ISSN: 2985-7236 (P); 2985-7244(e)

AE INNOVATION
AGRICULTURAL ENGINEERING INNOVATION JOURNAL

AE Innovation: Agricultural Engineering Innovation Journal
Vol. 4, No. 2, Juli 2026
Journal home page : https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/AEI
Page 93-122
Submitted: Apr 24th, 2026
Accepted : Nov 20th, 2026
DOI: 10.55180/aei.v4i2.2518

Rancang Bangun Sistem Pemantauan *Real-Time* Kualitas Air pada Tangki Klarifier Water Treatment Plant (WTP) Berbasis ESP32 Menggunakan Sensor pH dan TDS

Loren kristianto*, Arief Ika Uktoro, Suparman
Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, INSTIPER Yogyakarta
Jl. Nangka II, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia
*)E-mail penulis **:** lorenkristianto72@gmail.com

ABSTRAK

Pemantauan kualitas air pada tangki klarifier WTP sebelumnya masih dilakukan secara manual dan tidak berkelanjutan, sehingga kurang efektif dalam memberikan informasi kondisi air secara cepat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan kualitas air secara real-time berbasis ESP32, melakukan kalibrasi sensor pH dan TDS, menguji sistem menggunakan metode Black Box Testing, serta mengimplementasikan alat pada tangki klarifier WTP. Metode penelitian dilakukan melalui tahapan studi literatur, perancangan alat, pembuatan sistem, kalibrasi sensor, pengujian sistem, implementasi di lapangan, dan pengambilan data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil dirancang dan diterapkan pada tangki klarifier WTP dengan Sensor TDS memiliki tingkat akurasi sebesar 99,36% - 99,80%, sedangkan sensor pH sebesar 98,83%–99,84%. Hasil pengujian Black Box menunjukkan seluruh fungsi sistem, meliputi pembacaan sensor, tampilan LCD, dan penyimpanan data pada MicroSD, dengan tingkat keberhasilan 100%, sehingga sistem mampu memberikan pemantauan kualitas air secara cepat, akurat, dan berkelanjutan.Abstrak ditulis secara ringkas dan faktual menggunakan huruf Arial, ukuran 11pt, dengan spasi 1, serta panjang teks antara 200 – 250 kata. Abstrak ditulis menggunakan Bahasa Indonesia yang baik dan benar. Jangan menggunakan singkatan atau kutipan pada abstrak. Abstrak meliputi latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, hasil dan simpulan.
Kata kunci : Clarifier Tank; ESP32; Monitoring Real-Time; pH.

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit membutuhkan air dalam jumlah besar untuk berbagai proses produksi, seperti klarifikasi, pencucian, perebusan, dan pembangkitan uap. Konsumsi air berkisar 1,2–2,5 m^3 per ton tandan buah segar (TBS), sehingga Water Treatment Plant (WTP) berperan penting dalam menyediakan air dengan kualitas yang sesuai untuk mendukung kelancaran produksi(Tarigan et al., 2023) Stasiun Pengolahan Air (WTP) bertanggung jawab untuk memenuhi baku mutu air yang diperlukan untuk operasional pabrik kelapa sawit(Riyan Ariyansah1 2020). Menurut (Yosua Silitonga 2023), air sungai dipompa ke tangki clarifier dan ditambahkan bahan kimia seperti aluminium sulfat dan soda ash untuk membantu proses pengendapan dan koagulasi. Setelah pemisahan gravitasi terjadi di dalam clarifier, partikel besar dan lumpur mengendap di dasar tangki. Sementara itu, air bagian atas mengalir ke tahap

berikutnya. Parameter pH dan Total Dissolved Solids (TDS) adalah indikator utama kualitas air karena memengaruhi seberapa baik proses klarifikasi dan operasi boiler. Standar pH air WTP adalah antara 6,5 dan 8,5, dan TDS harus kurang dari 500 ppm untuk memenuhi persyaratan boiler (Arya Pamungkas1, Nuraeni Dwi Dharmawati2, 2025). Pengukuran pH dan TDS di beberapa PKS masih dilakukan secara manual dan secara periodik. Akibatnya, sensor ini tidak dapat mendeteksi perubahan secara real-time dan analisis tren proses menjadi sulit (Akbar et al., 2019). Dengan menggunakan mikrokontroler dan tampilan LCD, monitoring dan pencatatan data yang lebih efektif dapat dilakukan (Yusri et al., 2024). Pengukuran pH dan TDS di beberapa PKS masih dilakukan secara manual dan secara periodik. Akibatnya, sensor ini tidak dapat mendeteksi perubahan secara real-time dan analisis tren proses menjadi sulit (Akbar et al., 2019). Dengan menggunakan mikrokontroler dan tampilan LCD, monitoring dan pencatatan data yang lebih efektif dapat dilakukan (Yusri et al., 2024). Dengan menggunakan ESP32, sistem pemantauan otomatis yang responsif dan stabil dapat didukung (Tundo et al., 2024). Penelitian ini merancang sistem pemantauan real-time pada tangki clarifier WTP berbasis ESP32 untuk meningkatkan kestabilan dan efisiensi kualitas air (Makmur & Silaban, 2024).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

a) Perangkat Keras

Perangkat Keras: Sensor pH, Sensor TDS, mikrokontroler (Esp32), Pawer bank, Modul RTC, Modul SD card, Memori 8 GB, Laptop, kabel jamper, LCD 12X2, solar cell, dan kabel USB mikro.

b) Perangkat Lunak

Aplikasi Arduino Uno.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Kapuasindo Palm Industry Pabrik kelapa sawit , dari tanggal 10 Agustus Hingga 10 September 2025 .

Variabel Penelitian

Variabel penelitian dikelompokkan menjadi variabel independen, dependen, dan kontrol sebagai berikut:

1. Variabel Independen
   a) pH Air WTP
      i. Definisi: Tingkat keasaman atau kebasaan air pada tangki klarifier.
      ii. Alat ukur: Sensor pH analog.
      iii. Standar: 6,5–8,5.
   b) Total Dissolved Solids (TDS)
      i. Definisi: Konsentrasi padatan terlarut dalam air pada tangki klarifier.
      ii. Alat ukur: Sensor TDS.
      iii. Standar: <500 ppm.
2. Variabel Dependen

   Efektivitas pengolahan air
      i. Indikator: Perubahan nilai pH dan TDS selama pemantauan.
      ii. Analisis: Statistik deskriptif (rata-rata, minimum, maksimum, deviasi standar).

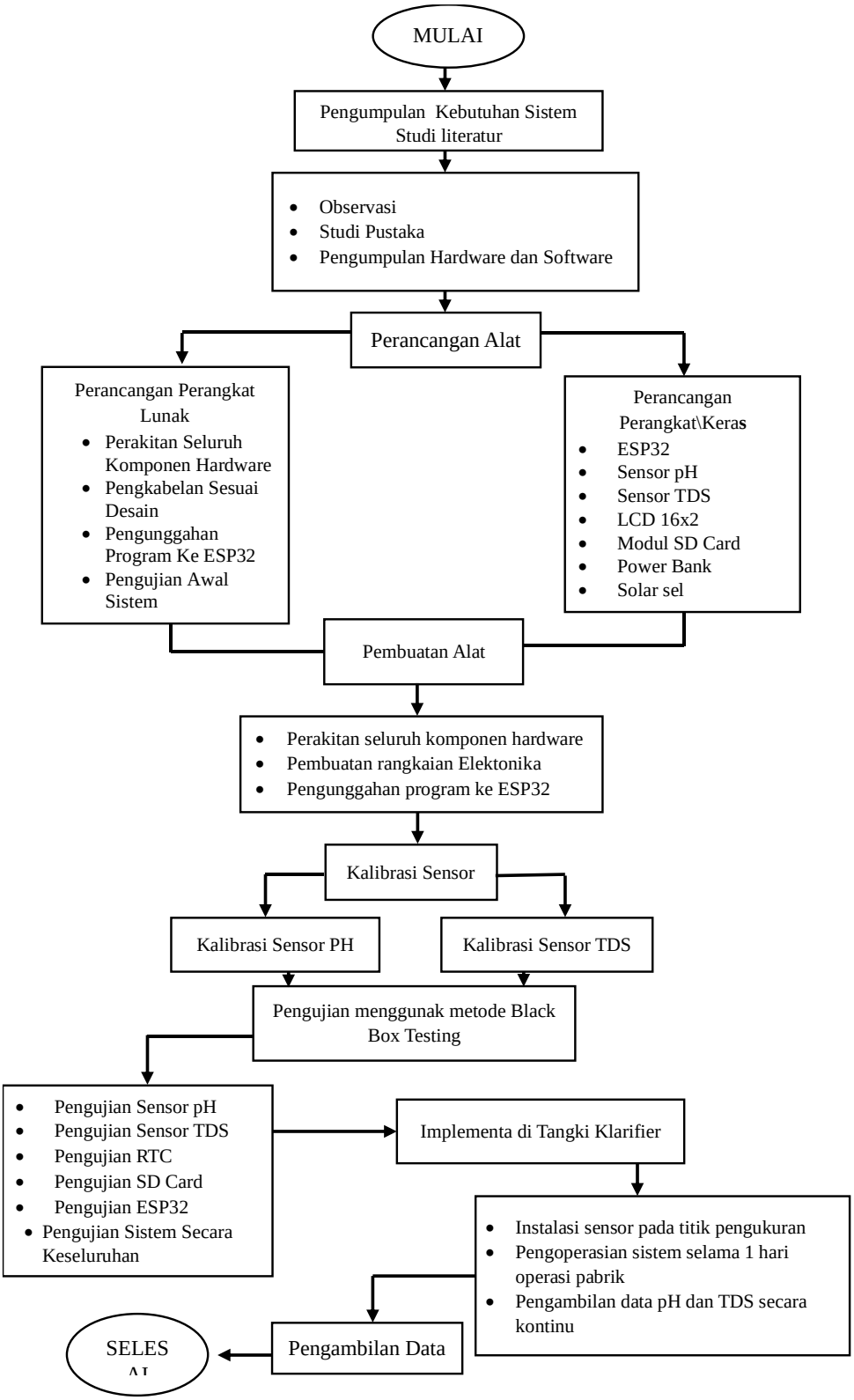
Hubungan antar parameter

i. Indikator: Hubungan statistik antara pH dan TDS.
ii. Analisis: Korelasi Pearson

3. Variabel Kontrol
   i. Lokasi pengambilan data pada tangki klarifier WTP pabrik kelapa sawit
   ii. Waktu pemantauan 1 hari, interval 1 menit, data tersimpan pada SD card, ditampilkan pada LCD.
   iii. Kalibrasi sensor menggunakan larutan standar sebelum pengukuran.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *prototype*, yaitu pengembangan sistem yang dilakukan secara bertahap melalui perancangan, pembuatan, dan pengujian hingga diperoleh sistem yang sesuai dengan kebutuhan. Prototype digunakan sebagai bentuk awal untuk menguji rancangan, mengidentifikasi permasalahan, serta melakukan perbaikan secara berulang hingga sistem dapat berfungsi dengan baik. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan alat, pembuatan prototype, kalibrasi sensor, pengujian sistem, dan implementasi di lapangan.(Fridayanthie et al., 2021).

