

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penulis pada proyek akhir ini menguraikan berbagai penelitian sebelumnya yang relevan dengan permasalahan terkait filtrasi air menggunakan metode elektrokoagulasi. Penelitian-penelitian terdahulu tersebut dijadikan referensi utama dalam menyelesaikan proyek akhir ini.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Wiyanto et al., 2017), sistem elektrokoagulasi dikembangkan dalam bentuk kontinu dengan kapasitas 100 liter/jam untuk penjernihan limbah cair, menggunakan 8 elektroda *stainless steel* yang bervariasi tingginya dalam wadah berbahan *hard nylon*. Sistem ini dilengkapi dengan sirkulasi udara yang menghasilkan ozon (O_3) untuk mengikat polutan secara efektif. Proses pengolahan mencakup tiga bagian utama: *input/output* untuk pemasukan limbah, bagian inti untuk pemisahan minyak melalui elektrokoagulasi, dan bagian endapan berbentuk labirin untuk waktu pengendapan yang optimal. Pengujian dilakukan pada sampel limbah rumah sakit, dan hasilnya diuji laboratorium sesuai baku mutu. Penelitian ini menjadi dasar penting bagi pengembangan sistem elektrokoagulasi yang lebih efisien dan dapat dikendalikan otomatis.

Penelitian berikutnya yang ditulis oleh (Ivanto et al., 2022) membahas efektivitas elektrokoagulasi dalam pengolahan air gambut dan air sumur bor di Kabupaten Kubu Raya, Pontianak, Kalimantan Barat. Penelitian ini menggunakan variasi waktu dan tegangan listrik yang dialirkan ke plat aluminium untuk menentukan efisiensi proses elektrokoagulasi dalam meningkatkan kualitas air. Sampel air dikumpulkan menggunakan metode *grab sampling* sesuai SNI 06-2412-1991, untuk mengukur kualitas air secara langsung pada saat pengambilan. Selama proses, air gambut diuji menggunakan parameter pH dan TDS (Total Dissolved Solids) dengan waktu elektrokoagulasi yang bervariasi (30, 45, 60, dan 90 menit) serta tegangan 20 dan 30 volt. Penelitian ini juga memanfaatkan energi matahari sebagai sumber daya utama, yang dikonversi menjadi listrik melalui panel surya. Proses pengujian mencakup pengukuran pH menggunakan pH meter untuk

menentukan tingkat keasaman air dan TDS meter untuk mengetahui jumlah zat terlarut dalam air. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi metode elektrokoagulasi yang efektif dalam meningkatkan kualitas air, terutama dalam menurunkan kadar polutan dan meningkatkan keasaman hingga mencapai tingkat yang lebih baik.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Vistanty & Mukimin dan Novarina Irnaning Handayani, 2015) yang juga mengkaji penggunaan metode elektrokoagulasi-flotasi dalam pengolahan limbah industri. Penelitian ini berfokus pada pengolahan limbah cair dari industri karton *box* yang mengandung polutan dari proses fotopolimer, korugator, lem, dan tinta berbasis air. Limbah tersebut diolah melalui kombinasi reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Bed* (UASB) dan elektrokoagulasi-flotasi (ECF), dengan evaluasi terhadap efisiensi penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebagai indikator keberhasilan proses pengolahan. Dalam penelitian ini, proses elektrokoagulasi-flotasi dilakukan dengan variasi tegangan dan waktu elektrolisis, di mana elektroda aluminium dan besi dialiri tegangan 35V untuk menghasilkan koagulan yang mengadsorpsi polutan dan mengangkatnya ke permukaan melalui proses flotasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ECF dapat menurunkan kandungan COD secara signifikan, memperkuat bukti bahwa elektrokoagulasi efektif dalam meningkatkan kualitas air limbah.

Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh (Indani, 2024) yang mengkaji penggunaan elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah cair rumah makan dengan menggunakan elektroda berbahan dasar aluminium. Penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi jumlah plat elektroda terhadap efektivitas proses elektrokoagulasi dalam mengurangi kadar besi dan meningkatkan kualitas pH pada air limbah rumah makan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah plat elektroda dapat mempercepat proses pengendapan partikel dan meningkatkan efisiensi pengolahan limbah cair. Selain itu, penelitian ini juga melibatkan penggunaan sistem berbasis IoT untuk memantau kondisi pH dan kualitas air secara *real-time*, yang memungkinkan pemantauan dan kontrol yang lebih akurat terhadap proses pengolahan limbah cair.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul	Metode	Hasil
Wiyanto dkk, (2017)	Penerapan Elektrokoagulasi Dalam Proses Penjernihan Air	Menggunakan elektroda berbahan <i>Stainless steel</i> dan bersifat portabel	Alat ini bersifat portabel dengan delapan elektroda berbahan <i>stainless steel</i> yang dialiri arus dari <i>power supply</i> untuk proses elektrokoagulasi. Alat ini juga dilengkapi sistem <i>self-cleaning</i> menggunakan tegangan balik sehingga elektroda dapat dibersihkan secara otomatis.
Muhammad ivanto dkk, (2022)	Rancang Bangun Alat Penjernih Air Menggunakan Metode Elektrokoagulasi Dengan Tenaga Surya	Menggunakan panel surya sebagai sumber listrik yang dialirkan ke elektroda dengan plat berbahan aluminium	Alat ini menggunakan elektroda aluminium berukuran 22×15 cm dengan panel surya sebagai sumber listrik, sedangkan perancangannya dilakukan menggunakan Autodesk Fusion 360.
Vistanty dkk, (2015)	Pengolahan Air Limbah Industri Karton Box dengan Metode UASB dan Elektrokoagulasi-Flotasi	Menggunakan elektroda berbahan plat aluminium yang dilengkapi dengan sensor COD	Integrasi UASB dan ECF mampu menurunkan COD air limbah karton box hingga 94% pada kondisi pH optimum serta menunjukkan efektivitas dan efisiensi dengan konsumsi energi $4,5\text{--}18 \text{ kWh/m}^3$ dan elektroda $0,17 \text{ kg Al/m}^3$ atau $0,515 \text{ kg Fe/m}^3$.
Wan M. Rifandi Ikhsan, (2024)	Efektifitas Metode Elektrokoagulasi Dalam Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan	Menggunakan elektroda plat aluminium dan pengukuran menggunakan	Hasil pengujian menunjukkan alat mampu menurunkan pH dari 12 menjadi 8

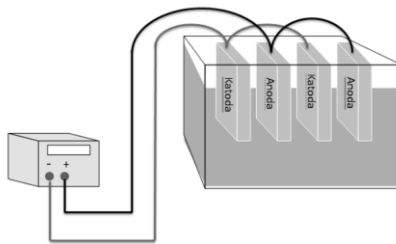
Penulis	Judul	Metode	Hasil
	Dengan Plat Alumunium berbasis IoT.	sensor pH dengan data dikirim ke <i>blink</i>	dan kadar besi dari 3,41 ppm menjadi 1,3 ppm menggunakan 6 plat aluminium selama 60 menit.
Yuda Affandi Butar butar, (2026)	Sistem Cerdas Purifikasi Air Berbasis Elektrokoagulasi menggunakan ESP32	Menggunakan elektroda berbahan plat alunium dan tembaga serta dilengkapi dengan alat pengukuran kualitas air	Alat ini berfungsi memfilter sekaligus memantau kualitas air menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama. Proses filtrasi dilakukan dengan elektroda tembaga dan aluminium yang dialiri listrik dari <i>power supply</i> , sedangkan kualitas air dipantau berdasarkan parameter pH, TDS, dan <i>turbidity</i> yang ditampilkan pada LCD.

Berdasarkan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu pada Tabel 2.1, diketahui bahwa penelitian-penelitian tersebut telah membahas penerapan metode elektrokoagulasi dalam pengolahan air. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada efektivitas proses penjernihan atau perancangan alat tanpa mengintegrasikan sistem cerdas dan pemantauan kualitas air secara *real-time*. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem cerdas purifikasi air berbasis elektrokoagulasi menggunakan ESP32 yang dilengkapi sensor pH, TDS, dan *turbidity* untuk memantau kualitas air serta menampilkan hasilnya pada LCD. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi pengolahan air yang lebih efektif, praktis, dan mudah dipantau untuk keperluan rumah tangga non-konsumsi.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi adalah metode pengolahan air yang menggunakan arus listrik untuk menghilangkan berbagai kontaminan air. Proses ini melibatkan penggunaan elektroda yang terbuat dari logam seperti aluminium atau besi sebagai bahan koagulan, yang bertindak untuk mengikat dan mengendapkan partikel-partikel yang tercemar dalam air. Elektrokoagulasi tidak memerlukan bahan kimia tambahan dalam proses koagulasi, sehingga menjadikannya metode yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis (Wiyanto et al., 2017).

