasari *et al.*, 2023).

Kombinasi antara proses elektrokimia, filtrasi pasir silika, dan elektrodisefektan diharapkan mampu meningkatkan kualitas air sumur hingga memenuhi baku mutu air bersih. Penerapan sistem pengolahan air sumur berbasis elektrokimia yang dilengkapi dengan filter pasir silika dan unit elektrodisefektan memiliki keunggulan berupa proses yang relatif sederhana, waktu pengolahan yang singkat, serta kebutuhan bahan kimia yang minimal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem pengolahan air sumur menggunakan teknologi elektrokimia (CEC), yaitu: (1) menganalisis pengaruh proses aerasi terhadap penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn), (2) mengevaluasi kinerja unit *clarifier* terhadap perubahan pH dan kekeruhan air, (3) menganalisis efektivitas unit filtrasi dalam menurunkan kekeruhan dan *Total Dissolved Solids* (TDS), (4) mengevaluasi kinerja unit elektrodisefektan dalam menurunkan bakteri *E. coli* dan *Coliform*, serta (5) menganalisis pengaruh keseluruhan sistem CEC terhadap kesesuaian kualitas air dengan baku mutu air bersih.

Metode yang dapat digunakan untuk pengolahan air kotor yaitu menggunakan metode elektrokimia (En-Naji *et al.*, 2026). Dalam metode elektrokimia biasanya menggunakan anoda koagulan yang merupakan material aluminium (Yang & He, 2025). Anoda Alumina ketika diberikan arus listrik maka akan mengeluarkan ion alumina yang berinteraksi dengan air untuk membuat pengotor dalam air mengendap (Villarejo *et al.*, 2026).

Pada penelitian yang sudah berjalan pengolahan air sumur pada umumnya tidak ditambahkan aerasi sehingga kadar besi masih tinggi (Firmansyah, 2023), Metode konvensional dengan kimia terbatas pada harga bahan kimia yang tinggi, butuh penggudangan, butuh volume kimia alum yang tinggi, *sludge* yang banyak dan butuh banyak operator pada pengaplikasian sehingga belum optimal (Waryati *et al.*, 2024) dan penggunaan elektrodisefektan belum pernah diaplikasikan secara langsung karena penelitian terdahulu lebih memfokuskan pada penggunaan chlorin (Cahyani *et al.*, 2025),

1. Bahan dan Metode

2.1 Bahan

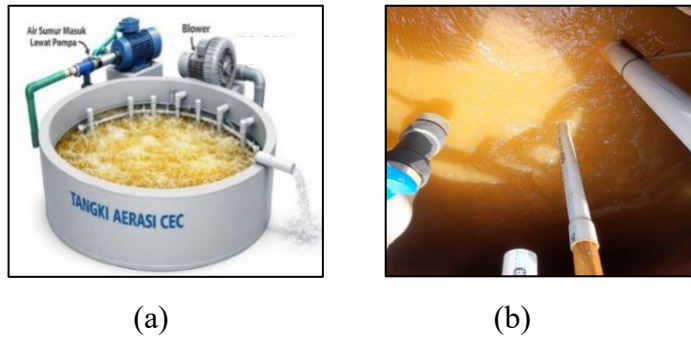
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Air sumur yang berlokasi di Klawas Muara Enim Palembang memiliki kedalaman 110 m. Air baku belum memenuhi baku mutu. Kekeruhan (30,1 NTU) dan warna (15 TCU) tinggi, serta Fe (3,5 mg/L) dan Mn (0,55 mg/L) melebihi ambang batas. Anode koagulan PT. Rofis Jaya Perkasa sekitar 15 set dengan setingan 350-380 farad dan jarak antar anode 5 cm. 1 Set anode memiliki massa \pm 15 kg yang memiliki prediksi masa pakai adalah 10 bulan dengan perhitungan menggunakan persamaan faraday.

2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aerasi kapasitas 5.000 liter berbahan *fiber lining* diproduksi PT. Rofis Jaya Perkasa. *Clarifier* CEC dengan kapasitas operasi 3 m³/jam berbahan *steel lining* diproduksi PT. Rofis Jaya Perkasa. Tabung filtrasi pasir silika dengan kapasitas operasi 3 m³/jam PT. Rofis Jaya Perkasa. Alat elektrodisefektan yang digunakan memiliki diameter 2 inci dan panjang 50 cm berbahan *stainless steel* di Produksi oleh PT. Rofis Jaya Perkasa.

2.3 Metode Penurunan Besi dan Mangan dalam Reaktor Aerasi CEC

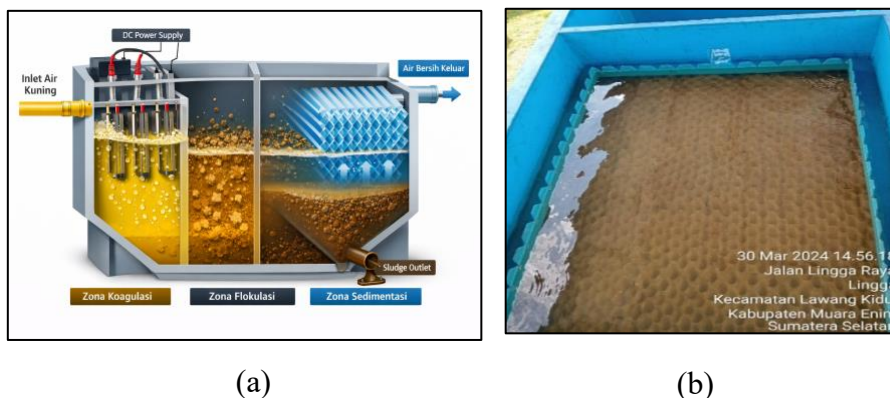
Reaktor aerasi yang digunakan memiliki kapasitas 5.000 liter, dengan debit air sumur masuk 3 m³/jam dan waktu tinggal dalam reaktor aerasi selama 100 menit. Sampel air diambil pada titik input reaktor untuk dianalisis kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) sebagai kondisi awal. Selanjutnya, sampel air pada keluaran reaktor aerasi diambil untuk dianalisis secara berkala selama 7 jam operasi, dengan interval pengambilan sampel setiap 1 jam. Parameter yang dianalisis meliputi konsentrasi besi dan mangan guna mengevaluasi kinerja reaktor aerasi dalam menurunkan kandungan logam tersebut. Adapun gambar alat aerasi seperti pada Gambar 1 (a) dan (b) .



Gambar 1. (a) Rancangan alat tiga dimensi (b) Alat terpasang aerasi CEC kapasitas 3m³/jam

2.4 Penurunan Kekeruhan dan TDS dam Clarifier CEC

Pada Gambar 2a dan 2b menunjukkan air sumur hasil pengolahan pada reaktor aerasi CEC dipompa menuju unit *Clarifier* CEC dengan kapasitas operasi 3 m³/jam. Proses pengolahan meliputi pengadukan cepat (*rapid mixing*) selama 1 menit (Dewi & Juliardi, 2023), diikuti pengadukan lambat (*slow mixing*) selama 30 menit (Harmiyanti, 2023), serta proses sedimentasi didalam *clarifier* dengan waktu tinggal 2 jam (Arum et al., 2024) , serta proses sedimentasi didalam *clarifier* dengan waktu tinggal 2 jam. Pada unit *Clarifier* CEC diterapkan variasi muatan listrik DC sebesar 100, 200, 300, 350, 400, dan 500 farad yang dialirkan ke elektroda anoda *koagulan* untuk mengevaluasi pengaruh besar arus listrik terhadap kinerja proses elektrokoagulasi. Pengambilan sampel air dilakukan setiap 4 jam untuk memastikan kondisi operasi stabil pada masing-masing perlakuan. Selanjutnya, sampel dianalisis terhadap parameter kekeruhan (*turbidity*) dan *total dissolved solids* (TDS) sebagai indikator utama efektivitas sistem *Continuous Electrochemical Clarifier* (CEC). Adapun Gambar Clarifier seperti ditunjukkan Gambar 2 (b).



