

## PROTOTYPE INSTALASI PENGOLAHAN AIR (IPA) MONITORING BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DI DESA PONTANG LEGON

Feri Febrian Syah, Didik Aribowo dan Suhendar

Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektro,  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

E-mail: ferifebriansya@gmail.com, d\_aribowo@untirta.ac.id, & suhendar@untirta.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototype Instalasi Pengolahan Air (IPA) monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) guna meningkatkan kualitas air payau di Desa Pontang Legon, Kabupaten Serang. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan proses elektrokoagulasi dengan filtrasi berlapis yang terdiri atas *sediment filter*, *cartridge magnesium* (Mg) filter, *cation resin filter*, dan *chlorine taste odor filter*. Pemantauan kualitas air dilakukan secara *real-time* menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu DS18B20, sensor pH PH-4502C, dan sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), dengan data ditampilkan melalui LCD serta platform ThingSpeak dan ThingView. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model Plomp. kualitas air ditetapkan berdasarkan standar air bersih, yaitu suhu 25–30 °C, pH 6,5–8,5, dan TDS <500 ppm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi optimal dicapai pada tegangan 12 V dengan durasi proses 120 menit, menghasilkan peningkatan pH sebesar 128,15% dan penurunan TDS sebesar 11,51%, dengan suhu air relatif stabil pada rentang 27–31 °C. Sistem monitoring IoT menunjukkan kinerja yang akurat dan stabil, dengan kesalahan sensor pH sebesar ±0,16 dan rata-rata kesalahan sensor TDS sebesar 13 ppm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berpotensi diterapkan sebagai solusi pengolahan air bersih skala desa, khususnya di wilayah pesisir.

**Kata Kunci:** *Internet of Things* (IoT), elektrokoagulasi, instalasi pengolahan air, monitoring kualitas air, sensor pH, sensor TDS, ESP32.

### Abstract

*This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based Water Treatment Plant (WTP) monitoring prototype to improve the quality of brackish water in Pontang Legon Village, Serang Regency. The proposed system integrates electrocoagulation and multilayer filtration consisting of a sediment filter, magnesium (Mg) cartridge filter, cation resin filter, and chlorine taste and odor filter. Real-time water quality monitoring is performed using an ESP32 microcontroller integrated with a DS18B20 temperature sensor, a PH-4502C pH sensor, and a Total Dissolved Solids (TDS) sensor, with data displayed on an LCD and transmitted to the ThingSpeak and ThingView platforms. The research adopts a Research and Development (R&D) approach based on the Plomp model. Water quality setpoints are defined according to clean water standards, namely a temperature of 25–30 °C, pH of 6.5–8.5, and TDS below 500 ppm. Experimental results show that optimal performance is achieved at 12 V with a processing time of 120 minutes, resulting in a pH increase of 128.15% and a TDS reduction of 11.51%, while maintaining a relatively stable temperature in the range of 27–31 °C. The IoT-based monitoring system demonstrates accurate and stable performance, with a pH sensor error of ±0.16 and an average TDS sensor error of 13 ppm. These results indicate that the proposed system has potential for application as a village-scale clean water treatment solution, particularly in coastal areas.*

**Keywords:** *Internet of Things* (IoT), electrocoagulation, water treatment plant, water quality monitoring, pH sensor, TDS sensor, ESP32

### 1. Pendahuluan

Air bersih merupakan kebutuhan dasar yang sangat penting bagi keberlangsungan kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Namun, ketersediaan serta kualitas air bersih di beberapa wilayah Indonesia masih menghadapi berbagai permasalahan, khususnya di daerah

pesisir. Di Kabupaten Serang, kondisi sanitasi lingkungan yang belum memadai berkontribusi terhadap penurunan kualitas air tanah dan air permukaan [1]. Permasalahan tersebut semakin kompleks di kawasan pesisir utara Kabupaten Serang, terutama di Desa Pontang Legon, yang mengalami penurunan kualitas air akibat intrusi air laut [2].

Intrusi air laut menyebabkan peningkatan salinitas air tanah serta penurunan muka air tanah yang berdampak pada ketidakseimbangan hidrostatis. Kondisi ini berpotensi menimbulkan amblesan tanah dan menurunkan kenyamanan serta kualitas hunian masyarakat pesisir [3]. Tingkat sanitasi air di wilayah Pontang Legon dilaporkan hanya mencapai 3,2% dengan kategori sumber air payau [2]. Keterbatasan akses air bersih tersebut diperparah oleh rendahnya pengetahuan masyarakat mengenai teknologi pengolahan air, sehingga air payau masih digunakan untuk kebutuhan sehari-hari meskipun kualitasnya tidak memenuhi standar air bersih [4]. Selain itu, pencemaran limbah rumah tangga turut memperburuk kualitas air yang tersedia bagi masyarakat [4].

Air payau merupakan hasil pencampuran antara air laut dan air tawar dengan tingkat salinitas berkisar antara 0,5 hingga 35 ppm [5]. Secara umum, air payau mengandung senyawa kimia berupa ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan natrium (Na) dalam konsentrasi yang relatif tinggi [6]. Kandungan natrium yang berlebihan pada air payau berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan apabila dikonsumsi dalam jangka waktu yang lama [6]. Tingginya kadar garam dan total padatan terlarut (Total Dissolved Solids/TDS) menyebabkan air payau tidak layak dikonsumsi secara langsung [7]. Berdasarkan ketentuan World Health Organization (WHO), air layak konsumsi harus memiliki nilai TDS di bawah 100 ppm [8].

Salah satu metode pengolahan air yang efektif untuk menurunkan kadar garam dan kontaminan terlarut pada air payau adalah elektrokoagulasi. Metode ini memanfaatkan energi listrik untuk memicu reaksi elektrokimia pada anoda dan katoda sehingga menghasilkan flokulan yang mampu mengikat partikel pencemar tanpa penambahan bahan kimia koagulan [9]. Elektrokoagulasi juga mampu menghilangkan logam terlarut seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) melalui mekanisme pengendapan dan pengapungan partikel berdasarkan perbedaan densitas [10].

Untuk meningkatkan efektivitas pengolahan, metode elektrokoagulasi umumnya dikombinasikan dengan proses filtrasi. Elektrokoagulasi berfungsi sebagai proses koagulasi-flokulasi berbasis elektrokimia, sedangkan filtrasi berperan dalam menghilangkan zat padat tersuspensi hasil penggumpalan [11]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa elektrokoagulasi mampu meningkatkan kualitas air payau menjadi air bersih [12], sedangkan kombinasi antara elektrokoagulasi dan filtrasi berlapis menghasilkan kualitas air olahan yang lebih optimal [13].

Upaya peningkatan kualitas air tersebut sejalan dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia yang mengatur standar baku mutu kualitas air untuk keperluan higiene dan sanitasi [14]. Berdasarkan hasil observasi

lapangan, masyarakat Desa Pontang Legon masih mengalami kesulitan dalam memperoleh air bersih akibat keterbatasan sumber air dan distribusi air dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi pengolahan air yang efisien, mudah dioperasikan, dan dapat dipantau secara real time.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang Prototype Instalasi Pengolahan Air (IPA) berbasis elektrokoagulasi dan filtrasi berlapis yang dilengkapi dengan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini diharapkan mampu mengolah air payau menjadi air bersih sesuai standar kualitas air serta memberikan solusi pengolahan air yang berkelanjutan bagi masyarakat Desa Pontang Legon.