Prosedur Penelitian



Gambar 1 Metode penelitian ini menggunakan pendekatan Prototype

1. Pengumpulan Kebutuhan Sistem (Studi Literatur)

   Tahap ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan sistem yang akan dibuat agar sesuai dengan kondisi di lapangan.

   Penjelasan tiap poin:

   a) Observasi

      Dilakukan dengan mengamati langsung kondisi di Water Treatment Plant (WTP), khususnya pada tangki klarifier. Tujuannya untuk mengetahui kebutuhan pemantauan kualitas air serta kendala yang dihadapi operator.

   b) Studi Pustaka

      Mengkaji jurnal, buku, dan penelitian sebelumnya terkait sensor pH, TDS, sistem monitoring, serta penggunaan mikrokontroler ESP32.

   c) Pengumpulan Hardware dan Software

      Mengidentifikasi dan menyiapkan komponen yang dibutuhkan seperti ESP32, sensor, LCD, serta software pemrograman (Arduino IDE).

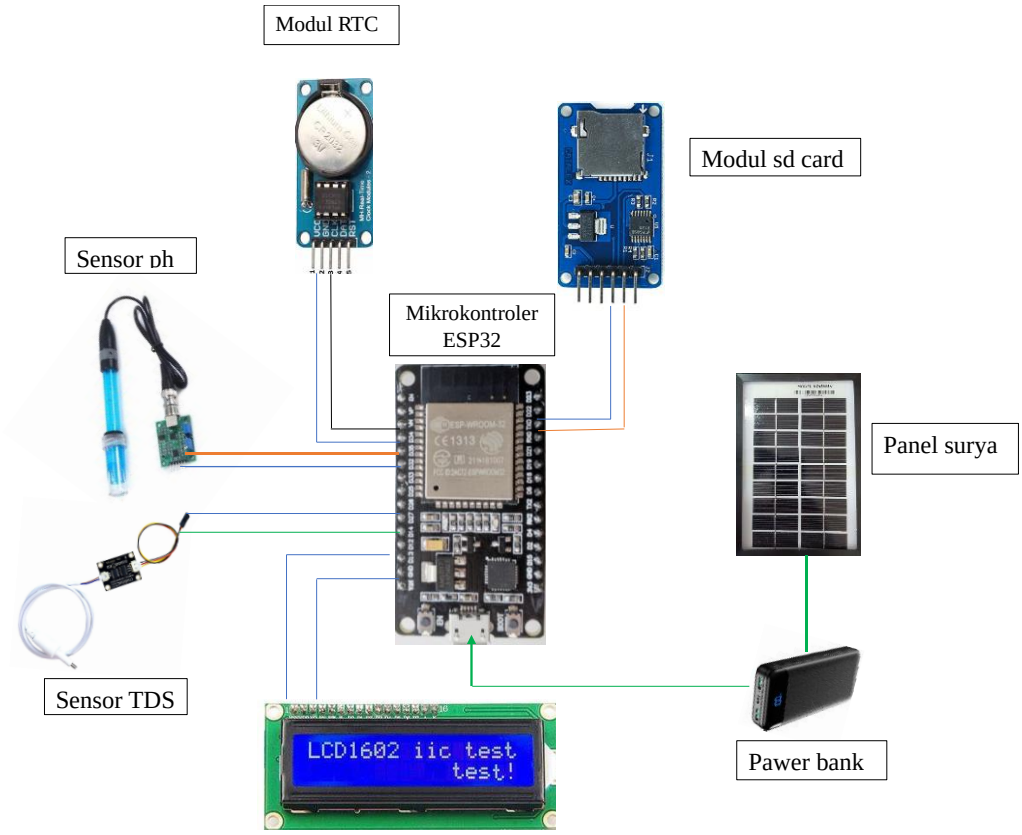
2. Perancangan Alat

   Tahap ini merupakan proses perencanaan sistem sebelum direalisasikan ke dalam bentuk fisik (prototype). Pada tahap ini dilakukan perancangan menyeluruh terhadap sistem yang akan dibangun, baik dari sisi perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software).

No	Komponen	Pin Komponen	Pin NodeMCU ESP32	Keterangan
1	Sensor pH	VCC	3.3V	Sumber daya sensor
		GND	GND	Ground sistem
		OUT	GPIO 35	Output analog ke ESP32
2	Sensor TDS	VCC	3.3V / 5V	Tergantung spesifikasi sensor
		GND	GND	Ground
		OUT	GPIO 34	Output analog ke ESP32
3	LCD 16x2 (I2C)	VCC	VIN (5V)	Sumber daya LCD (lebih stabil)
		GND	GND	Ground
		SDA	GPIO 21	Jalur data I2C
		SCL	GPIO 22	Jalur clock I2C
4	Modul RTC (DS3231)	VCC	VIN (5V)	Sumber daya RTC
		GND	GND	Ground
		SDA	GPIO 21	Sharing I2C dengan LCD
		SCL	GPIO 22	Sharing I2C
5	Modul SD Card	VCC	VIN (5V)	Sumber daya modul
		GND	GND	Ground
		MISO	GPIO 19	Jalur data SPI
		MOSI	GPIO 23	Jalur data SPI
		SCK	GPIO 18	Clock SPI
		CS	GPIO 5	Chip Select
6	Power Bank	Output +	VIN ESP32	Sumber daya utama
		Output -	GND	Ground
7	Panel Surya	Output +	Power Bank	Pengisian daya
		Output -	Power Bank	Ground

a) Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

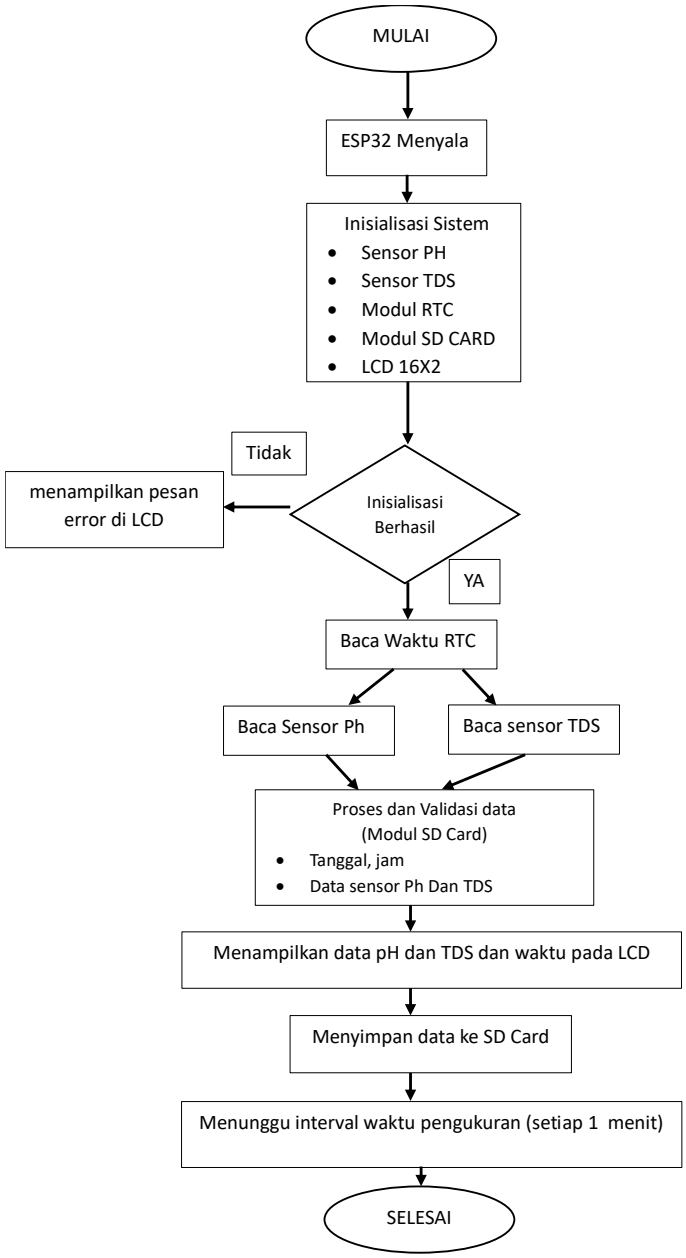
Perancangan perangkat keras dalam penelitian ini dilakukan dengan menentukan konfigurasi koneksi antar komponen yang digunakan dalam sistem. Setiap komponen dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 sesuai dengan fungsi dan kebutuhan sistem agar dapat bekerja secara terintegrasi. Dapat diliahat pada tabel berikut ini:



Gambar 2 Perancangan Elektonika

b) Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Perancangan perangkat lunak bertujuan untuk menentukan logika kerja sistem yang dijalankan oleh mikrokontroler ESP32. Alur kerja sistem dirancang agar mampu melakukan proses inisialisasi, pembacaan sensor, pengolahan data, hingga penampilan dan penyimpanan data secara otomatis.



Gambar 3 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Flowchart pada Gambar 3.3 menunjukkan bahwa sistem diawali dengan proses inisialisasi seluruh komponen. Jika inisialisasi berhasil, sistem akan melakukan pembacaan data sensor pH dan TDS, kemudian data diolah dan ditampilkan pada LCD serta disimpan ke SD Card. Proses ini dilakukan secara berulang dengan interval waktu tertentu.

3. Pembuatan Alat

Pembuatan prototype merupakan tahap realisasi dari desain sistem yang telah dirancang sebelumnya ke dalam bentuk fisik. Pada tahap ini dilakukan perakitan seluruh komponen perangkat keras serta implementasi program ke dalam mikrokontroler sehingga sistem pemantauan kualitas air dapat berfungsi sesuai dengan perancangan yang telah ditentukan.

4. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dilakukan untuk memastikan bahwa sensor pH dan TDS yang digunakan dapat memberikan hasil pengukuran yang akurat dan mendekati nilai sebenarnya. Proses kalibrasi dilakukan sebelum sensor digunakan untuk pengambilan data penelitian.

Kalibrasi Sensor pH

Kalibrasi sensor pH dilakukan menggunakan larutan buffer standar yang memiliki nilai pH tertentu, seperti pH 4, Ph 7 dan pH 10. Langkah-langkah kalibrasi sensor pH adalah sebagai berikut:

a. Sensor pH dibersihkan terlebih dahulu menggunakan air destilasi atau air aquades untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada elektroda.
b. Sensor kemudian dicelupkan ke dalam larutan buffer pH 7 sebagai titik kalibrasi awal.
c. Nilai pembacaan sensor pada sistem dicatat dan disesuaikan hingga mendekati nilai pH larutan standar.
d. Setelah itu sensor dibilas kembali menggunakan air aquades, kemudian dicelupkan ke dalam larutan buffer pH 4 untuk memastikan akurasi pembacaan pada rentang pH yang berbeda.
e. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan nilai larutan standar untuk memastikan sensor telah terkalibrasi dengan baik.