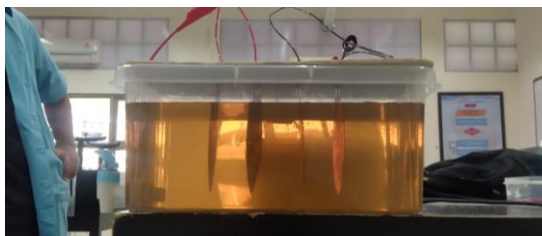


Gambar 2.1 Proses Elektrokoagulasi

Sumber : <https://ejournal.itn.ac.id/>

2.2.2 Air Keruh

Kekeruhan pada air sumur gali dan sumur bor disebabkan oleh pencemaran permukaan atau material padat yang terbawa saat pengeboran. Pada sumur gali, infiltrasi air hujan dan kotoran organik sering menjadi penyebab, sementara pada sumur bor, partikel tanah halus atau reaksi kimia dapat menyebabkan kekeruhan. Kualitas air yang keruh dapat mengganggu kesehatan dan kenyamanan penggunaan.



Gambar 2.2 Air Keruh

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2026)

2.2.3 Thony IDE

Thony IDE adalah aplikasi yang dirancang untuk memudahkan pembelajaran pemrograman dengan antarmuka sederhana dan visualisasi alur program. Dilengkapi dengan Python 3 bawaan, *Thonny* menawarkan fitur seperti penyorotan kesalahan sintaks, *debugger*, penyelesaian kode, dan evaluasi langkah demi langkah, menjadikannya IDE yang ideal baik untuk pemula maupun pengembangan Python secara penuh.



Gambar 2.3 Logo *Thony IDE*

Sumber : <https://thonny.macupdate.com/>

2.2.4 Python

Python adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang diciptakan oleh Guido Van Rossum pada tahun 1989 dan diperkenalkan pertama kali pada tahun 1991. Bahasa ini dikembangkan dengan tujuan mempermudah programmer dalam menyelesaikan tugas dengan cepat. Python dirancang untuk menawarkan kemudahan luar biasa bagi programmer, baik dari segi efisiensi waktu, pengembangan program, maupun kompatibilitas dengan berbagai sistem. Python dapat digunakan untuk membuat program mandiri maupun pemrograman skrip.



Gambar 2.4 Logo Python

Sumber : <https://commons.wikimedia.org>

2.2.5 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah *mikrokontroler* yang dikembangkan oleh Espressif Systems sebagai penerus dari ESP8266. *Mikrokontroler* ini dilengkapi dengan modul *WiFi*

terintegrasi langsung pada chip, sehingga sangat ideal untuk pengembangan sistem aplikasi *Internet of Things* (IoT) (Savitri & PARAMYTHA, 2022).



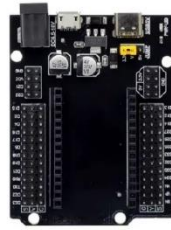
Gambar 2.5 Mikrokontroler ESP32
Sumber : <https://docs.zephyrproject.org>

2.2.6 Base Plate ESP32

Base plate ESP32 merupakan papan pengembangan (development board) yang dirancang untuk mempermudah proses pengkabelan pada modul NodeMCU ESP32. Papan ini menyediakan pin-pin ekspansi yang terhubung langsung dengan setiap pin GPIO pada ESP32, sehingga pemasangan sensor maupun modul tambahan menjadi lebih mudah dan rapi. Jarak antar pin yang telah disesuaikan serta dimensi papan sekitar $60 \times 60 \times 11,6$ mm menjadikan base plate praktis digunakan dalam proses perancangan maupun pengembangan *prototipe* berbasis ESP32 (Eka et al., 2023).

Dalam pengoperasiannya, *base plate* ESP32 bekerja sebagai media penghubung antara modul ESP32 dengan berbagai perangkat eksternal. Setelah modul ESP32 memperoleh catu daya, sistem akan melakukan proses inisialisasi (booting) dan menjalankan program yang telah diunggah. Selanjutnya, ESP32 dapat terhubung ke jaringan WiFi sesuai konfigurasi yang telah ditentukan. Berbagai sensor, aktuator, maupun perangkat pendukung lainnya dapat dihubungkan melalui pin GPIO yang tersedia untuk mendukung proses akuisisi data, pengolahan informasi, dan pengendalian perangkat. Dengan adanya *base plate*, proses perakitan rangkaian menjadi lebih sederhana, mengurangi kesalahan pemasangan kabel, serta

meningkatkan efisiensi dalam pengembangan aplikasi berbasis *Internet of Things* (IoT) (Eka et al., 2023).



