

LAPORAN PROYEK AKHIR

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR KUALITAS AIR PORTABEL MENGGUNAKAN ESP32

Nadya Irmelya Br. Pardede

NIM. 2220301028

Pembimbing

Wira Indani S.T., M.T.

PROGRAM STUDI

TEKNIK ELEKTRONIKA TELEKOMUNIKASI

POLITEKNIK CALTEX RIAU

2026

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR KUALITAS AIR PORTABEL MENGGUNAKAN ESP32

Nadva Irmelya Br. Pardede

NIM. 2220301028

Laporan Proyek Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh gelar **Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)**
di Politeknik Caltex Riau

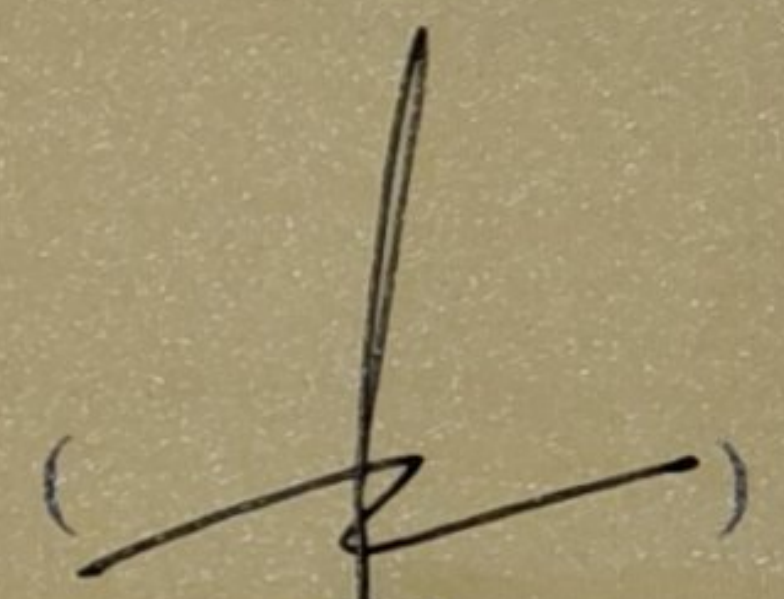
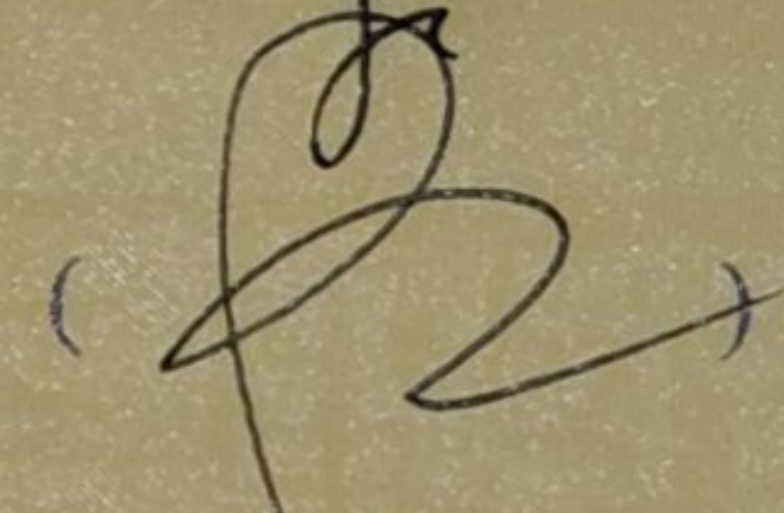
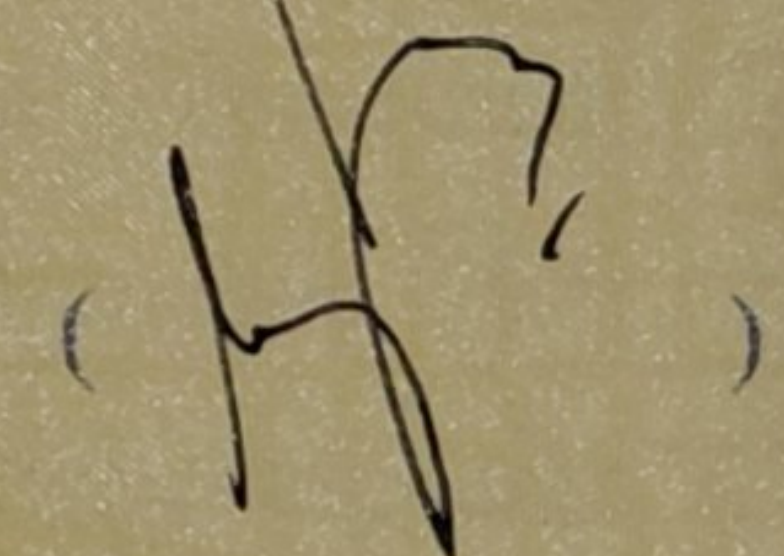
Pekanbaru, 13 Agustus 2026

Disetujui oleh:

Pembimbing 1 : Wira Indani S.T., M.T.
NIP. 208705

Penguji 1 : Rizki Dian Rahayani S.T., M.T., P.hD.
NIP. 058002

Penguji 2 : Cyntia Widiyasari S.ST., M.T.
NIP. 078519

()
()
()

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektronika

Cyntia Widiyasari S.S.T., M.T.

NIP. 078519



PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian yang berjudul:

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR KUALITAS AIR PORTABEL MENGGUNAKAN ESP32

Menggunakan teknologi Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) dalam penyusunan dokumen ini sebatas pada hal-hal berikut:

1. Pengembangan Kode Program: Menggunakan asisten AI untuk membantu perbaikan bug, optimasi struktur kode Arduino.IDE (C⁺⁺), dan integrasi pengiriman data hasil pengukuran ke *Thinkspeak*.
2. Penerjemahan Istilah Teknis: Membantu dalam mencari padanan kata yang tepat untuk istilah asing dalam bidang Embedded System.
3. Pemeriksaan Tata Bahasa: Penggunaan alat bantu berbasis AI sebatas pada pengecekan tipografi (*typo*), perbaikan struktur kalimat agar lebih formal, dan penyusunan sitasi agar sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah.

Penggunaan tersebut **tidak menyangkut substansi utama penelitian**, seperti analisis, penyusunan ide pokok, perumusan konsep ilmiah, atau penentuan hasil penelitian. Seluruh substansi utama dalam dokumen ini merupakan hasil pemikiran dan karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menerima konsekuensi sesuai ketentuan yang berlaku.

Pekanbaru, 13 Agustus 2026

Yang menyatakan,

Nadya Irmelya Br. Pardede

NIM. 2220301028

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian yang berjudul:

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR KUALITAS AIR PORTABEL MENGGUNAKAN ESP32

Adalah benar hasil karya saya, dan tidak mengandung karya ilmiah atau tulisan yang pernah diajukan di suatu Perguruan Tinggi.

Setiap kata yang dituliskan tidak mengandung plagiat, pernah ditulis maupun diterbitkan orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam dokumen ini dan disebutkan pada daftar pustaka. Saya siap menanggung seluruh akibat apabila terbukti melakukan plagiat.

Pekanbaru, 13 Agustus 2026

Yang menyatakan,

Nadya Irmelya Br. Pardede

NIM. 2220301028

KESEPAKATAN PUBLIKASI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini saya menyatakan:

1. Memberikan persetujuan kepada Politeknik Caltex Riau untuk menyimpan, mengolah dalam bentuk pangkalan data, merawat, mengalih media/formatkan dan mempublikasikan **Proyek Akhir** ini selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
2. Tidak melakukan alih media/format dan publikasi dalam bentuk makalah ilmiah dari bagian atau keseluruhan **Proyek Akhir** ini ke suatu publikasi ilmiah, pada seminar ataupun jurnal, skala nasional maupun internasional, kecuali ada persetujuan dari saya dan Dosen Pembimbing Utama, dan mencantumkan nama saya, Dosen Pembimbing Utama dan nama-nama lain (jika ada) yang berkontribusi pada makalah.

Pekanbaru, 13 Agustus 2026

Yang menyatakan,

Nadya Irmelya Br. Pardede

NIM. 2220301028

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis **LAPORAN PROYEK AKHIR** dapat menyelesaikan penelitian berjudul “**Rancang Bangun Alat Pengukur Kualitas Air Portabel Menggunakan ESP32**”. yang disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan **Sarjana Terapan** pada Program Studi **Teknik Elektronika** Politeknik Caltex Riau.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi para pembaca, serta menjadi bahan referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Pekanbaru, 13 Agustus 2026

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan tepat waktu.
2. Bapak Sulaiman H. Pardede dan Ibu Eva Betty Gultom, selaku kedua orang tua penulis, yang senantiasa memberikan doa, semangat, serta dukungan moral maupun material.
3. Seluruh keluarga besar penulis, atas dukungan, perhatian, dan kasih sayang yang tak terhingga selama masa studi dan penyelesaian laporan akhir ini.
4. Bapak Dr. Erwin Setyo Nugroho, S.T., M.Eng. selaku Direktur Politeknik Caltex Riau yang telah mendedikasikan waktunya untuk meningkatkan perkembangan institusi Pendidikan Politeknik Caltex Riau
5. Ibu Cyntia Widiastri, S.S.T., M.T. selaku kepala Program Studi Teknik Elektronika Telekomunikasi Politeknik Caltex Riau sekaligus Dosen Penguji Proyek Akhir.
6. Bapak Noptin Harpawi, S.T., M.T. selaku koordinator Proyek Akhir Generasi 22 Teknik Elektronika Telekomunikasi Politeknik Caltex Riau.
7. Bapak Wira Indani, S.T., M.T. selaku pembimbing Proyek Akhir, yang telah memberikan ilmu dan bimbingan dengan penuh kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
8. Ibu Rizki Dian Rahayani, S.T., M.T., P.hD. selaku Dosen Penguji Laporan Akhir, atas saran, masukan, dan arahan yang sangat berguna dalam penyempurnaan laporan ini.
9. Seluruh Dosen Pengajar Program Studi **Teknik Elektronika** Politeknik Caltex Riau yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
10. Teman-teman seperjuangan Generasi 22 Teknik Elektronika Telekomunikasi Politeknik Caltex Riau, atas kebersamaan, bantuan, dan dukungannya.
11. Puskesmas Umban Sari, atas izin dan bantuan dalam peminjaman alat pengukuran kualitas air demi kelancaran penelitian ini.

ABSTRAK

Kebutuhan akan ketersediaan air bersih dan layak konsumsi mendorong pentingnya pengembangan sistem pemantauan kualitas air yang cepat, akurat, dan dapat diakses secara jarak jauh. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem pemantauan kualitas air secara *real-time* berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan berbagai sensor serta *platform Internet of Things (IoT) Thinkspeak*. Parameter kualitas air yang diukur meliputi suhu, derajat keasaman (pH), *Total Dissolved Solids (TDS)*, kekeruhan (*Turbidity*), dan kadar besi (Fe) berbasis konduktivitas. Pengujian dilakukan terhadap lima jenis sampel air dengan 20 kali pengulangan pada setiap parameter dengan interval waktu pengambilan data setiap 5 menit untuk mengevaluasi tingkat akurasi, stabilitas pembacaan sensor, respon indikator peringatan visual, serta keandalan transmisi data IoT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor memiliki kinerja yang sangat baik, presisi, dan akurat tanpa mengalami pergeseran nilai (*sensor drift*). Rata-rata persentase akurasi pengukuran yang diperoleh untuk masing-masing parameter secara berurutan adalah sensor TDS sebesar 99,83%, sensor kekeruhan (*Turbidity*) sebesar 97,50%, sensor suhu (DS18B20) sebesar 96,47%, sensor kadar besi (Fe) berkisar antara 96,00% hingga 98,33%, dan sensor pH sebesar 94,97%. Sistem peringatan visual (*early warning system*) berbasis indikator LED terbukti bekerja secara akurat dan responsif, di mana LED berada pada kondisi padam ketika parameter bernilai aman dan menyala secara otomatis saat terdapat parameter yang melebihi batas aman. Selain itu, pengujian transmisi data nirkabel dari ESP32 ke server *Thinkspeak* dengan interval pengiriman 20 detik menghasilkan tingkat akurasi pengiriman data sebesar 100% tanpa adanya *packet loss* atau selisih nilai terhadap tampilan LCD lokal. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan terbukti presisi, dan layak digunakan untuk pemantauan kualitas air secara *real-time*.

Kata kunci : *Kualitas Air, ESP32, IoT, Thinkspeak, Akurasi Sensor*

ABSTRACT

The need for clean and potable water consumption highlights the importance of developing a fast, accurate, and remotely accessible water quality monitoring system. This study aims to design and test a real-time water quality monitoring system based on the ESP32 microcontroller integrated with various sensors and the Thingspeak Internet of Things (IoT) platform. The measured water quality parameters include temperature, pH, Total Dissolved Solids (TDS), Turbidity, and iron (Fe) content based on conductivity. Tests were conducted on five types of water samples with 20 iterations for each parameter at a 5-minute sampling interval to evaluate measurement accuracy, sensor reading stability, visual warning indicator responsiveness, and IoT data transmission reliability. The results indicated that all sensors performed with high accuracy and precision without experiencing sensor drift. The average measurement accuracy obtained for each parameter was 99.83% for the TDS sensor, 97.50% for the Turbidity sensor, 96.47% for the temperature sensor (DS18B20), 96.00% to 98.33% for the iron content (Fe) sensor, and 94.97% for the pH sensor. The LED-based visual early warning system operated accurately and responsively, where the LEDs remained when parameters were within safe limits and automatically turned when a parameter exceeded safe thresholds. Furthermore, wireless data transmission from the ESP32 to the Thingspeak server at a 20-second update interval achieved 100% data delivery accuracy without packet loss or discrepancies compared to the local LCD display. Overall, the developed system proved to be precise, and suitable for real-time water quality monitoring.