Gambar 2 (a) Rancangan tiga dimensi (b) Alat terpasang *Clarifier* CEC Kapasitas 3m³/jam

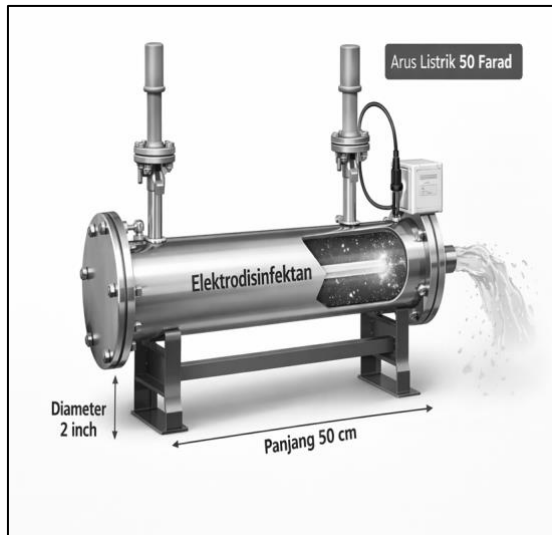
2.4 Metode Penurunan Kekeruhan dan TDS Menggunakan Filter CEC

Air hasil olahan yang keluar dari unit *Clarifier* CEC selanjutnya dialirkan menuju unit filtrasi pasir silika dengan kapasitas operasi 3 m³/jam. Proses filtrasi ini berfungsi sebagai tahap akhir untuk menurunkan sisa kekeruhan (*turbidity*) dan *total dissolved solids* (TDS) yang masih terdapat dalam air setelah proses elektrokoagulasi dan sedimentasi. Pengambilan sampel air dilakukan pada outlet filter pasir silika selama waktu operasi 24 jam, dengan interval pengambilan sampel setiap 7 jam. Selanjutnya, sampel air hasil filtrasi dianalisis parameter kekeruhan (*turbidity*) dan TDS.

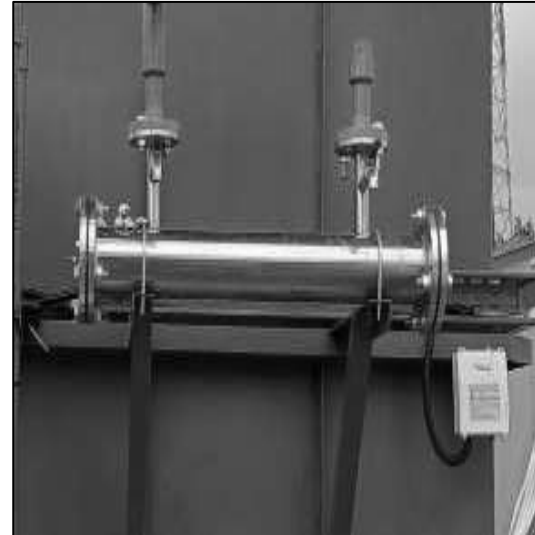
2.5 Metode Penurunan *E.Coli* dan *Coliform* menggunakan Elektrodiseinfektan

Pada Gambar 3a dan 3b menunjukkan unit elektrodiseinfektan yang digunakan memiliki diameter 2 inci dan panjang 50 cm, serta dilengkapi dengan anoda disinfektan didalam reaktor. Arus listrik DC yang diberikan pada unit ini disesuaikan dengan standar operasional alat, yaitu sebesar 50 farad, untuk memastikan proses disinfeksi berlangsung secara efektif dan stabil. Air hasil olahan yang keluar dari unit elektrodiseinfektan selanjutnya dianalisis terhadap parameter mikrobiologi, meliputi

Escherichia coli (*E. coli*) dan *total coliform*, untuk mengevaluasi kinerja unit elektrodisefektan dalam menurunkan kandungan mikroorganisme patogen. Pengambilan sampel dilakukan satu kali, yaitu pada akhir waktu operasi, dengan asumsi bahwa kondisi sistem telah mencapai keadaan tunak (*steady state*), sehingga sampel yang diambil dapat merepresentasikan kinerja akhir proses disinfeksi secara keseluruhan. Adapun Gambar Elektrodisefektan yang terpasang ditunjukkan pada Gambar 3 (b).



(a)

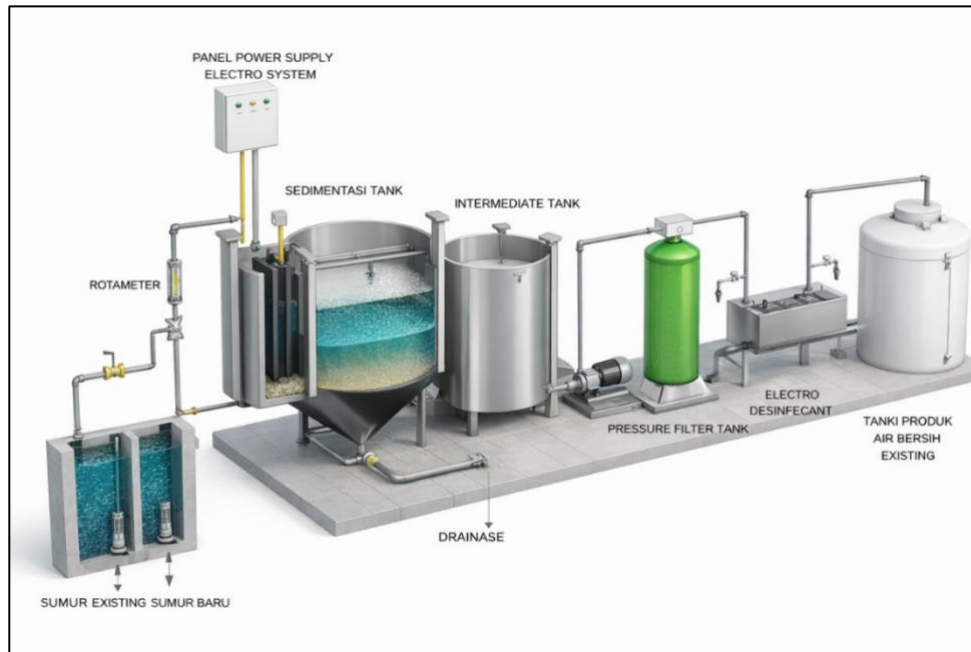


(b)

Gambar 3 (a) Rancangan tiga dimensi (b) Alat terpasang Elektrodisefektan Aerasi CEC 3m³/jam