## 2. Metode

### 2.1. Metode Penelitian

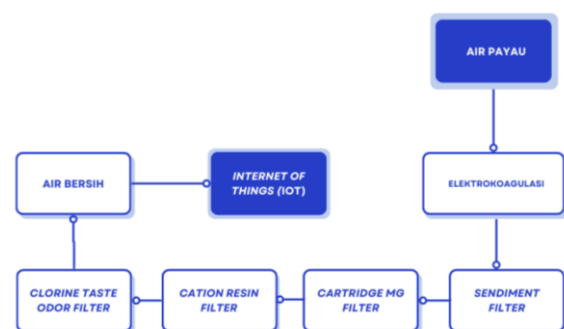
Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)* dengan model pengembangan Plomp yang terdiri atas tiga tahap utama, yaitu: (1) penelitian pendahuluan (*preliminary research*), (2) pengembangan atau pembuatan prototipe (*development or prototyping phase*), dan (3) penilaian (*assessment phase*) [15].



Gambar 1. Model Plomp

Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk menghasilkan suatu produk teknologi yang teruji secara fungsional, yaitu *Prototype* Instalasi Pengolahan Air (IPA) Monitoring Berbasis *Internet of Things (IoT)*. Metode R&D memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara bertahap dan terukur mulai dari identifikasi masalah, desain sistem, pembuatan alat, hingga evaluasi performa alat.

### 2.2. Perancangan Penelitian



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

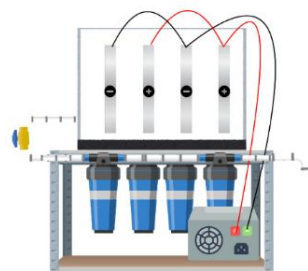
Penelitian ini merancang Prototype Instalasi Pengolahan Air (IPA) Monitoring Berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan sampel air payau dengan metode elektrokoagulasi sebagai proses utama penjernihan air. Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan mengalirkan arus listrik melalui elektroda logam sehingga terjadi reaksi elektrolisis yang membentuk flok koagulan untuk mengikat partikel kotoran, logam berat, dan zat terlarut.

Air hasil elektrokoagulasi kemudian melewati sistem filtrasi empat tahap, yaitu *sediment filter* untuk menyaring partikel kasar, *cartridge Mg filter* untuk menurunkan kadar besi, *cation resin filter* sebagai penyerap zat kapur, dan *chlorine taste odor filter* berbasis karbon aktif untuk menghilangkan bau, warna, dan bahan kimia organik. Sistem IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang menerima data dari sensor DS18B20 (suhu), PH-4502C (pH), dan TDS untuk mendeteksi kadar zat terlarut. Data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD 20x4 dan dikirim ke platform ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi untuk pemantauan *real-time* menggunakan aplikasi ThingView. Secara keseluruhan, sistem ini dirancang untuk memproses air payau menjadi air bersih sekaligus memungkinkan pemantauan kualitas air, efisien, dan berkelanjutan.

### 2.3. Perancangan Hardware

#### 2.3.1. Instalasi Pengolahan Air

Pada bagian ini, peneliti merancang sebuah instalasi pengolahan air. Berikut ini merupakan rancangan instalasi pengolahan air yang menggunakan metode elektrokoagulasi yang terintegrasi dengan sistem filtrasi berlapis. Desain ini dibuat menggunakan aplikasi Canva seperti terlihat pada gambar 3.

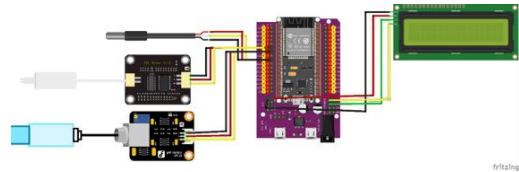


Gambar 3. Instalasi Pengolahan Air (IPA)

Rancangan instalasi pengolahan air ini berfungsi sebagai alat dalam sistem yang memproses air payau menjadi air bersih. Metode elektrokoagulasi dipilih karena efektif dalam mengendapkan partikel pencemar melalui proses elektrolisis dengan menggunakan pelat elektroda besi bermuatan positif dan negatif yang dipasang dengan jarak 10 cm antar pelat serta sumber daya listrik. Selain itu, sistem ini dikombinasikan dengan rangkaian filter mekanis berlapis untuk memastikan air hasil olahan memiliki kualitas yang lebih baik dan layak.

#### 2.3.2. Rangkaian Elektronika

Pada bagian ini, peneliti merancang rangkaian elektronika menggunakan diagram pengkabelan. Gambar berikut menunjukkan rancangan rangkaian yang dibuat dengan aplikasi Fritzing.



Gambar 4. Rangkaian Elektronika

Rangkaian elektronika ini dikembangkan sebagai bagian dari sistem monitoring pengolahan air berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler ESP32. Skematik rangkaian mengintegrasikan beberapa modul sensor dan perangkat keluaran (output device) yang dihubungkan melalui pin GPIO yang telah ditentukan sebagaimana dijelaskan berikut ini.

1. Pasang Board Ekstension ke ESP32.
2. Sensor suhu DS18B20 ada 3 Wire, Wire Vcc dihubungkan supply voltage 3,3, Wire data dihubungkan ke pin 26, Wire GND dihubungkan ke pin GND.
3. Sensor TDS memiliki 3 pin, Pin 1 A dihubungkan ke pin 32, Pin 2+ dihubungkan ke Vcc 3,3, Pin 3- dihubungkan ke pin GND..
4. Sensor PH-4502C memiliki 3 pin, Pin P0 dihubungkan ke pin 33, Pin vcc dihubungkan ke Pin Vcc 3,3, Pin GND dihubungkan Pin GND.
5. LCD 16X2 IIC memiliki 4 input, Input Vcc dihubungkan Pin 5V, Input GND dihubungkan ke Pin GND, Serial data (SDA) IIC dihubungkan ke Pin 21, Input Serial Clock (SCL) IIC dihubungkan ke Pin 22.
6. Lalu terakhir Hubungkan adaptor 5V 3A ke sumber power vin ESP32

Rangkaian skematik ini dirancang menggunakan aplikasi perancangan rangkaian untuk memastikan konfigurasi pin input/output dan konektivitas yang tepat. Setelah proses integrasi perangkat keras selesai, sistem kemudian dilanjutkan ke tahap pengembangan perangkat lunak.

