

PENGUJIAN ALAT PENGOLAHAN AIR LIMBAH BERBASIS TEKNOLOGI ELECTROCOAGULATION BERTINGKAT BERBASIS IOT

Wisnu Hendri Mulyadi¹⁾, Sila Wardono²⁾, dan Mohammad Firza³⁾

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

² Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

³ Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

E-mail: wisnu.hendrimulyadi@elektro.pnj.ac.id

Abstract

The increase in the amount of untreated domestic liquid waste poses a serious challenge to the environment, especially in densely populated areas. This research aims to design and test a wastewater treatment tool using electrocoagulation technology, designed in a tiered manner. The wastewater treatment process uses two levels of electrocoagulation tank processes and is organized in a staggered manner that is integrated with a PLC-based automation system and real-time water quality monitoring via ESP32. The system consists of four tiered (cascade) tanks with an automatic water transfer mechanism without a pump, and is equipped with pH, TDS, and turbidity sensors. Testing was conducted with contact times of 10, 15, and 20 minutes. The results showed a decrease in pH from 9.3 to 8.6 at 10 minutes, 8.3 at 15 minutes, and 8.1 at 20 minutes; TDS from 736 to 546 mg/L at 10 minutes, 424 mg/L at 15 minutes, and 344 mg/L at 20 minutes; and turbidity from 1959 to 1587 NTU at 20 minutes. Energy consumption ranges from 5.43–12.39 Wh, with very low operational costs (Rp7.84–Rp17.89 per cycle).. The control and monitoring system has proven capable of improving the efficiency and effectiveness of the processing.

Keywords: *electrocoagulation, cascade, PLC*

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas domestik di Indonesia telah menyebabkan lonjakan volume limbah cair rumah tangga, yang berasal dari kegiatan seperti mencuci, mandi, dan memasak. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah ini dapat mencemari lingkungan, merusak ekosistem perairan, dan membahayakan kesehatan masyarakat. Di daerah yang padat penduduk dan sulit mengakses Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), pengelolaan limbah sering kali belum dianggap hal yang penting. Sekitar 85% limbah cair domestik dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu (Kholif & Sugito, 2020), sehingga diperlukan solusi alternatif yang efektif. Salah satu metode yang menjanjikan adalah elektrokoagulasi, yaitu proses pengolahan limbah menggunakan elektroda (anoda dan katoda) berbahan alumunium atau besi yang dialiri arus listrik searah (DC) untuk mengendapkan kontaminan seperti logam berat, senyawa organik, dan partikel tersuspensi (Iswanto dkk., 2009 dalam Fawrin & Widayatno, 2020). Metode ini tidak memerlukan banyak bahan kimia tambahan dan dapat dirancang dalam bentuk alat sederhana skala rumah tangga. Penelitian ini

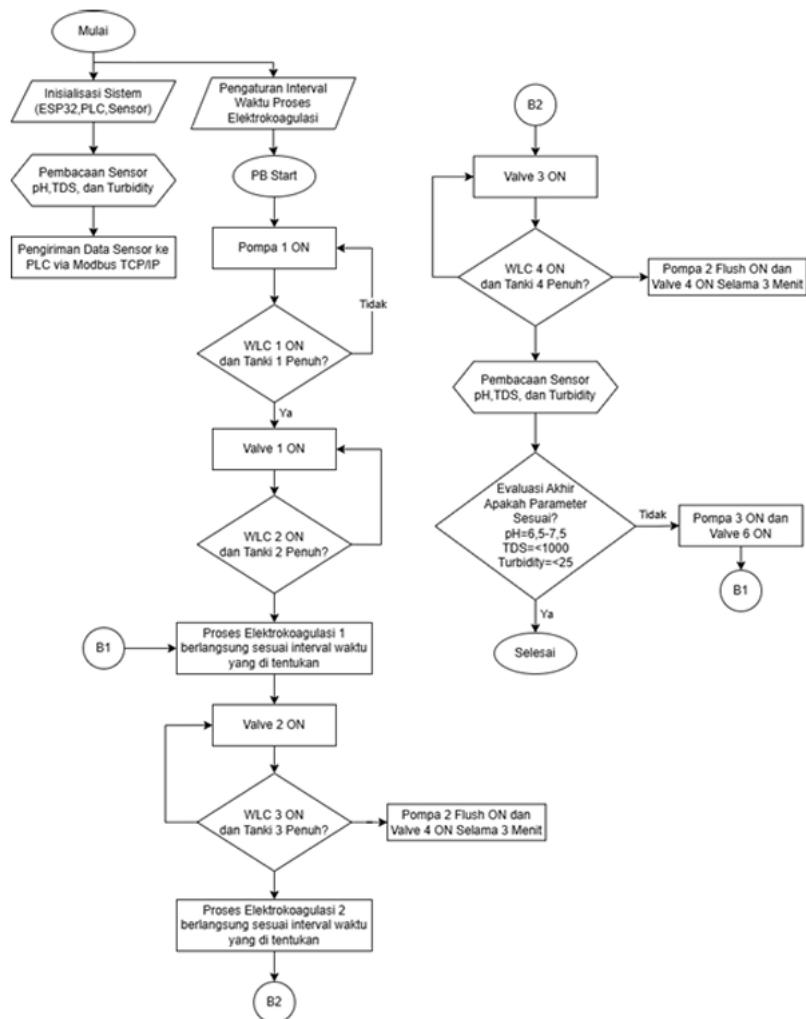
bertujuan untuk merancang alat pengolahan air limbah berbasis elektrokoagulasi dengan sistem terintegrasi, mengombinasikan kontrol otomatis menggunakan PLC dan pemantauan berbasis IoT. Alat ini dirancang secara bertingkat (cascade), dilengkapi mekanisme pembersih elektroda, serta sensor TDS, pH, dan turbidity untuk memungkinkan evaluasi kualitas air secara real-time. Melalui penelitian ini, diharapkan diperoleh data terkait efektivitas alat dalam menurunkan parameter pencemar, serta efisiensi energi dan waktu operasi, sehingga dapat menjadi acuan pengembangan teknologi pengolahan limbah skala kecil yang ramah lingkungan dan aplikatif di permukiman.