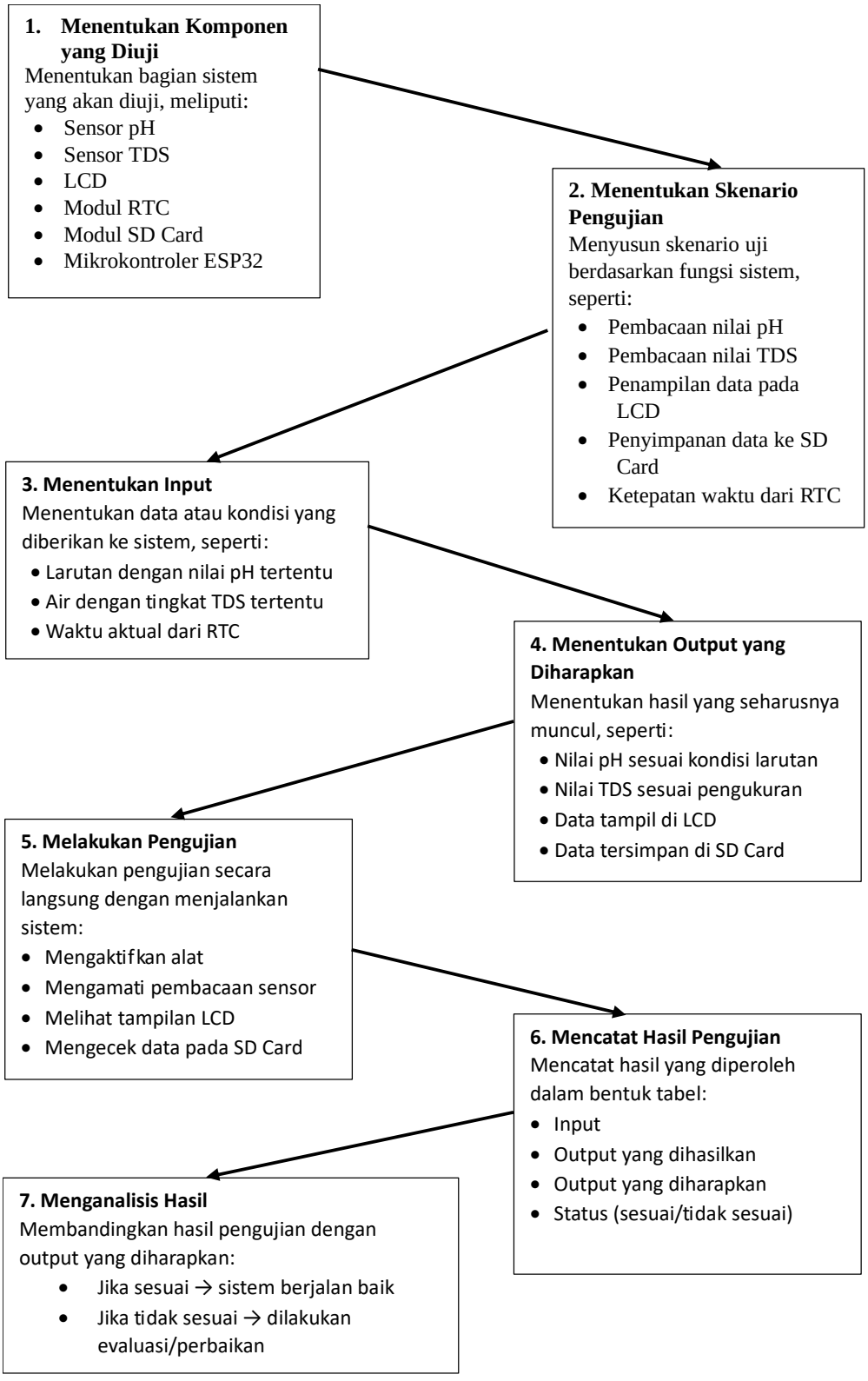
Kalibrasi Sensor TDS

Kalibrasi sensor TDS dilakukan menggunakan larutan standar TDS yang memiliki nilai konsentrasi tertentu. Langkah-langkah kalibrasi sensor TDS adalah sebagai berikut:

a. Sensor TDS dibersihkan menggunakan air aquades untuk menghindari kontaminasi yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran.
b. Sensor kemudian dicelupkan ke dalam larutan standar TDS yang telah diketahui nilai konsentrasinya,
c. Nilai pembacaan sensor pada sistem dicatat dan dibandingkan dengan nilai standar larutan.
d. Jika terdapat perbedaan nilai yang cukup besar, maka dilakukan penyesuaian pada faktor kalibrasi dalam program mikrokontroler hingga nilai pembacaan mendekati nilai larutan standar.
e. Setelah proses kalibrasi selesai, sensor dibilas kembali menggunakan air aquades sebelum digunakan untuk pengambilan data.

5. Pengujian Sistem (Metode Black Box Testing)

Pengujian sistem pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode Black Box Testing. Metode ini merupakan teknik pengujian perangkat lunak yang berfokus pada pengujian fungsi sistem tanpa memperhatikan struktur atau kode program di dalamnya. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan input tertentu pada sistem dan kemudian mengamati apakah output yang dihasilkan telah sesuai dengan yang diharapkan.(Fathoni & Oktiawati, 2021)



Gambar 4 Pengujian menggunakan metode Black Box Testing.

6. Implementasi di Tangki Klarifierd

Kemudian, sistem monitoring kualitas air yang telah dirancang diterapkan pada tangki clarifier di Water Treatment Plant (WTP) pabrik kelapa sawit (PKS). Tangki clarifier memisahkan partikel tersuspensi dari air melalui proses pengendapan setelah bahan kimia koagulan ditambahkan. Pada tahap penerapan ini, sensor pH dan Total Dissolved Solids (TDS) ditempatkan pada titik pengukuran yang mewakili kondisi air di dalam tangki clarifier. Sensor tersebut terhubung dengan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Data hasil pengukuran kemudian diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan secara real-time pada layar LCD 16x2 sehingga operator dapat langsung memantau kondisi kualitas air.

7. Pengambilan Data

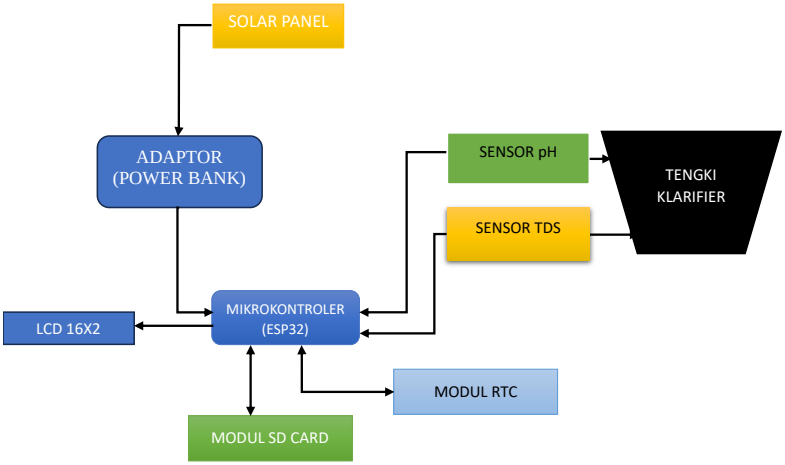
Penelitian ini mengumpulkan data untuk mengetahui nilai pH dan Total Dissolved Solids (TDS) pada air di tangki clarifier water treatment plant (WTP) pabrik kelapa sawit. Sistem pengawasan yang dirancang dengan sensor pH dan TDS yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 digunakan untuk mengumpulkan data ini. Menurut program sistem, proses pengambilan data dilakukan secara otomatis pada interval waktu tertentu. Hasil pengukuran akan ditampilkan secara langsung pada layar LCD 16x2 dan secara otomatis disimpan ke dalam modul SD Card. Tujuan penyimpanan data terus-menerus ini adalah untuk mendapatkan data yang lengkap sehingga dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Nilai rata-rata digunakan untuk mengetahui kecenderungan umum dari data yang diperoleh, sedangkan nilai maksimum dan minimum digunakan untuk mengetahui batas tertinggi dan terendah dari hasil pengukuran selama periode pengamatan. Selain itu, standar deviasi digunakan untuk mengetahui tingkat penyebaran atau variasi data dari nilai rata-rata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Dan Pembangunan Sistem

1. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dihasilkan pada penelitian ini menggambarkan hubungan antar komponen dalam sistem pemantauan kualitas air pada tangki klarifier Water Treatment Plant (WTP). Berdasarkan Gambar 4.1, sistem terdiri dari beberapa bagian utama yaitu sumber daya, input, proses, dan output yang saling terintegrasi.



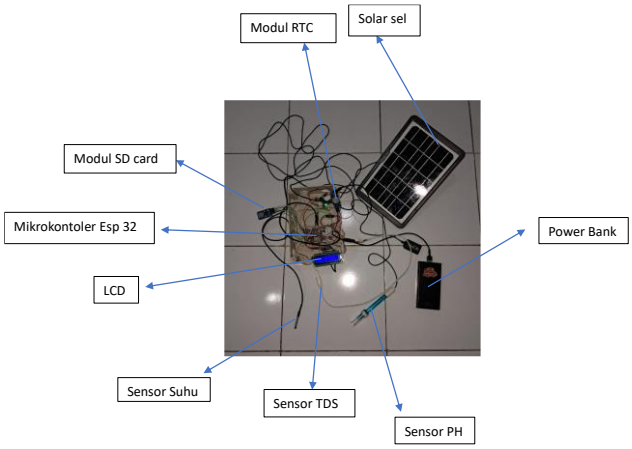
Gambar 5 Diagram Blok Sistem Pemantauan Kualitas Air

Pada bagian input, sistem menggunakan sensor pH dan sensor TDS yang ditempatkan pada tangki klarifier untuk membaca parameter kualitas air. Sensor pH berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman air, sedangkan sensor TDS digunakan untuk mengukur jumlah zat terlarut dalam air. Data yang diperoleh dari kedua sensor tersebut dikirimkan ke mikrokontroler dalam bentuk sinyal analog. Pada bagian proses, mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sistem yang menerima data dari sensor, kemudian mengolah data tersebut sesuai dengan program yang telah dirancang. Selain itu, ESP32 juga terhubung dengan modul RTC yang berfungsi untuk memberikan informasi waktu secara real-time serta modul SD Card sebagai media penyimpanan data hasil pengukuran. Pada bagian output, hasil pengolahan data ditampilkan melalui LCD 16x2 sehingga pengguna dapat memantau nilai pH dan TDS secara langsung di lapangan. Tampilan ini dirancang sederhana agar mudah dibaca oleh operator.