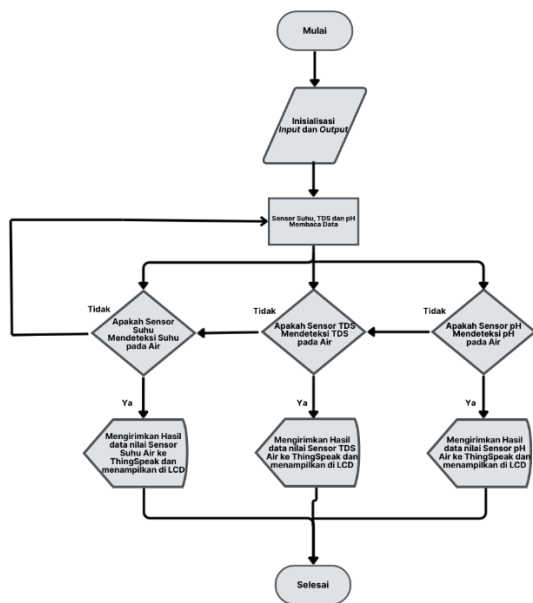
#### 2.3.3. Penetapan Kualitas Air dan Konsep Sistem Kendali Tertutup

Pada penelitian ini, setpoint kualitas air ditetapkan sebagai acuan evaluasi kinerja sistem pengolahan air payau. Penetapan kualitas air mengacu pada standar air bersih yang umum digunakan 1990 [14], meliputi suhu air pada rentang 25–30 °C, nilai pH sebesar 6,5–8,5, serta nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) kurang dari 500 ppm. Parameter-parameter tersebut digunakan sebagai target kualitas air yang diharapkan setelah proses elektrokoagulasi dan filtrasi berlapis.

Sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) berfungsi sebagai mekanisme akuisisi data kualitas air secara *real-time*. Sensor suhu DS18B20, sensor pH PH-4502C, dan sensor TDS digunakan untuk membaca kondisi aktual air hasil pengolahan, kemudian data tersebut dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan melalui LCD serta platform ThingSpeak dan ThingView. Data hasil pembacaan sensor digunakan sebagai umpan balik (*feedback*) untuk memantau pencapaian kualitas air yang telah ditetapkan.

Meskipun pada penelitian ini belum diterapkan sistem kendali otomatis secara penuh, rancangan sistem telah disusun sebagai dasar pengembangan konsep sistem kendali tertutup (*closed-loop system*). Pada pengembangan selanjutnya, data umpan balik dari sensor dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan parameter proses, seperti waktu operasi dan tegangan elektrokoagulasi, secara otomatis guna mempertahankan kualitas air agar tetap berada pada rentang kualitas air yang diinginkan.

### 2.3.4. Perancangan Software



Gambar 5. Flowchart Software

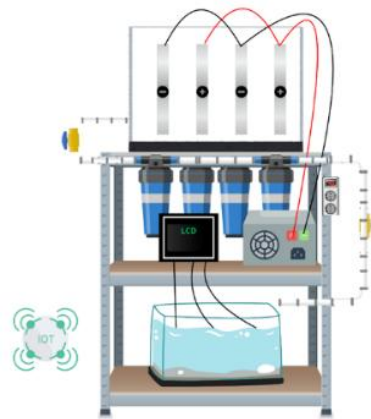
Tahap perancangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE untuk memprogram ESP32 dan komponen lainnya agar berfungsi sesuai dengan prototipe pemantauan pengolahan air berbasis IoT.

Sistem bekerja berdasarkan flowchart, dimulai dari inisialisasi input-output pada sensor suhu, TDS, dan pH setelah sistem dinyalakan. Setiap sensor membaca data (suhu, kadar TDS, dan pH air), kemudian hasilnya ditampilkan pada LCD serta dikirim secara otomatis ke platform ThingSpeak untuk pemantauan jarak jauh.

### 2.3.5. Perancangan Desain

Dalam penelitian ini, setelah perancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang mencakup diagram blok, rangkaian elektronik, serta bagan alur sistem, langkah selanjutnya adalah merancang prototipe Instalasi Pemantauan Pengolahan Air berbasis *Internet of Things* (IoT).

Desain ini berfungsi sebagai model atau representasi dari kondisi yang ingin disimulasikan. Dalam konteks penelitian, rancangan alat ini membantu peneliti menggambarkan penerapan metode elektrokoagulasi pada proses instalasi pengolahan air secara lebih realistis sebelum diterapkan dalam skala besar atau lingkungan sebenarnya. Desain alat ini dibuat menggunakan aplikasi Canva.



Gambar 6. Desain alat Prototype

## 3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil perancangan dan pengujian prototipe sistem pengolahan dan pemantauan kualitas air berbasis IoT yang mengukur parameter suhu, TDS, dan pH sebagai solusi atas permasalahan air di Desa Pontang Legon.

Pembahasan meliputi rancangan prototipe, rangkaian elektronika, serta pemantauan data melalui ThingSpeak dan ThingView, disertai hasil uji akurasi kalibrasi sensor TDS dan pH-4502C serta uji pengolahan air. Analisis dilakukan untuk menilai akurasi sensor, efektivitas pengolahan air, dan kinerja sistem dalam pemantauan kualitas air secara *real-time* melalui platform IoT.

### 3.1. Prototype Instalasi Pengolahan Air

Penelitian ini mengembangkan prototipe pengolahan air berbasis elektrokoagulasi yang dipadukan dengan filtrasi berlapis untuk mengubah air payau menjadi air bersih. Metode ini dipilih karena efektif mengendapkan kontaminan melalui reaksi elektrokimia antara elektroda

besi dan arus DC. Sistem menggunakan wadah plastik transparan 45 liter dengan empat pelat besi (2 mm, 25x25 cm) yang disusun bergantian sebagai anoda dan katoda berjarak 10 cm, ditopang batang besi berongga 35,5 cm. Desain ini memungkinkan proses koagulasi dan pengendapan kontaminan berlangsung efisien.



Gambar 7. Pengolahan Air Elektrokoagulasi

Langkah selanjutnya adalah pemasangan filter mekanis yang terdiri dari empat jenis filter dengan fungsi berbeda, yaitu:

1. *Sediment Filter* – menyaring partikel besar seperti kotoran, lumpur, dan pasir.
2. *Cartridge Mg Filter* – mengurangi kadar besi (Fe) dalam air.
3. *Cation Resin Filter* – berfungsi sebagai pelembut air (softener) yang menyerap kandungan kapur agar air menjadi lebih jernih.
4. *Chlorine Taste Odor Filter* – berperan sebagai filter sedimen 10 mikron dengan karbon aktif yang menyerap bau, warna, rasa, bahan kimia organik, serta sisa klorin.

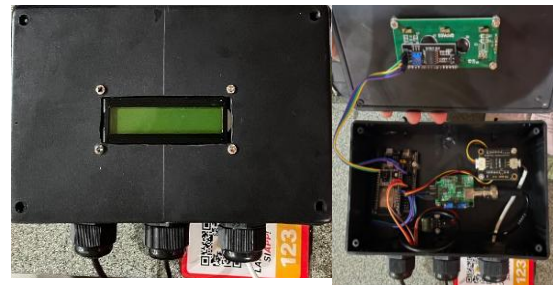
Gambar susunan sistem filter ditunjukkan pada ilustrasi pada gambar 8.