Keywords : *Water Quality, ESP32, IoT, Thingspeak, Sensor Accuracy*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KESEPAKATAN PUBLIKASI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.4.1 Tujuan.....	3
1.4.2 Manfaat.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Landasan Teori.....	4
2.1.1 Mikrokontroler NodeMCU ESP32.....	4
2.1.2 Sensor Suhu DS18B20	5
2.1.3 Sensor pH 4502C.....	5
2.1.4 Sensor Turbidity DFRobot SEN0189.....	6
2.1.5 Sensor Konduktivitas.....	7
2.1.6 TDS sensor Meter V1.0.....	7
2.1.7 LCD (Liquid Crystal Display).....	8
2.1.8 Baterai.....	9
2.1.9 Modul Stepdown LM2596	10
2.1.10 Charger BMS 3S.....	10

2.1.11	Thinkspeak	11
2.1.12	Standar kualitas air	12
2.2	Penelitian Terdahulu	12
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		17
3.1	Tahap Perancangan Proyek Akhir	17
3.2	Blok Diagram Sistem Alat Ukur Kualitas Air Portabel.....	18
3.3	<i>Flowchart</i> Sistem Kerja Pengukuran Kualitas Air	19
3.4	Perancangan Skematik Rangkaian.....	20
3.5	Perancangan Mekanik.....	24
3.6	Mekanisme Pengujian.....	25
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS		26
4.1	Hasil Perancangan Alat Ukur Kualitas air Portabel menggunakan ESP32	26
4.1.1	Hasil Perancangan Mekanik.....	26
4.1.2	Hasil Perancangan Dashboard Thinkspeak	29
4.2	Pengujian Sensor Suhu, pH, <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS), <i>Turbidity</i> , Konduktivitas, dan LED	31
4.2.1	Pengujian Sensor Suhu DS18B20	32
4.2.2	Pengujian Sensor pH (Potential Hydrogen)	34
4.2.3	Pengujian Sensor Total Dissolved Solid (TDS)	36
4.2.4	Pengujian Sensor Konduktivitas.....	38
4.2.5	Pengujian Sensor Kekeruhan.....	40
4.2.6	Pengujian LED Pada Setiap Sensor.....	43
4.3	Pengujian Keseluruhan	44
BAB 5 PENUTUP		51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN A Dokumentasi.....		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 NodeMCU ESP32	4
Gambar 2. 2 Sensor Suhu DS18B20	5
Gambar 2. 3 Sensor pH 4502C	5
Gambar 2. 4 Sensor <i>Turbidity</i> DFRobot SEN0189.....	6
Gambar 2. 5 Sensor Konduktivitas	7
Gambar 2. 6 Sensor TDS Meter V1.0	8
Gambar 2. 7 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	9
Gambar 2. 8 Baterai	9
Gambar 2. 9 Modul Stepdown LM2596	10
Gambar 2. 10 <i>Charger</i> BMS 3S.....	10
Gambar 2. 11 <i>Thinkspeak</i>	11
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Alur Perancangan	17
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem Alat Ukur	18
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> keseluruhan sistem pengukuran.....	19
Gambar 3. 4 Skematik Rangkaian.....	21
Gambar 3. 5 Perancangan Mekanik	24
Gambar 4. 1 Hasil Perancangan Mekanik.....	26
Gambar 4. 2 Hasil Perancangan Elektronika Bagian Depan <i>Box</i>	27
Gambar 4. 3 Hasil Perancangan Elektronika Bagian dalam <i>Box</i>	28
Gambar 4. 4 Hasil Perancangan Dashboard <i>Thinkspeak</i>	31
Gambar 4. 5 Grafik Akurasi Sensor Suhu DS18B20 pada 5 Jenis Air.....	33
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Tingkat Akurasi Sensor pH pada Berbagai Jenis Air	35
Gambar 4. 7 Grafik Persentase Akurasi Sensor TDS pada Berbagai Sampel Air	38
Gambar 4. 8 Grafik Persentase Akurasi Sensor Konduktivitas pada Berbagai Sampel Air	40
Gambar 4. 9 Grafik Persentase Akurasi Sensor <i>Turbidity</i> pada Berbagai Sampel Air	42
Gambar 4. 10 LED <i>OFF</i> Dalam Kondisi Kualitas Air dalam Range	43
Gambar 4. 11 LED <i>ON</i> Dalam Kondisi Kualitas Air di Luar Range	44

Gambar 4. 12 Kondisi Perangkat dan Susunan <i>Chamber</i> Saat Pengujian di Lapangan.....	45
Gambar 4. 13 Tahap Pengujian Mandiri (<i>Self-Test</i>) LED Indikator Perangkat....	45
Gambar 4. 14 Perangkat Saat Menghubungkan ke Jaringan WiFi	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Sensor TDS Meter V1.0	8
Tabel 2. 2 Standar kualitas air	12
Tabel 2. 3 Perbandingan variabel penelitian	14
Tabel 4. 1 Data Suhu dari sensor DS18B20 dan Water Quality Meter dalam satuan (°C).....	32
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Sensor pH.....	34
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Pembacaan Sensor TDS pada Berbagai Sampel Air .	36
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Pembacaan Sensor Konduktivitas pada Berbagai Sampel Air	39
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Pembacaan Sensor <i>Turbidity</i> pada Berbagai Sampel Air	41
Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Sampel Air D	46
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Transmisi Data Kualitas Air pada LCD dan <i>Thinkspeak</i>	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan elemen utama dalam kehidupan yang berperan penting bagi kesehatan manusia. Air yang dikonsumsi harus memenuhi standar kualitas tertentu agar tidak membahayakan kesehatan. Kualitas air yang buruk dapat menyebabkan berbagai penyakit, seperti diare, kolera, infeksi saluran pencernaan, dan gangguan kesehatan lainnya akibat kontaminasi bakteri, virus, atau zat berbahaya seperti logam berat.

Di masyarakat, sumber air konvensional seperti sumur, sungai, atau air tanah sering digunakan sebagai sumber utama air minum. Namun, kualitas air dari sumber ini tidak selalu terjamin karena dapat terkontaminasi oleh limbah industri, domestik, atau faktor lingkungan lainnya. Untuk memenuhi kebutuhan air minum yang lebih praktis dan mudah diakses, banyak masyarakat beralih ke air isi ulang dari depot air minum.

Kondisi air yang terkontaminasi oleh zat-zat berbahaya seperti logam berat, kekeruhan tinggi dan perubahan pH dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan. Oleh karena itu, pengukuran kualitas air menjadi penting untuk menentukan apakah air tersebut layak digunakan oleh makhluk hidup. Salah satu variabel utama dalam pengukuran kualitas air adalah tingkat kejernihan, yang berperan penting dalam menilai kelayakan air. Serta beberapa parameter yang dapat dijadikan acuan dan standar untuk menilai kualitas air yang baik antara lain pH air, suhu pada air dan *Total Dissolved Solids* (TDS) (Melangi et al., 2022).

(Pratmanto et al., 2019) mengembangkan alat pendeteksi kadar logam dalam air berbasis Arduino UNO menggunakan sensor konduktivitas. Alat ini menampilkan hasil pengukuran melalui LCD dan dilengkapi *buzzer* sebagai alarm peringatan. Jika kadar logam dalam air kurang dari 0,3 mg/L, alat menunjukkan status “Layak”, sedangkan jika melebihi 0,3 mg/L, status “Tidak Layak” akan ditampilkan dan *buzzer* berbunyi. Penelitian ini menunjukkan bahwa alat dapat

mendeteksi kadar logam dengan akurat, memudahkan pemantauan kualitas air secara langsung dan efisien.

(Ucmariance et al., 2022) mengembangkan alat *monitoring* kualitas air berbasis Arduino Uno menggunakan dua parameter, yaitu keasaman (pH) dan kekeruhan air. Hasil pengukuran ditampilkan secara *real-time*, menunjukkan bahwa Arduino mampu membaca kadar pH dan tingkat kekeruhan dengan akurasi yang baik. Alat ini dirancang untuk mempermudah pemantauan kualitas air yang layak pakai secara langsung dan praktis.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yang memanfaatkan sensor pH, suhu, *Turbidity*, TDS, dan konduktivitas sebagai parameter kualitas air, maka dirancanglah sebuah alat yang mampu menggabungkan kelima parameter tersebut untuk mengukur kualitas air. Penggunaan teknologi mikrokontroler NodeMCU ESP32 dalam proyek ini memungkinkan integrasi beberapa sensor dalam satu perangkat. NodeMCU ESP32 dipilih karena memiliki kemampuan pemrosesan data yang lebih cepat, konsumsi daya yang rendah. Alat ini tidak hanya dirancang untuk memberikan hasil pengukuran secara *real-time*, tetapi juga memiliki fitur portabilitas tinggi, dilengkapi dengan baterai dan modul pengisian data. Dan data dapat dimonitoring pada *platform* web *ThingSpeak*, memungkinkan pemantauan kualitas air secara *real-time* dalam bentuk grafik dan tabel. Dengan demikian, alat ini diharapkan mampu menjadi solusi praktis dan efektif dalam memantau kualitas air pada depot air.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa persen tingkat akurasi yang dihasilkan oleh sensor pH, sensor suhu, sensor kekeruhan, sensor konduktivitas, dan sensor TDS jika dibandingkan dengan alat ukur standar yang sudah ada?
2. Apakah sistem monitoring pada *Thinkspeak* bekerja *real-time* menampilkan data yang akurat sesuai pengukuran LCD?

1.3 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup penelitian tidak terlalu luas, batasan masalah yang diterapkan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan pada air dengan variasi kondisi air tertentu, yaitu sampel Air A, sampel Air B, sampel Air C, sampel Air D, dan sampel Air E.
2. Jenis sensor yang digunakan yaitu sensor pH 4502C, sensor suhu DS18B20, Sensor *Turbidity* DFRobot SEN0189, sensor TDS Meter V1.0, dan sensor konduktivitas.
3. *Monitoring* data hasil pengukuran melalui *Thinkspeak*.
4. *Output* hasil pengukuran kualitas air ditampilkan pada LCD 20×4, dengan indikator LED sebagai penanda standar kualitas air.
5. Perbandingan akurasi dilakukan antara hasil pengukuran sensor yang digunakan dengan alat ukur standar yang telah tersedia.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah terwujudnya alat pengukur kualitas air yang dapat digunakan secara portabel untuk mempermudah dan meningkatkan efektifitas dalam memastikan kondisi air yang layak dikonsumsi.

1.4.2 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mempermudah pengukuran kualitas air dengan lima parameter air yang berbeda menggunakan alat portabel.
2. Dapat memonitoring kualitas air secara *real-time* melalui LCD dan web *Thinkspeak*.
3. Dapat membantu mencegah penyakit yang disebabkan oleh konsumsi air yang tercemar.

BAB 2

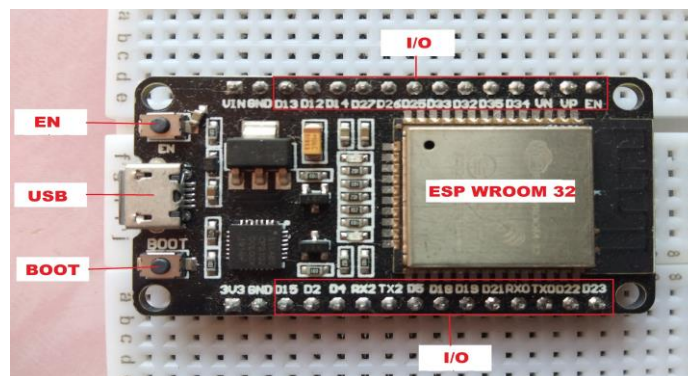
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pada landasan teori ini berisikan tentang referensi atau teori pendukung yang berhubungan pada rancangan alat ini. Landasan teori ini akan digunakan sebagai arahan dalam menyelesaikan dan memecahkan masalah yang ada selama pembuatan rancangan ini.

2.1.1 Mikrokontroler NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh *Espressif Systems* sebagai penerus dari ESP8266. Mikrokontroler ini sudah dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan *Bluetooth* dalam satu *chip*, menjadikannya sangat ideal untuk aplikasi IoT. ESP32 bekerja pada tegangan operasi 3,3V dan 5,0V. Namun, apabila tegangan yang diterapkan pada pin 3,3V melebihi batas tersebut, dapat menyebabkan kerusakan pada perangkat. (Hidayat et al., 2022). Gambar berikut menunjukkan beberapa komponen utama dari *board* mikrokontroler ESP32.



Gambar 2. 1 NodeMCU ESP32

Pada Gambar 2. 1 (Hidayat et al., 2022) terdapat tombol EN (Enable) yang berfungsi sebagai tombol reset untuk mengatur ulang sistem, serta tombol BOOT yang digunakan dalam proses *flashing firmware* baru. Port USB pada *board* ini digunakan untuk menghubungkan modul dengan komputer, yang memungkinkan pemrograman dan debugging, serta memberikan daya ke *board*. Inti dari modul ini adalah ESP-WROOM-32, yang mengintegrasikan prosesor, memori, serta antena Wi-Fi dan Bluetooth untuk konektivitas nirkabel yang handal.

2.1.2 Sensor Suhu DS18B20

Menurut (Maxim integrated, 2019), Sensor suhu DS18B20 adalah sensor suhu digital dengan resolusi yang dapat diprogram dari 9-bit hingga 12-bit dalam satuan Celsius, mampu mengukur suhu dalam rentang -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F hingga $+257^{\circ}\text{F}$) dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada kisaran suhu -10°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$. Sensor ini menggunakan protokol 1-Wire, yang hanya memerlukan satu jalur data dan *ground*, serta mendukung mode daya parasit, sehingga dapat beroperasi hanya dengan dua pin (DQ dan GND) tanpa membutuhkan komponen eksternal tambahan. Selain itu, setiap sensor memiliki kode seri unik 64-bit, memungkinkan penggunaan beberapa sensor pada satu bus yang sama. Berikut merupakan gambar sensor suhu DS18B20 yang ditunjukkan pada Gambar 2. 2 .



Gambar 2. 2 Sensor Suhu DS18B20

Sumber : <https://www.microthings.id/product/ds18b20-temperature-sensor/>

2.1.3 Sensor pH 4502C

Sensor pH 4502C yang ditunjukkan pada Gambar 2. 3 (Aulia Nofdzhar, B.,2023) adalah sensor pH analog yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan.



Gambar 2. 3 Sensor pH 4502C

Modul *probe* pH 4502C *OFFSET* dirancang untuk menghasilkan tegangan analog yang mewakili nilai pH, dengan skala ideal pH 0 hingga 14 dipetakan ke rentang tegangan 0V hingga 5V. Namun, secara *default*, tegangan untuk pH 7 diatur mendekati 0V, sehingga pembacaan pH asam dapat menghasilkan tegangan negatif yang tidak dapat dibaca oleh pin analog Arduino, yang hanya mendukung tegangan antara 0V hingga 5V. Modul ini memiliki beberapa pin, yaitu TO untuk *output* suhu, DO untuk *output* digital 3.3V, PO untuk *output* analog yang dihubungkan ke Arduino (misalnya pin A0), dan GND sebagai *ground*. Dengan *OFFSET* yang tepat, modul dapat memetakan pH 0 hingga 14 ke tegangan 0V hingga 5V, sehingga kompatibel dengan pembacaan Arduino (Santaefiigenia, 2017).

2.1.4 Sensor *Turbidity* DFRobot SEN0189

Sensor *Turbidity* DFRobot SEN0189 yang ditunjukkan pada Gambar 2. 4 (Aulia, A. G. P., 2024) merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air (*Turbidity*). Kekeruhan air menunjukkan banyaknya partikel tersuspensi seperti lumpur, pasir, atau zat organik di dalam air. Semakin tinggi nilai kekeruhan, maka kualitas air semakin buruk.



Gambar 2. 4 Sensor *Turbidity* DFRobot SEN0189

Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip transmisi dan hamburan cahaya (*light transmittance and scattering*). Cahaya dipancarkan melalui air, kemudian intensitas cahaya yang diterima akan berubah tergantung jumlah partikel tersuspensi. Jika air jernih, cahaya mudah menembus; sedangkan jika keruh, cahaya akan terhambur sehingga intensitas yang diterima berkurang.

2.1.5 Sensor Konduktivitas

Sensor konduktivitas yang ditunjukkan pada Gambar 2. 5 (Aulia Nofdzihar, B., 2023) adalah sensor yang dirancang untuk mendeteksi kadar logam berat dalam air. *Probe* sensor terbuat dari material *stainless steel* yang berfungsi sebagai penerima data dari sampel yang diuji. Sensor ini dapat dihubungkan langsung ke pin analog Arduino atau mikrokontroler lainnya tanpa memerlukan modul penguat tambahan. Sensor ini mampu mendeteksi kandungan logam dalam air, seperti besi (Fe) dengan akurasi tinggi (SHELEMO, 2023).



Gambar 2. 5 Sensor Konduktivitas

Output sensor dapat berupa sinyal analog atau digital (I2C/UART), sehingga kompatibel dengan berbagai mikrokontroler, termasuk ESP32, dengan tegangan operasi 5V.

2.1.6 TDS sensor Meter V1.0

Sensor TDS Meter V1.0 yang ditunjukkan pada gambar Gambar 2. 6 (Fasya, Z., Ramadhan, G. and Taufiq, T., 2023) adalah sensor yang digunakan untuk mengukur *Total Dissolved Solids* (TDS) dalam air dengan rentang pengukuran 0–1000 ppm. Sensor TDS V1.0 terdiri dari dua bagian utama, yaitu probe TDS (elektroda) yang dicelupkan ke dalam air dan modul *signal conversion* yang mengubah sinyal dari probe menjadi tegangan analog.