2.6 Pengolahan sistem keseluruhan CEC Air Sumur

Gambar 4 rangkaian sistem CEC. Air baku yang berasal dari sumur dialirkan menggunakan pompa menuju reaktor aerasi. Air hasil aerasi selanjutnya dipompa ke unit *clarifier* dengan pengaturan katup (*valve*) sehingga debit aliran dijaga konstan sebesar 3 m³/jam. Penghilangan Besi dan mangan menggunakan alat reaktor aerasi. Proses penghilangan pengotor dilakukan melalui elektrokoagulasi menggunakan anoda koagulan dengan pengaturan arus listrik pada kisaran 350–380 farad. Didalam *clarifier* berlangsung tahapan koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi, sehingga partikel pengotor dan flok yang terbentuk mengendap secara gravitasi. Lumpur hasil pengendapan (*sludge*) dibuang secara periodik melalui sistem *blowdown*. Air hasil klarifikasi kemudian dialirkan ke *intermediate* tank dan selanjutnya diproses pada unit filter bertekanan (*pressure filter*) untuk menghilangkan partikel tersuspensi yang masih tersisa. Tahap akhir pengolahan dilakukan menggunakan unit elektrodisefektan untuk menonaktifkan mikroorganisme patogen yang masih terdapat dalam air. Pengambilan sampel kualitas air dilakukan pada outlet unit elektrodisefektan dan dianalisis berdasarkan parameter standar mutu air bersih.



Gambar 4. Rangkaian Alat Sistem CEC

2.7 Analisa

Analisis kualitas air dilakukan menggunakan pH meter Hanna, TDS meter Hi-Tech, dan Hach 2100Q Portable Turbidity Meter. Parameter kualitas air lainnya dianalisis sesuai standar Permenkes no. 2 Tahun 2023 melalui Laboratorium PT Atmos Laboratorium Indonesia. Debit aliran air diukur menggunakan rotameter dengan kapasitas maksimum 5 m³/jam. Air sumur sebelum dan sesudah proses pengolahan dianalisis berdasarkan parameter baku mutu air bersih sesuai Permenkes no. 2 Tahun 2023. Pada tahap aerasi dilakukan analisis kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn). Pada unit clarifier dan filter dianalisis parameter kekeruhan (turbidity), pH, dan total dissolved solids (TDS). Selanjutnya, pada unit elektrodisisinfektan dilakukan analisis parameter mikrobiologi, yaitu total coliform dan Escherichia coli, untuk mengevaluasi efektivitas proses disinfeksi.

2. Hasil dan Pembahasan

Pengolahan air sumur yang berlokasi di Klawas sesuai Gambar 5a difokuskan pada penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) melalui tahap awal sistem CEC, yaitu aerasi, yang berfungsi mengoksidasi dan mengendapkan logam terlarut (Aziz et al., 2024). Tahap kedua CEC dilakukan melalui *clarifier* elektrokimia menggunakan anoda koagulan untuk menurunkan kekeruhan dan TDS (Ella et al., 2025). Selanjutnya, pada tahap ketiga CEC, penyisihan total padatan tersuspensi (TSS) dan bakteri dilakukan menggunakan filtrasi pasir silika yang dikombinasikan dengan proses elektrodisisinfektan guna meningkatkan kualitas mikrobiologis air. Secara keseluruhan, pengolahan air sumur menjadi air bersih dilakukan menggunakan satu sistem CEC terintegrasi.

3.1 Aerasi CEC terhadap Kadar Besi dan Mangan

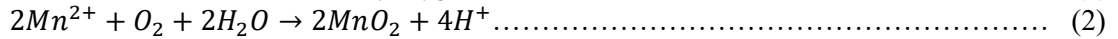
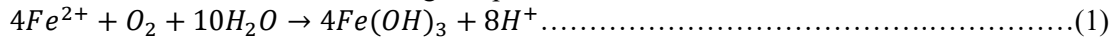


Gambar 5. (a) lokasi sumur (b) Air dalam bak aerasi (c) air sumur dan hasil olahan

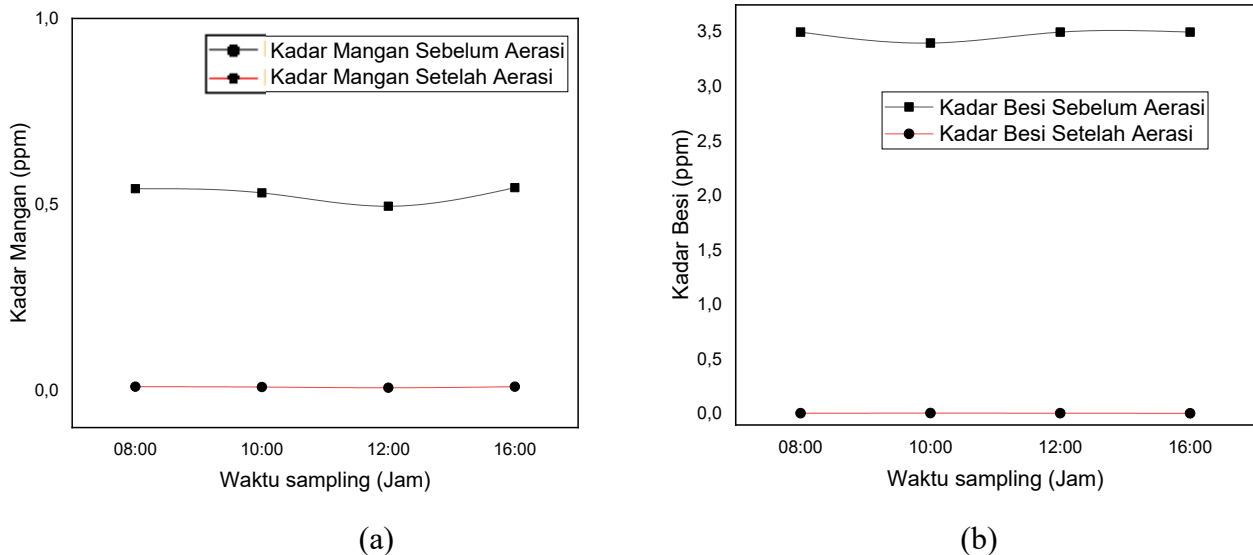
Air sumur di wilayah Klawas pada Gambar 5a. Pada kondisi awal pengambilan umumnya tampak jernih dan tidak berwarna. Namun, setelah didiamkan beberapa waktu, air mengalami perubahan warna menjadi kuning kecokelatan seperti Gambar 5b. Kondisi ini mengindikasikan adanya kandungan besi terlarut (Fe^{2+}) dan mangan terlarut (Mn^{2+}) yang lazim dijumpai pada air tanah dalam kondisi *reduktif* atau minim oksigen. Sesuai dengan penelitian Intan pada tahun 2025 bahwa peningkatan difusi oksigen dapat digunakan sebagai alternatif untuk menurunkan kadar besi dan mangan yang terdapat dalam air (Novia et al., 2025).