Gambar 8. Filter Air Mekanik

### 3.2. Rangkaian Elektronika

Rangkaian elektronik dirancang dan diimplementasikan untuk mendukung sistem pemantauan pengolahan air. Diagram pengkabelan menunjukkan hubungan antar sensor, mikrokontroler ESP32, dan perangkat pendukung lainnya, berfungsi sebagai panduan visual alur kerja sistem dari input data hingga tampilan output.

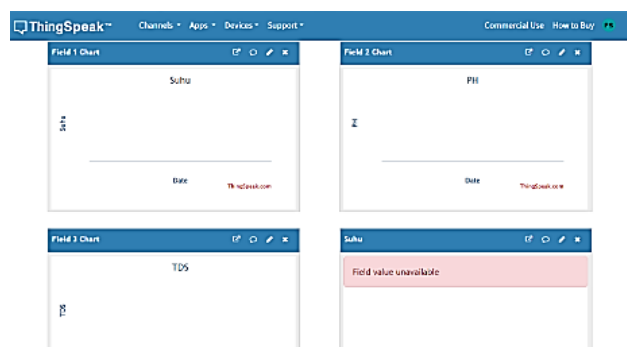


Gambar 9. Tampilan Rangkaian Elektronika Depan dan Dalam

Konfigurasi rangkaian disusun untuk memastikan efisiensi, kestabilan koneksi, serta integrasi komponen yang optimal. Diagram pengkabelan yang ditampilkan mencerminkan rangkaian sebenarnya yang digunakan selama pengujian dan pengambilan data, serta menjadi referensi penting bagi replikasi dan pengembangan sistem di masa mendatang.

### 3.3. ThingSpeak

Penelitian ini menggunakan ThingSpeak Web sebagai antarmuka pemantauan *real-time* melalui koneksi internet. Pada prototipe Instalasi Pengolahan Air monitoring berbasis IoT, dashboard ThingSpeak memungkinkan pengguna memantau data suhu, TDS, dan pH secara visual dan terstruktur, mengakses sistem, serta menerima notifikasi otomatis selama proses pemantauan air. Selain itu, platform ini juga menyediakan visualisasi data historis untuk keperluan analisis lebih lanjut. Dengan demikian, ThingSpeak berfungsi sebagai pusat pemantauan dan kendali sistem yang mendukung efisiensi, kecepatan respons, serta kemudahan akses dalam pengelolaan kualitas air secara digital dan terintegrasi.

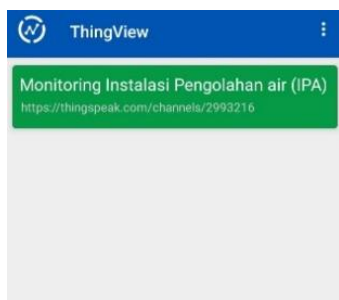


Gambar 10. Tampilan ThingSpeak

### 3.4. ThingView

Penelitian ini menggunakan ThingView sebagai antarmuka pemantauan yang praktis dan responsif melalui perangkat mobile. Pada prototipe pemantauan Instalasi Pengolahan Air berbasis IoT, aplikasi ThingView memungkinkan pengguna memantau data sensor suhu,

TDS, dan pH secara *real-time*, serta menerima notifikasi otomatis terkait kualitas air. Dengan dukungan aplikasi mobile ini, sistem pemantauan menjadi lebih fleksibel, efisien, dan mudah diakses, sehingga meningkatkan efektivitas pemantauan proses pengolahan air monitoring berbasis IoT.



Gambar 11. Tampilan ThingView

### 3.5. Hasil Alat Prototype

Hasil dari Prototipe Instalasi Pengolahan Air monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) diperoleh melalui beberapa tahap penelitian yang meliputi perancangan perangkat keras, rangkaian elektronika, serta perangkat lunak yang terhubung dengan platform ThingSpeak melalui modul IoT.

Tahapan yang dilakukan meliputi:

1. Perancangan perangkat *Hardware* instalasi pengolahan air, yang terdiri dari wadah elektrokoagulasi, empat filter mekanis, dan wadah penampung air bersih.
2. Perancangan rangkaian elektronika, menggunakan mikrokontroler ESP32 serta sensor suhu, pH, dan TDS.
3. Perancangan perangkat *Software* dan integrasi IoT, mencakup pemrograman mikrokontroler dan konfigurasi platform ThingSpeak untuk memantau data kualitas air secara *real-time* melalui internet.
4. Pengujian sistem, untuk mengevaluasi kinerja alat serta mengukur akurasi sensor dalam membaca parameter kualitas air.

Gambar *Prototype* alat ditunjukkan pada ilustrasi berikut.



Gambar 12. Hasil Alat Prototype

### 3.6. Hasil Pengujian Akurasi Kalibrasi sensor TDS

Pengujian Akurasi Kalibrasi Sensor dilakukan untuk mengukur *Total Dissolved Solids* (TDS) pada berbagai jenis air. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan akurasi dan konsistensi pembacaan sensor. Dalam tabel pengujian akurasi kalibrasi sensor suhu dan TDS, ditampilkan beberapa indikator pengujian, rata-rata nilai TDS yang terbaca, rata-rata TDS Digital terbaca dengan jenis air yang digunakan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi Kalibrasi Sensor TDS

No	Rata-rata Sensor TDS Terbaca	Rata-rata TDS Digital Terbaca	Jenis Air
1	113 ppm	128 ppm	Air Keran
2	83 ppm	94 ppm	Air Mineral

Berdasarkan hasil uji akurasi kalibrasi sensor TDS, diperoleh rata-rata pembacaan 113 ppm pada air keran dan 83 ppm pada air mineral, sedangkan nilai perbandingan digital masing-masing sebesar 128 ppm dan 94 ppm.

### 3.7. Hasil Pengujian Akurasi Kalibrasi Sensor pH dengan Buffer pH

Pengujian akurasi kalibrasi sensor pH-4502C dilakukan untuk memastikan ketepatan pembacaan nilai pH menggunakan larutan buffer standar. Pengujian dilakukan dengan mencelupkan sensor ke dalam larutan buffer pH 9,18 dan pH 4,00, lalu mencatat hasil pembacaan, rata-rata nilai pH, serta nilai rata-rata kesalahan (*mean error*).

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Kalibrasi Sensor pH

No	Buffer pH	Rata-rata pH Terbaca	Mean Error
1	9.18	9.34	0.16
2	4.00	3.90	0.10

Hasil uji akurasi kalibrasi sensor pH-4502C menunjukkan pembacaan pH 9,34 pada larutan buffer pH 9,18 dengan *mean error* 0,16, dan pH 3,90 pada buffer pH 4,00 dengan *mean error* 0,10. Kedua nilai error masih dalam batas toleransi  $\pm 0,2$ , sehingga sensor dinyatakan terkalibrasi dengan baik dan mampu mengukur pH secara akurat.

### 3.8. Hasil Pengujian Akurasi Kalibrasi Sensor pH dengan pH Digital

Pengujian kalibrasi pada tahap ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sensor pH PH-4502C pada kondisi pengukuran nyata menggunakan berbagai jenis sampel air. Pada pengujian tersebut, alat ukur pH digital digunakan sebagai nilai acuan pembandingan. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel yang mencakup jenis sampel air, nilai pH acuan, rata-rata nilai pH yang terbaca oleh sensor, serta nilai kesalahan rata-rata (*mean error*) sebagai indikator deviasi hasil pengukuran sensor

terhadap nilai acuan. Penyajian data ini bertujuan untuk menilai tingkat akurasi dan konsistensi sensor pH PH-4502C dalam mengukur pH pada berbagai karakteristik sampel air.