Gambar 2. 6 Sensor TDS Meter V1.0

Sensor ini dapat dihubungkan ke mikrokontroler seperti NodeMCU ESP32 atau Arduino melalui komunikasi I2C atau UART, memudahkan integrasi dalam berbagai aplikasi. Dengan fitur mode penghematan daya, sensor ini cocok untuk proyek berbasis baterai. Daya *input* sensor ini berkisar antara 3.3V hingga 5V DC, dengan konsumsi daya sekitar 20 mA pada beban penuh. *Output* sensor ini berupa sinyal digital, yang dikirim melalui I2C atau UART ke mikrokontroler untuk pemrosesan lebih lanjut. Berikut spesifikasi sensor TDS Meter V1.0 Tabel 2. 1 (Fasya, Z., Ramadhan, G. and Taufiq, T., 2023)

Tabel 2. 1 Spesifikasi Sensor TDS Meter V1.0

KATEGORI	DETAIL
Tegangan Operasi	3.3V - 5 V DC
Output Operasi	Analog (0 – 2.3 V)
Rentang Pengukuran	0 – 1000 ppm (<i>part per million</i>)
Akurasi	$\pm 10\%$ F.S (<i>Full Scale</i>)
Temperatur Operasional	0 °C - 50°C
Rentang ideal pH layak minum	< 300 ppm

2.1.7 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Pada Gambar 2. 7 (Technology, 2019) LCD (*Liquid Crystal Display*) dengan ukuran 20x4 adalah layar karakter yang mampu menampilkan hingga 20 karakter dalam 4 baris, sehingga cocok untuk menyajikan banyak informasi secara bersamaan. LCD ini umumnya menggunakan modul berbasis driver HD44780 dan mendukung dua mode antarmuka, yaitu 4-bit atau 8-bit, untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler. LCD ini memiliki 16 pin, yang terdiri atas pin daya (VSS dan VDD), pin kontras (V0), pin kontrol (RS, RW, E), pin data (D0-D7), serta pin

untuk lampu latar (LED+ dan LED-). Daya *input* standar yang digunakan adalah 5V untuk operasi modul (Technology, 2019).

Untuk mempermudah penggunaan dan mengurangi jumlah pin yang digunakan pada mikrokontroler, LCD 20x4 sering dikombinasikan dengan modul I2C (*Inter-Integrated Circuit*). Modul I2C ini berfungsi sebagai penghubung yang mengubah komunikasi paralel LCD menjadi komunikasi serial, sehingga hanya membutuhkan dua pin saja, yaitu SDA (*data*) dan SCL (*clock*).



Gambar 2. 7 LCD (*Liquid Crystal Display*)

2.1.8 Baterai

Pada Gambar 2. 8 Baterai Li-ion 18650 (3 sel, masing-masing berkapasitas 1500mAh) adalah baterai isi ulang dengan tegangan nominal 3,7V per sel dan tegangan maksimum 4,2V saat penuh. Dalam konfigurasi seri (3S), baterai ini menghasilkan tegangan total 11,1V (nominal) hingga 12,6V saat penuh, dengan kapasitas tetap 1500mAh. Cara kerjanya adalah menyediakan tegangan stabil untuk perangkat melalui konversi tegangan dengan *step-down regulator*, seperti menurunkan tegangan ke 5V untuk sensor, LCD, LED, dan ESP32. Dengan konfigurasi ini, baterai mampu mendukung penggunaan hingga 5 sensor sekaligus dan menjaga perangkat tetap portabel serta efisien selama operasional.



Gambar 2. 8 Baterai

Sumber : <https://image.made-in-china.com/2f0j00JSEaHZFtgTfK/Battery-18650-1500mAh-3-7V-Lithium-Battery.webp>

2.1.9 Modul *Stepdown* LM2596

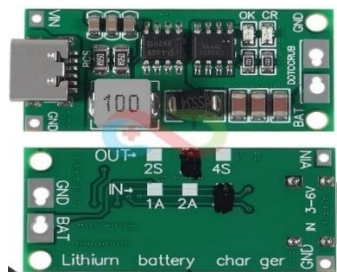
Pada Gambar 2. 9 (Aulia, A. G. P., 2024) menunjukkan Modul *stepdown* LM2596 yang merupakan rangkaian modul converter DC / DC dengan frekuensirerap 150 kHz *fixed-voltage (PWM step-dwon)* menggunakan IC Regulator LM2596, yang mampu menggerakkan beban 5A dengan efisiensi tinggi, derek rendah dan regulasi garais dan beban yang sangat baik. Modul LM 2596 dapat bekerja dengan suplai tegangan 4V-32V dan suhu operasinya -40°C - +85°C.



Gambar 2. 9 Modul Stepdown LM2596

2.1.10 *Charger* BMS 3S

Charger BMS 3S (*Battery Management System*) merupakan modul yang digunakan untuk mengelola proses pengisian dan perlindungan baterai lithium yang disusun secara seri sebanyak 3 sel (3S). Modul ini sangat penting dalam sistem berbasis baterai karena berfungsi untuk menjaga keamanan, kestabilan, dan umur pakai baterai.



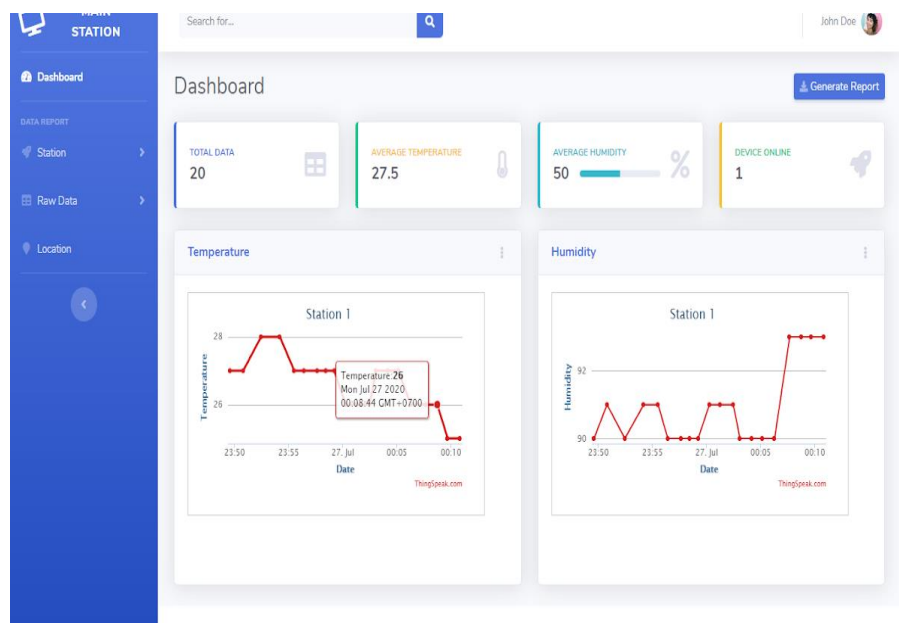
Gambar 2. 10 *Charger* BMS 3S

Sumber : <https://down-id.img.susercontent.com/file/id-11134207-7rasm-m5uvsd9qqsx449>

Pada Gambar 2. 10 modul BMS 3S tidak hanya berfungsi sebagai *charger*, tetapi juga sebagai sistem proteksi yang melindungi baterai dari berbagai kondisi berbahaya, seperti *overcharge* (tegangan berlebih saat pengisian), *overdischarge* (tegangan terlalu rendah saat penggunaan), *overcurrent* (arus berlebih yang dapat merusak komponen), serta *short circuit* (hubungan singkat) yang berpotensi menyebabkan kerusakan serius atau bahkan kebakaran pada baterai.

2.1.11 *Thingspeak*

Thingspeak adalah aplikasi dan API *open-source* dalam bidang *Internet Of Things* (IoT) yang digunakan untuk menyimpan serta mengambil data dari berbagai perangkat melalui HTTP, baik melalui Internet maupun *Local Area Network* (LAN). *Platform* ini telah terintegrasi dengan perangkat lunak komputasi numerik MATLAB dari MathWorks, memungkinkan pengguna untuk menganalisis dan memvisualisasikan data yang diunggah tanpa perlu membeli lisensi tambahan. Data yang disimpan di *ThingSpeak* dapat diatur sebagai *privat* (hanya dapat diakses oleh pengguna tertentu) atau publik (dapat diakses oleh pengunjung umum). Berikut pada Gambar 2. 11 (Akbar, S.A., Kalbuadi, D.B. and Yudhana, A., 2019)



Gambar 2. 11 *Thingspeak*

2.1.12 Standar kualitas air

Standar kualitas air minum ditetapkan berdasarkan sejumlah parameter yang menjadi acuan dalam menentukan keamanan air. Parameter tersebut mencakup aspek fisik, mikrobiologi, kandungan kimia, serta tingkat radioaktivitas. Dalam peraturan yang berlaku, parameter ini dibagi menjadi parameter utama dan parameter khusus, di mana penerapan tambahan untuk parameter khusus menjadi tanggung jawab pemerintah daerah berdasarkan kajian ilmiah yang dilakukan. Berikut Tabel 2. 2 (Permenkes, 2023) adalah standar kualitas air berdasarkan Peraturan Kementerian Kesehatan No.2 Tahun 2023.

Tabel 2. 2 Standar kualitas air

No.	Parameter	Kadar Maksimum yang diperbolehkan	Satuan
1	Suhu	Suhu udara ± 3	$^{\circ}\text{C}$
2	Total Dissolve Solid	< 300	mg/L
3	Kekeruhan	< 3	NTU
4	pH	6.5 – 8.5	-
5	Besi (Fe) (terlarut)	≤ 0.2	mg/L

2.2 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian (Pratmanto et al., 2019) dengan judul “*Pembuatan Alat Pendeteksi Kadar Logam pada Air Berbasis Arduino UNO*” mengembangkan alat pendeteksi kadar logam dalam air berbasis Arduino UNO dengan sensor konduktivitas sebagai komponen utama. Alat ini menggunakan catu daya 12V, memproses data melalui Arduino, dan menampilkan hasil pada LCD serta *buzzer*. Jika kadar logam kurang dari 0,3 mg/L, status “Layak” ditampilkan, sedangkan jika melebihi, *buzzer* berbunyi dengan status “Tidak Layak.” Penelitian ini menunjukkan bahwa alat mampu mendeteksi kadar logam secara akurat dan efisien, memberikan informasi kelayakan air secara cepat dan sederhana.

Pada penelitian (Rezki et al., 2021) dengan judul “Rancang Bangun Alat Ukur Kualitas Air Berdasarkan pH Air dan Kekeruhan” merancang alat ukur kualitas air berbasis pH dan kekeruhan menggunakan sensor pH SKU SEN0161 dan sensor kekeruhan SKU SEN0189 yang terhubung ke mikrokontroler ESP-32. Alat ini

memiliki mobilitas tinggi, ditenagai powerbank, menampilkan hasil secara *real-time* pada LCD, dan dapat diakses melalui web browser via Wi-Fi. Kalibrasi menghasilkan koefisien determinasi 0,9982 untuk pH dan 0,9996 untuk kekeruhan. Uji akurasi menunjukkan error rata-rata 3,52% untuk pH dengan akurasi 96,48%, serta error rata-rata 2,35% untuk kekeruhan dengan akurasi 97,65%. Hasil ini membuktikan alat layak digunakan untuk pengukuran kualitas air.

Pada penelitian (Rasjid et al., 2022) dengan judul “*Rancangan Alat Monitoring Air Layak Konsumsi Berbasis Mikrokontroler*” mengembangkan alat *monitoring* kualitas air berbasis Arduino Uno, menggunakan sensor pH, kekeruhan, TDS, dan suhu untuk mendeteksi parameter kualitas air. Data dari sensor ditampilkan pada LCD 16x2, dengan fungsi otomatis untuk memberikan kesimpulan kelayakan air. Misalnya, air dinyatakan tidak layak jika pH mencapai 8,5, kekeruhan 25, TDS 1000, dan suhu 25°C. Pengujian menunjukkan semua sensor bekerja dengan baik dan hasilnya sesuai dengan alat standar, sehingga alat ini akurat dan efektif untuk memonitor kualitas air.

Pada penelitian (Ucmariance et al., 2022) dengan judul “*Sistem Monitoring Kualitas Air Layak Pakai Menggunakan Arduino Uno*” mengembangkan sistem *monitoring* kualitas air berbasis Arduino Uno menggunakan sensor kekeruhan dan pH. Sensor kekeruhan diuji dengan air mineral bening dan air bercampur kopi pekat, menunjukkan hasil tegangan 2,70V (NTU 2982,69) untuk air bening dan 2,40V (NTU 3000,00) untuk air keruh. Sensor pH diuji dengan air netral, air bercampur sabun, dan larutan asam dari kopi Arabika. Hasil pengujian membuktikan sensor bekerja dengan baik, memberikan data *real-time* yang akurat, dan layak digunakan untuk memantau kualitas air.

Pada penelitian (Helena Manurung et al., 2022) dengan judul “*Pemanfaatan ESP32 sebagai Sistem Pemantauan Kualitas Air Keran Siap Minum secara Real-time Menggunakan Aplikasi*” mengembangkan alat pemantauan kualitas air menggunakan ESP32 yang terhubung dengan sensor pH, suhu, dan kekeruhan. Data ditampilkan secara *real-time* melalui aplikasi berbasis MIT *App Inventor*. Pengujian menunjukkan akurasi baik dengan error rata-rata 0,85% hingga 3,09% untuk ketiga parameter, serta hasil QoS dengan packet loss 0,02%, delay 1367,30

ms, dan *throughput* 581,14 bps. Aplikasi ini memiliki dua layar: satu untuk logo dan tombol, dan satu lagi untuk menampilkan nilai sensor secara dinamis saat terhubung ke Wi-Fi. Kesimpulannya, alat dan aplikasi efektif untuk memantau kualitas air, meski perlu perbaikan pada *throughput* untuk kinerja optimal. Pada Tabel 2. 3 merupakan perbandingan penelitian terdahulu.