Gambar 2.6 *Base Plate* ESP32
Sumber : (Eka et al., 2023)

2.2.7 *Gravity Analog TDS Sensor DFRobot*

Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) bekerja berdasarkan prinsip konduktivitas listrik untuk mengukur jumlah zat padat terlarut dalam air. Sensor ini menggunakan dua elektroda yang mendeteksi kemampuan cairan dalam menghantarkan arus listrik, sehingga nilai pengukuran dipengaruhi oleh kandungan ion yang terdapat di dalam air (Chuzaini et al., 2022).

Salah satu jenis sensor TDS yang banyak digunakan adalah *Gravity Analog TDS Sensor DFRobot*. Sensor ini memiliki tegangan masukan sebesar 3,3–5,5 V, tegangan keluaran analog 0–2,3 V, arus kerja 3–6 mA, serta tingkat akurasi $\pm 10\%$ F.S. pada suhu 25 °C .



Gambar 2.7 *Gravity Analog TDS Sensor DFRobot*
Sumber : (Chuzaini et al., 2022)

2.2.8 *Gravity Analaoog Turbidity SEN0189 Sensor DFRobot*

Sensor kekeruhan DFRobot SEN0189 bekerja berdasarkan perubahan intensitas cahaya yang dipengaruhi oleh partikel-partikel yang terdapat di dalam air. Semakin tinggi tingkat kekeruhan air, semakin besar perubahan intensitas cahaya yang diterima sensor. Perubahan tersebut kemudian dikonversi menjadi sinyal

tegangan analog yang selanjutnya diolah menjadi nilai kekeruhan air dalam satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU) (Iskandar et al., 2019).



Gambar 2.8 Gravity Analag *Turbidity* SENO189 Sensor DFRobot
Sumber : (Iskandar et al., 2019)

2.2.9 Sensor pH 4502C

Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air dengan mendeteksi nilai pH, yang menunjukkan apakah air tersebut bersifat asam (pH antara 0 hingga 7) atau basa (pH antara 7 hingga 14) (Wulandari et al., 2024).



Gambar 2.9 Sensor pH 4502C
Sumber : (Wulandari et al., 2024)

2.2.10 Baterai ICR 18650 2600 mAh Li-ion

Baterai ICR 18650 2600 mAh Li-ion adalah sel baterai litium-ion isi ulang berbentuk silinder yang memiliki diameter 18 mm dan panjang 65 mm. Kode "ICR" menandakan bahwa baterai ini menggunakan kimia *Lithium Cobalt Oxide* (LiCoO₂), yang dikenal memiliki kerapatan energi tinggi untuk perangkat elektronik konsumen.



Gambar 2.10 Baterai ICR 18650 2600 mAh Li-ion
Sumber : <https://www.monotaro.id/s031955010.html>

2.2.11 Holder Baterai SMD 18650 2 SLOT

Holder baterai 18650 dua slot merupakan komponen yang digunakan sebagai tempat pemasangan dua buah baterai tipe 18650 yang dapat dirangkai secara seri maupun paralel sesuai kebutuhan sistem. Holder ini terbuat dari bahan plastik ABS yang memiliki sifat kuat, tahan benturan, serta mampu melindungi baterai dari kerusakan. Holder dilengkapi dengan terminal logam yang dapat disolder langsung pada papan sirkuit atau dihubungkan menggunakan kabel. Penggunaan holder baterai memudahkan proses pemasangan dan penggantian baterai serta meningkatkan kerapian dan keandalan sistem kelistrikan pada perangkat elektronika.



Gambar 2.11 Holder Baterai SMD 18650 2 SLOT
Sumber : <https://www.lazada.co.id>

2.2.12 Power Bank Charger Module

Power Bank Charger Module merupakan papan rangkaian elektronik (*Printed Circuit Board* atau PCB) yang berfungsi sebagai sistem manajemen daya (*Power Management Integrated Circuit* atau PMIC). Modul ini mengatur arus dan tegangan antara baterai *Lithium-Ion/Lithium-Polymer* dengan perangkat elektronik eksternal.