**Tabel 3. Hasil Pengujian Akurasi Kalibrasi Sensor pH dengan pH Digital**

No	Jenis Air	pH Digital	Rata-rata pH Terbaca	Mean Error
1	Air Keran	7.00	6.70	0.30
2	Air Mineral	7.20	6.80	0.40

Hasil pengujian akurasi sensor pH PH-4502C menunjukkan bahwa pada air keran diperoleh nilai pH sensor sebesar 6,70 dengan *mean error* 0,30 terhadap nilai acuan 7,00, sedangkan pada air mineral diperoleh nilai pH sensor sebesar 6,80 dengan *mean error* 0,40 terhadap nilai acuan 7,20. Seluruh nilai *error* masih berada dalam batas toleransi sensor ( $\pm 0,5$ ), sehingga sensor pH PH-4502C dinyatakan layak digunakan untuk monitoring kualitas air.

### 3.9. Hasil Pengujian Pengolahan Air

Pengujian pengolahan air payau menjadi air bersih dilakukan menggunakan metode elektrokoagulasi dan filtrasi untuk membandingkan nilai suhu, pH, dan TDS (ppm) sebelum dan sesudah proses pengolahan, dengan variabel waktu dan tegangan listrik sebagai faktor pengaruh. Efisiensi sistem dievaluasi melalui perubahan parameter awal dan akhir. Data diperoleh dari sensor suhu, pH, dan TDS yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 serta ditampilkan pada LCD dan platform ThingSpeak. Hasil pengujian ini digunakan untuk menilai kinerja alat dan validitas sistem monitoring kualitas air berbasis IoT.

**Tabel 4. Hasil Pengujian Pengolahan Air**

60 Menit – 9V	Sebelum → Sesudah	Efisiensi	
		pH	TDS
Suhu	29.87 → 30.25	↑138.74%	↓3.65%
pH	3.02 → 7.21		
TDS	438 → 454		
120 Menit – 9V	Sebelum → Sesudah	Efisiensi	
Suhu	31.81 → 28.75	↑35.82%	↓11.90%
pH	5.36 → 7.28		
TDS	420 → 470		
60 Menit – 12V	Sebelum → Sesudah	Efisiensi	
Suhu (°C)	30.37 → 27.87	↑117.22%	↓5.13%
pH	3.02 → 6.56		
TDS	429 → 451		
120 Menit – 12V	Sebelum → Sesudah	Efisiensi	
Suhu (°C)	30.19 → 31.31	↑128.15%	↑11.51%
pH	3.02 → 6.89		
TDS	365 → 323		

$$pH\ 1\ (\%) = \frac{7.21 - 3.02}{3.02} \times 100\% = 138.74\% \dots (3.1)$$

$$pH\ 2\ (\%) = \frac{7.28 - 5.36}{5.36} \times 100\% = 35.82\% \dots (3.2)$$

$$pH\ 3\ (\%) = \frac{6.56 - 3.02}{3.02} \times 100\% = 117.22\% \dots (3.3)$$

$$pH\ 4\ (\%) = \frac{6.69 - 3.02}{3.02} \times 100\% = 128.15\% \dots (3.4)$$

$$TDS\ 1\ (\%) = \frac{438 - 454}{438} \times 100\% = -3.65\% \dots (3.5)$$

$$TDS\ 2\ (\%) = \frac{420 - 470}{420} \times 100\% = -11.90\% \dots (3.6)$$

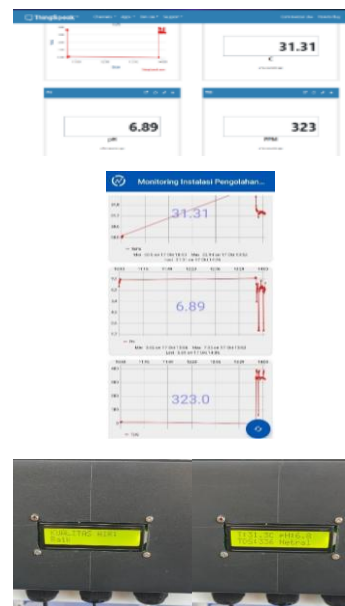
$$TDS\ 3\ (\%) = \frac{429 - 451}{429} \times 100\% = -5.13\% \dots (3.7)$$

$$TDS\ 4\ (\%) = \frac{365 - 323}{365} \times 100\% = 11.51\% \dots (3.8)$$

Hasil pengujian menunjukkan peningkatan pH air dari 3,02–5,36 menjadi 6,56–7,28 dengan efisiensi 35,82%–138,74%, menandakan metode elektrokoagulasi efektif menetralkan air asam menjadi netral melalui pembentukan ion OH<sup>-</sup> dan Al(OH)<sub>3</sub>. Nilai TDS bervariasi, menurun 3,65%–11,90% akibat pengendapan partikel dan meningkat 11,51% pada 12 V selama 120 menit karena pelepasan ion logam dari elektroda. Suhu air stabil pada 27,8°C–31,3°C, menunjukkan proses berlangsung efisien tanpa peningkatan suhu signifikan.



**Gambar 13. Hasil Sampel Pengolahan Air**



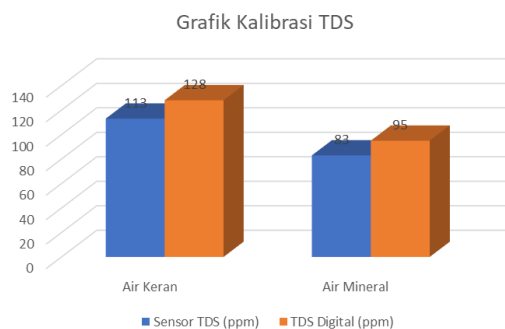
**Gambar 14. Tampilan Monitoring**

a. Perhitungan Efisiensi Pengolahan Air

Hasil pengujian instalasi pengolahan air (IPA) monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) menunjukkan bahwa parameter suhu, pH, dan TDS dapat terbaca dan ditampilkan secara *real-time* melalui platform ThingSpeak, aplikasi ThingView, serta LCD. Sensor DS18B20, PH-4502C, dan TDS yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 menghasilkan data akurat. ThingSpeak menampilkan grafik perubahan nilai sensor terhadap waktu, ThingView memungkinkan pemantauan mobile, dan LCD memudahkan observasi langsung di lokasi tanpa koneksi internet.

### 3.10. Analisis Hasil Pengujian Akurasi Kalibrasi Sensor TDS dengan TDS Digital

Pengujian akurasi sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) dilakukan untuk mengevaluasi kinerja pembacaan pada dua jenis air, yaitu air keran dan air mineral. Tujuan pengujian ini adalah menilai kemampuan sensor dalam mendeteksi suhu dan kadar TDS secara akurat serta membedakan karakteristik tiap sampel air.