Tabel 2. 3 Perbandingan variabel penelitian

Nama	Judul	Komponen	Hasil
Dany Pratmanto, Angga Ardiansyah, Andrian Eko Widodo, Fakihotun Titiani (2019).	Pembuatan Alat Pendeteksi Kadar Logam pada Air Berbasis Arduino UNO.	- Arduino UNO - Sensor Konduktivitas - <i>Buzzer</i> - LCD (<i>Liquid Cristal Display</i>) - Arduino IDE	Penelitian tersebut hanya berfokus pada pengujian satu parameter kualitas air (kadar logam) secara lokal menggunakan indikator LCD dan <i>buzzer</i> .
Nurdina Rasjid, Indra, Muhammad Alfikri (2022).	Rancangan Alat Monitoring Air Layak Konsumsi Berbasis Mikrokontroler.	- Arduino uno - Sensor Kekeruhan - Sensor Air (pH Air) - Sensor TDS - Sensor Suhu - LCD 16x2	Penelitian tersebut mengukur empat parameter kualitas air dengan visualisasi lokal pada LCD 16x2.
Ucmariance, Herdianto, Fery Anugra, Chairul Rizal,	Sistem Monitoring Kualitas Air Layak Pakai Menggunakan Arduino Uno	- Arduino uno - Sensor <i>Turbidity</i> - Sensor pH - <i>Module Bluetooth Hc-05</i>	Penelitian tersebut terbatas pada dua parameter (pH dan kekeruhan) dengan jangkauan pemantauan jarak pendek menggunakan modul Bluetooth HC-05. Sementara itu, penelitian ini

Nama	Judul	Komponen	Hasil
Supiyandi (2022)			mengukur lima parameter kualitas air secara simultan, memanfaatkan jaringan Wi-Fi pada ESP32 untuk monitoring IoT (<i>Thinkspeak</i>) tanpa batasan jarak, serta dilengkapi sistem catu daya portabel terintegrasi.
Cindy Tio Helena Manurung, Jaenal Arifin, Fikra Titan Syifa, Raditya Artha Rochmanto (2022)	Pemanfaatan ESP32 sebagai Sistem Pemantauan Kualitas Air Keran Siap Minum secara <i>Real-time</i> Menggunakan Aplikasi.	- ESP32 - Sensor kekeruhan - Sensor Air (pH Air) - Sensor TDS - Sensor Suhu - LCD 16x2	Meskipun sama-sama menggunakan ESP32, penelitian tersebut mengukur empat parameter dengan keluaran visual pada aplikasi Android MIT App Inventor dan LCD 16x2. Penelitian ini mengembangkan kebaruan dengan menambahkan sensor kadar besi (Fe), menggunakan <i>platform</i> Website <i>Thinkspeak</i> untuk aksesibilitas pemantauan universal, serta merancang konfigurasi baterai lithium portabel sebagai sumber daya lapangan.
Rezki, Bintoro Siswo Nugroho,	Rancang Bangun Alat Ukur Kualitas Air	- ESP32 - Sensor pH - Sensor Kekeruhan	Penelitian tersebut mengimplementasikan ESP32 untuk mengukur dua parameter (pH dan

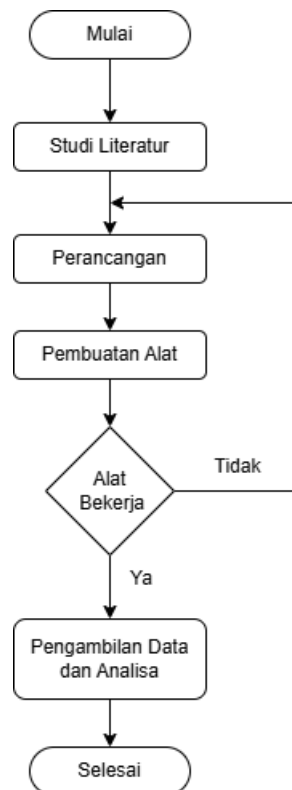
Nama	Judul	Komponen	Hasil
Nurhasanah (2021)	Berdasarkan pH Air dan Kekeruhan	- LCD	kekeruhan) dengan tampilan visual lokal.
Nadya Irmelya Br. Pardede (Penelitian Ini)	Rancang Bangun Alat Pengukur Kualitas Air Menggunakan ESP32	- ESP32 - Sensor pH 4502C - Sensor Suhu DS18B20 - Sensor Konduktivitas (Kadar Fe) - Sensor TDS Meter V1.0 - Sensor <i>Turbidity</i> - LCD 20x4 - Website <i>Thinkspeak</i> - 3 Baterai Lithium 1500mAh Seri - Modul Stepdown 12V to 5V	Penelitian ini mengintegrasikan pengujian lima parameter kualitas air fisik dan kimia secara komprehensif. Sistem ini menggunakan LCD 20x4 untuk pemantauan lokal dan menyinkronkan data ke cloud Website <i>Thinkspeak</i> via Wi-Fi ESP32 untuk pemantauan jarak jauh. Rancang bangun perangkat dirancang sepenuhnya portabel menggunakan tiga sel baterai lithium konfigurasi seri yang diturunkan oleh modul <i>stepdown</i> ke 5V demi mendukung mobilitas pengujian di lapangan.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahap Perancangan Proyek Akhir

Perancangan adalah tahap awal dari suatu proses pembuatan dan pengerjaan sistem yang bertujuan untuk mempermudah dan memperlancar proses pembuatannya. Begitu juga dalam proses pengerjaan proyek akhir ini, dimana perancangan menjadi bagian utama yang sangat menentukan hasil jadi keseluruhan proyek akhir ini.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Alur Perancangan

Pada Gambar 3. 1 *Flowchart* Alur Perancangan dapat dijelaskan dari alur pengerjaan proyek akhir sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Melakukan pembelajaran terhadap teori-teori yang berkaitan terhadap komponen yang berkaitan dengan alat yang akan digunakan untuk pengukur kualitas air portabel serta mencari teori lainnya yang berkaitan dengan penyelesaian penelitian ini.

b. Perancangan

Melakukan perancangan sistem *hardware* untuk menyelesaikan penelitian yang akan dibuat.

c. Pembuatan Alat

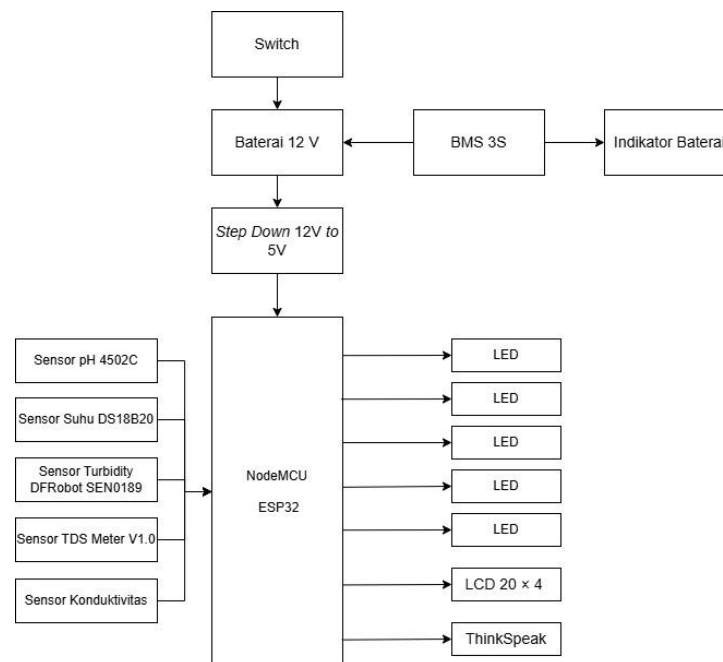
Melakukan perangkaian komponen yang digunakan dan sesuai dengan yang telah di rancang digunakan hingga pengujian keakurasian alat berdasarkan alar ukur yang sudah ada.

d. Pelaporan Hasil

Setelah dilakukan analisa maka keseluruhan data serta hasil yang didapat akan dibuat dalam sebuah laporan hasil akhir.

3.2 Blok Diagram Sistem Alat Ukur Kualitas Air Portabel

Berikut merupakan blok diagram proses sistem alat ukur kualitas air portabel menggunakan NodeMcu ESP32.



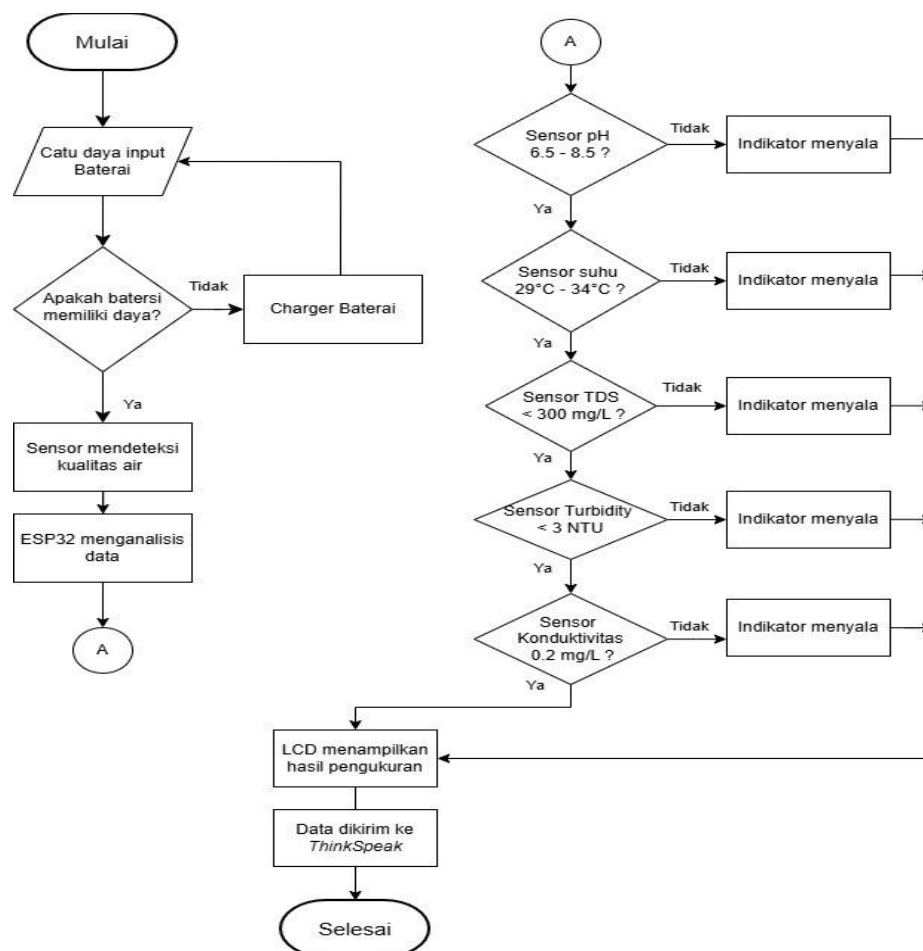
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem Alat Ukur

Pada Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem Alat Ukur menunjukkan sistem pemantauan kualitas air yang portabel dan efisien. Sistem ini diaktifkan melalui *switch*, dengan sumber daya utama berasal dari baterai 12V yang diatur oleh BMS 3S untuk pengisian ulang dan keamanan, serta dilengkapi *charger* BMS 3S sebagai pengatur proses pengisian daya dan indikator kapasitas baterai untuk memantau level daya secara *real-time*. Tegangan diturunkan ke 5V menggunakan modul *step-*

down untuk mencatu daya ke ESP32 dan sensor-sensor. Sistem menggunakan lima jenis sensor, yaitu pH 4502C untuk pH air, DS18B20 untuk suhu, *Turbidity* DFRobot SEN0189 untuk kekeruhan, TDS meter V1.0 untuk total zat terlarut, dan sensor konduktivitas untuk mendeteksi kadar logam berat. NodeMCU ESP32 bertindak sebagai pengolah data *real-time* yang hasilnya ditampilkan pada LCD 20x4. Indikator LED merah menyala untuk menunjukkan parameter yang tidak sesuai batas toleransi. Kemudian seluruh data yang ditampilkan pada LCD akan dikirimkan pada web *Thinkspeak* sebagai monitoring. Diagram ini juga menekankan aliran daya dan data antar komponen untuk memastikan alat berfungsi optimal.

3.3 Flowchart Sistem Kerja Pengukuran Kualitas Air

Berikut Gambar 3. 3 adalah sistem kerja dari alat pengukur kualitas air yang akan dirancang.



Gambar 3. 3 Flowchart keseluruhan sistem pengukuran

Pada Gambar 3.3 menunjukkan *Flowchart* sistem kerja alat pengukur kualitas air portabel yang dirancang untuk memantau parameter kualitas air secara *real-time*. Sistem ini diawali dengan mengaktifkan catu daya baterai, kemudian alat akan memeriksa kondisi daya. Jika daya tidak mencukupi, sistem akan menghentikan proses dan mengarahkan pengguna untuk mengisi daya menggunakan *charger* baterai. Namun, jika daya mencukupi, sensor akan mulai mendeteksi kualitas air, dan data yang diperoleh akan diproses oleh mikrokontroler NodeMCU ESP32.

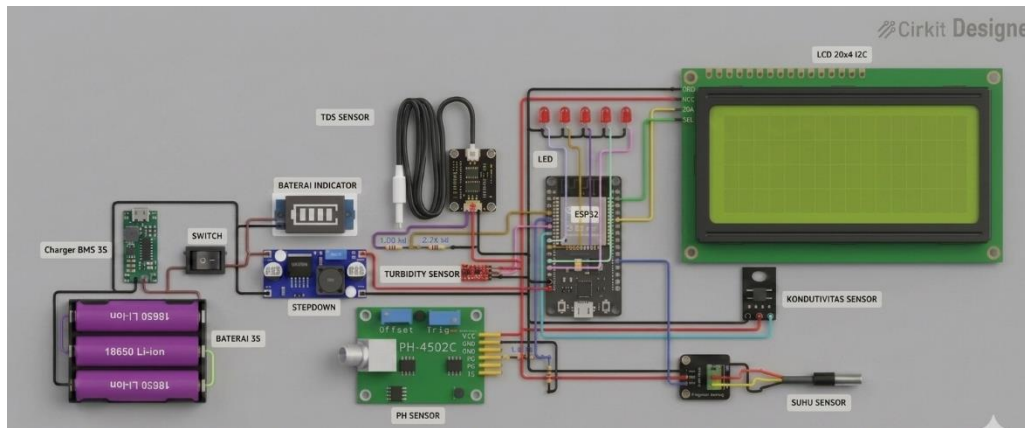
Alat ini menggunakan lima sensor utama untuk mengukur parameter kualitas air. Sensor pH mendeteksi tingkat keasaman air dengan rentang rentang 6.5 - 8.5. Sensor suhu digunakan untuk mengukur suhu air dalam satuan derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$) dan memastikan suhu berada dalam rentang 29°C - 34°C . Selanjutnya, sensor TDS mendeteksi jumlah zat padat terlarut (Total Dissolved Solids) dalam air dengan ambang batas $< 300 \text{ mg/L}$. Sensor *Turbidity* mengukur kejernihan air dalam satuan NTU dengan batas $< 3 \text{ NTU}$. Terakhir, sensor konduktivitas berfungsi untuk mengukur konduktivitas air dengan nilai acuan 0.2 mg/L .

Setelah data dari kelima sensor dikumpulkan, mikrokontroler NodeMCU ESP32 akan menganalisis hasil pengukuran. Jika salah satu parameter tidak memenuhi standar kualitas air, indikator LED akan menyala sebagai peringatan. Namun, jika semua parameter berada dalam batas aman, hasil pengukuran akan ditampilkan pada layar LCD 20x4 dengan format yang mudah dibaca. Kemudian data akan dikirimkan ke web *Thinkspeak* agar dapat dimonitoring secara *real-time*. Alat ini dirancang sebagai perangkat portabel, hemat energi, dan akurat, sehingga dapat membantu pengguna dalam memantau serta mengevaluasi kualitas air di berbagai kondisi air.

3.4 Perancangan Skematik Rangkaian

Pada sistem ini, mikrokontroler NodeMCU ESP32 berperan sebagai otak utama yang bertugas memproses data secara *real-time*. Mikrokontroler ini terhubung dengan berbagai sensor untuk memantau parameter kualitas air. Sistem didukung oleh baterai lithium 18650 yang diisi ulang melalui modul pengisian daya BMS 3S serta dilengkapi *switch* sebagai sakelar utama untuk mengaktifkan

perangkat portabel. Hasil pengukuran dari sensor ditampilkan secara langsung pada LCD 20x4. Semua komponen yang membutuhkan daya listrik terhubung ke pin 5V dan GND dari NodeMCU ESP32, memastikan sistem berjalan dengan efisien dan terintegrasi. Berikut Gambar 3. 4 merupakan perancangan skematik rangkaian.