Gambar 2.12 Power Bank Charger Module
Sumber : <https://indonesian.alibaba.com>

Secara umum, modul power bank DIY tipe JCZSB terdiri atas lima subsistem utama, yaitu:

1. Rangkaian *Step-Up Converter (Boost Converter)*: Berfungsi menaikkan tegangan DC baterai dari 3,7–4,2 V menjadi tegangan keluaran stabil sebesar 5 V sesuai standar pengisian perangkat USB.
2. Rangkaian Pengisian Baterai (*Charging Circuit*): Mengatur proses pengisian baterai melalui port Micro USB (5 V, 2 A) agar berlangsung secara aman.
3. Sistem Proteksi Baterai: Dilengkapi dengan fitur *over-charge protection*, *over-discharge protection*, dan *short-circuit protection* untuk melindungi baterai selama proses pengisian dan penggunaan.
4. Unit Indikator Visual (Layar LED): Menampilkan kapasitas baterai dalam bentuk persentase (0%–100%) berdasarkan tegangan baterai yang terukur.
5. Terminal Keluaran (*Dual USB Output*): Menyediakan dua port USB-A dengan keluaran arus 1 A dan 2 A untuk mendukung pengisian berbagai perangkat elektronik.

2.2.13 Power Supply DC

Power supply (catu daya) adalah rangkaian elektronik yang mengubah arus listrik AC (bolak-balik) menjadi arus DC (searah). Catu daya berfungsi untuk menyediakan energi bagi peralatan lain. Beberapa jenis *power supply* antara lain DC *power supply*, AC *power supply*, dan *switch mode power supply*. DC *power supply* menyediakan tegangan dan arus listrik dalam bentuk DC dengan polaritas tetap (positif dan negatif). AC *power supply* mengubah tegangan AC ke tingkat tegangan yang berbeda, sedangkan *switch mode power supply* mengubah dan menyaring tegangan input AC untuk menghasilkan tegangan DC (Juliansyah et al., 2024).



Gambar 2.13 *Power Supply* DC
Sumber : (Juliansyah et al., 2024)

2.2.14 Elektroda

Elektroda yang digunakan terdiri dari lempeng tembaga (Cu) dan lempeng Aluminium (Al). Lempeng tembaga berfungsi sebagai katoda yang bermuatan positif (+), sedangkan lempeng aluminium berperan sebagai anoda yang bermuatan negatif (-) (Dr. Yono Hadi Pramono, 2018). Kombinasi kedua elektroda ini digunakan untuk mendukung proses elektrokoagulasi dalam sistem cerdas purifikasi air yang dirancang.



Gambar 2.14 Elektroda (Plat Tembaga dan Aluminium)
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2026)

2.2.15 LCD 20x4 I2C Module

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan perangkat yang digunakan sebagai media penampil informasi dengan memanfaatkan kristal cair sebagai elemen utama tampilan. LCD banyak diaplikasikan pada berbagai perangkat elektronik, seperti televisi, kalkulator, dan monitor komputer. Pada penelitian ini digunakan LCD berukuran 20×4 karakter yang dilengkapi dengan modul I2C. Penggunaan modul I2C bertujuan untuk mempermudah proses pemrograman sekaligus mengurangi jumlah pin mikrokontroler yang digunakan. Dengan modul I2C, LCD hanya memerlukan empat pin koneksi, yaitu SCL, SDA, VCC, dan GND (Informatika et al., 2020).



Gambar 2.15 LCD 20x4 I2C Module
Sumber : <https://uk.robotshop.com>

2.2.16 Saklar ON/OFF

Saklar ON/OFF (*switch*) merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus aliran listrik pada suatu rangkaian. Saklar memiliki dua kondisi, yaitu ON ketika kontak dalam keadaan terhubung sehingga arus listrik dapat mengalir ke rangkaian, dan OFF ketika kontak dalam keadaan terbuka sehingga aliran listrik terputus. Pada sistem cerdas purifikasi air berbasis elektrokoagulasi, saklar ON/OFF digunakan untuk mengendalikan sumber daya perangkat monitoring, sehingga pengguna dapat menghidupkan atau mematikan ESP32 dan komponen pendukung sesuai kebutuhan.



Gambar 2.16 Saklar ON/OFF
Sumber : <https://www.indiamart.com>