Gambar 15. Analisis Grafik Sensor TDS dengan TDS Digital

- Perhitungan *Mean Error* Air Keran
  - Sensor TDS = 113 ppm
  - Sensor TDS Digital = 128 ppm
  - $Mean Error = |113 - 128| = 15 \dots \dots \dots (3.9)$
- Perhitungan *Mean Error* Air Mineral
  - Sensor TDS = 83 ppm
  - Sensor TDS Digital = 94 ppm
  - $Mean Error = |83 - 94| = 11 \dots \dots \dots (3.10)$
- Perhitungan Rata-rata *Mean Error*

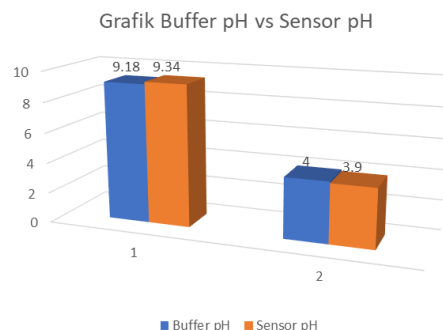
$$Rata - Rata Mean Error = \frac{(15+11)}{2} = \frac{26}{2} = 13 \text{ ppm} \dots \dots \dots (3.11)$$

Hasil kalibrasi sensor TDS menunjukkan bahwa pada sampel air keran, sensor membaca nilai 113 ppm sedangkan alat TDS digital menunjukkan 128 ppm, dengan selisih 15 ppm. Pada air mineral, nilai terbaca 83 ppm dan TDS digital 94 ppm, dengan selisih 11 ppm. Rata-rata *mean error* pembacaan sensor TDS sebesar 13

ppm, menunjukkan tingkat akurasi yang baik dan konsisten dalam mendeteksi kadar padatan terlarut pada kedua jenis air.

### 3.11. Analisis Hasil Pengujian Akurasi Kalibrasi pH dengan Buffer pH

Pengujian akurasi sensor pH PH-4502C dilakukan menggunakan dua larutan buffer standar, yaitu pH 9.18 (basa) dan pH 4.00 (asam), untuk menilai ketepatan pembacaan sensor terhadap nilai referensi. Proses kalibrasi dilakukan dengan mencelupkan sensor ke masing-masing larutan buffer, mencatat suhu dan hasil pembacaan, kemudian menghitung nilai *mean error* sebagai indikator deviasi antara hasil sensor dan nilai aktual.



Gambar 16. Analisis Grafik Buffer pH dengan Sensor pH

- Perhitungan *mean error* buffer pH 9.18 (Basa)
  - pH Buffer = 9.18
  - pH Terbaca Sensor = 9.34
  - $Mean Error = |9.34 - 9.18| = 0.16 \dots \dots \dots (3.12)$
- Perhitungan *mean error* buffer pH 4.00 (Asam)
  - pH Buffer = 4.00
  - pH Terbaca Sensor = 3.90
  - $Mean Error = |4.00 - 3.90| = 0.10 \dots \dots \dots (3.13)$
- Perhitungan Rata-rata *Mean Error*

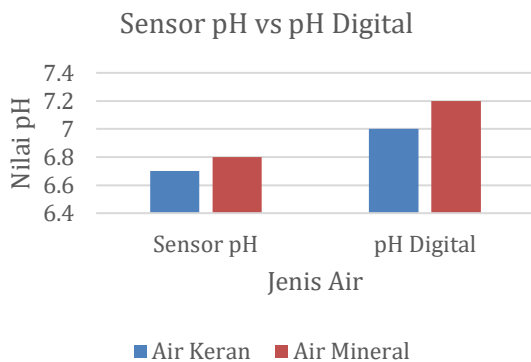
$$Rata - Rata Mean Error = \frac{(0.16+0.10)}{2} = \frac{0.26}{2} = 0.13 \dots \dots \dots (3.14)$$

Hasil pengujian menunjukkan pembacaan sensor sebesar pH 9.34 pada buffer pH 9.18 dan pH 3.90 pada buffer pH 4.00, dengan *mean error* masing-masing 0.16 dan 0.10. Nilai deviasi tersebut berada dalam batas toleransi  $\pm 0.2$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor pH PH-4502C memiliki akurasi yang baik dan telah terkalibrasi dengan tepat.

### 3.12. Analisis Hasil Pengujian Kalibrasi Sensor pH dengan pH Digital

Pengujian akurasi sensor pH PH-4502C dilakukan menggunakan berbagai jenis air untuk mengevaluasi

kinerja sensor pada kondisi pengukuran nyata. Pada pengujian ini, pH digital digunakan sebagai alat pembanding untuk memperoleh nilai pH acuan. Data hasil pengujian disajikan yang memuat jenis sampel air, nilai pH acuan berdasarkan pH digital, rata-rata nilai pH yang terbaca oleh sensor pH PH-4502C, serta nilai mean error sebagai indikator deviasi pembacaan sensor terhadap nilai referensi. Pengujian ini bertujuan untuk menilai tingkat akurasi dan konsistensi sensor pH PH-4502C dalam mengukur nilai pH pada berbagai karakteristik sampel air.



Gambar 17. Analisis Grafik Sensor pH dengan pH Digital

g. Perhitungan *mean error* air keran

- pH digital = 7.00

- Sensor pH = 6.70

$$\text{Mean Error} = |7.00 - 6.70| = 0.30 \dots \dots \dots (3.15)$$

h. Perhitungan *mean error* air mineral

- pH Digital = 7.20

- Sensor pH = 6.80

$$\text{Mean Error} = |7.20 - 6.80| = 0.40 \dots \dots \dots (3.16)$$

i. Perhitungan Rata-rata *Mean Error*

$$\text{Rata - Rata Mean Error} = \frac{(0.40 + 0.30)}{2} = \frac{0.70}{2} = 0.35 \dots \dots \dots (3.17)$$

Berdasarkan hasil pengujian akurasi sensor pH PH-4502C pada pengukuran lapangan menggunakan beberapa jenis air, diperoleh perbandingan antara nilai pH digital sebagai acuan dan nilai rata-rata pH yang terbaca oleh sensor. Pada sampel air keran, nilai pH digital sebesar 7,00 dan pembacaan sensor sebesar 6,70 menghasilkan *mean error* 0,30, sedangkan pada sampel air mineral nilai pH digital sebesar 7,20 dan pembacaan sensor sebesar 6,80 menghasilkan *mean error* 0,40.

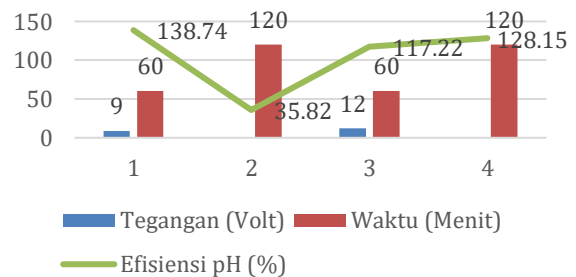
Nilai rata-rata *mean error* yang diperoleh sebesar 0,35 menunjukkan adanya deviasi pembacaan sensor terhadap nilai referensi, namun masih berada dalam batas toleransi kesalahan sensor pH PH-4502C, yaitu  $\pm 0.5$ . Hasil ini menunjukkan bahwa sensor pH PH-4502C memiliki tingkat akurasi dan konsistensi yang memadai, sehingga

layak digunakan sebagai perangkat monitoring pH pada sistem pengujian kualitas air.