Gambar 3. 4 Skematik Rangkaian

Hubungan Antara Komponen dari Gambar 3. 4

a. *Switch*:

- 1) Fungsi: Mengaktifkan dan mematikan sistem.
- 2) Terhubung ke modul pengisian daya BMS 3S dan baterai.

b. Modul *Charger* BMS 3S:

- 1) Fungsi: Mengelola pengisian daya baterai lithium 18650, Memberikan suplai daya yang aman dan stabil ke sistem.
- 2) Terhubung ke tiga sel baterai lithium 18650 yang disusun seri dan terhubung dengan step down 12V to 5V.

c. *Step-down* 12V ke 5V: Menurunkan tegangan 12V dari baterai menjadi 5V untuk menghidupkan ESP32 dan sensor-sensor lain yang membutuhkan tegangan rendah.

d. Indikator Baterai: Menampilkan status daya baterai (level tegangan) secara visual menggunakan LED atau display.

e. Baterai Lithium 18650:

- 1) Fungsi: Menyediakan daya portabel untuk keseluruhan sistem.
- 2) *Output* daya dikontrol melalui *switch* dan modul BMS 3S.

- f. NodeMCU ESP32:
 - 1) Fungsi: Mengelola data dari sensor dan mengirimkan hasil ke LCD.
 - 2) Pin VCC semua komponen sensor terhubung ke pin 5V, dan pin GND sensor ke pin GND ESP32.
- g. Sensor pH 4502C:
 - 1) Fungsi: Mengukur pH air.
 - 2) Pin Data:
 - a) VCC → Pin 5V ESP32
 - b) GND → Pin GND ESP32
 - c) P0 Analog pH value → Pin GPIO 35 ESP32
- h. Sensor Suhu DS18B20:
 - 1) Fungsi: Mengukur suhu air.
 - 2) Pin Data:
 - a) VCC → Pin 5V ESP32
 - b) GND → Pin GND ESP32
 - c) Data → Pin GPIO 32 ESP32
- i. Sensor *Turbidity* DFRobot SEN0189:
 - 1) Fungsi: Mengukur tingkat kekeruhan air.
 - 2) Pin Data:
 - a) VCC → Pin 5V ESP32
 - b) GND → Pin GND ESP32
 - c) Signal → Pin 36 ESP32
- j. Sensor TDS meter V1.0:
 - 1) Fungsi: Mengukur total zat padat terlarut (TDS) dalam air.
 - 2) Pin Data:
 - a) VCC → Pin 5V ESP32
 - b) GND → Pin GND ESP32
 - c) Data → Pin 34 ESP32
- k. Sensor Konduktivitas Air:
 - 1) Fungsi: Mengukur kadar besi pada air.
 - 2) Pin Data:
 - a) VCC → Pin 5V ESP32

- b) GND → Pin GND ESP32
- c) Signal → Pin 33 ESP32

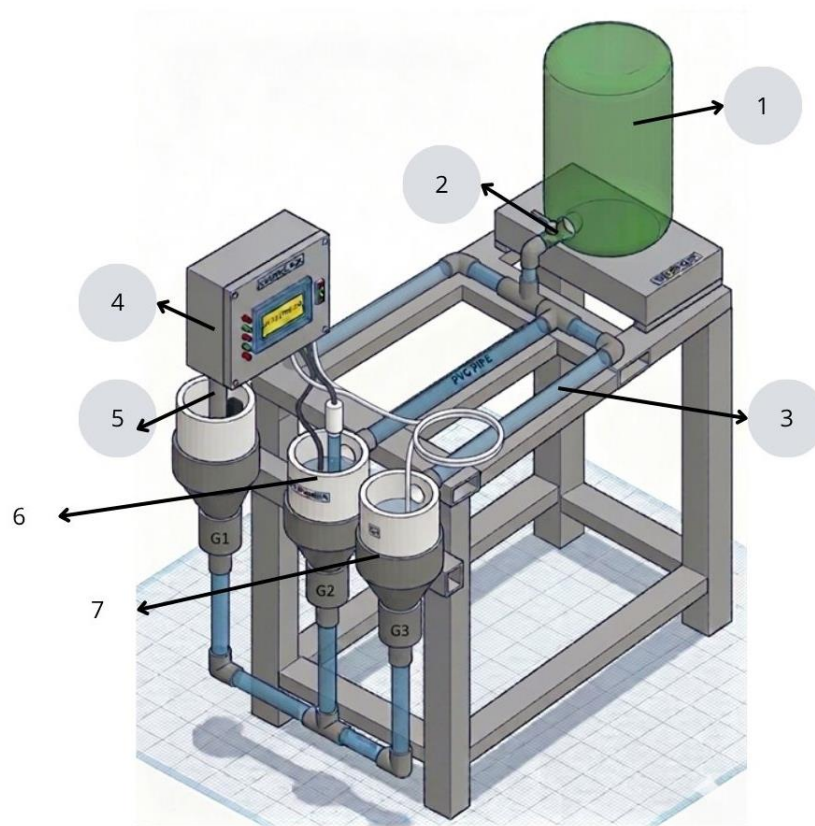
l. LCD 20x4:

- 1) Fungsi: Menampilkan hasil pengukuran dari seluruh sensor.
- 2) Pin Data:
 - a) VCC → Pin 5V ESP32
 - b) GND → Pin GND ESP32
 - c) SCL → Pin 18 ESP32
 - d) SDA → Pin 19 ESP32

m. LED

- 1) Fungsi: Sebagai indikator visual untuk menunjukkan bahwa hasil pengukuran sensor tidak sesuai dengan batas toleransi. Setiap LED mewakili satu parameter sensor.
- 2) Pin data:
 - a) LED 1 (Suhu):
 - Katoda → GND ESP32
 - Anoda → Pin digital GPIO 25 ESP32
 - b) LED 2 (pH):
 - Katoda → GND ESP32
 - Anoda → Pin digital GPIO 14 ESP32
 - c) LED 3 (*Turbidity*):
 - a) Katoda → GND ESP32
 - b) Anoda → Pin digital GPIO 27 ESP32
 - d) LED 4 (TDS):
 - a) Katoda → GND ESP32
 - b) Anoda → Pin digital GPIO 26 ESP32
 - e) LED 5 (Konduktivitas):
 - a) Katoda → GND ESP32
 - b) Anoda → Pin digital GPIO 12 ESP32

3.5 Perancangan Mekanik



Gambar 3. 5 Perancangan Mekanik

Berdasarkan dari Gambar 3. 5 :

1. Wadah Air Utama (Galon): Tempat penampungan air utama sebelum dialirkan ke dalam sistem chamber pengujian.
2. Kran : Berfungsi untuk membuka, menutup, atau mengatur debit aliran air yang keluar dari wadah utama menuju pipa distribusi.
3. Saluran Masuk (Pipa PVC): Pipa utama yang mengalirkan air dari tandon menuju masing-masing wadah/chamber pengukuran.
4. Panel *Box*: Kotak panel tempat diletakkannya komponen elektronik yaitu modul sensor, Stepdown 12V ke 5V, mikrokontroler ESP32, layar LCD, *switch*, indikator baterai, dan LED indikator monitoring.
5. *Chamber* 1 yang merupakan wadah penampung air yang mengukur kadar besi dan kekeruhan yang terdapat *probe* sensor.
6. *Chamber* 2 yang merupakan wadah penampung air yang mengukur kadar pH dan suhu pada air.

7. *Chamber 3* yang merupakan wadah penampung air yang mengukur kadar TDS pada air.

3.6 Mekanisme Pengujian

Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui apakah alat dapat berfungsi sesuai dengan fungsinya dan dapat menghasilkan keluaran sebagaimana yang diharapkan.

1. Pengujian data Sensor suhu, pH, TDS, kadar Besi, dan *Turbidity*. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan sensor-sensor dengan mikrokontroler ESP32, di mana ESP32 akan menerima data dari sensor-sensor sesuai dengan *datasheet* dari masing-masing sensor. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan perbandingan terhadap alat ukur pembanding (data referensi). Perhitungan akurasi hasil pengukuran dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Akurasi (\%)} = \left(1 - \left(\frac{\text{Data Pengukuran} - \text{Data Referensi}}{\text{Data Referensi}} \times 100\% \right) \right) \times 100\% \quad 3.1$$

2. Pengujian pengiriman data sensor ke *Thinkspeak*. Pada pengujian ini akan dilihat apakah data yang di dapat oleh sensor-sensor setelah melakukan monitoring kualitas air berhasil dikirim ke *Thinkspeak*.
3. Pengujian secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui performa dan fungsionalitas alat monitoring kualitas air saat diintegrasikan langsung pada instalasi fisik. Sistem pemipaan dirancang menjadi 3 jalur vertikal paralel dengan jarak antar-jalur sejauh 1 meter, di mana masing-masing jalur dilengkapi dengan wadah penempatan sensor (sensor *chamber*) terintegrasi. Air sampel dialirkan dari tandon utama yang terletak di bagian atas, kemudian mengalir melewati rangkaian pipa menuju sensor-sensor kualitas air seperti sensor konduktivitas, kekeruhan, pH, suhu, dan TDS, yang terpasang di dalam *Chamber* tersebut.

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil Perancangan Alat Ukur Kualitas air Portabel menggunakan ESP32

Perancangan alat ukur kualitas air portable berbasis *Internet Of Things* (IoT) mencakup pengembangan perangkat keras dengan memanfaatkan ESP32 sebagai mikrokontroler utama. Sistem ini menggunakan koneksi Wi-Fi untuk mengirimkan data hasil pengukuran, yang kemudian ditampilkan secara *real-time* untuk mengirimkan data hasil pengukuran, yang kemudian ditampilkan secara *real-time* pada layar LCD 20×4 serta dikirim ke *platform Thinkspeak*. Dengan demikian, data kualitas air dapat dipantau secara langsung dan tersimpan secara daring untuk kebutuhan analisis lebih lanjut.

4.1.1 Hasil Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik bertujuan untuk memastikan penempatan yang tepat, perlindungan yang optimal, dan kemudian pemeliharaan dari sensor suhu DS18B20, Sensor pH 4502C, Sensor *Turbidity* SEN0189, Sensor TDS Meter V1.0, dan Sensor Konduktivitas di mikrokontroler. Dengan memperhatikan faktor penempatan dan proteksi ini, sistem monitoring kualitas air akan bekerja secara optimal dan memiliki daya tahan dalam jangka panjang. Hasil perancangan mekanik ini ditunjukkan pada Gambar 4. 1.



Gambar 4. 1 Hasil Perancangan Mekanik

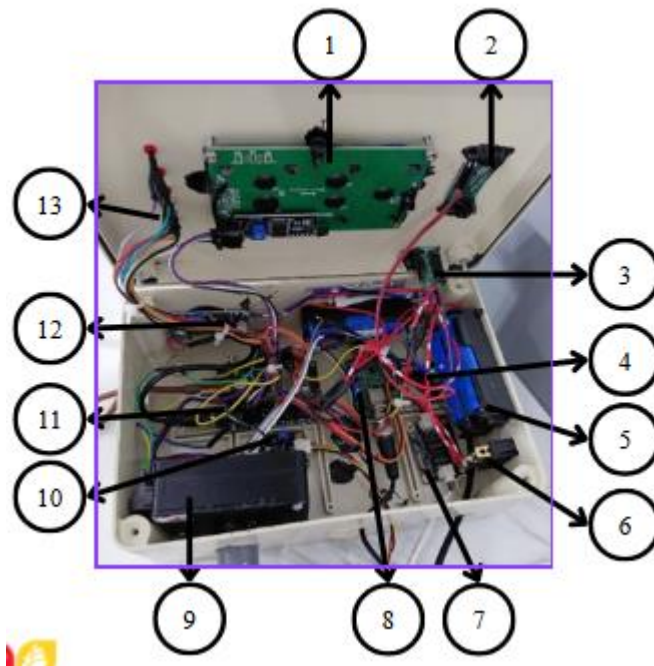
Berdasarkan Gambar 4. 1 Hasil perancangan mekanik untuk sistem Rancang Bangun Alat Pengukur Kualitas Air Portabel Menggunakan ESP32 yang disusun secara berurutan berdasarkan jalur aliran air dan tata letak komponen:

- a) Tandon Air: Berada di posisi paling atas sebagai wadah penampung sampel air mentah yang akan diuji. Tandon ini memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengalirkan air ke seluruh sistem di bawahnya secara konstan.
- b) Kran Utama: Dipasang langsung pada saluran keluaran tandon air. Kran ini berfungsi sebagai katup pengontrol manual untuk membuka, menutup, atau mengatur debit aliran air yang masuk ke dalam sistem instalasi pipa pengujian.
- c) Jalur Pipa Paralel 3 Jalur: Aliran air dari kran utama didistribusikan ke dalam 3 jalur pipa yang dirancang sejajar (paralel) dengan jarak antar-pipa masing-masing sejauh 1 meter. Perancangan jarak 1 meter ini berfungsi untuk memberikan ruang mekanik yang cukup serta menjaga kestabilan kedudukan rangka alat.
- d) Box Utama (Panel Kontrol): Ditempatkan pada posisi strategis di bagian atas rangka mekanik. Di dalam boks panel kedap air ini, disematkan komponen mikrokontroler ESP32, modul *charger* BMS 3S (untuk manajemen pengisian daya baterai lithium), modul-modul internal dari seluruh sensor, modul *step down* penurun tegangan, sakelar daya (*switch*), layar LCD untuk menampilkan data, serta indikator kapasitas baterai agar semuanya terlindung dengan aman dari cipratan air. Berikut pada Gambar 4. 2 hasil perancangan box utama:



Gambar 4. 2 Hasil Perancangan Elektronika Bagian Depan Box

- e) *Chamber 1*: Jalur pipa mengarah pada tabung pengujian pertama yang memuat probe sensor konduktivitas (mengukur kadar Fe) dan probe sensor *Turbidity* (kekeruhan) untuk menganalisis fisik air pada tahap awal.
- f) *Chamber 2*: Air mengalir secara berurutan ke tabung kedua yang menjadi tempat bagi peletakan probe sensor pH (mengukur tingkat keasaman) dan sensor suhu (mengukur temperatur air).
- g) *Chamber 3*: Merupakan tahapan akhir dari rangkaian kompartemen, di mana di dalam tabung ketiga ini dipasang probe sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) untuk mendeteksi total padatan terlarut pada air sebelum dibuang.
- h) Kran Saluran Pembuangan Air : Terpasang di ujung akhir sistem perpipaan di bawah ketiga *chamber*. Kran pembuangan ini berfungsi untuk menguras sisa sampel air pengujian dan mengarahkannya kembali ke wadah penampungan bawah setelah seluruh parameter kualitas air selesai dipindai.