Sistem ini menggunakan sumber daya yang berasal dari power bank (adaptor) yang terhubung dengan panel surya sebagai sumber energi alternatif. Penggunaan panel surya memungkinkan sistem bekerja secara mandiri di lokasi lapangan tanpa bergantung sepenuhnya pada sumber listrik konvensional. Berdasarkan diagram blok yang telah dibuat, alur kerja sistem dimulai dari pembacaan data oleh sensor pH dan sensor TDS, kemudian data diproses oleh ESP32, selanjutnya hasilnya ditampilkan pada LCD dan disimpan pada SD Card. Integrasi antar komponen tersebut menunjukkan bahwa sistem telah dirancang secara sistematis dan mampu mendukung proses pemantauan kualitas air secara real-time.

2. Rangkaian Alat

Penelitian ini menghasilkan rangkaian fisik dari semua komponen yang digunakan dalam sistem pemantauan kualitas air berbasis ESP32. Komponen utama yang digunakan termasuk mikrokontroler ESP32, sensor pH, sensor TDS, LCD 16x2, modul RTC, kartu SD, dan sumber daya seperti bank daya dan panel surya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2



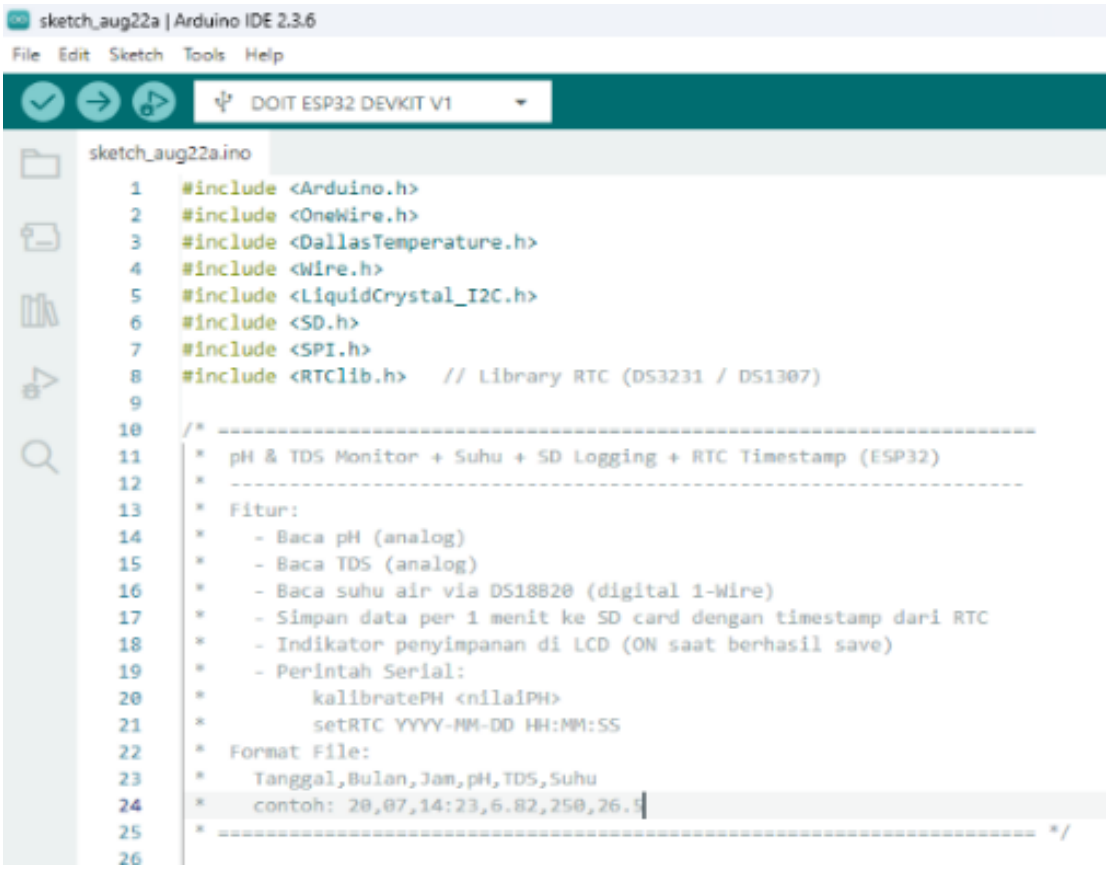
Gambar 6 Hasil Rangkaian Alat Rancang Bangun Sistem Pemantauan Real-Time Kualitas Air Pada Tangki Klarifier Water Treatment Plant (Wtp) Berbasis Esp32 Menggunakan Sensor Ph Dan Tds.

Hasil perakitan menunjukkan bahwa semua komponen dapat terhubung dan bekerja secara terintegrasi dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan kemampuan sistem untuk membaca data dari sensor, memprosesnya pada mikrokontroler, dan menampilkan hasilnya pada LCD dan menyimpannya ke SD Card. Dengan demikian, rangkaian alat yang dibangun

sesuai dengan desain dan mampu mendukung kinerja sistem secara optimal dalam pemantauan kualitas air secara real-time.

3. Implementasi Program pada ESP32

Pada tahapan ini, hasil penerapan program untuk sistem pemantauan kualitas air berbasis ESP32 ditunjukkan. Proses ini mencakup penerapan logika kerja sistem, yang dirancang dalam bentuk kode program yang diunggah ke mikrokontroler ESP32. Program ini bertanggung jawab atas semua proses dalam sistem, termasuk pengaktifan perangkat, pembacaan data sensor, pengolahan data, dan penyimpanan dan penampilan data.



Gambar 7 Kode Program pada ESP32

Program Bisa Dilihat Dilampiran:

Untuk menerapkan program pada ESP32 dalam penelitian ini, kode program diunggah atau diunggah ke mikrokontroler menggunakan alur kerja sistem yang dirancang pada tahap sebelumnya. Program bertindak sebagai pengendali utama yang mengatur seluruh proses sistem, termasuk pengaktifan perangkat, pembacaan sensor, pengolahan data, serta penampilan dan penyimpanan data.

Program biasanya dimulai dengan proses inisialisasi sistem. Ini termasuk mengaktifkan sensor pH, sensor TDS, modul RTC, kartu SD, dan LCD 16x2. Setelah semua komponen terdeteksi dan siap digunakan, program akan masuk ke proses utama.

ESP32 secara berkala membaca data dari sensor pH dan TDS. Kemudian, data tersebut diubah menjadi nilai parameter kualitas air yang sesuai melalui proses konversi

sinyal analog. Untuk melengkapi data hasil pengukuran, sistem menggunakan informasi waktu dari modul RTC.

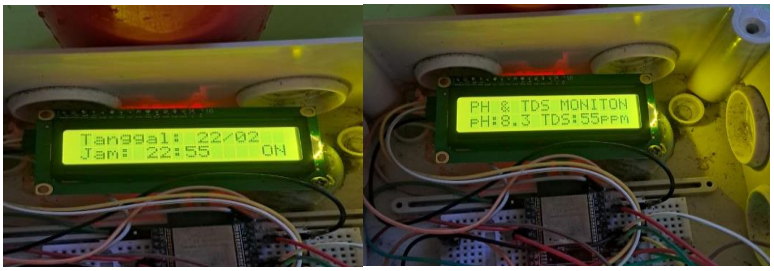
Data diproses kemudian ditampilkan pada LCD secara real-time, memungkinkan pengguna untuk melihat kondisi kualitas air secara langsung. Selain itu, data disimpan ke dalam modul SD Card sebagai data historis, yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Proses ini dilakukan secara berulang dengan interval waktu tertentu, biasanya setiap satu menit.

Hasil implementasi program pada ESP32 menunjukkan kemampuan sistem untuk membaca sensor secara konsisten, mengolah data dengan benar, dan menampilkan dan menyimpan data tanpa kesalahan yang signifikan. Dengan d emikian, implementasi program ini telah berhasil mendukung kinerja sistem pemantauan kualitas air secara otomatis dan real-time sesuai dengan tujuan.

4. Tampilan Output pada LCD

Pada tahap ini, output tampilan dari sistem pemantauan kualitas air yang telah dibangun ditunjukkan. Tampilan ini menunjukkan data hasil pembacaan sensor di LCD sebagai media informasi utama bagi pengguna. Dengan perancangan yang telah dibuat, output ini menunjukkan bahwa sistem dapat menyampaikan informasi parameter kualitas air secara langsung dan real-time.

Gambar 4.4 menunjukkan contoh tampilan output sistem pada LCD.



Gambar 8 Tampilan Hasil Output Nilai pH dan TDS pada LCD

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa LCD menampilkan informasi penting seperti nilai pH dan TDS yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor. Selain itu, sistem dapat menampilkan informasi waktu pengukuran yang diperoleh dari modul RTC. Data ditampilkan dalam format yang mudah dibaca dan sederhana, sehingga pengguna dapat memahami kondisi kualitas air yang sedang dipantau dengan cepat.

Pada LCD, baris pertama menunjukkan nilai pH, sedangkan baris kedua menunjukkan nilai TDS dan satuannya (ppm). Penampil waktu dapat menampilkan informasi waktu secara bergantian atau disesuaikan dengan kebutuhan sistem.

Selama pengujian, tampilan LCD menunjukkan respons yang cepat terhadap perubahan nilai sensor tanpa keterlambatan yang signifikan, menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara real-time dan bahwa ESP32 dapat berkomunikasi dengan LCD dengan baik. Oleh karena itu, tampilan yang dihasilkan pada LCD telah sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu memberikan informasi kualitas air secara cepat, akurat, dan mudah dipahami oleh pengguna di lapangan.