### 3.13. Analisis Hasil Pengujian Pengolahan Air

Analisis hasil pengolahan air dengan metode elektrokoagulasi dilakukan untuk menilai efisiensi sistem dalam memperbaiki kualitas air berdasarkan perubahan nilai pH dan *Total Dissolved Solids* (TDS). Metode ini memanfaatkan reaksi elektrokimia yang menetralkan ion bermuatan dan membentuk flok pengendap, sehingga diharapkan meningkatkan pH dan menurunkan TDS. Pengujian dilakukan dengan variasi tegangan 9 V dan 12 V serta waktu 60 dan 120 menit. Nilai pH dan TDS diukur sebelum dan sesudah proses menggunakan sensor terintegrasi ESP32, dengan hasil ditampilkan secara *real-time* melalui LCD dan platform ThingSpeak sebagai dasar evaluasi kinerja sistem pengolahan air berbasis IoT.

Efisiensi Peningkatan pH terhadap Variasi Waktu dan Tegangan

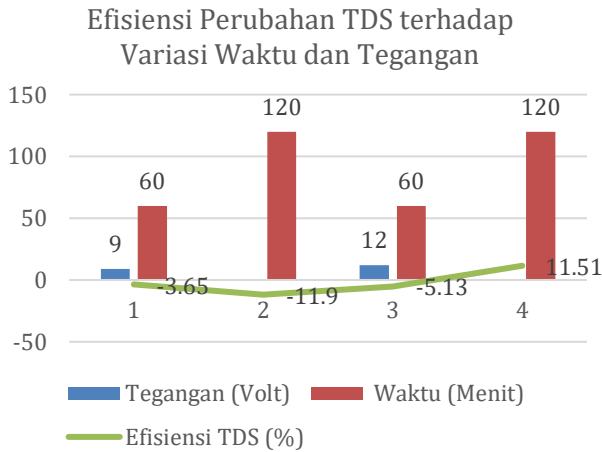


Gambar 18. Analisis Grafik Efisiensi pH Waktu dan Tegangan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi waktu dan tegangan berpengaruh signifikan terhadap efisiensi peningkatan pH pada proses elektrokoagulasi. Efisiensi tertinggi dicapai pada tegangan 9 V selama 60 menit dengan nilai 138,74%, menunjukkan proses netralisasi optimal. Namun, perpanjangan waktu menjadi 120 menit pada tegangan sama menurunkan efisiensi menjadi 35,82% akibat kejenuhan reaksi dan endapan logam pada elektroda.

Peningkatan tegangan menjadi 12 V meningkatkan efisiensi menjadi 117,22% (60 menit) dan 128,15% (120 menit), yang menandakan laju reaksi elektrokoagulasi dan pelepasan ion  $Al^{3+}$  semakin cepat, sehingga memperbaiki proses koagulasi dan menaikkan pH menuju kondisi netral. Pada parameter TDS, efisiensi berkisar antara -11,90% hingga +11,51%, dengan penurunan menunjukkan keberhasilan pengendapan flok terlarut. Secara keseluruhan, kombinasi 12 V selama 120 menit menghasilkan performa paling stabil dan efisien, menegaskan bahwa pengaturan tegangan dan durasi reaksi

merupakan faktor kunci dalam optimalisasi sistem elektrokoagulasi berbasis IoT untuk pengolahan air payau.



Gambar 19. Analisis Grafik Efisiensi TDS Waktu dan Tegangan

Hasil pengujian efisiensi perubahan nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) menunjukkan bahwa variasi tegangan dan waktu berpengaruh signifikan terhadap kinerja proses elektrokoagulasi. Pada 9 V selama 60 menit, efisiensi TDS bernilai  $-3,65\%$ , menandakan peningkatan kecil kadar zat terlarut, sedangkan pada 120 menit, efisiensi menurun menjadi  $-11,9\%$  akibat terbentuknya endapan pada elektroda yang menghambat pelepasan ion koagulan.

Peningkatan tegangan menjadi 12 V memperbaiki efisiensi sistem, dengan nilai  $-5,13\%$  pada 60 menit dan mencapai  $+11,51\%$  pada 120 menit. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan lebih tinggi mempercepat pelepasan ion  $Al^{3+}$  dari elektroda aluminium, sehingga meningkatkan proses koagulasi dan flokulasi partikel terlarut.

Kondisi optimal dicapai pada kombinasi 12 V dan 120 menit, di mana proses elektrokoagulasi berlangsung stabil dan menghasilkan penurunan TDS paling signifikan. Suhu selama pengujian berkisar antara  $27-31^{\circ}C$ , menunjukkan kestabilan sistem tanpa pemanasan berlebih, sehingga tidak memengaruhi efisiensi utama proses.

#### 3.14. Analisis Komputasi dan Peran Sensor dalam Sistem Pengolahan Air

Sensor suhu DS18B20, sensor pH PH-4502C, dan sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 digunakan untuk memantau kualitas air secara *real-time* sebagai dasar evaluasi kinerja sistem pengolahan air payau berbasis elektrokoagulasi dan filtrasi berlapis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan tegangan dan durasi proses berpengaruh

signifikan terhadap respon sensor pH dan TDS. Efisiensi peningkatan pH tertinggi sebesar  $128,15\%$  dan penurunan TDS sebesar  $11,51\%$  dicapai pada kondisi 12 V selama 120 menit, yang menunjukkan efektivitas proses elektrokoagulasi dalam menetralkan air dan menurunkan kadar zat terlarut. Sementara itu, sensor suhu menunjukkan kestabilan temperatur pada rentang  $27-31^{\circ}C$ , menandakan proses berlangsung tanpa pemanasan berlebih.

Validasi data dilakukan melalui perhitungan *mean error* untuk menilai akurasi sensor. Sensor pH PH-4502C memiliki rata-rata *mean error* sebesar  $0,35$ , masih berada dalam batas toleransi  $\pm 0,5$ , sedangkan sensor TDS menunjukkan *mean error* rata-rata sebesar 13 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT memiliki tingkat akurasi dan konsistensi yang baik, sehingga layak digunakan sebagai alat evaluasi kuantitatif kinerja pengolahan air payau.

#### 3.15. Implikasi Praktis

Instalasi pengolahan air (IPA) monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan memiliki potensi untuk diterapkan pada skala desa pesisir, khususnya di wilayah Desa Pontang Legon dengan ketersediaan air payau yang melimpah dan keterbatasan akses air bersih. Pemanfaatan sistem ini dapat menjadi solusi alternatif terhadap keterbatasan pasokan air dari PDAM, dengan memanfaatkan sumber air lokal untuk menghasilkan air dengan kualitas yang lebih layak digunakan.