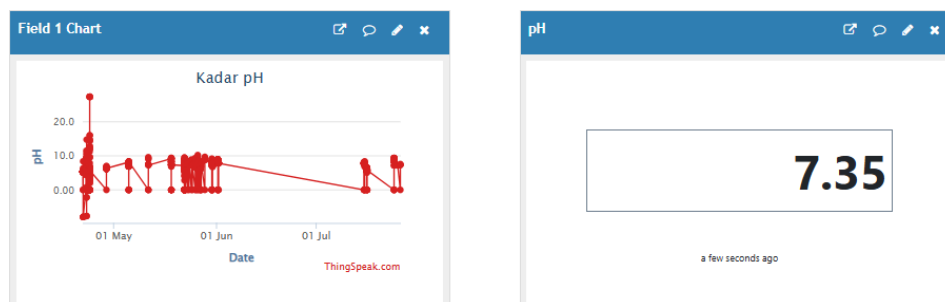
Gambar 4. 3 Hasil Perancangan Elektronika Bagian dalam Box

Pada Gambar 4. 3 menunjukkan bentuk fisik dan tata letak komponen dari hasil rancang bangun perangkat keras (*hardware*) sistem monitoring kualitas air. Komponen-komponen elektronik telah diintegrasikan di dalam boks panel dengan pembagian nomor keterangan sebagai berikut:

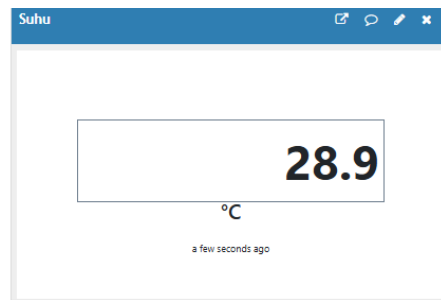
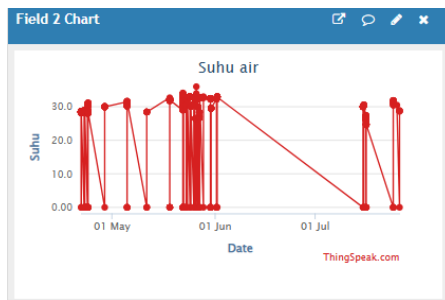
1. *LCD 20×4*
2. Indikator Baterai
3. *Charger* BMS 3S
4. Sensor Suhu DS18B20
5. Baterai Lithium
6. *Switch* (Sakelar)
7. Sensor TDS
8. Sensor pH
9. Sensor Konduktivitas
10. Sensor *Turbidity*
11. ESP-32
12. *Step-down* 12V to 5V
13. LED

4.1.2 Hasil Perancangan Dashboard *Thinkspeak*

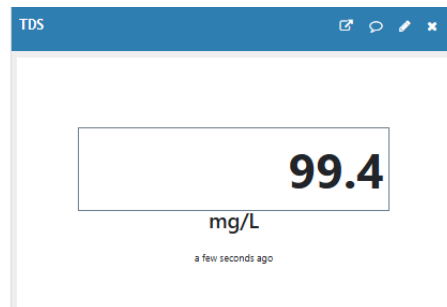
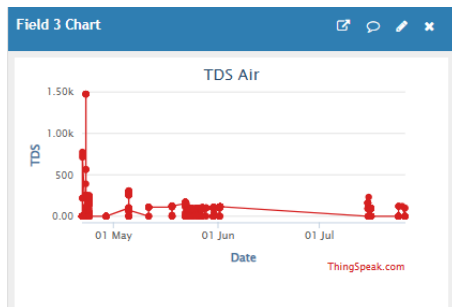
Perancangan *dashboard Thinkspeak* dilakukan agar monitoring kualitas air dapat ditampilkan secara visual dan *real-time* dengan pembaruan data otomatis setiap 20 detik. Sistem ini mempermudah pengguna memantau kondisi air secara jarak jauh selama terhubung dengan internet. Tampilan *dashboard* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



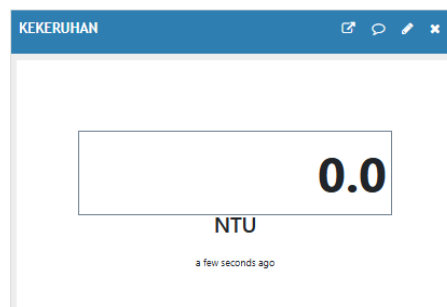
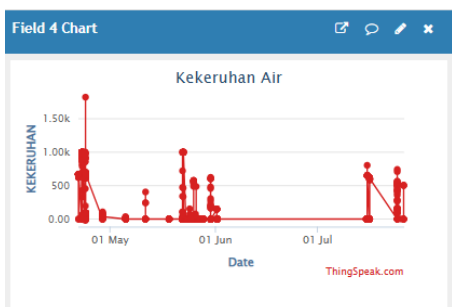
(a)



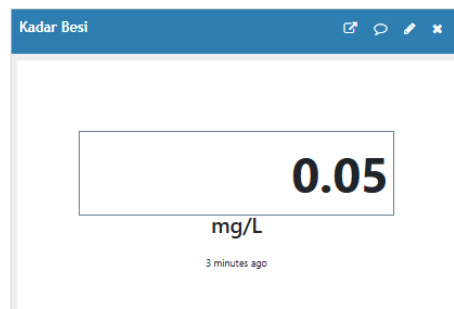
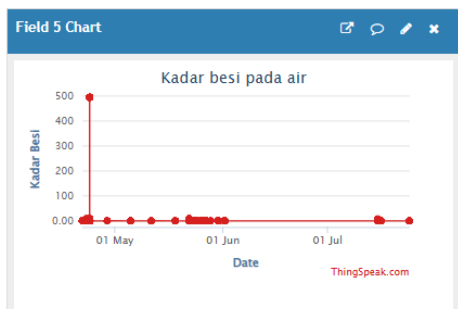
(b)



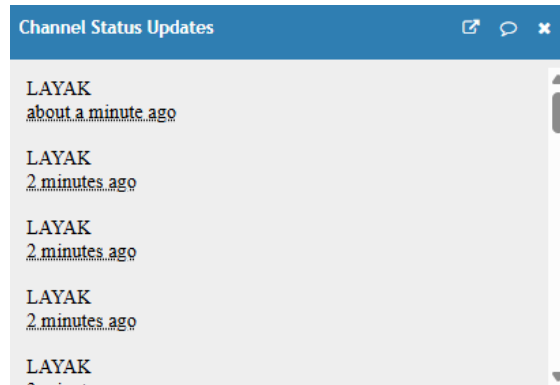
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 4. 4 Hasil Perancangan Dashboard *ThinkSpeak*

Gambar 4.4.a menampilkan monitoring parameter pH air. *Widget Field 1* Chart di sebelah kiri menyajikan grafik garis *time-series* untuk mengamati fluktuasi data historis, sedangkan *widget* pH di sebelah kanan menampilkan angka *real-time* sebesar 7.35. Selanjutnya, Gambar 4.4.b menyajikan parameter suhu air melalui grafik *Field 2 Chart* (kiri) untuk riwayat fluktuasi dan *display* Suhu (kanan) yang menunjukkan nilai *real-time* sebesar 28.9 °C.

Gambar 4.4.c menampilkan parameter *Total Dissolved Solids* (TDS) menggunakan grafik *Field 3 Chart* (kiri) untuk tren historis dan *display* TDS (kanan) dengan nilai *real-time* 99.4 mg/L. Gambar 4.4.d menunjukkan tingkat kekeruhan air dari sensor *Turbidity* melalui grafik *Field 4 Chart* (kiri) dan *display* KEKERUHAN (kanan) sebesar 0.0 NTU. Gambar 4.4.e menampilkan kadar besi air melalui grafik *Field 5 Chart* (kiri) dan *display* Kadar Besi (kanan) dengan nilai 0.05 mg/L.

Terakhir, Gambar 4.4.f menampilkan *widget* Channel Status Updates yang menerapkan gerbang logika AND untuk menentukan tingkat kelayakan air untuk dipakai sehari-hari. Status akan bernilai "LAYAK" jika seluruh parameter berada dalam standar kualitas air, dan "TIDAK LAYAK" jika salah satu parameter keluar dari batas standar. Status ini diperbarui secara *real-time* lengkap dengan *timestamp*.

4.2 Pengujian Sensor Suhu, pH, *Total Dissolved Solid* (TDS), *Turbidity*, Konduktivitas, dan LED

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dan kestabilan pembacaan data dari setiap sensor yang digunakan pada sistem monitoring kualitas

air. Sensor yang diuji meliputi sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor *Total Dissolved Solid* (TDS), sensor *Turbidity*, sensor konduktivitas, serta indikator LED. Proses pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat referensi untuk memastikan data yang dihasilkan sesuai dengan kondisi sebenarnya. Selain itu, pengujian juga bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menampilkan dan mengirim data hasil pengukuran secara *real-time* melalui *platform ThingSpeak*.

4.2.1 Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Pada tahapan ini, pengujian sensor suhu DS18B20, sensor akan dihubungkan ke mikrokontroler NodeMCU ESP-32 untuk melihat data yang didapatkan oleh sensor suhu DS18B20. Hasil pengujian sensor suhu DS18B20 yang mana faktor yang menyebabkan terjadinya perubahan terhadap nilai suhu ialah perubahan suhu lingkungan sekitar dari air, perubahan kontak fisik sensor, kondisi sensor dan kalibrasi sensor. Hasil pengamatan terhadap perubahan suhu dapat dilihat pada Tabel 4. 1.

Tabel 4. 1 Data Suhu dari sensor DS18B20 dan Water Quality Meter dalam satuan (°C)

Sam- pel	A		B		C		D		E	
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
1	28.2	29.1	28.4	29.5	29.3	30.3	30.1	31.2	30.4	31.5
2	28	29.1	28.5	29.5	29.2	30.3	30.3	31.2	30.3	31.5
3	28.1	29.1	28.5	29.5	29.3	30.3	30.1	31.2	30.5	31.5
4	28	29.1	28.1	29.1	29.2	30.3	30.2	31.2	30.5	31.5
5	28.1	29.1	28	29.1	29.4	30.3	30.1	31.2	30.8	31.9
6	27.9	28.9	28.1	29.1	29.7	30.8	30.2	31.2	30.4	31.5
7	27.8	28.9	28.5	29.5	29.8	30.8	30.7	31.8	30.4	31.5
8	28	28.9	28.5	29.5	29.7	30.8	30.6	31.8	30.5	31.5
9	28.1	29.1	28.5	29.5	29.7	30.8	30.1	31.2	30.9	31.9
10	28	29.1	28.2	29.2	29.9	30.8	30.2	31.2	30.7	31.9
11	28	29	28.4	29.5	29.7	30.8	30.1	31.2	30.4	31.5
12	28	29	28.1	29.2	29.7	30.8	30.2	31.2	30.4	31.5
13	27.9	29	28.5	29.5	29.8	30.8	30.1	31.2	30.5	31.5
14	28.1	29.1	28.4	29.5	29.7	30.8	30.2	31.2	30.4	31.5
15	28	29.1	28.5	29.5	29.9	30.8	30.7	31.8	30.4	31.5
16	28.2	29.1	28.4	29.5	29.7	30.8	30.7	31.8	30.5	31.5
17	28	29.1	28.5	29.5	29.8	30.8	30.7	31.8	30.4	31.5

Sam- pel	A		B		C		D		E	
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
18	28.1	29.1	28.5	29.5	29.7	30.8	30.7	31.8	30.5	31.5
19	28	29.1	28.5	29.5	29.8	30.8	30.6	31.8	30.4	31.5
20	28.1	29.1	28.4	29.5	29.7	30.8	30.7	31.8	30.5	31.5
RATA- RATA	28.03	29.06	28.38	29.41	29.64	30.68	30.37	31.44	30.49	31.56

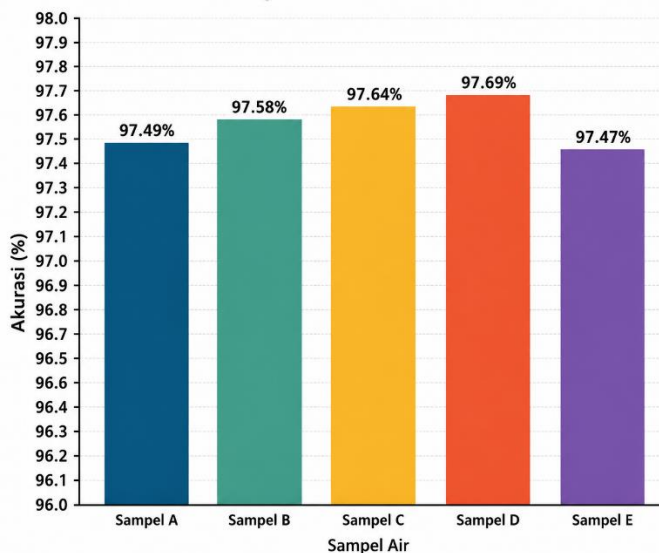
Keterangan :

S = Nilai Pengukuran Sensor

R = Nilai Pengukuran Alat Referensi

Perhitungan Akurasi dilakukan menggunakan rumus :

Dari data pada Tabel 4. 1, pada aspek akurasi, perhitungan akurasi dilakukan dengan menggunakan persamaan akurasi (3.1) terlihat bahwa sensor DS18B20 memiliki performa yang sangat baik dengan tingkat rata-rata akurasi dalam mengukur suhu air mencapai 96.55%. Hasil pengukuran rata-rata sensor untuk semua jenis sampel air menunjukkan nilai yang sangat mendekati nilai referensi, dengan selisih yang sangat tipis berkisar antara 0.1°C hingga 0.3°C. Tabel ini mencakup 20 sampel pengukuran untuk lima jenis air berbeda, yaitu Sampel air A, Sampel air B, Sampel air C, Air D, dan Air E.



Gambar 4. 5 Grafik Akurasi Sensor Suhu DS18B20 pada 5 Jenis Air

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 4. 5 menampilkan bahwa tingkat akurasi sensor DS18B20 berada pada rentang yang sangat tinggi dan relatif konstan untuk seluruh jenis air uji, yakni berkisar antara 96,47% hingga 96,61%. Kinerja pembacaan sensor DS18B20 memiliki tingkat presisi dan keakuratan yang tinggi dalam berbagai kondisi air uji. Keakuratan pembacaan suhu ini sangat penting dalam pemantauan kualitas air sehari-hari, mengingat suhu air yang berada di luar standar ideal dapat memengaruhi kenyamanan serta kesehatan pengguna. Air dengan suhu yang terlalu tinggi atau ekstrem dapat berisiko menimbulkan iritasi kulit dan gangguan kesehatan, serta memengaruhi efektivitas penggunaan air untuk kebutuhan sanitasi.