Besi terlarut dalam bentuk *ferro* (Fe^{2+}) bersifat tidak berwarna dan stabil pada kondisi anaerob. Pada saat air bersentuhan dengan oksigen di udara, Fe^{2+} akan teroksidasi menjadi Fe^{3+} yang bersifat tidak larut dan membentuk endapan hidroksida besi berwarna kuning hingga cokelat kemerahan. Reaksi oksidasi besi tersebut dapat dinyatakan seperti persamaan 2.1. Endapan $Fe(OH)_3$ inilah yang menyebabkan perubahan warna dan peningkatan kekeruhan pada air sumur setelah didiamkan.

Selain besi, air sumur di Klawas juga mengandung mangan terlarut dalam bentuk Mn^{2+} yang bersifat tidak berwarna dan lebih stabil dibandingkan Fe^{2+} . Proses oksidasi mangan berlangsung lebih lambat dan memerlukan kondisi *oksidatif* yang lebih kuat, khususnya pH yang lebih tinggi. Oksidasi ini menghasilkan MnO_2 berwarna cokelat kehitaman yang berkontribusi terhadap kekeruhan dan perubahan warna air. Keberadaan Mn^{2+} umumnya tidak terdeteksi pada tahap awal, namun menjadi dominan setelah besi teroksidasi dan mengendap.



Penerapan proses aerasi berperan penting dalam menurunkan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) secara simultan. Proses aerasi meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut (dissolved oxygen), sehingga mempercepat oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} yang selanjutnya membentuk endapan $Fe(OH)_3$. Endapan $Fe(OH)_3$ yang terbentuk berfungsi sebagai permukaan katalitik yang dapat mempercepat oksidasi mangan melalui mekanisme ko-oksidasi dan adsorpsi. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Febrina tahun 2022 menunjukkan bahwa proses aerasi mampu menurunkan kadar besi dengan efisiensi sebesar 82,6% dan mangan sebesar 95,5%, sehingga membuktikan efektivitas aerasi sebagai tahap awal pengolahan air yang mengandung logam besi dan mangan (Febrina Zulya et al., 2022).

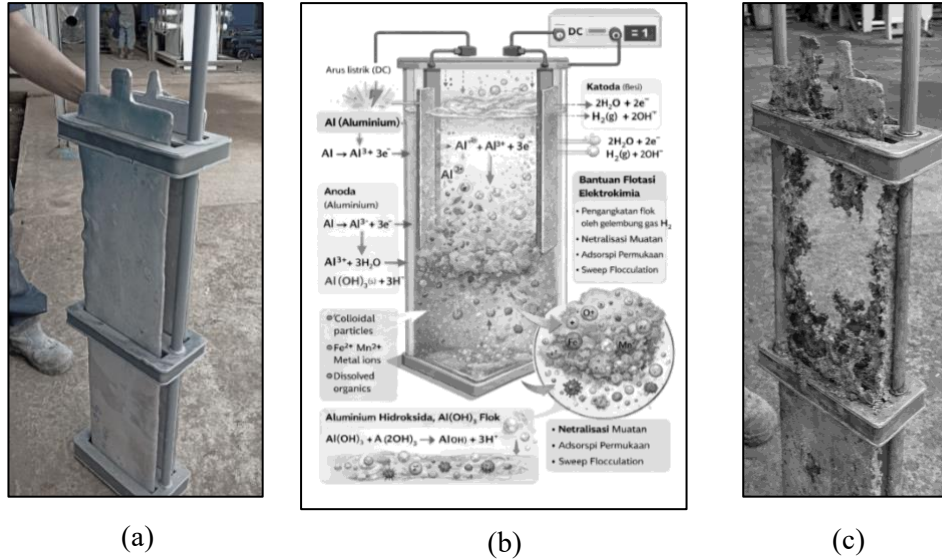


Gambar 6. (a) Penurunan mangan (b) kadar besi hasil olahan reaktor aerasi

Berdasarkan Gambar 6a, konsentrasi mangan (Mn) mengalami penurunan signifikan dari konsentrasi awal sebesar 0,55 mg/L menjadi kurang dari 0,001 mg/L. Penurunan ini menunjukkan bahwa proses aerasi berperan efektif dalam mengoksidasi dan mengendapkan mangan terlarut, terutama karena kondisi pH air berada pada kisaran netral yang mendukung reaksi oksidasi mangan. Selanjutnya, pada Gambar 6b ditunjukkan bahwa konsentrasi besi (Fe) yang semula sebesar 3,5 mg/L

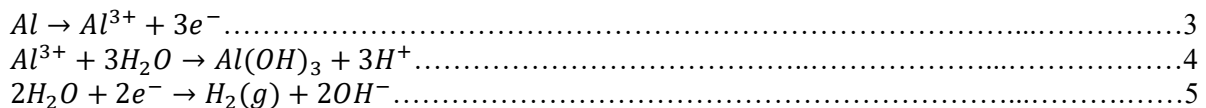
berhasil diturunkan hingga di bawah 0,1 mg/L. Hal ini mengindikasikan bahwa proses oksidasi besi telah berlangsung secara optimal didalam reaktor aerasi, sehingga besi terlarut terkonversi menjadi bentuk oksida atau hidroksida yang mudah terpisahkan dari fase air.

3.2 Clarifier CEC terhadap pH dan Kekeruhan



Gambar 7. (a) Anoda Koagulan Aluminium (b) Mekanisme reaksi anoda koagulan (c) Anoda koagulan habis bereaksi sisa 20%

Pada Gambar 7(a) ditunjukkan proses reaksi anoda koagulan aluminium dengan air sumur dalam menurunkan kekeruhan (turbidity). Pada proses elektrokoagulasi, anoda aluminium mengalami pelarutan elektrolitik menghasilkan ion Al^{3+} (Persamaan 3), yang selanjutnya mengalami hidrolisis membentuk spesies $Al(OH)_3$ amorf sebagai koagulan aktif (Persamaan 4). Selain mekanisme koagulasi, pada elektroda katoda terjadi pembentukan gelembung gas hidrogen (H_2) (Persamaan 5) yang berkontribusi terhadap proses elektroflotasi. Secara visual, fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 7(c), di mana terlihat adanya penurunan massa anoda akibat proses pelarutan.



Hasil reaksi elektrokimia menunjukkan bahwa penggunaan arus listrik 350 farad merupakan kondisi paling optimal, dengan kemampuan menurunkan kekeruhan hingga $1,67 \pm 1,15$ NTU, yang menunjukkan kinerja sangat efektif. Sebaliknya, pada arus yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah, nilai kekeruhan masih relatif tinggi, masing-masing sebesar $24,33 \pm 4,73$ NTU dan $25,00 \pm 1,00$ NTU sesuai **Tabel 1**. Arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pelepasan partikel anoda berlebih sehingga meningkatkan kekeruhan, sedangkan arus yang terlalu rendah menghasilkan jumlah ion Al^{3+} yang tidak mencukupi untuk proses koagulasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Febrina *et al.* (2022) yang melaporkan bahwa efektivitas elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium dalam menurunkan kekeruhan air tanah dapat mencapai lebih dari 85% (Febrina Zulya *et al.*, 2022).