Hasil Kalibrasi Sensor Ph Dan Tds

1. Kalibrasi Sensor PH

Pengujian sensor pH dilakukan untuk memastikan bahwa sensor mampu membaca nilai derajat keasaman air secara akurat dan stabil. Sensor pH merupakan salah satu parameter utama dalam penelitian ini karena digunakan untuk memantau kualitas air hasil pengolahan pada Water Treatment Plant (WTP). Menurut (Kurniawan et al., 2024) Pengujian dilakukan melalui proses pembacaan sensor pada beberapa kondisi air serta dilakukan pembandingan dengan alat ukur pH manual sebagai acuan. Hasil pengujian sensor pH ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 4.1 Pengujian Sensor pH

Larutan ph 4		Larutan ph 7		Larutan ph 10	
No	Pembacaan Sensor	No	Pembacaan Sensor	No	Pembacaan Sensor
1	4,07	1	7,01	1	10,08
2	4,06	2	7,02	2	10,07
3	4,08	3	7	3	10,09
4	4,07	4	7,01	4	10,08
5	4,05	5	7,01	5	10,06
6	4,06	6	7,02	6	10,07
7	4,07	7	7	7	10,08
8	4,08	8	7,01	8	10,09
9	4,06	9	7,01	9	10,07
10	4,07	10	7,02	10	10,08
Rata-rata	4,067	Rata-rata	7,011	Rata-rata	10,077

Hasil Kalibrasi PH					
No	Larutan Standar	Alat Pabrikan	Rata-rata Sensor	Akurasi (%)	Toleransi (%)
1	pH 4.00	4.02	4.067	98,83%	1,17%
2	pH 7.00	7.00	7.011	99,84%	0,16%
3	pH 10.00	10.00	10.077	99,23%	0,77%

Tabel ini menunjukkan hasil kalibrasi sensor pH menggunakan tiga nilai standar (pH 4,00, 7,00, dan 10,00). Data sensor dibaca sekitar sepuluh kali untuk setiap larutan untuk menunjukkan konsistensi yang baik. Hasil kalibrasi menunjukkan akurasi 98,83% untuk pH 4, 99,84% untuk pH 7, dan 99,23% untuk pH 10, dengan toleransi masing-masing 1,17%, 0,16%, dan 0,77%.

Gambar 9 kalibrasi ph 4



Gambar 10 kalibrasi ph 7



Gambar 11 kalibrasi ph 10



2. Kalibrasi Sensor TDS

Sebelum sensor dipasang pada sistem pengawasan di tangki klarifier WTP, menurut (Priyatman & Irwanto, 2022)pengujian sensor TDS dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dan kesesuaian hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan alat ukur manual. Hasil pengujian disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4.1 Pengujian Sensor TDS

Air sumur		Air Garam		Air sabun	
No	Pembacaan Sensor (ppm)	No	Pembacaan Sensor (ppm)	No	Pembacaan Sensor (ppm)
1	141	1	690	1	993
2	140	2	689	2	992
3	142	3	691	3	994
4	141	4	690	4	993
5	140	5	689	5	992
6	141	6	690	6	993
7	142	7	691	7	994
8	141	8	690	8	993
9	140	9	689	9	992
10	141	10	690	10	994
Rata-rata	140,9	Rata-rata	689,9	Rata-rata	993

Hasil Kalibrasi TDS					
No	Larutan Standar	Alat Pabrikan (ppm)	Rata-rata Sensor (ppm)	Akurasi (%)	Toleransi (%)
1	Air sumur	140	140,9	99,36%	0,64%
2	Air garam	688	689,9	99,71%	0,29%
3	Air sabun	991	993	99,80%	0,20%

Tabel ini menyajikan hasil kalibrasi sensor TDS pada tiga jenis sampel air yang berbeda. Data pembacaan sensor yang diambil sepuluh kali untuk setiap sampel menunjukkan konsistensi yang baik, dengan nilai rata-rata 140,9 ppm untuk air sumur, 689,9 ppm untuk air laut, dan 993 ppm untuk air sabun. Hasil kalibrasi menunjukkan akurasi tinggi sebesar 99,36% untuk air sumur, 99,71% untuk air laut, dan 99,80% untuk air sabun, dengan toleransi kesalahan masing-masing 0,64%, 0,29%, dan 0,20%.



1 2 3

Gambar 4.8 Pada Gambar 1 Air Sumur, Gambar 2 Garam, Gambar 3 Air Sabun.

Hasil Pengujian Sistem (Black Box Testing)

1. Pengujian LCD 16×2 (I2C)

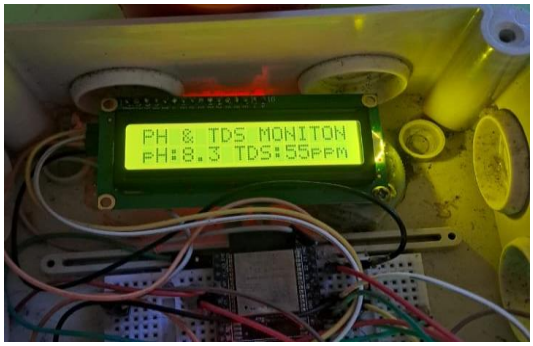
Pengujian LCD 16×2 dengan modul I2C dilakukan untuk memastikan bahwa layar dapat berfungsi dengan baik sebagai media tampilan data pada sistem monitoring. Menurut (Faiz Al 2023.)Pengujian ini meliputi pengecekan koneksi antara LCD dan mikrokontroler ESP32, serta kemampuan LCD dalam menampilkan data hasil pembacaan sensor pH dan TDS. Hasil dari pengujian ini disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4.3 Pengujian LCD 16×2 (I2C)

No	Pengujian	Input Pengujian	Output Sistem	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Koneksi LCD	LCD dihubungkan ke ESP32	LCD menyala	LCD dapat berfungsi	Valid
2	Tampilan nilai pH	Sistem membaca sensor pH	Nilai pH muncul di LCD	Data pH dapat ditampilkan	Valid
3	Tampilan nilai TDS	Sistem membaca sensor TDS	Nilai TDS muncul di LCD	Data TDS dapat ditampilkan	Valid

Pengujian LCD 16x2 dilakukan untuk memastikan bahwa layar dapat berfungsi dengan baik sebagai media tampilan data pada sistem. Pengujian pertama dilakukan dengan menghubungkan LCD ke mikrokontroler ESP32 untuk memastikan LCD dapat menyala dan berfungsi dengan normal. Selanjutnya dilakukan pengujian tampilan data dengan membaca nilai pH dan TDS dari sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai pH dan TDS dapat ditampilkan dengan baik pada layar LCD. Oleh karena itu, dapat

disimpulkan bahwa modul LCD 16x2 berfungsi dengan baik dan seluruh pengujian dinyatakan valid.



Gambar 4.9 Pengujian LCD 16×2 (I2C)

2. Pengujian Modul RTC

Menurut (Ramadhan et al., 2024) Pengujian modul Real Time Clock (RTC) dilakukan untuk memastikan bahwa modul dapat menampilkan waktu secara akurat dan dapat digunakan sebagai penanda waktu (timestamp) pada proses penyimpanan data. Pengujian ini meliputi pengecekan koneksi RTC dengan ESP32 serta kesesuaian waktu yang ditampilkan dengan waktu sebenarnya. Hasil pengujian ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Pengujian Modul RTC.

No	Pengujian	Input Pengujian	Output Sistem	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Koneksi RTC	RTC dihubungkan ke ESP32	Sistem membaca waktu	RTC dapat terbaca	Valid
2	Sinkronisasi waktu	RTC diatur sesuai waktu nyata	Waktu tampil pada sistem	Waktu sesuai dengan waktu sebenarnya	Valid
3	Pencatatan waktu data	Sistem melakukan pencatatan data	Data memiliki timestamp	Data tersimpan dengan waktu pengambilan	Valid

Untuk memastikan kemampuan modul RTC untuk menyediakan informasi waktu pada sistem, pengujian dilakukan dengan menghubungkan RTC ke ESP32. Ini memastikan bahwa modul dapat dibaca oleh sistem. Selanjutnya, sinkronisasi waktu dilakukan untuk memastikan bahwa waktu yang ditampilkan sesuai dengan waktu sebenarnya. Selain itu, RTC juga diuji dalam proses pencatatan waktu pada data yang disimpan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul RTC dapat membaca waktu dengan baik dan memiliki penanda waktu, atau timestamp, untuk setiap data yang disimpan. Oleh karena itu, seluruh pengujian dianggap valid.



Gambar 4.10 Pengujian Modul RTC

3. Pengujian Sensor pH

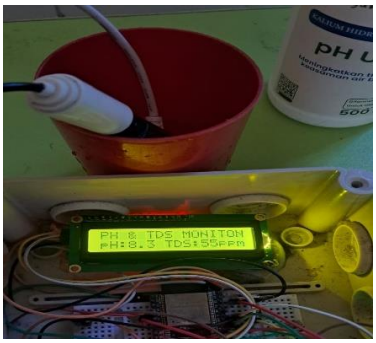
Menurut (Kurniawan et al., 2024) Pengujian sensor pH dilakukan untuk memastikan bahwa sensor dapat membaca nilai pH air dengan baik dan mengirimkan data tersebut ke mikrokontroler ESP32. Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui kestabilan pembacaan sensor serta kesesuaian nilai yang dihasilkan dengan nilai referensi. Hasil pengujian sensor pH ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4.3 Pengujian Sensor pH

No	Pengujian	Input Pengujian	Output Sistem	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Koneksi sensor pH	Sensor pH dihubungkan ke ESP32	Sistem membaca sensor pH	Sensor dapat terbaca oleh sistem	Valid
2	Pengukuran pH air	Sensor dicelupkan ke air	Nilai pH muncul pada LCD	Nilai pH dapat ditampilkan	Valid
3	Stabilitas pembacaan	Sensor dibiarkan pada air yang sama	Nilai pH relatif stabil	Nilai pH tidak berubah signifikan	Valid
4	Kalibrasi sensor pH	Sensor dicelupkan ke buffer pH	Nilai pH mendekati	Sensor sesuai nilai referensi	Valid

Pengujian sensor pH dilakukan untuk memastikan kemampuan sensor untuk membaca nilai pH air. Ini dimulai dengan menghubungkan sensor ke mikrokontroler ESP32 untuk

memastikan bahwa sensor dapat dibaca oleh sistem. Selanjutnya, sensor dicelupkan ke dalam air untuk melihat apakah nilai pH dapat ditampilkan pada LCD. Untuk memastikan bahwa nilai pH yang dibaca relatif stabil, sensor juga diletakkan pada air yang sama. Selain itu, kalibrasi dilakukan dengan menggunakan larutan buffer pH sebagai acuan. Ini dilakukan untuk memastikan bahwa nilai yang dihasilkan lebih dekat dengan nilai referensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH berfungsi dengan baik, yang berarti bahwa seluruh tes valid.