Guna mengevaluasi efektivitas alat serta tingkat efisiensinya, maka dalam penelitian ini merumuskan permasalahan terkait dengan Bagaimana kinerja alat pengolahan air limbah berbasis teknologi elektrokoagulasi dalam menurunkan kadar pH, TDS, dan turbidity, serta sejauh mana pengaruh variasi waktu kontak terhadap efektivitas proses tersebut dan Seberapa efisien konsumsi energi listrik pada sistem elektrokoagulasi ini dalam kaitannya dengan penurunan parameter pencemar air limbah sehingga tujuan dari penelitian Tujuan dari penelitian untuk mengevaluasi kinerja alat pengolahan air limbah berbasis teknologi elektrokoagulasi dalam menurunkan kadar pH, TDS, dan turbidity, serta menganalisis pengaruh variasi waktu kontak terhadap efektivitas proses elektrokoagulasi dan Mengevaluasi perbandingan antara energi listrik yang dikonsumsi dengan hasil penurunan nilai pH, TDS, dan turbidity, guna menilai efisiensi operasional sistem elektrokoagulasi secara menyeluruh.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimental pengujian kinerja alat serta mengevaluasi kinerja alat dalam menurunkan kadar pencemar utama, serta menganalisis pengaruh waktu kontak terhadap efektivitas proses elektrokoagulasi. Hasil yang diharapkan adalah diperolehnya data mengenai efektivitas dan efisiensi sistem, baik dari segi penurunan parameter kualitas air maupun dari sisi konsumsi energi dan waktu. Alat ini dirancang untuk menurunkan kadar polutan tercemar pada air, seperti pH, TDS dan turbidity. Sistem ini terdiri dari 4 tangki utama, tangki penampungan awal, tangki proses 1, tangki proses 2, dan tangki penampungan akhir. Setiap tangki dilengkapi dengan sensor WLC untuk mendeteksi ketinggian secara otomatis.

Sistem pengolahan air limbah ini dirancang untuk bekerja secara otomatis berdasarkan sinyal dari sensor level air pada Water Level Controller (WLC), seperti pada flowchart diagram dibawah ini :



pengujian pertama yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat pengolahan air limbah berbasis teknologi elektrokoagulasi dalam menurunkan kadar pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan turbidity. Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan waktu kontak elektrokoagulasi, guna melihat sejauh mana lamanya proses berpengaruh terhadap efektivitas penurunan parameter pencemar dalam air limbah. Sampel air limbah yang digunakan berasal dari kolam hijau yang berada di dekat kantin. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat pengaruh variasi waktu kontak elektrokoagulasi terhadap efektivitas alat dalam menurunkan parameter pencemar seperti pH, TDS dan turbidity. Variasi waktu kontak yang digunakan adalah 10 menit, 15 menit, dan 20 menit.