Tabel 1. Variasi Arus Anoda Koagulan terhadap *Turbidity*

Anoda	Debit Air Sumur (M ³ /jam)	Farad	Waktu Operasi (Jam)	<i>Turbidity</i> (ppm)			Rata-Rata <i>Turbidity</i> (ppm)	<i>Turbidity</i> <i>Turbidity</i> ± SDB
EC-AI	3	100	4	25	23	25	24,33	24,33 ± 4,73
EC-AI	3	300	4	10	15	17	14,00	14,00 ± 3,61
EC-AI	3	350	4	3	1	1	1,67	1,67 ± 1,15
EC-AI	3	400	4	4	5	4	4,33	4,33 ± 0,58
EC-AI	3	500	4	24	25	26	25,00	25,00 ± 1,00

Penggunaan anoda koagulan aluminium pada proses elektrokoagulasi memberikan dampak yang relatif stabil terhadap nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) dan pH air, berbeda dengan proses koagulasi menggunakan bahan kimia konvensional, dimana NaOH dapat menaikkan nilai *TDS* dan Koagulan kimia dapat menurunkan pH (Puspasari *et al.*, 2023). Berdasarkan hasil pengujian, nilai *TDS* setelah proses elektrokoagulasi berada pada kisaran yang sempit dan tidak menunjukkan fluktuasi signifikan meskipun dilakukan variasi arus listrik. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme elektrokoagulasi lebih dominan menghilangkan partikel tersuspensi dan koloid, bukan menambah zat terlarut baru ke dalam air.

Stabilitas *TDS* ini berkaitan erat dengan mekanisme pembentukan koagulan in situ dari pelarutan anoda aluminium. Ion Al³⁺ yang terbentuk segera terhidrolisis menjadi Al(OH)₃ amorf, sehingga tidak berkontribusi besar terhadap peningkatan padatan terlarut. Berbeda dengan koagulan kimia seperti tawas atau PAC, yang secara langsung menambahkan ion sulfat atau klorida ke dalam sistem, elektrokoagulasi tidak memasukkan anion asing dalam jumlah besar yang berpotensi meningkatkan nilai *TDS*.

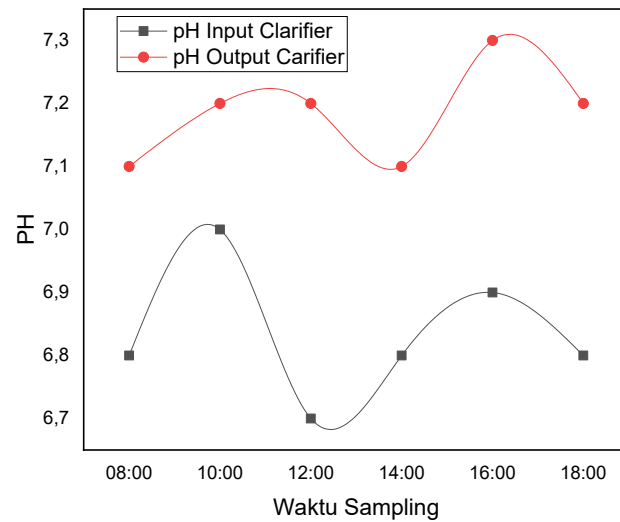
Selain itu, proses elektrokoagulasi menunjukkan kecenderungan menstabilkan pH air. Pada elektroda katoda terjadi pembentukan ion OH⁻ akibat reduksi air, sementara pada anoda terjadi pembentukan ion H⁺ dari reaksi hidrolisis aluminium. Kedua reaksi ini berlangsung secara simultan sehingga menciptakan efek penyangga (*self-buffering*) didalam sistem. Akibatnya, perubahan pH selama proses relatif kecil dan lebih terkendali dibandingkan koagulasi kimia, yang sering menyebabkan penurunan pH secara drastis dan memerlukan penambahan bahan penetral.

Dengan demikian, penggunaan anoda koagulan aluminium dalam proses elektrokoagulasi tidak hanya efektif dalam penghilangan kekeruhan, tetapi juga lebih ramah terhadap kestabilan kimia air, khususnya dalam menjaga nilai *TDS* dan pH tetap berada pada kisaran yang aman. Karakteristik ini menjadikan elektrokoagulasi sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan dibandingkan koagulasi kimia konvensional dalam pengolahan air sumur. (Suhartawan *et al.*, 2023).

Tabel 2. Variasi Arus Anoda Koagulan terhadap *TDS*

Anoda	Debit Air Sumur (M ³ /jam)	Farad	Waktu Operasi (Jam)	<i>TDS</i> (ppm)			TDS Rata-Rata	<i>TDS</i> <i>TDS</i> ± SDB
EC-AI	3	100	4	17,8	17,6	17,9	17,77	17,77 ± 1,53
EC-AI	3	300	4	17,5	17,4	17,6	17,50	17,50 ± 1,00
EC-AI	3	350	4	17,4	17,3	17,8	17,50	17,50 ± 2,65
EC-AI	3	400	4	17,7	17,5	17,7	17,63	17,63 ± 1,15
EC-AI	3	500	4	17,5	17,7	17,6	17,60	17,60 ± 1,00

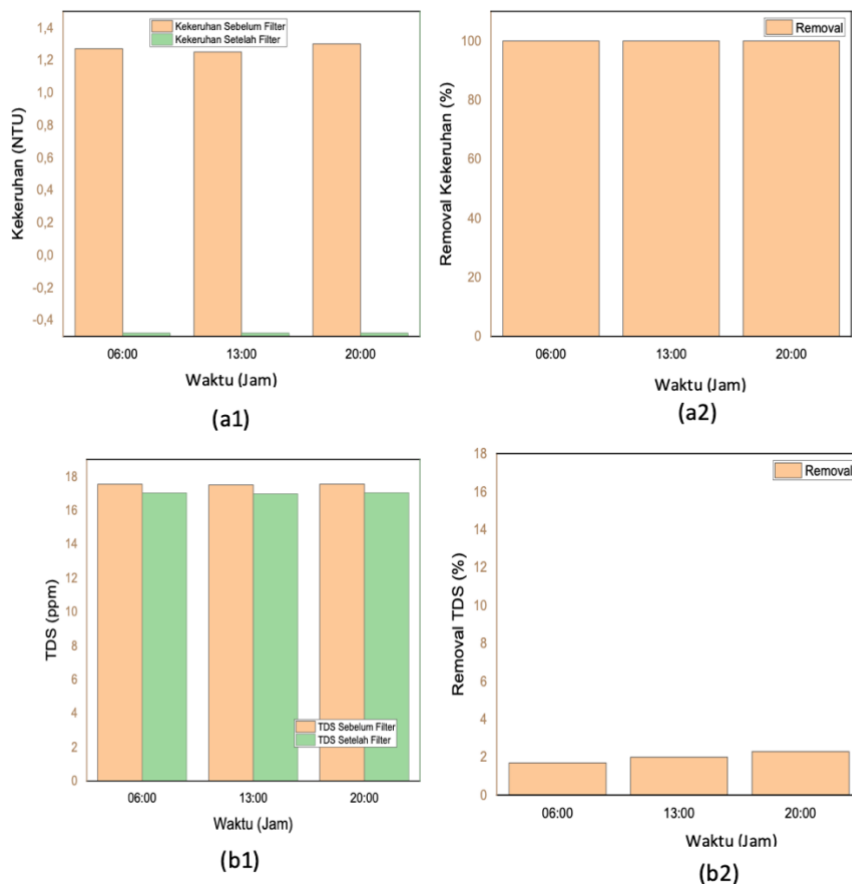
Dari aspek pH, elektrokoagulasi aluminium cenderung meningkatkan pH air yang semula asam akibat pembentukan ion OH⁻ di katoda. Keseimbangan antara pembentukan OH⁻ dan H⁺ menyebabkan perubahan pH relatif stabil (*self-buffering*), sehingga mendukung pengendapan besi dan mangan tanpa memerlukan penyesuaian pH tambahan.