Gambar 4.11 pengujian ph

4. Pengujian Sensor TDS

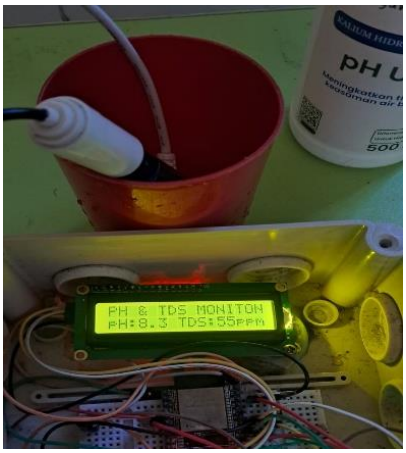
Menurut (Priyatman & Irwanto, 2022) Pengujian sensor Total Dissolved Solids (TDS) dilakukan untuk memastikan bahwa sensor dapat mendeteksi dan mengukur jumlah zat terlarut dalam air dengan baik. Pengujian ini meliputi pengecekan koneksi sensor dengan ESP32, kemampuan sensor dalam membaca nilai TDS, serta kestabilan hasil pengukuran. Hasil pengujian sensor TDS disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Pengujian Sensor TDS

No	Pengujian	Input Pengujian	Output Sistem	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Koneksi sensor TDS	Sensor TDS dihubungkan ke ESP32	Sistem membaca sensor TDS	Sensor dapat terbaca oleh sistem	Valid
2	Pengukuran TDS	Sensor dicelupkan ke air	Nilai TDS tampil pada LCD	Nilai TDS dapat ditampilkan	Valid
3	Stabilitas pembacaan	Sensor dibiarkan pada air yang sama	Nilai TDS relatif stabil	Nilai TDS tidak berubah signifikan	Valid
4	Kalibrasi sensor TDS	Sensor dicelupkan ke larutan standar	Nilai TDS mendekati nilai referensi	Sensor sesuai larutan standar	Valid

Pengujian sensor Total Dissolved Solids (TDS) dilakukan untuk memastikan kemampuan sensor untuk mengukur jumlah zat terlarut yang ada dalam air. Ini dimulai dengan menghubungkan sensor ke mikrokontroler ESP32 untuk memastikan bahwa sensor dapat dibaca oleh sistem. Kemudian, untuk mengetahui apakah nilai TDS dapat ditampilkan pada layar LCD, sensor dicelupkan ke dalam air. Untuk menguji stabilitasnya, sensor juga

dicelupkan ke dalam air yang sama dengan yang digunakan untuk mengukur zat terlarut. Selain itu, kalibrasi dilakukan dengan larutan standar untuk memastikan bahwa nilai yang dihasilkan mendekati nilai referensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor TDS beroperasi dengan baik, sehingga hasilnya adalah valid untuk seluruh tes.



Gambar 4.12 pengujian TDS

5. Pengujian SD Card (Data Logging)

Menurut (Putu et al., 2016) Pengujian modul SD Card dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat menyimpan data hasil pengukuran sensor secara otomatis. Pengujian ini meliputi proses deteksi kartu memori oleh sistem, pembuatan file penyimpanan data, serta kemampuan membaca kembali data yang telah disimpan. Hasil pengujian modul SD Card disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.5Pengujian SD Card (Data Logging)

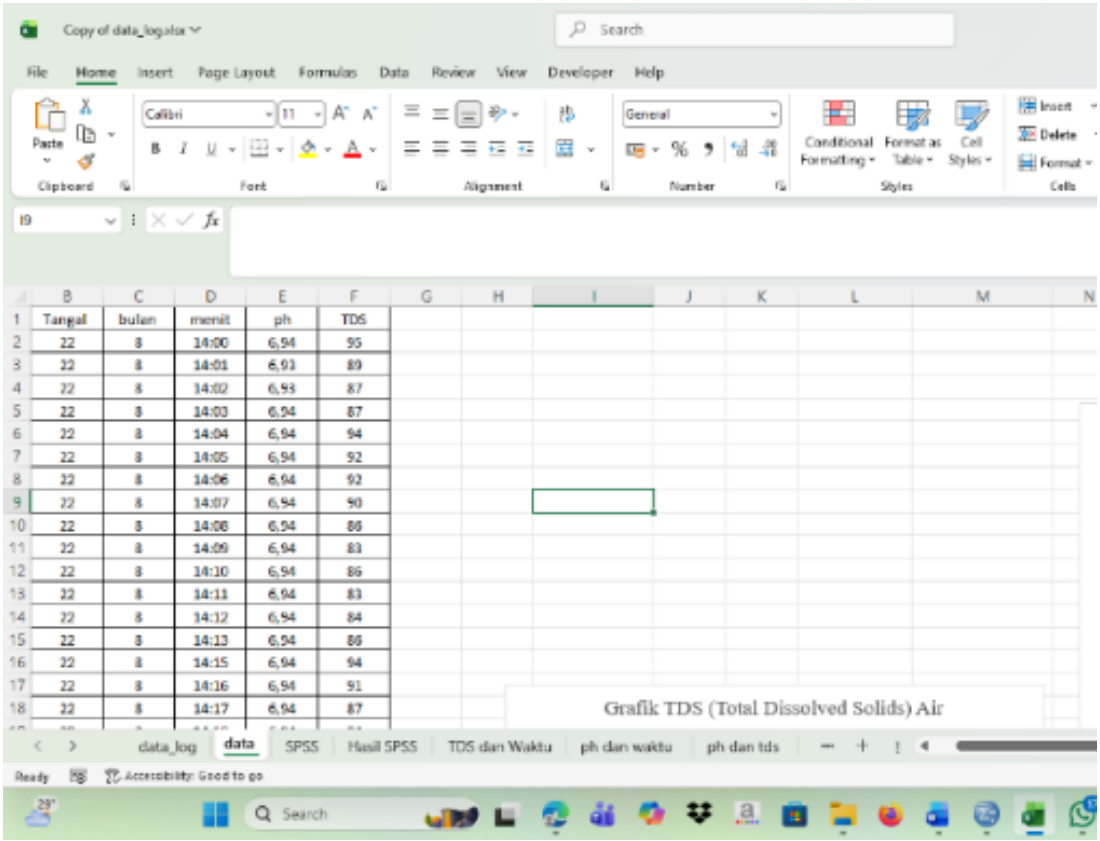
No	Pengujian	Input Pengujian	Output Sistem	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Koneksi RTC	RTC dihubungkan ke ESP32	Sistem membaca waktu	RTC dapat terbaca	Valid
2	Sinkronisasi waktu	RTC diatur sesuai waktu nyata	Waktu tampil pada sistem	Waktu sesuai dengan waktu sebenarnya	Valid
3	Pencatatan waktu data	Sistem melakukan pencatatan data	Data memiliki timestamp	Data tersimpan dengan waktu pengambilan	Valid

Untuk memastikan bahwa modul Real Time Clock (RTC) dapat menyediakan informasi waktu pada sistem dengan baik, pengujian dilakukan dengan menghubungkan modul RTC

ke mikrokontroler ESP32. Ini memastikan bahwa sistem dapat membaca waktu dengan benar. Untuk memastikan bahwa waktu yang ditampilkan sesuai dengan keadaan sebenarnya, waktu disinkronisasikan dengan waktu nyata. Selain itu, RTC diuji dalam proses pencatatan waktu pada data yang disimpan, sehingga setiap data memiliki penanda waktu, atau timestamp. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul RTC berfungsi dengan baik, jadi seluruh pengujian valid.



Gambar 4.13 Tampilan Indikator “Data Tersimpan” Pada LCD



Tanggal	bulan	menit	ph	TDS
22	8	14:00	6,94	95
22	8	14:01	6,93	89
22	8	14:02	6,93	87
22	8	14:03	6,94	87
22	8	14:04	6,94	94
22	8	14:05	6,94	92
22	8	14:06	6,94	92
22	8	14:07	6,94	90
22	8	14:08	6,94	86
22	8	14:09	6,94	83
22	8	14:10	6,94	86
22	8	14:11	6,94	83
22	8	14:12	6,94	84
22	8	14:13	6,94	86
22	8	14:15	6,94	94
22	8	14:16	6,94	91
22	8	14:17	6,94	87

Gambar 4.14 tampilan hasil penyimpanan data, format CSV dan dapat dibuka menggunakan Excel.

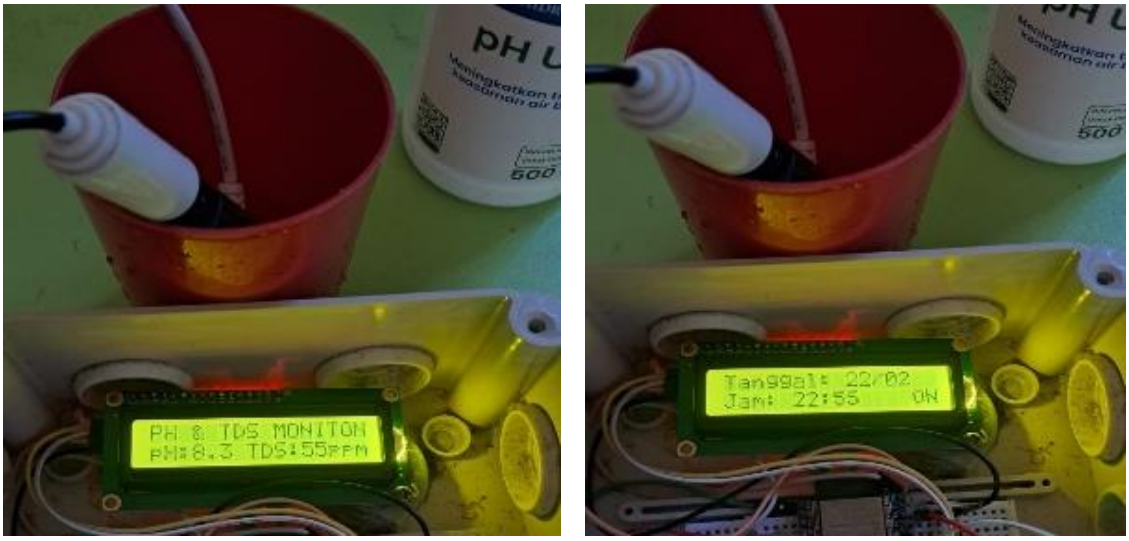
6) Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem dapat bekerja secara terintegrasi. Pengujian ini meliputi proses pembacaan sensor pH dan TDS, penampilan data pada LCD, pencatatan waktu oleh RTC, serta penyimpanan data pada SD Card. Hasil pengujian ini digunakan untuk memastikan bahwa sistem monitoring kualitas air dapat bekerja dengan baik sesuai dengan tujuan penelitian.

Tabel 4.7 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

No	Pengujian	Input Pengujian	Output Sistem	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Sistem dijalankan	Semua komponen dihubungkan	Sistem aktif	Sistem dapat berjalan	Valid
2	Monitoring kualitas air	Sensor dicelupkan ke air	Nilai pH dan TDS muncul	Data dapat ditampilkan	Valid
3	Penyimpanan data	Sistem melakukan logging	Data tersimpan di SD Card	Data berhasil direkam	Valid
4	Pencatatan waktu	RTC aktif saat logging	Data memiliki waktu pengukuran	Data tercatat dengan timestamp	Valid

Untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem monitoring dapat bekerja secara terintegrasi, pengujian menyeluruh dilakukan. Pengujian dimulai dengan menjalankan sistem dan menghubungkan semua bagian, seperti ESP32, sensor pH, sensor TDS, LCD, RTC, dan modul kartu SD. Selanjutnya, pengujian monitoring kualitas air dilakukan dengan mencelupkan sensor ke dalam air. Ini menampilkan nilai pH dan TDS pada sistem. Sistem juga diuji dalam pencatatan waktu menggunakan modul RTC dan proses penyimpanan data ke kartu SD. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik; data dapat ditampilkan dan disimpan dengan benar; dan setiap data memiliki timestamp, atau penanda waktu. Oleh karena itu, semua tes diakui valid.