Selain itu, sistem ini memiliki peluang pengembangan lebih lanjut melalui peningkatan kapasitas pengolahan, baik dengan optimalisasi desain reaktor elektrokoagulasi maupun sistem filtrasi, serta integrasi kontrol otomatis berbasis data sensor untuk mendukung sistem tertutup (*closed-loop*). Pengembangan tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional, keandalan sistem, dan kesiapan implementasi pada skala yang lebih luas.

### 4. Kesimpulan

Penelitian dengan judul “*Prototype Instalasi Pengolahan Air (IPA) Monitoring Berbasis Internet of Things (IoT) di Desa Pontang Legon*” berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pengolahan air payau menjadi air bersih melalui integrasi proses elektrokoagulasi dan filtrasi berlapis, yang terdiri atas *sediment filter*, *cartridge magnesium (Mg) filter*, *cation resin filter*, dan *chlorine taste odor filter*. Sistem ini dilengkapi dengan fitur pemantauan kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan platform ThingSpeak, ThingView, dan LCD, yang mampu menampilkan parameter suhu, pH, dan *Total Dissolved Solids* (TDS) secara *real-time* dengan tingkat akurasi sensor yang baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa

sensor pH PH-4502C memiliki nilai *mean error* sebesar  $\pm 0,16$  dan  $\pm 0,10$  yang masih berada dalam batas toleransi  $\pm 0,2$ , sedangkan sensor TDS dan sensor suhu menunjukkan kestabilan pembacaan selama proses pengujian.

Hasil pengujian proses elektrokoagulasi menunjukkan bahwa kondisi optimal dicapai pada tegangan 12 V dengan durasi proses 120 menit, yang menghasilkan peningkatan nilai pH sebesar 128,15% serta penurunan nilai TDS sebesar 11,51%. Hasil ini menunjukkan efektivitas sistem dalam memperbaiki kualitas air payau menuju kondisi netral dan layak pakai. Secara keseluruhan, *prototype* yang dikembangkan tidak hanya mampu meningkatkan kualitas air, tetapi juga menyediakan sistem pemantauan jarak jauh yang akurat dan berkelanjutan melalui jaringan IoT, sehingga memiliki potensi kuat untuk diterapkan sebagai solusi pengolahan air bersih skala desa, khususnya di wilayah pesisir yang mengalami keterbatasan sumber air layak digunakan.

Sebagai pengembangan lanjutan, disarankan penambahan sensor kekeruhan (*turbidity*) dan oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) untuk memperluas parameter kualitas air yang dapat dipantau secara komprehensif. Selain itu, optimalisasi desain wadah elektrokoagulasi dan sistem filtrasi mekanik perlu dilakukan untuk meningkatkan kapasitas produksi air serta efisiensi energi. Sistem monitoring juga dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan fitur notifikasi otomatis melalui Telegram Bot atau aplikasi *mobile*, serta penerapan konsep sistem kendali tertutup (*closed-loop system*). Uji coba lapangan berskala lebih besar direkomendasikan guna mengevaluasi ketahanan dan kinerja sistem terhadap variasi suhu, salinitas, dan debit air. Dengan pengembangan tersebut, sistem ini diharapkan dapat diimplementasikan secara nyata sebagai teknologi pengolahan air bersih berbasis IoT yang terintegrasi, aplikatif, dan berkelanjutan di wilayah pesisir.

## Refrensi

- [1]. H. S. Naryanto, P. Prihartanto, and D. Ganesha, "Kajian Kualitas Air Tanah dan Sungai pada Kawasan Rawan Banjir di Kabupaten Serang Kaitannya dengan Penyediaan Air Bersih," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 20, no. 1, pp. 45–56, 2019.
- [2]. P. Prihartanto, "Distribusi Spasial Salinitas Air Tanah Dangkal di DAS Cijung dan Cidurian, Kabupaten Serang, Provinsi Banten," *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*, vol. 18, no. 2, pp. 216–223, 2017.
- [3]. A. Herdyansah and D. Rahmawati, "Dampak intrusi air laut pada kawasan pesisir Surabaya Timur," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, pp. C253–C257, 2017.
- [4]. U. Umroningsih, "Limbah Cair Menyebabkan Pencemaran Lingkungan," *Jisos: Jurnal Ilmu Sosial*, vol. 1, no. 7, pp. 647–666, 2022.
- [5]. M. Kasman, S. U. Kalsum, and A. S. Aditia, "Reduksi pH, BOD dan COD dalam Grey Water dengan Proses Elektrokoagulasi-Sedimentasi," *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, vol. 12, no. 3, pp. 1–4, 2017.
- [6]. S. W. Safriani, L. Hakim, M. Meriatna, W. U. Fibarzi, and A. Azhari, "Pengolahan Air Payau (Brackish Water) Menjadi Air Bersih Dengan Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Panel Surya (Photovoltaic)," *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, vol. 5, no. 3, pp. 346–358, 2025.
- [7]. M. P. Bimantio and A. Ferhat, "Portable Circulating Adsorption Column Design for Seawater Purification," *Opsi*, vol. 14, no. 2, pp. 129–135, 2021.
- [8]. D. H. Nugraha and M. Mahida, "Kesiapan Masyarakat Menerapkan Teknologi Tepat Guna Pengolahan Air Minum (Studi Kasus: Pulau Palu'e, Nusa Tenggara Timur)," *Jurnal Sosial Ekonomi Pekerjaan Umum*, vol. 5, no. 2, 2013.
- [9]. E. Wiyanto, B. Harsono, A. Makmur, R. Pangputra, J. Julita, and M. S. Kurniawan, "Penerapan elektrokoagulasi dalam proses penjernihan limbah cair," *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 2014.
- [10]. A. A. Putri, I. Meicahayanti, S. Nugroho, and F. Zulya, "Pengaruh Waktu Kontak serta Jenis Elektroda Al-Al dan Al-Fe pada Elektrokoagulasi dalam Penyisihan Fe dan Mn Air Asam Tambang," *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 15, no. 2, pp. 124–128, 2023.
- [11]. L. C. Mardhatillah, A. Anriani, A. Y. Juniarty, and R. Purnaini, "Pengolahan Air Gambut Menjadi Air Bersih Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dan Filtrasi," *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, vol. 11, no. 2, pp. 372–379, 2023.
- [12]. M. Masrullita, L. Hakim, R. Nurlaila, and N. Azila, "Pengaruh waktu dan kuat arus pada pengolahan air payau menjadi air bersih dengan proses elektrokoagulasi," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 10, no. 1, pp. 111–122, 2021.
- [13]. I. Friskia, N. A. Triwuri, and I. Fadlilah, "Pengolahan Air Payau Menjadi Air Bersih dengan Kombinasi Metode Desalinasi Menggunakan Tanaman Mangrove Dan Elektrokoagulasi," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 29, no. 2, pp. 1–10, Oct. 2023, doi: 10.5614/j.tl.2023.29.2.3.
- [14]. D. RI, "Peraturan Menteri Kesehatan RI No 416/Menkes/Per/IX/1990," 1990, *Jakarta*.
- [15]. T. Plomp, "Educational design research: An introduction," *Educational design research*, pp. 11–50, 2013.