4.2.2 Pengujian Sensor pH (*Potential Hydrogen*)

Pengujian sensor pH dilakukan untuk mengukur tingkat keasaman pada lima jenis sampel air yang berbeda dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi. Hasil data pengukuran sebanyak 20 kali percobaan untuk masing-masing sampel air disajikan secara lengkap pada Tabel 4. 2

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Sensor pH

Sampel	A		B		C		D		E	
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
1	6.38	6.67	7.28	7.56	8.52	8.9	7.38	7.67	7.59	7.88
2	6.4	6.67	7.3	7.56	8.51	8.87	7.39	7.67	7.61	7.88
3	6.39	6.67	7.29	7.56	8.5	8.87	7.28	7.55	7.6	7.89
4	6.41	6.69	7.49	7.78	8.32	8.66	7.22	7.5	7.61	7.88
5	6.39	6.67	7.6	7.88	8.31	8.66	7.21	7.5	7.6	7.89
6	6.81	7.1	7.5	7.78	8.3	8.66	7.23	7.5	7.61	7.88
7	6.38	6.67	7.51	7.78	8.51	8.87	7.24	7.52	7.58	7.85
8	6.39	6.67	7.28	7.56	8.5	8.87	7.25	7.52	7.6	7.88
9	6.4	6.67	7.29	7.56	8.52	8.87	7.24	7.52	7.57	7.85
10	6.8	7.1	7.31	7.56	8.54	8.9	7.25	7.52	7.61	7.88
11	6.82	7.1	7.28	7.55	8.53	8.9	7.27	7.55	7.59	7.86
12	6.4	6.67	7.29	7.56	8.54	8.9	7.28	7.55	7.61	7.88
13	6.41	6.68	7.3	7.56	8.51	8.87	7.26	7.55	7.6	7.88
14	6.4	6.68	7.29	7.56	8.52	8.87	7.27	7.55	7.61	7.88
15	6.39	6.68	7.28	7.55	8.5	8.87	7.28	7.55	7.62	7.89
16	6.41	6.68	7.31	7.56	8.51	8.87	7.26	7.55	7.61	7.88
17	6.38	6.67	7.29	7.56	8.52	8.87	7.27	7.55	7.6	7.88
18	6.4	6.67	7.3	7.56	8.51	8.87	7.38	7.66	7.61	7.88

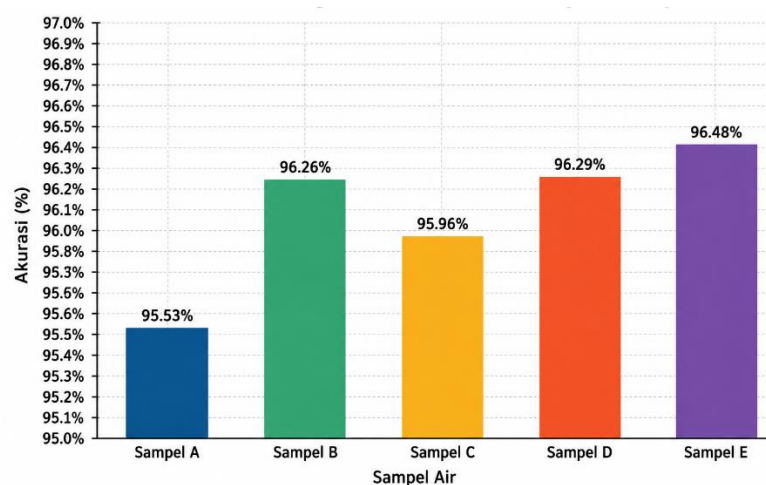
Sampel	A		B		C		D		E	
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
19	6.39	6.67	7.29	7.56	8.5	8.87	7.37	7.66	7.6	7.88
20	6.4	6.67	7.3	7.56	8.52	8.87	7.39	7.66	7.59	7.87
Rata - Rata	6.46	6.74	7.34	7.61	8.48	8.84	7.29	7.57	7.60	7.88

Keterangan :

S = Nilai Pengukuran Sensor

R = Nilai Pengukuran Alat Referensi

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.2, perhitungan akurasi dilakukan dengan menggunakan persamaan akurasi (3.1) sensor pH menunjukkan kinerja pembacaan yang sangat baik dalam mengukur tingkat keasaman berbagai sampel air, dengan rata-rata akurasi keseluruhan mencapai 94.97%. Pengukuran rata-rata sensor pada sampel A menghasilkan nilai sebesar 6.44 (referensi 6.74) dengan akurasi 95.53%; sampel B sebesar 7.32 (referensi 7.61) dengan akurasi 96.26%; sampel C sebesar 8.48 (referensi 8.84) dengan akurasi 95.96%; sampel D sebesar 7.29 (referensi 7.57) dengan akurasi 96.29%; dan sampel E sebesar 7.60 (referensi 7.88) dengan akurasi 96.48%. Selain memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan error pengukuran yang kecil (selisih 0.05 - 0.30 terhadap alat referernsi), sensor ini juga memiliki tingkat presisi yang sangat baik. Hal ini dibuktikan oleh kecilnya variasi fluktuasi nilai antar-pengujian pada setiap sampel, sehingga mengindikasikan bahwa sensor pH memiliki tingkat presisi yang tinggi.



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Tingkat Akurasi Sensor pH pada Berbagai Jenis Air

Pada Gambar 4. 6 memperlihatkan bahwa tingkat akurasi sensor pH berada pada rentang yang sangat tinggi dan relatif konstan untuk seluruh jenis sampel air uji, yakni berkisar antara 95,53% hingga 96,48%. Derajat keasaman (pH) memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kualitas air secara keseluruhan. Hal ini disebabkan karena kualitas pH yang berada di luar standar baku mutu dapat menimbulkan risiko bahaya bagi kesehatan kulit para pengguna air tersebut.

4.2.3 Pengujian Sensor *Total Dissolved Solid* (TDS)

Pengujian sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) dilakukan untuk mengukur konsentrasi padatan terlarut (dalam satuan mg/L) pada lima jenis sampel air yang berbeda dengan membandingkan nilai hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi (TDS meter *standard*). Pengambilan data dilakukan sebanyak 20 kali percobaan untuk masing-masing sampel air guna mengetahui tingkat presisi, akurasi pengukuran dari sensor TDS yang digunakan. Hasil data pengukuran tersebut disajikan secara lengkap pada Tabel 4. 3 berikut.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Pembacaan Sensor TDS pada Berbagai Sampel Air

Sam pel	A		B		C		D		E	
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
1	130.4	130	131.3	131	149.5	149	112.2	112	99.3	99
2	129.8	130	130.9	131	148.7	149	111.8	112	101.3	101
3	125.1	125	131.1	131	149.1	149	110.1	110	100.8	101
4	124.8	125	132.3	132	143.8	144	112.2	112	101.5	101
5	125.4	125	130.7	131	149.4	149	109.8	110	102.2	102
6	125.0	125	132.2	132	144.2	144	112.1	112	98.8	99
7	125.3	125	131.4	131	149.1	149	110.3	110	101.1	101
8	130.2	130	130.9	131	148.8	149	109.7	110	98.8	99
9	125.1	125	132.1	132	143.2	143	112.2	112	100.2	100
10	129.7	130	131.2	131	149.3	149	111.9	112	101.2	101
11	130.2	130	130.8	131	142.8	143	112.4	112	100.8	101
12	129.8	130	131.2	131	149.2	149	111.7	112	101.3	101
13	129.2	129	129.8	130	148.7	149	109.8	110	101.1	101
14	130.3	130	131.1	131	145.2	145	112.1	112	99.8	100
15	129.9	130	130.9	131	149.3	149	111.8	112	101.2	101
16	128.8	129	131.3	131	148.9	149	112.3	112	100.8	101
17	130.3	130	128.8	129	144.8	145	108.8	109	101.2	101
18	125.2	125	131.2	131	149.1	149	112.2	112	102.3	102
19	130.1	130	131.0	131	149.2	149	109.9	110	100.9	101

Sam pel	A		B		C		D		E	
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
20	129.9	130	129.2	129	145.2	145	112.2	112	102.2	102
Rata - Rata	128.2	128.2	131.0	130.9	147.4	147.3	111.3	111.3	100.8	100.8

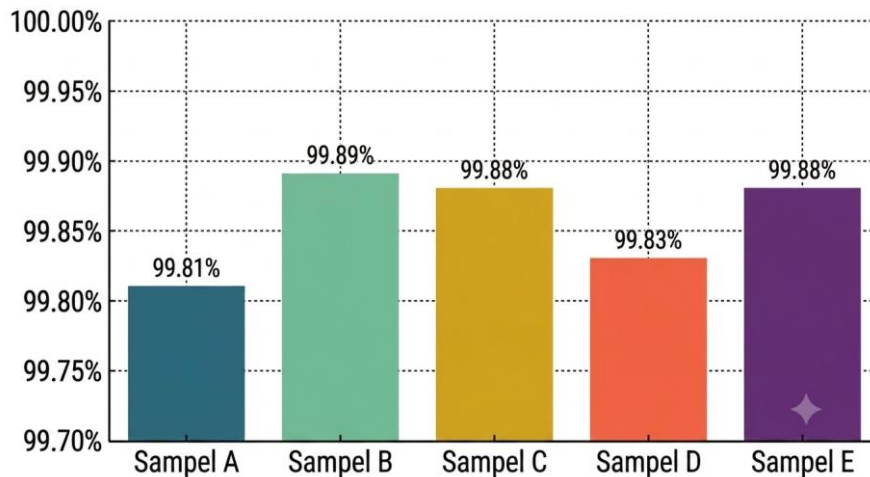
Keterangan :

S = Nilai Pengukuran Sensor

R = Nilai Pengukuran Alat Referensi

Berdasarkan data hasil pengujian pembacaan sensor TDS yang disajikan pada Tabel 4. 3, evaluasi kinerja sensor TDS dilakukan melalui dua parameter utama, yaitu akurasi dan presisi. Pada aspek akurasi, perhitungan akurasi dilakukan dengan menggunakan persamaan akurasi (3.1) pembacaan sensor TDS menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap alat ukur referensi. Nilai rata-rata pembacaan sensor pada sampel Sampel air A (128,2 mg/L), Sampel air D (111,3 mg/L), dan Air Galon B (100,8 mg/L) bernilai sama persis dengan alat referensi. Sementara itu, pada sampel Sampel air E dan Sampel air C, perbandingan nilai rata-rata sensor dan referensi hanya memiliki selisih sebesar 0,1 mg/L, yaitu 131,0 mg/L berbanding 130,9 mg/L serta 147,4 mg/L berbanding 147,3 mg/L.

Pada aspek presisi, sensor TDS memperlihatkan konsistensi pengukuran yang stabil selama 20 kali pengujian berulang pada setiap sampel air. Hasil pembacaan tidak mengalami fluktuasi mendadak dan tetap stabil di sekitar nilai rata-ratanya. Dengan demikian, sensor TDS terbukti memiliki akurasi serta presisi yang baik, sehingga layak diaplikasikan dalam sistem pemantauan kualitas air secara *real-time*.



Gambar 4. 7 Grafik Persentase Akurasi Sensor TDS pada Berbagai Sampel Air

Berdasarkan Gambar 4. 7, terlihat jelas bahwa sensor TDS memiliki tingkat presisi dan akurasi yang sangat tinggi di semua jenis air uji. Stabilitasnya performa sensor ini membuktikan bahwa alat dapat diandalkan untuk mendeteksi kandungan padatan terlarut (*Total Dissolved Solids*) dalam berbagai kondisi sampel tanpa terpengaruh perbedaan karakteristik airnya.

Pengujian nilai TDS ini sendiri sangat penting bagi masyarakat pengguna air. Jika nilainya TDS terlalu tinggi dan melewati batas aman, air biasanya terasa payau, gampang merusak perabotan karena menimbulkan kerak, dan dalam jangka panjang bisa memicu masalah kesehatan seperti batu ginjal. Sebaliknya, nilai TDS yang rendah menunjukkan bahwa kandungan zat terlarut dalam air sangat sedikit. Hal ini umumnya terjadi karena air telah melewati proses penyaringan yang ketat. Dengan pembacaan sensor yang stabil ini, pengguna bisa lebih yakin dan cepat tahu apakah air di rumah mereka memang aman untuk diminum atau dipakai sehari-hari.

4.2.4 Pengujian Sensor Konduktivitas

Pengujian sensor konduktivitas dilakukan untuk mengukur kadar besi (Fe) dalam satuan mg/L pada lima jenis sampel air yang berbeda. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi. Pengambilan data dilakukan sebanyak 20 kali percobaan untuk setiap sampel air guna mengetahui tingkat akurasi dan presisi dari sensor konduktivitas yang digunakan. Hasil data pengukuran tersebut disajikan secara lengkap pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Pembacaan Sensor Konduktivitas pada Berbagai Sampel Air

Sampel	A		B		C		D		E	
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
1	0.05	0.05	0.05	0.10	1.58	1.6	0.10	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.05	0.05	0.10	1.60	1.6	0.05	0.05	0.10	0.05
3	0.10	0.05	0.10	0.10	1.55	1.6	0.05	0.05	0.10	0.05
4	0.05	0.05	0.05	0.10	1.58	1.6	0.10	0.05	0.10	0.05
5	0.10	0.05	0.10	0.10	1.58	1.6	0.10	0.1	0.05	0.05
6	0.05	0.05	0.05	0.05	1.58	1.6	0.05	0.05	0.05	0.05
7	0.05	0.05	0.05	0.05	1.58	1.6	0.10	0.05	0.10	0.05
8	0.05	0.05	0.05	0.10	1.55	1.6	0.05	0.05	0.05	0.05
9	0.10	0.05	0.05	0.10	1.58	1.6	0.10	0.1	0.05	0.10
10	0.05	0.05	0.10	0.10	1.60	1.65	0.05	0.1	0.10	0.05
11	0.05	0.05	0.05	0.05	1.58	1.6	0.05	0.05	0.05	0.10
12	0.05	0.05	0.05	0.10	1.58	1.6	0.10	0.05	0.10	0.05
13	0.10	0.05	0.05	0.10	1.60	1.6	0.05	0.05	0.05	0.05
14	0.05	0.05	0.05	0.10	1.58	1.65	0.05	0.1	0.10	0.05
15	0.10	0.05	0.05	0.10	1.60	1.6	0.05	0.1	0.10	0.05
16	0.05	0.05	0.05	0.10	1.58	1.6	0.05	0.05	0.05	0.10
17	0.10	0.1	0.05	0.10	1.55	1.6	0.10	0.05	0.10	0.05
18	0.05	0.05	0.05	0.10	1.58	1.6	0.05	0.05	0.05	0.05
19	0.10	0.05	0.05	0.10	1.60	1.6	0.05	0.05	0.10	0.10
20	0.05	0.05	0.05	0.10	1.58	1.6	0.10	0.05	0.05	0.05
RATA-RATA	0.07	0.05	0.06	0.09	1.58	1.61	0.07	0.06	0.08	0.06

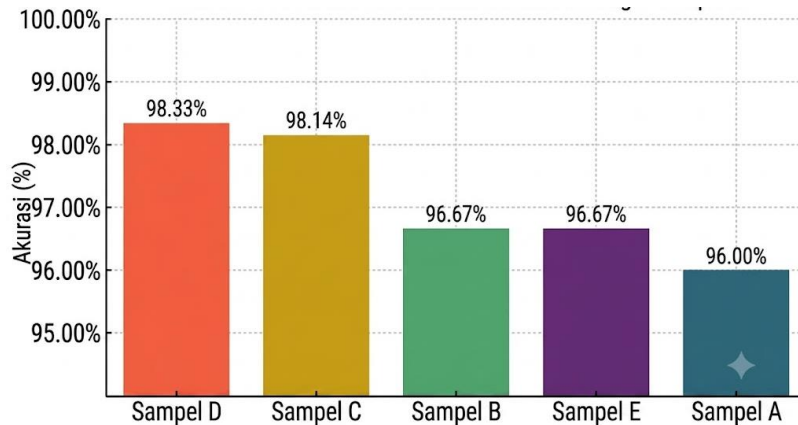
Keterangan :

S = Nilai Pengukuran Sensor

R = Nilai Pengukuran Alat Referensi

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4. 4, evaluasi kinerja sensor konduktivitas dalam mengukur kadar besi dilakukan melalui dua parameter utama, yaitu akurasi dan presisi. Pada aspek akurasi, perhitungan akurasi dilakukan dengan menggunakan persamaan (3.1) dengan pembacaan sensor konduktivitas menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik terhadap alat ukur referensi. Nilai rata-rata pembacaan sensor pada sampel Sampel air A adalah 0,07 mg/L berbanding 0,05 mg/L pada referensi, Sampel air B sebesar 0,06 mg/L berbanding 0,09 mg/L, dan Sampel air C sebesar 1,58 mg/L berbanding 1,61 mg/L. Sementara itu, pada sampel air D dan sampel air E, nilai rata-rata pembacaan sensor berturut-turut

mencatatkan 0,07 mg/L dan 0,08 mg/L dibanding alat referensi yang bernilai 0,06 mg/L. Pada aspek presisi, sensor konduktivitas memperlihatkan konsistensi pengukuran yang sangat stabil selama 20 kali pengujian berulang pada setiap sampel air.



Gambar 4. 8 Grafik Persentase Akurasi Sensor Konduktivitas pada Berbagai Sampel Air

Berdasarkan Gambar 4. 8 tersebut, sensor menunjukkan tingkat presisi dan akurasi yang tinggi dalam mendeteksi kadar besi 96,00% pada seluruh sampel air uji. Konsistensi pembacaan ini membuktikan bahwa sensor mampu bekerja secara stabil di berbagai variasi kondisi sampel tanpa terpengaruh perbedaan karakteristik airnya. Pengukuran kadar besi ini sangat penting dilakukan karena dampaknya yang langsung dirasakan oleh pengguna air. Secara fisik, kandungan besi berlebih menyebabkan air berwarna kekuningan, keruh, berbau amis logam, serta meninggalkan noda karat pada pakaian dan peralatan rumah tangga. Dari segi kesehatan, penggunaan air dengan kandungan besi tinggi dapat memicu iritasi kulit, gangguan pencernaan, hingga potensi penumpukan logam berlebih dalam organ tubuh jika tertelan secara terus-menerus. Sebaliknya, kadar besi yang rendah menandakan air bebas dari kontaminasi korosi pipa atau resapan tanah berkarat, serta mengindikasikan bahwa sistem filtrasi bekerja dengan baik. Oleh karena itu, performa sensor yang stabil ini sangat penting untuk memastikan air yang digunakan masyarakat benar-benar aman bagi kesehatan maupun sanitasi harian.