Gambar 4.15 Tampilan Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Hasil Implementasi Sistem Di Lapangan

Sistem pemantauan real-time kualitas air ini diimplementasikan pada tangki klarifier di Stasiun Water Treatment Plant Pabrik Kelapa Sawit PT. Menurut (Makmur & Silaban, 2024) Pemilihan lokasi tangki klarifier didasarkan pada pertimbangan strategis karena tangki ini merupakan titik kritis dalam proses pengolahan air, di mana proses koagulasi-flokulasi mencapai optimum dan kualitas air hasil olahan mulai terbentuk. Berdasarkan studi pendahuluan, variasi parameter pada tahap ini memiliki korelasi langsung dengan efektivitas proses sedimentasi selanjutnya. Instalasi sistem dilakukan dengan memasang dua sensor utama—pH dan TDS—pada kedalaman 50 cm dari permukaan air di zona mixing tangki klarifier. Posisi ini dipilih karena merepresentasikan kondisi homogen air setelah penambahan bahan kimia koagulan, sesuai dengan rekomendasi dari penelitian (Bagas & Dharmawati, 2024) yang menyatakan bahwa pengukuran pada zona mixing memberikan data yang paling representatif untuk optimasi dosis kimia.



Gambar 4.16 penerapan alat pada tengki klarifier

Data hasil pengamatan sensor

Tabel 4.7 Data hasil pengamatan sensor

No	Tangal	bulan	menit	pH	TDS
1.	22	8	14:00	6.94	95
2.	22	8	14:01	6.93	89
3.	22	8	14:02	6.93	87
4.	22	8	14:03	6.94	87
5.	22	8	14:04	6.94	94
6.	22	8	14:05	6.94	92
7	22	8	14:06	6.94	92
8	22	8	14:07	6.94	90
9	22	8	14:08	6.94	86
10.	22	8	14:09	6.94	83
11.	22	8	14:10	6.94	86
12.	22	8	14:11	6.94	83
13.	22	8	14:12	6.94	84
14.	22	8	14:13	6.94	86

Keterangan:

Tabel ini merupakan cuplikan data hasil pemantauan. Data lengkap sebanyak 1364 baris disajikan pada Lampiran:

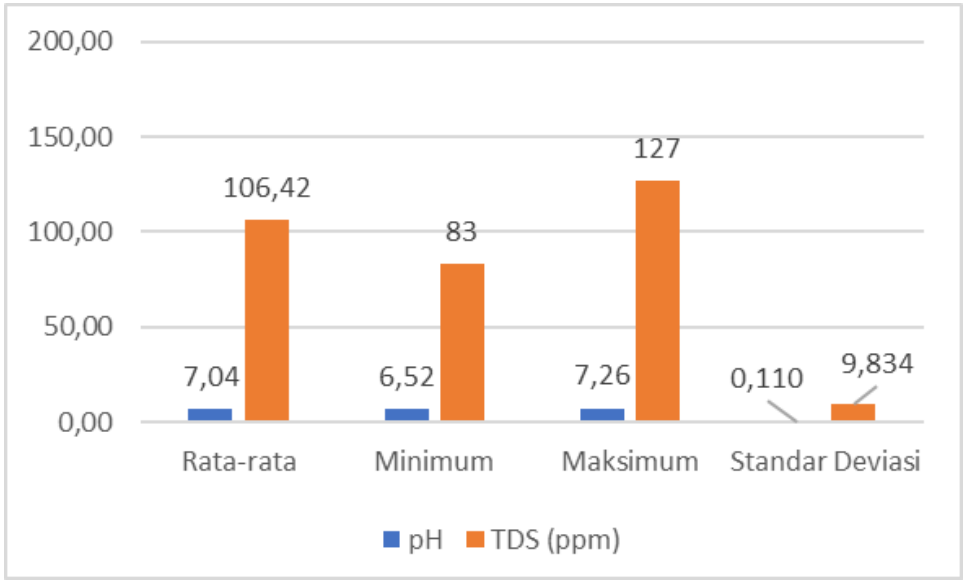
Hasil pengamatan diperoleh dari sistem pemantauan kualitas air yang berbasis ESP32, yang dipasang di titik pengukuran di Pabrik Pengolahan Air (WTP) pabrik kelapa sawit. Sistem ini melakukan pengukuran parameter pH, TDS, dan suhu secara berkala sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan. Setiap data yang diambil diberi cap waktu (tnggal dan jam) menggunakan modul RTC, kemudian ditampilkan pada LCD 16x2 sebagai informasi pemantauan langsung di lokasi. Selanjutnya, data hasil pengukuran disimpan secara otomatis ke dalam modul SD Card dalam format file yang dapat dibuka dengan Microsoft Excel, sehingga memudahkan proses pengolahan data selanjutnya. Berdasarkan data yang disimpan, tampak adanya fluktuasi nilai pH dan TDS pada waktu-waktu tertentu yang dipengaruhi oleh perubahan kualitas air baku serta kondisi operasional WTP.

1. Analisis Data

Analisis deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai kondisi kualitas air selama periode pengamatan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dasar data hasil pemantauan, seperti nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, dan standar deviasi dari masing-masing parameter pH dan TDS.

Tabel 4.8 Statistik Deskriptif

Statistik Deskriftif				
Parameter	Rata-rata	Minimum	Maksimum	Standar Deviasi
pH	7,04	6,52	7,26	0,110
TDS (ppm)	106,42	83	127	9,834



Gambar Garfik 4.17 Statistik Deskriptif Parameter pH dan TDS
Selama 24 Jam Pengamatan

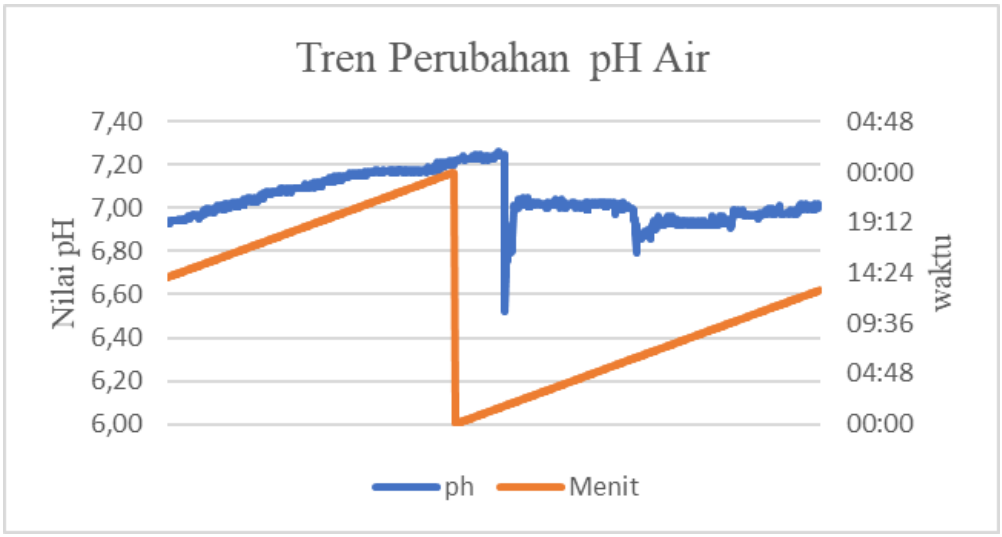
Pada 22 Agustus 2025, 1440 data pengukuran yang tersusun secara berurutan dikumpulkan melalui proses pengambilan data yang dilakukan secara berkelanjutan dengan interval satu menit selama 24 jam penuh. Sistem pengawasan berbasis sensor dapat beroperasi secara real-time dan stabil tanpa gangguan yang signifikan selama periode pengamatan, seperti yang ditunjukkan oleh jumlah data yang besar dan pencatatan yang konsisten. Interval pencatatan yang rapat memungkinkan data yang diperoleh untuk menunjukkan pola perubahan kualitas air sepanjang hari dan kondisi sesaat.

Menurut analisis statistik deskriptif, nilai pH rata-rata adalah 7,04, dengan nilai minimum 6,52 dan nilai maksimum 7,26, dan standar deviasi 0,110. Hasil ini menunjukkan bahwa pH relatif stabil dan berada dalam jangkauan standar kualitas air WTP (6,5–8,5). Nilai standar deviasi yang kecil menunjukkan bahwa selama pengamatan ada perubahan pH yang rendah.

Untuk parameter TDS, diperoleh ppm rata-rata 106,62, dengan nilai minimum 83 ppm dan nilai maksimum 127 ppm, dan standar deviasi 9,834. Menurut (Bagas & Dharmawati, 2024) Nilai ini masih jauh di bawah batas standar WTP (<500 ppm) dan memenuhi standar air umpan boiler Secara keseluruhan, kualitas air menunjukkan kondisi yang stabil dan berada di bawah batas operasional yang diperbolehkan.

2. Grafik Data Pemantauan

a) Tren Perubahan pH Air pada WTP PKS Selama 24 Jam pengamatan



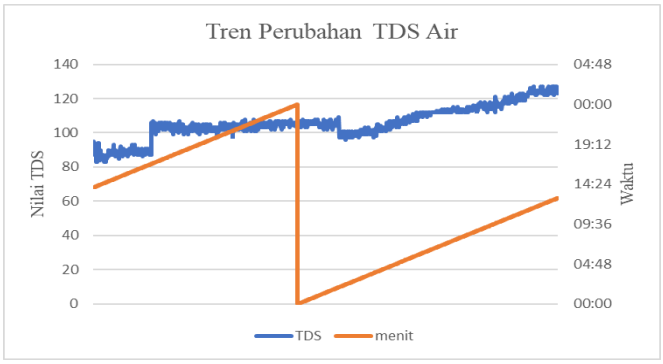
Gambar 4.18 Tren Perubahan pH Air pada WTP PKS Selama 24 Jam pengamatan.

Selama 24 jam pengamatan pada sistem WTP PKS dengan interval pencatatan setiap satu menit, grafik "Tren Perubahan pH Air" menunjukkan perubahan nilai pH secara bertahap dari sekitar 6,9 hingga mencapai kisaran 7,2–7,25. Kenaikan ini yang berlangsung secara konsisten menunjukkan bahwa proses pengolahan air memiliki kemampuan untuk mengubah kondisi air menjadi netral.