Gambar 7. Dampak elektrokoagulan terhadap pH

3.3 Pengaruh Filter CEC terhadap Kekeruhan dan TDS air Sumur

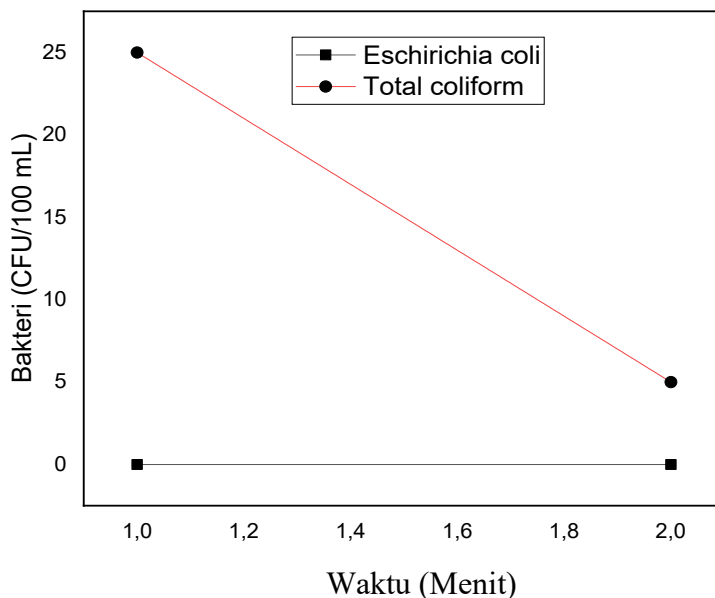
Filter dalam sistem CEC berfungsi sebagai unit polishing untuk menjernihkan kembali air, karena partikel-partikel halus yang masih lolos dari unit *clarifier* dapat terperangkap di antara tumpukan partikel silika melalui pori-pori pasir silika. Media filter bekerja terutama melalui mekanisme filtrasi mekanik, sehingga mampu menurunkan kekeruhan secara efektif. Selain pasir silika, media lain yang memiliki kemampuan hampir serupa dalam menurunkan kekeruhan antara lain zeolit, karbon aktif, dan gravel, yang masing-masing berperan sebagai media penyaring partikel tersuspensi (Syawal *et al.*, 2022). Pengaruh filter terhadap nilai *Turbidity* dan TDS dilakukan analisis selama 24 jam setiap rentang 7 jam.



Gambar 8. Pengaruh Fiter (a1) dan (a2) terhadap kekeruhan; (b1) dan (b2) terhadap TDS

3.4 Pengaruh Elektrodisefektan

Hasil pengujian mikrobiologi menunjukkan terjadinya penurunan yang sangat signifikan terhadap jumlah *Escherichia coli* dan *total coliform* setelah air sumur diolah menggunakan sistem CEC yang terintegrasi dengan unit elektrodisefektan. Gambar 8 memperlihatkan tren penurunan yang konsisten hingga mencapai nilai mendekati nol, yang mengindikasikan efektivitas tinggi proses elektrodisefektan dalam menonaktifkan mikroorganisme patogen. Penurunan mikroorganisme ini terjadi akibat mekanisme elektrokimia yang berlangsung selama proses elektrodisefektan, antara lain pembentukan spesies oksidator kuat seperti radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), ion hipoklorit (OCl^-), dan klorin aktif, yang mampu merusak membran sel, protein, serta materi genetik mikroorganisme. Selain itu, medan listrik yang dihasilkan juga berkontribusi terhadap gangguan integritas dinding sel bakteri, sehingga mempercepat proses inaktivasi. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem CEC tidak hanya efektif dalam menurunkan parameter fisika dan kimia air, tetapi juga mampu menjamin keamanan mikrobiologis air hasil olahan. Konsentrasi *E. coli* dan *total coliform* pada air keluaran telah memenuhi persyaratan mutu air bersih sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 2 Tahun 2023, yang mensyaratkan *E. coli* dan *total coliform* bernilai 0 per 100 mL sampel. Dengan demikian, unit elektrodisefektan berperan krusial sebagai tahap akhir pengolahan dalam menghasilkan air bersih yang aman untuk keperluan domestik.



Gambar 8. Pengaruh elektrodisefektan terhadap *E-Coli* dan *total coliform*

3.5 Pengaruh Sistem CEC terhadap Baku Mutu Air Bersih

Hasil uji kualitas air menunjukkan bahwa air sumur sebelum pengolahan (input) memiliki beberapa parameter yang tidak memenuhi baku mutu, khususnya pada parameter fisika dan kimia. Nilai kekeruhan (30,1 NTU) dan warna (15 TCU) melebihi baku mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023, yang mengindikasikan tingginya kandungan partikel tersuspensi dan senyawa terlarut, terutama besi dan mangan. Selain itu, konsentrasi besi (Fe) sebesar 3,5 mg/L dan mangan (Mn) sebesar 0,55 mg/L tergolong tinggi dan melampaui ambang batas yang diperkenankan, sehingga berpotensi menimbulkan gangguan estetika dan teknis pada penggunaan air. Setelah proses pengolahan, terjadi penurunan signifikan pada seluruh parameter utama. Kekeruhan menurun hingga $<0,01$ NTU, warna menjadi 0,8 TCU, dan TDS turun dari 18,6 menjadi 12,0 mg/L, yang menunjukkan efektivitas proses pengolahan dalam menghilangkan partikel tersuspensi dan zat terlarut. Parameter kimia juga mengalami perbaikan, di mana pH meningkat dari 6,8 menjadi 7,2 dan berada dalam rentang baku mutu, sementara Fe dan Mn masing-masing turun menjadi 0,008 mg/L dan 0,01 mg/L, jauh di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh Permenkes No. 2 Tahun 2023. Pada parameter mikrobiologi, air baku terdeteksi

mengandung Total Coliform (25 MPN/100 mL) dan *E. coli* (5 MPN/100 mL), yang menunjukkan adanya potensi kontaminasi biologis. Setelah pengolahan, kedua parameter tersebut tidak terdeteksi (0 MPN/100 mL), menandakan bahwa sistem pengolahan mampu meningkatkan kualitas air dari aspek higienis dan keamanan kesehatan. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa proses pengolahan yang diterapkan efektif dalam meningkatkan kualitas air sumur, sehingga air hasil olahan telah memenuhi baku mutu air minum sesuai Permenkes No. 2 Tahun 2023 dan layak digunakan untuk kebutuhan domestik. Temuan ini menegaskan bahwa kombinasi proses fisika, kimia, dan desinfeksi yang digunakan mampu mengatasi permasalahan air sumur dengan kandungan besi dan mangan tinggi.