Pengujian kedua adalah menghitung konsumsi energi Listrik yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

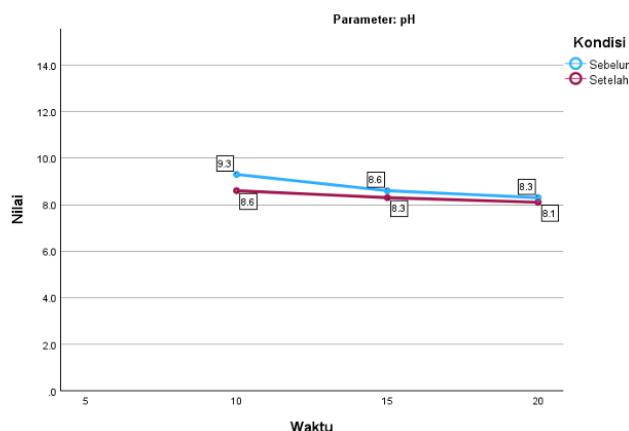
Setelah semua pengujian selesai, data dianalisis untuk melihat seberapa besar pengaruh elektrokoagulasi terhadap kualitas air untuk parameter-parameter yang sesuai standar.

Data hasil pengujian TDS, PH dan timidity berdasarkan interval waktu 10 menit, 15 menit dan 20 menit disajikan pada penyajian data dalam bentuk tabel seperti Tabel 1.

Tabel 1
Hasil pengolahan limbah cair berdasarkan interval waktu

Parameter	Waktu (Menit)	Hasil Sebelum Elektrokoagulasi	Hasil Setelah Elektrokoagulasi
pH	10	9,3	8,6
	15	8,6	8,3
	20	8,3	8,1
TDS	10	736	546
	15	563	424
	20	437	344
Turbidity	10	1959	1587
	15	1610	1310
	20	1390	1157

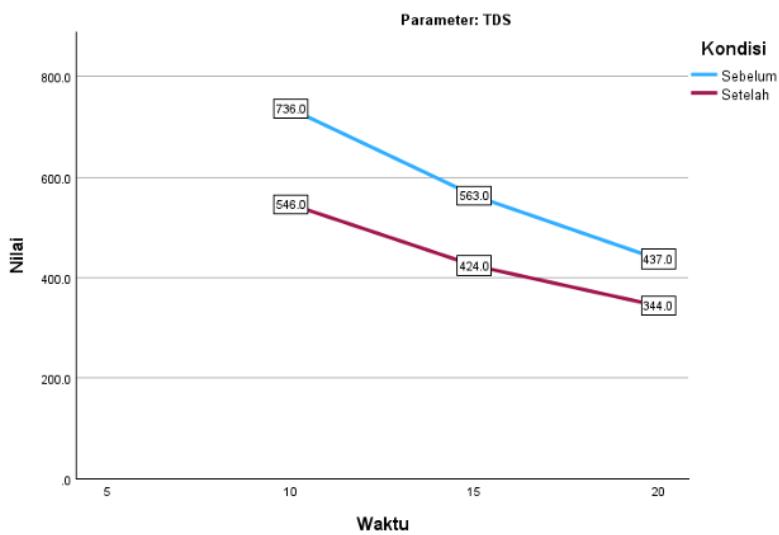
Hasil pengolahan menunjukkan bahwa ketiga parameter mengalami penurunan setelah proses elektrokoagulasi dilakukan. Nilai pH mengalami penurunan dari 9,3 menjadi 8,6 pada proses 10 menit, dari 8,6 menjadi 8,3 pada proses 15 menit, dan dari 8,8 menjadi 8,1 pada proses 20 menit.



Gambar 1 Grafik Penurunan PH dalam interval waktu elektrokoagulasi

Penurunan ini menunjukkan bahwa reaksi elektrokoagulasi mampu menetralkan sifat basa dalam air limbah.

Sementara itu, parameter TDS menunjukkan penurunan yang cukup signifikan, yaitu dari 736 mg/L menjadi 546 mg/L pada 10 menit, dari 563 mg/L menjadi 424 mg/L pada 15 menit, dan dari 437 mg/L menjadi 344 mg/L pada 20 menit.



Gambar 2 Grafik Penurunan TDS dalam interpal waktu elektrokoagulasi

Penurunan ini mengindikasikan bahwa elektrokoagulasi mampu mengikat dan mengendapkan zat terlarut dalam air, sehingga mengurangi konsentrasi kontaminan anorganik maupun organik yang larut dalam air limbah.

Parameter turbidity juga menunjukkan efektivitas pengolahan yang baik. Tingkat kekeruhan menurun dari 1959 NTU menjadi 1587 NTU pada waktu proses 10 menit, dari 1610 NTU menjadi 1310 NTU pada 15 menit, dan dari 1390 NTU menjadi 1157 NTU pada 20 menit. Penurunan nilai kekeruhan menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi berhasil mengendapkan partikel tersuspensi yang menyebabkan air tampak keruh.

tahap selanjutnya adalah mengkaji efisiensi energi listrik yang digunakan selama proses elektrokoagulasi berlangsung. Pengujian ini dilakukan untuk menjawab rumusan masalah kedua, yaitu sejauh mana sistem elektrokoagulasi ini efisien dalam penggunaan energi listrik terhadap hasil penurunan kualitas air limbah.