Nilai pH turun tajam hingga mendekati 6,5 pada pertengahan waktu pengamatan. Penurunan ini terjadi secara singkat dan segera diikuti oleh kenaikan kembali ke kisaran sekitar 7,0. Perubahan dalam proses operasional seperti penambahan bahan kimia, proses pencampuran, atau perubahan dalam debit air yang masuk ke sistem dapat menjadi sumber pergeseran ini. Setelah peristiwa itu, nilai pH relatif stabil dan hanya berubah sedikit antara 6,9 dan 7,0.

Setelah periode pengamatan hampir berakhir, terjadi penurunan sedikit lagi sebelum nilai pH kembali stabil mendekati netral. Secara keseluruhan, nilai pH tetap berada di antara 6,5 dan 7,3, meskipun ada perubahan sesaat, menunjukkan bahwa kualitas air pada WTP PKS masih terkendali dan sistem pengolahan mampu mempertahankan tingkat keasaman air stabil selama 24 jam pemantauan.

b) Tren Perubahan TDS Air pada WTP PKS Selama 24 Jam Pengamatan



Gambar 4.19 Tren Perubahan TDS Air pada WTP PKS Selama 24 Jam Pengamatan.

Selama 24 jam pengamatan pada sistem WTP PKS dengan interval pencatatan setiap satu menit, grafik "Tren Perubahan TDS Air" menunjukkan dinamika konsentrasi Total Dissolved Solids (TDS). Pada awal pengamatan, nilai TDS berada di sekitar 85–95 ppm dengan fluktuasi kecil yang relatif stabil. Setelah itu, nilai naik secara bertahap hingga mencapai 100–110 ppm, yang menunjukkan bahwa zat terlarut telah meningkat dalam air selama perjalanan.

Pada pertengahan periode, nilai TDS turun sedikit hingga 95 ppm sebelum kembali meningkat perlahan. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh proses pengenceran, perubahan dalam debit air, atau bagian tertentu dari sistem pengolahan air di WTP. Setelah tahap ini, nilai TDS menunjukkan tren kenaikan yang cukup konsisten hingga mencapai kisaran sekitar 120-125 ppm pada akhir pengamatan..

Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa pola perubahan TDS cenderung meningkat secara bertahap dan tetap berada dalam rentang yang terkendali, meskipun terkadang terjadi perubahan kecil. Tidak ada peningkatan yang signifikan yang menunjukkan bahwa sistem mengalami kerusakan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan air di WTP PKS dapat menjaga kandungan zat terlarut stabil selama 24 jam pemantauan.

Pembahasan

Bagian ini membahas temuan penelitian, menghubungkannya dengan teori dan konsep yang relevan. Diskusi ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem pemantauan kualitas air yang dikembangkan dan kesesuaiannya untuk kondisi lapangan.

Berdasarkan hasil, sistem yang dirancang secara umum berkinerja baik. Hal ini terlihat dari kemampuan perangkat untuk langsung membaca (secara real time) nilai pH dan TDS, menampilkan hasilnya pada LCD, dan menyimpan data pada media memori. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut berkinerja sesuai dengan yang diharapkan.

Dari hasil uji lapangan, nilai pH dan TDS yang diperoleh menunjukkan tren yang konsisten dengan karakteristik kualitas air dari instalasi pengolahan air (PTP), khususnya di tangki klarifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa data yang dihasilkan oleh sistem masih dapat digunakan sebagai referensi untuk pemantauan kualitas air.

Dari segi keunggulan, sistem ini sangat berguna dalam proses pemantauan karena dapat memberikan data dengan cepat tanpa perlu pengukuran manual. Selain itu, tampilan LCD memungkinkan operator untuk dengan mudah melihat hasil pengukuran secara langsung. Fitur penyimpanan data merupakan keunggulan tambahan, karena data dapat digunakan kembali untuk analisis.

Namun, penggunaannya masih memiliki beberapa keterbatasan. Sensor yang digunakan cukup sensitif terhadap kondisi lingkungan, sehingga pembacaan terkadang dapat bervariasi. Selain itu, sistem saat ini terbatas pada visualisasi lokal, sehingga data tidak dapat diakses dari jarak jauh.

Di masa mendatang, sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut, misalnya dengan menambahkan fitur berbasis Internet of Things (IoT), seperti integrasi dengan dasbor web

atau aplikasi. Dengan cara ini, data dapat dipantau secara real-time dari mana saja, dan visualisasinya dapat lebih informatif.

Secara keseluruhan, sistem ini telah berhasil mencapai tujuan penelitiannya, meskipun beberapa area masih memerlukan perbaikan dan pengembangan untuk mengoptimalkan kinerjanya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem pemantauan kualitas air berbasis ESP32 menggunakan sensor pH dan TDS berhasil dirancang dan dibangun untuk memantau kualitas air pada tangki klarifier WTP. Sistem mampu menampilkan data pengukuran pada LCD serta menyimpan data secara otomatis pada SD Card, sehingga dapat digunakan sebagai alat pemantauan kualitas air secara real-time.
2. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa sensor pH memiliki tingkat akurasi sebesar 98,77% pada larutan standar pH 4,00 dan 99,85% pada larutan standar pH 7,00, sedangkan sensor TDS memiliki tingkat akurasi sebesar 99,29% hingga 99,79% pada beberapa larutan uji. Nilai toleransi yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat ketelitian yang baik dan layak digunakan untuk pemantauan kualitas air.
3. Pengujian sistem pemantauan kualitas air berbasis ESP32 yang dilakukan menggunakan metode Black Box Testing menunjukkan bahwa semua fungsi sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Ini ditunjukkan oleh kesesuaian antara input yang diberikan dan output yang dihasilkan, seperti pengukuran pH dan TDS oleh sensor, penampilan data pada LCD, dan penyimpanan data ke dalam kartu SD. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dinyatakan berhasil dan layak digunakan untuk memantau kualitas air secara real-time pada tangki klarifier WTP pabrik kelapa sawit.
4. Sistem pemantauan kualitas air berhasil diimplementasikan pada tangki klarifier WTP pabrik kelapa sawit dan mampu melakukan pemantauan secara real-time dengan interval pencatatan data setiap 1 menit. Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif, diperoleh nilai rata-rata pH sebesar 7,04 dengan kisaran 6,52–7,26, serta nilai rata-rata TDS sebesar 106,42 ppm dengan kisaran 83–127 ppm, yang menunjukkan bahwa kondisi kualitas air pada tangki klarifier relatif stabil selama periode pemantauan.

Saran

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem dapat ditambahkan fitur monitoring jarak jauh berbasis IoT agar data dapat diakses secara online. Selain itu, disarankan melakukan pengujian dalam jangka waktu lebih panjang untuk memperoleh analisis korelasi pH dan TDS yang lebih komprehensif serta meningkatkan keandalan sistem dalam berbagai kondisi operasional.

DAFTAR PUSTAKA

Akbar, S. A., Kalbuadi, D. B., & Yudhana, A. (2019). Online Monitoring Kualitas Air Waduk Berbasis Thingspeak. *Transmisi*, *21*(4), 109–115. Https://Doi.Org/10.14710/Transmisi.21.4.109-115

Arya Pamungkas1, Nuraeni Dwi Dharmawati2, H. (2025). *Analisis Efektivitas Water Treatment Plant (Wtp) Terhadap Kualitas Air Boiler*. 1–27.

Bagas, Y. N., & Dharmawati, N. D. (2024). *Analisis Perubahan Curah Hujan Terhadap Dosis Bahan Kimia Di Water Treatment Plant Di Pabrik Kelapa Sawit*. *2*(01), 1–27. Https://Doi.Org/10.55180/Aei.V2i1.801

Fathoni, A. N., & Oktiawati, U. Y. (2021). *Blackbox Testing Terhadap Prototipe Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Iot (Blackbox Testing On Prototype Of A Water Quality Monitoring System Based On Iot)*. *10*(4), 362–368.

Fridayanthie, E. W., Haryanto, H., & Tsabitah, T. (2021). Penerapan Metode Prototype Pada Perancangan Sistem Informasi Penggajian Karyawan (Persis Gawan) Berbasis Web. *Paradigma - Jurnal Komputer Dan Informatika*, *23*(2), 151–157. Https://Doi.Org/10.31294/P.V23i2.10998

Ic, L. C. D. (N.D.). *Prototipe Alat Ukur Jarak Real-Time Berbasis Sensor Ultrasonik Hy-Srf05 Dengan Tampilan*. 1–3.

Kurniawan, D. A., Maulindar, J., Informatika, T., Komputer, F. I., & Bangsa, U. D. (2024). *Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Water Treatment Plant Di Lingkungan Pertambangan Batubara Berbasis Iot*. *7*, 133–143.

Makmur, A. T., & Silaban, Y. (2024). *(Tds) Berbasis Mikrokontroller Pada Clarifier Tank Di Pabrik Kelapa Sawit*. *Vii*, 125–129.

Priyatman, H., & Irwanto, A. (2022). *Aplikasi Teknologi Iot Pada Wtp (Water Treatment Plant) Sistem Pendingin Air Pada Mesin Pembangkit Guna Menjaga Nilai Ph Dan Tds Untuk Kualitas Air . 3*, 106–113.

Putu, P., Winata, T., Wijaya, I. W. A., & Suartika, I. M. (2016). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Output Dan Pencatatan Data Pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino*. *3*(1), 1–6.

Ramadhan, N., Badarudin, R., Yogyakarta, U. N., Malang, K., & Sleman, K. (2024). *Rancang Bangun Alat Pemberi Makan Kucing Terjadwal Menggunakan Modul Rtc Berbasis Arduino*. *12*(3), 1966–1976.

Riyan Ariyansah1*, I. B. R. Dan A. G. (2020). *Analisis Desain Static Mixer Pipe Untuk Meningkatkan Proses Koagulasi Di External Water Treatment Plant Design Analysis Of Static Mixer Pipe To Increase Coagulation Process In External Water Treatment Plant (Wtp)*. *2*, 95–106.

Tarigan, M. R., Supriyanto, G., Studi, P., Pertanian, T., & Pertanian, F. T. (2023). *Analisis Kualitas Air Dan Pemakaian Air Pada Water Tube Boiler Di Pabrik Kelapa Sawit*. *1*, 663–671.

Tundo, Sodik, Setiawan, K., & Aula, R. F. (2024). Penerapan Iot Dengan Algoritma Fuzzy Dan Mikrokontroler Esp32 Dalam Monitoring Penyiraman. *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, *5*(3), 2915–2924. Https://Doi.Org/10.35870/Jimik.V5i3.977

Yosua Silitonga. (2023). *Analisa Efektifitas Proses Pengolahan Air Umpan Boiler Di Pabrik Kelapa Sawit*.

Yusri, M., Maulita, Y., & Sembiring, H. (2024). Penerapan Iot Dalam Monitoring Dan Pengendalian Kualitas Air. *Repeater : Publikasi Teknik Informatika Dan Jaringan*, *2*(4), 231–242.

{Bibliography