Berdasarkan studi terdahulu, residu aluminium dari elektrokoagulasi umumnya rendah dan tidak menimbulkan pencemaran sekunder jika kondisi operasi terkontrol. Ion Al^{3+} dari anoda mengalami hidrolisis membentuk $Al(OH)_3$ amorf yang sukar larut, mudah berflok, lalu terpisah melalui sedimentasi atau filtrasi. Holt et al. (2025) dan Mollah et al. (2024) melaporkan aluminium terlarut <0,1–0,2 mg/L, terutama pada pH netral (6,5–8,5) saat kelarutan minimum. Emamjomeh & Sivakumar (2009) menyatakan >95% aluminium terikat dalam flok dan terpisah dari air. Menurut WHO (2017), batas aluminium air minum 0,2 mg/L, sehingga residunya masih aman. Dengan demikian, anoda aluminium pada elektrokoagulasi tidak menimbulkan pencemaran sekunder signifikan jika parameter operasi optimal dan didukung klarifikasi serta filtrasi.

Tabel 3. Pengaruh Sistem CEC terhadap Parameter Air Bersih

Parameter	Input	Hasil	Baku Mutu Permenkes 2/2023	Baku Mutu Permenkes 32/2017	Unit	Metode
Fisika						
Kekeruhan*	30,1	<0,01	<3	25	NTU	SNI 06-6989.25-2005
Warna*	15	0,8	10	50	TCU	SNI 6989.80:2011
Padatan Terlarut Total (TDS)*	18,6	12,0	<300	1000	mg/L	SNI 6989.27:2019
Rasa	Berasa	Tidak Berasa	Tidak Berasa	Tidak Berasa	–	Organoleptik
Bau	Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	–	Organoleptik
Kimia						
pH*	6,8	7,2	6,5–8,5	6,5–8,5	unit pH	SNI 6989.11:2019
Besi (Fe)	3,5	0,008	0,2	1,0	mg/L	SNI 6989.4:2009
Kesadahan ($CaCO_3$)*	17	3,7	500	500	mg/L	SNI 06-6989.12-2004
Mangan (Mn)	0,55	0,01	0,1	0,5	mg/L	SNI 6989.5:2009
Nitrit (NO_2^- -N)*	<01	<0,009	1	1,0	mg/L	SNI 06-6989.9-2004
Sulfat (SO_4)*	20	12,4	400	400	mg/L	SNI 6989.20:2009
Zat Organik ($KMnO_4$)*	9,6	2,7	10	10	mg/L	SNI 06-6989.22-2004
Mikrobiologi						
Total Coliform	25	0	0	50	MPN/10 0 mL	SM APHA 23rd Ed 9221, 2017
<i>E. coli</i>	5	0	0	0	MPN/10 0 mL	SM APHA 23rd Ed 9221, 2017

3. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian menunjukkan terdapat 5 kesimpulan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Unit aerasi CEC mampu menurunkan konsentrasi besi (Fe) dan mangan (Mn) dari masing-masing 3,5 mg/L dan 0,55 mg/L menjadi <0,1 mg/L dan <0,001 mg/L melalui proses oksidasi dan pelepasan gas terlarut.

2. Unit clarifier CEC yang dioperasikan pada dosis koagulan optimum 350 Farad efektif menurunkan kekeruhan dan TDS hingga mencapai $1,67 \pm 1,15$ NTU dan $17,50 \pm 2,65$ mg/L.
3. Unit filter CEC mampu meningkatkan kualitas air lebih lanjut dengan menurunkan kekeruhan dan TDS dari $1,27 \pm 0,26$ NTU dan $17,17 \pm 0,40$ mg/L menjadi $<0,001 \pm 0,00$ NTU dan $12,50 \pm 0,10$ mg/L.
4. Unit elektrodisinfectan CEC terbukti efektif dalam menurunkan parameter mikrobiologi, yaitu *Escherichia coli* dan Total Coliform, dari masing-masing 0,25 MPN/100 mL dan 2,5 MPN/100 mL menjadi 0 MPN/100 mL, sehingga air hasil olahan aman secara mikrobiologis.
5. Sistem CEC secara keseluruhan efektif meningkatkan kualitas air sumur, ditunjukkan dengan penurunan kekeruhan, warna, TDS, Fe, Mn, serta hilangnya Total Coliform dan *E. coli*, sehingga air hasil olahan memenuhi baku mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023.

Daftar Pustaka

- Aprianti1, T., Vidian, F., & Sisnayati. (2025). Pengolahan Air Menjadi Air Bersih Dan Air Minum Dengan Teknologi. *12*, 552–562.
- Arum, T. M., Hari, D., & Indaryanto, W. (2024). Penentuan Kondisi Optimum Pengadukan Dalam Proses Koagulasi. *Jurnal Purifikasi*, 5(3), 121–126.
- Aziz, T., Kahardini, marina maharani, & Dewi, utami tanti. (2024). *Application of Drinking Water Disinfection Process Using Wood Vinegar Based on Sawdust Waste As an Alternative Disinfection Material*. *Journal Chemurgy*, 152, 132–138.
- Badu, R. R. (2023). Pengolahan Air Sumur Gali Menggunakan Filter dengan Karbon Aktif Untuk Mengurangi Parameter pH dan TDS. *CivETech*, 5(2), 45–53. <https://doi.org/10.47200/civetech.v5i2.1804>
- Cahyani, N. A., Rosariawari, F., Lingkungan, J. T., Pembangunan, U., Veteran, N. ", Timur, J., & Koresponden, S. (2025). Efektifitas Metode Elektrokoagulasi Dengan Penambahan Medan Magnet Dalam Menyisihkan TSS dan COD Air Limbah Industri Rumah Potong Hewan. *Jurnal Serambi Engineering*, X, No. 1(1), 11560–11570.
- Devi Lestari, Imas Masriah, Sulwiyatul Kamariah Sani, Siti Mahmudha, & Adelia Yesya Putri Hasibuan. (2025). Analisis Kualitas Air Hygiene Sanitasi Secara Fisika dan Kimia di Perumahan Green View Sunggal. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 4(3), 395–406. <https://doi.org/10.55123/insologi.v4i3.5309>
- Dewi, T. C., & Juliardi, N. R. (2023). Perbandingan Efisiensi Penurunan COD dan TSS Limbah Laundry Menggunakan Cangkang Udang dan Kacang Babi (*Vicia Faba*) sebagai Biokoagulan. *Enviroous*, 3(2), 1–4. <https://doi.org/10.33005/enviroous.v3i2.3>
- Djana, M., Rizka Mayasari, Rosalia Dwi Werena, & Hasrul Anwar. (2024). Desain Sistem Pengolahan Air Layak Konsumsi Dengan Aplikasi Membran Ultrafiltrasi Termodifikasi. *Jurnal Redoks*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.31851/redoks.v9i1.13208>
- Dube, A. (2025). *Electrochemical water treatment: Review of different approaches*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123911>
- Ella, I. S., Adiono, M., Suaebah, E., & Rohmawati, L. (2025). Efektivitas Alumunium Sulfat Dalam Mengurangi Kekeruhan Air Pada Uji Jar Test Pt. Hanarida Tirta Birawa Sidoarjo. *Inovasi Fisika Indonesia*, 14(1), 21–26. <https://doi.org/10.26740/ifi.v14n1.p21-26>
- En-Naji, I., Peng, Z., Su, Y., Khojastehnezhad, A., & Siaj, M. (2026). *Boosted charge carrier dynamics in WO3 photoanodes engineered through a one-step electrochemical post-treatment for efficient photoelectrochemical water splitting*. *Applied Surface Science*, 717(August 2025), 164827. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2025.164827>
- Febrina Zulya, Fahrizal Adnan, Yodi P. Dewi, Searphin Nugroho, Indriani M. Manik, Yusi Tirana, Rifqa Rahni, Muhammad Z. Difachwan, Ridho F. Widiyanto, Maulya I. N. Faizah, & Waryati. (2022). Perancangan Cascade Aerator Untuk Menurunkan Parameter Besi Dan Mangan Dalam Pengolahan Air Sumur. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 6(2), 18–23.
- Firmansyah, D. (2023). Efek Listrik Tegangan Rendah terhadap Pertumbuhan Bakteri *Escherichia Coli*. *Jurnal Kedokteran YARSI*, 30(2), 82–90. <https://doi.org/10.33476/jky.v30i2.3103>
- Harmiyanti. (2023). Tinjauan Proses Pengolahan Air Baku (Raw Water) Menjadi Air Bersih Pada Sarana Penyediaan Air Minum (Spam) Kecamatan Rangsang Kabupaten Kepulauan Meranti. *Jurnal Saintis*, 18, 1.