Tabel 2
Hasil Biaya Pemakaian Kwh dalam proses Elektrokoagulasi

Waktu Kontak (Jam)	Energi (kWh)	Tarif per kWh (Rp. 1.444,7)
0,166	0,00543	Rp. 7,65
0,25	0,00861	Rp. 12,43
0,33	0,1239	Rp. 17,89

Jika dilihat dari sudut pandang efisiensi energi spesifik terhadap volume air yang diproses, konsumsi energi per cm^3 air juga tetap rendah, dengan nilai berkisar antara 0,0002 hingga 0,00045 Wh/ cm^3 . Artinya, setiap satuan volume air yang diolah hanya membutuhkan sebagian

kecil energi, menjadikan sistem ini sangat hemat untuk digunakan secara terus-menerus atau dalam jumlah air yang lebih besar.

Selain aspek teknis, sistem ini juga dinilai ekonomis. Jika dikonversi ke dalam biaya listrik menggunakan tarif rumah tangga sebesar Rp1.444,7 per kWh, maka biaya energi untuk satu siklus proses hanya sebesar Rp7,65 (10 menit), Rp12,43 (15 menit), dan Rp17,89 (20 menit). Ini membuktikan bahwa selain efisien, alat juga ramah biaya operasional, sehingga layak diterapkan di skala rumah tangga, sekolah, atau komunitas.

SIMPULAN

Kinerja alat pengolahan air limbah berbasis elektrokoagulasi terbukti efektif dalam menurunkan kadar pH, TDS, dan turbidity pada air limbah domestik. Proses elektrokoagulasi menunjukkan tren penurunan yang signifikan pada semua parameter pencemar seiring bertambahnya waktu kontak, dengan hasil terbaik pada durasi 15–20 menit.

Efisiensi energi sistem elektrokoagulasi dinilai tinggi, di mana konsumsi energi listrik yang digunakan tergolong rendah (5,43–12,39 Wh) namun tetap menghasilkan penurunan parameter yang cukup signifikan. Waktu proses 10–15 menit memberikan efisiensi optimal antara hasil pengolahan dan konsumsi energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakkara, C. G., & Purnomo, A. (2022). KAJIAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK TERPUSAT DI INDONESIA. *Tugas Akhir*.
- Caleb, A. K., Hashim, M. H. B. M., & Ismail, S. (2024). Design of Wireless Based Sensor for Realtime Monitoring pH and TDS in Surface and Groundwater using IoT. *Journal of Mining and Environment*, 15(4), 1309–1320. <https://doi.org/10.22044/jme.2024.14388.2693>
- Cheniti, M., & Abdessalam, B. (2023). An Arduino-based Water Quality Monitoring System using pH, Temperature, Turbidity, and TDS Sensors. June. <https://www.researchgate.net/publication/371608557>
- Chuzaini, F., & Dzulkiflih. (2022). IoT Monitoring Kualitas Air dengan Menggunakan Sensor Suhu , pH , dan Total Dissolved Solids (TDS). *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 11(3), 46–56.

- Fauzi, N., Udyani, K., Zuchrillah, D. R., & Hasanah, F. (2019). Penggunaan Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Alumunium dan Besi pada Pengolahan Air Limbah Batik. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2019, 100*, 2013–2018.
- Fawrin, N. R., & Widayatno, T. (2020). Penurunan Kadar COD, BOD dan TSS Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Elektrokoagulasi Secara Kontinyu Menggunakan Elektroda Aluminium (Al). *Jurnal Proceeding of The URECOL, 11*, 72–78.
- Filliazati, M., Apriani, I., & Zahara, T. A. (2013). Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Biofilter Aerob. *Jurnal Teknologi Lingkungan Basah, 1*(1), 1–10.
- Hernaningsih, T. (2017). Reviews of Electrocoagulation Process on Waste Water Treatment Technology. *Jurnal Rekayasa Lingkungan, 9*(1). <https://doi.org/10.29122/jrl.v9i1.1988>
- Hudedmani, M. G., Umayal, R. M., Kabberalli, S. K., & Hittalamani, R. (2017). Programmable Logic Controller (PLC) in Automation. *Advanced Journal of Graduate Research, 2*(1), 37–45. <https://doi.org/10.21467/ajgr.2.1.37-45>
- Kholif, M. Al, & Sugito. (2020). Penyisihan Kadar Amoniak Pada Limbah Cair Domestik Dengan Menggunakan Sistem Constructed Wetland Bio-Rack. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan), 6*(1), 25–33. <https://doi.org/10.20527/jukung.v6i1.8235>
- Maghfirah, I. (2022). Penurunan Kadar Pencemar Pada Limbah Cair Rumah Tangga Dengan Metode Elektrokoagulasi Non Kontinu. *Tugas Akhir, 1*–36. <https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/27361/>