- Holt, P. K., Barton, G. W., & Mitchell, C. A. (2025). *The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology*. *Chemosphere*, 59(3), 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.023>
- Ibrahim, I., Setiawan, Y., Rahayu, D. E., & Surya, R. A. (2023). Uji Kinerja Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Alumunium (Al) Untuk Penyisihan Logam Fe Dan Mn Pada Air Bersih Berdasarkan Efisiensi Penyisihan Dan Konsumsi Energi. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 7(1), 31. <https://doi.org/10.30872/jtlunmul.v7i1.11320>
- Kallista, V., Winardi, W., & Christiadora Asbanu, G. (2023). Efektivitas Penggunaan Elektroklorinasi dan Gas Klor Pada Proses Disinfeksi Air Minum (Studi Kasus: PERUMDA Air Minum Tirta Khatulistiwa). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(1), 180–194. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v11i1.60820>
- Masrullita*, L. H. , R. N. , N. A. (2021). Pengolahan Air Payau. *Pengaruh Waktu Dan Kuat Arus Pada Pengolahan Air Payau Menjadi Air Bersih Dengan Proses Elektrokoagulasi*, 10(Mei), 111–122.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2024). *Electrocoagulation (EC)—science and applications*. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1–3), 199–210. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00176-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00176-5)
- Novia, I. M., Hulu, D., & Hidayah, N. (2025). *Penggunaan Aerasi Venturi Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Pengolahan Air Sumur*. X(4), 15197–15201.
- Nugroho, M. A. (2021). Pengelolaan Air Sumur Yang Mengandung Fe Kadar Besi Dengan Metode Koagulasi Filtrasi. *Indonesian Journal of Conservation*, 23(4), 23. <https://doi.org/10.15294/ijc.v10i1.30588>
- Pamungkas, A. I., Walukow, A. F., Medyati, N., Mulyono, S., & Mofu, R. (2023). Pengolahan Air Sumur Gali Yang Tercemar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn): Studi Kasus Di Kelurahan Koya Timur, Kota Jayapura (Treatment of Dug Well Water Contaminated With Iron (Fe) and Manganese (Mn): A Case Study in Koya Timur Village), Jayapura City. *Jurnal Media Penelitian Dan Pengembangan Kesehatan*, 33(3), 92–101.
- Puspasari, deny, Wijayanti, E., & Fitri, norani setyo. (2023). Pembuatan Desinfektan Menggunakan Metode Elektrolisis Larutan Garam. 6(3), 219–225.
- Ramadhani, A., Studi, P., Kimia, T., Nahdlatul, U., Al, U., Suwanto, S., Nahdlatul, U., Al, U., Azzizzah, F. A., Nahdlatul, U., Al, U., Listanto, V., Nahdlatul, U., Al, U., Nafa, K., Nahdlatul, U., & Al, U. (2023). *1.+Abdi+Teknoyasa+Vol_4_No_1_Juli_2023+ +Pengolahan+Air+Sumur+Di+Desa+Karangrena+Cilacap+Menggunakan+Media+Filtrasi+ Dari+Arang+Tempurung+Kelapa*. 4(1), 152–156.
- Rambe, Y. S. . dkk. (2023). *655-Article Text-2395-1-10-20231120*. 4(4), 1871–1882.
- Rasmini, A., Sanjaya, R. E., Kadaria, U., & Asbanu, G. C. (2024). Pengolahan Air Sumur Bor menjadi Air Bersih dengan Proses Koagulasi-Filtrasi. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(2), 53–60. <http://jurnalsaintek.uinsa.ac.id/index.php/alard/index>
- Surahman, I., Toni, A. A., & Iqbal, M. (2025). Penurunan Kekeruhan dan Bakteri Coliform pada Air Sungai Cibanten Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit dan Zeolit Alam Bayah Teraktivasi. 12(1), 44–52.
- Syafrudin, Arpandi, & Berkatillah, A. (2025). Implementasi Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2Tahun 2023 Tentang Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan(Studi Kasus Higiene Sanitasi Depot Air Minum DiKecamatan Amuntai Selatan Kabupaten Hulu SungaiUtara). 4, 1465–1474.
- Syawal, F. A., Fadhila, F., & Zulkarnaini, Z. (2022). Penerapan Filter Air Sederhana Sebagai Solusi Pengolahan Air Sumur Di Sungai Mengkuang Kabupaten Bungo Dan Kelurahan Kampung Baru Kota Medan. *Jurnal Hilirisasi IPTEKS*, 5(4), 227–236. <https://doi.org/10.25077/jhi.v5i4.629>
- Utari, P., & Ibrahim, I. (2022). Efektivitas Media Filtrasi Batu Zeolit, Batu Apung, Karbon Aktif dan Pasir Silika Terhadap Penurunan Kandungan Nitrat dan Warna Air Tanah. *Chemical Engineering Journal Storage 2 :3 (Agustus 2022)* 116–126. *Chemical Engineering Journal Storage*, 2(3), 127–142.
- Villarejo, I., Mirehbar, K., Lado, J., Palma, J., Casado, C., & Marugán, J. (2026). CFD-driven multiparametric analysis of electrochemical reactors for enhanced mass transfer in water treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 14(1). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.120744>

- Waryati, W., . I., Dharmawan, A. D., Adnan, F., & Huda, H. (2024). Analisis Pengaruh Variasi Jenis Elektroda Dan Waktu Kontak Dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi Pada Penjernihan Air Gambut. *Jurnal Chemurgy*, 8(2), 103. <https://doi.org/10.30872/cmg.v8i2.17323>
- Yang, K., & He, Z. (2025). Formation of disinfection byproducts in electrochemical water disinfection. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 48, 100685. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2025.100685>

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Rofis Jaya Perkasa atas fasilitas dan dukungan yang diberikan dalam pelaksanaan riset pengolahan air sumur menjadi air bersih. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada laboratorium terkait yang telah berperan dalam analisis parameter kualitas air bersih sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 02 Tahun 2023. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Industri Petrokimia Banten atas fasilitasi dan dukungan dalam proses pengolahan data penelitian.