4.2.5 Pengujian Sensor Kekeruhan

Pengujian sensor *Turbidity* dilakukan untuk mengukur tingkat kekeruhan air dalam satuan NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) pada lima jenis sampel air yang

berbeda. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi (Photometer ZE-200). Pengambilan data dilakukan sebanyak 20 kali percobaan untuk setiap sampel air guna mengetahui tingkat akurasi dan presisi dari sensor *Turbidity* yang digunakan. Hasil data pengukuran tersebut disajikan secara lengkap pada Tabel 4. 5 berikut.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Pembacaan Sensor *Turbidity* pada Berbagai Sampel Air

Pengujian ke	Sampel A		Sampel B		Sampel C		Sampel D		Sampel E	
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
1	0.2	0	0.5	0	4.2	4.0	0.1	0	0.0	0
2	0.0	0	0.0	0	3.8	4.0	0.0	0	0.1	0
3	0.0	0	0.5	0	4.1	4.0	0.2	0	0.5	0
4	0.2	0	0.3	0	3.9	4.0	0.3	0	0.3	0
5	0.0	0	0.0	0	4.2	4.0	0.0	0	0.0	0
6	0.1	0	0.5	0	4.0	4.0	0.1	0	0.1	0
7	0.0	0	0.0	0	4.2	4.0	0.0	0	0.0	0
8	0.2	0	0.3	0	4.1	4.0	0.3	0	0.2	0
9	0.0	0	0.0	0	4.2	4.0	0.0	0	0.0	0
10	0.0	0	0.0	0	4.0	4.0	0.0	0	0.0	0
11	0.2	0	0.0	0	4.2	4.0	0.0	0	0.1	0
12	0.3	0	0.3	0	3.9	4.0	0.3	0	0.2	0
13	0.1	0	0.0	0	4.2	4.0	0.0	0	0.0	0
14	0.0	0	0.0	0	3.9	4.0	0.0	0	0.0	0
15	0.2	0	0.2	0	4.0	4.0	0.2	0	0.2	0
16	0.4	0	1.0	0	3.8	4.0	0.5	0	1.0	0
17	0.0	0	0.0	0	4.2	4.0	0.0	0	0.0	0
18	0.0	0	0.0	0	4.0	4.0	0.0	0	0.1	0
19	0.0	0	0.0	0	3.9	4.0	0.2	0	0.0	0
20	0.0	0	0.0	0	4.0	4.0	0.0	0	0.2	0
RATA-RATA	0.1	0.0	0.2	0.0	4.0	4.0	0.1	0.0	0.2	0.0

Keterangan :

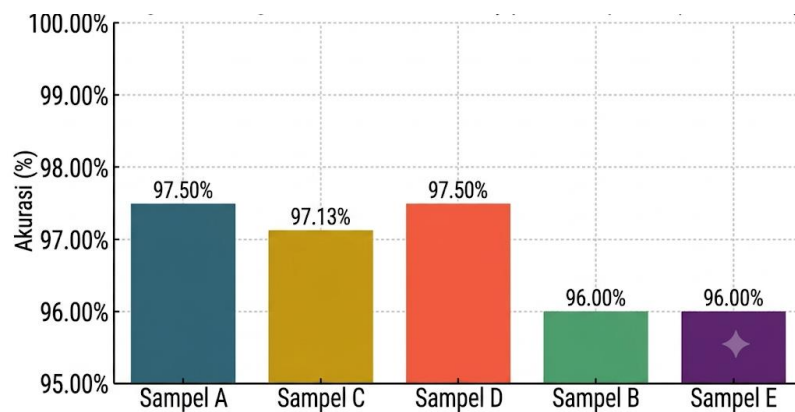
S = Nilai Pengukuran Sensor

R = Nilai Pengukuran Alat Referensi

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4. 5, evaluasi kinerja sensor *Turbidity* dilakukan melalui dua parameter utama, yaitu akurasi dan presisi. Pada aspek akurasi, perhitungan akurasi dilakukan dengan menggunakan persamaan (3.1) pembacaan sensor *Turbidity* menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi

terhadap alat ukur referensi. Nilai rata-rata pembacaan sensor pada sampel sampel air C bernilai 4,0 NTU, sama persis dengan rata-rata alat referensi (4,0 NTU). Sementara itu, pada sampel dengan nilai referensi 0,0 NTU (Air Jernih), sensor mampu membaca pembacaan yang sangat mendekati nilai sebenarnya, yaitu dengan rata-rata sebesar 0,1 NTU pada sampel air A dan sampel air D, serta 0,2 NTU pada sampel air B dan sampel air E.

Pada aspek presisi, sensor *Turbidity* memperlihatkan konsistensi pengukuran yang stabil selama 20 kali pengujian berulang pada setiap sampel air. Hasil pembacaan angka berada dalam variasi yang sangat minim di sekitar nilai rata-ratanya tanpa mengalami fluktuasi yang drastis. Dengan demikian, sensor *Turbidity* terbukti memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik dalam mengukur kekeruhan air.



Gambar 4. 9 Grafik Persentase Akurasi Sensor *Turbidity* pada Berbagai Sampel Air

Berdasarkan Gambar 4. 9 tersebut, tingkat kekeruhan (*turbidity*) sendiri merupakan salah satu parameter fisik paling kritis yang wajib dipantau oleh pengguna air. Kekeruhan yang tinggi umumnya dipicu oleh paparan material halus seperti endapan tanah, partikel organik, hingga limbah yang terlarut. Selain menurunkan standar kualitas air dan menyebabkan rasa enggan saat menggunakannya, air yang keruh kerap memicu masalah kesehatan seperti gatal-gatal pada kulit serta penyakit pencernaan akibat bakteri yang menempel pada partikel lumpur tersebut. Di sisi lain, nilai kekeruhan yang rendah mengindikasikan bahwa air berada dalam kondisi jernih dan higienis. Rendahnya tingkat kekeruhan ini menjadi bukti bahwa proses penyaringan air berjalan optimal atau sumber air yang digunakan bebas dari resapan lumpur dan pencemaran tanah. Dengan

keakuratan pembacaan sensor yang terjaga ini, kelayakan fisik air dapat dipastikan secara cepat dan tepat sebelum dimanfaatkan untuk kebutuhan harian.

4.2.6 Pengujian LED Pada Setiap Sensor

Pengujian indikator LED dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu memberikan peringatan visual secara akurat berdasarkan kondisi setiap parameter kualitas air yang dibaca oleh sensor. Indikator LED dirancang untuk berada dalam kondisi padam apabila nilai parameter kualitas air berada dalam batas normal, serta menyala sebagai sinyal peringatan apabila pembacaan parameter berada di luar batas aman.



Gambar 4. 10 LED *OFF* Dalam Kondisi Kualitas Air dalam Range

Berdasarkan Gambar 4. 10, layar LCD menampilkan indikasi OK pada parameter yang berada dalam batas toleransi normal, seperti nilai pH sebesar 8,00, Suhu 30,4 °C, TDS 0,0 mg/L, dan Konduktivitas 0,05 mg/L. Pada kondisi ini, seluruh lampu LED indikator pada panel box tetap dalam keadaan padam, menandakan tidak adanya ancaman atau penyimpangan kualitas air. Sebaliknya, pengujian dilanjutkan dengan mengondisikan sampel air di luar batas aman untuk menguji respon indikator LED, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. 11.



Gambar 4. 11 LED ON Dalam Kondisi Kualitas Air di Luar Range

Pada Gambar 4. 11, terlihat bahwa layar LCD menampilkan simbol peringatan pada parameter yang melebihi batas aman, yaitu nilai pH mencapai 9,07, *Turbidity* 620,4 NTU, dan Konduktivitas 8,60 mg/L. Sebagai respon, sistem secara otomatis mengaktifkan dan menyalakan lampu LED merah pada jalur indikator yang sesuai dengan parameter bermasalah tersebut.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini membuktikan bahwa indikator LED dan sistem peringatan visual (*early warning system*) pada alat pemantau kualitas air telah berfungsi dengan akurat, responsif, dan sesuai dengan logika pemrograman yang ditetapkan.

4.3 Pengujian Keseluruhan

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk memastikan keberhasilan fungsi antara perangkat keras, pembacaan sensor, indikator visual, dan pengiriman data secara nirkabel. Prosedur pengujian dimulai dengan mengalirkan sampel air dari kran masuk yang dibagi ke dalam tiga jalur *chamber* terpisah dengan jarak satu meter antar setiap *chamber*. Jalur *chamber* pertama digunakan untuk penempatan sensor konduktivitas (mengukur kadar Fe) dan sensor kekeruhan (*Turbidity*). Jalur *chamber* kedua difungsikan untuk menempatkan sensor suhu (DS18B20) dan sensor pH. Jalur *chamber* ketiga dikhususkan untuk penempatan sensor TDS. Setelah seluruh wadah *chamber* tersebut terisi penuh hingga merendam masing-masing sensor, alat ukur diaktifkan dengan menekan *switch* utama pada *box* panel. Susunan perangkat beserta *chamber* saat pengambilan data berlangsung ditunjukkan pada Gambar 4. 12.



Gambar 4. 12 Kondisi Perangkat dan Susunan *Chamber* Saat Pengujian di Lapangan

Pada Gambar 4. 12 alat memulai dengan menerima daya dengan menghidupkan *switch*, sistem memasuki tahap inisialisasi komponen. Pada fase awal ini, kelima LED indikator parameter kualitas air diaktifkan bersamaan selama 1 detik sebagai prosedur pengujian mandiri (*self-test*) untuk memastikan setiap LED berfungsi sebelum kembali padam. Perangkat saat melakukan pengujian mandiri (*self-test*) komponen indikator ini dapat dilihat pada Gambar 4. 13.



Gambar 4. 13 Tahap Pengujian Mandiri (*Self-Test*) LED Indikator Perangkat

Selanjutnya, dari Gambar 4. 13 mikrokontroler ESP32 mengaktifkan modul WiFi untuk menghubungkan sistem ke jaringan internet melalui SSID yang telah dikonfigurasi. Tampilan fisik perangkat saat mendeteksi dan menghubungkan ke jaringan internet tersebut ditunjukkan pada Gambar 4. 14.



Gambar 4. 14 Perangkat Saat Menghubungkan ke Jaringan WiFi

Setelah koneksi internet terhubung yang ditunjukkan pada Gambar 4. 14, sistem langsung memulai proses pemantauan secara berkala. Dalam operasionalnya, alat ukur ini bekerja menggunakan metode penanganan waktu *non-blocking* berbasis fungsi *millis()*. Data hasil pembacaan seluruh sensor ditampilkan pada layar LCD 20x4 dan dikirimkan ke *platform cloud Thinkspeak* secara *real-time* setiap 20 detik sekali (sesuai konstanta $IV_TS = 20000$). Data dikirimkan secara paralel mencakup nilai pH pada *Field 1*, Suhu pada *Field 2*, TDS pada *Field 3*, *Turbidity* pada *Field 4*, dan Konduktivitas pada *Field 5*. Bersamaan dengan itu, status aktif atau padam pada LED indikator diperbarui setiap 0,5 detik guna memberikan respons visual apabila terdapat parameter air yang berada di luar ambang batas aman.

Melalui proses tersebut pengujian dilakukan, pengujian dilakukan terhadap sampel air untuk mengetahui kondisi riil dari setiap parameter kualitas air yang diukur. Seluruh hasil pembacaan sensor yang telah stabil kemudian dicatat secara sistematis untuk dianalisis kesesuaiannya dengan standar yang berlaku. Data hasil pengukuran yang mencakup nilai pH, suhu, total padatan terlarut (TDS), tingkat kekeruhan (*Turbidity*), serta konduktivitas untuk mengukur kadar besi pada sampel air tersebut secara terperinci ditampilkan pada Tabel 4. 6

Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Parameter Kualitas Sampel Air D

SPL	Sensor					Nilai Referensi				
	Suhu	pH	TDS	Fe	TUR	Suhu	pH	TDS	Fe	TUR
1	30.1	7.38	112.2	0.10	0.1	31.2	7.67	112	0.05	0
2	30.3	7.39	111.8	0.05	0.0	31.2	7.67	112	0.05	0

SPL	Sensor					Nilai Referensi				
	Suhu	pH	TDS	Fe	TUR	Suhu	pH	TDS	Fe	TUR
3	30.1	7.28	110.1	0.05	0.2	31.2	7.55	110	0.05	0
4	30.2	7.22	112.2	0.10	0.3	31.2	7.5	112	0.05	0
5	30.1	7.21	109.8	0.10	0.0	31.2	7.5	110	0.1	0
6	30.2	7.23	112.1	0.05	0.1	31.2	7.5	112	0.05	0
7	30.7	7.24	110.3	0.10	0.0	31.8	7.52	110	0.05	0
8	30.6	7.25	109.7	0.05	0.3	31.8	7.52	110	0.05	0
9	30.1	7.24	112.2	0.10	0.0	31.2	7.52	112	0.1	0
10	30.2	7.25	111.9	0.05	0.0	31.2	7.52	112	0.1	0
11	30.1	7.27	112.4	0.05	0.0	31.2	7.55	112	0.05	0
12	30.2	7.28	111.7	0.10	0.3	31.2	7.55	112	0.05	0
13	30.1	7.26	109.8	0.05	0.0	31.2	7.55	110	0.05	0
14	30.2	7.27	112.1	0.05	0.1	31.2	7.55	112	0.1	0
15	30.7	7.28	111.8	0.05	0.0	31.8	7.55	112	0.1	0
16	30.7	7.26	112.3	0.05	0.0	7.55	31.2	112	0.05	0
17	30.7	7.27	108.8	0.10	0.2	7.55	31.2	109	0.05	0
18	30.7	7.38	112.2	0.05	0.5	7.66	31.2	112	0.05	0
19	30.6	7.37	109.9	0.05	0.0	7.66	31.2	110	0.05	0
20	30.7	7.39	112.2	0.10	0.0	7.66	31.2	112	0.05	0

Keterangan :

SPL : Sampel

Suhu : Nilai pengukuran suhu

pH : Nilai pengukuran kadar Ph

TDS : Nilai pengukuran TDS

Fe : Nilai pengukuran kadar zat besi (Fe)

TUR : Nilai pengukuran kekeruhan

Melalui proses pengujian tersebut, pengujian dilakukan terhadap sampel air D untuk mengetahui kondisi riil dari setiap parameter kualitas air yang diukur. Seluruh hasil pembacaan sensor yang telah stabil kemudian dicatat secara sistematis untuk dianalisis kesesuaiannya dengan standar yang berlaku. Data hasil pengukuran yang mencakup nilai suhu, pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), kadar besi (Fe)

berbasis konduktivitas, serta kekeruhan (*Turbidity*) pada sampel air galon kemasan A secara terperinci ditampilkan pada Tabel 4. 6.

Berdasarkan data Tabel 4. 6, hasil pengujian sebanyak 20 kali pengulangan pada sampel air D menunjukkan dapat disimpulkan bahwa air ini memiliki kualitas yang sangat baik dan sepenuhnya layak untuk digunakan. Semua indikator yang diuji menunjukkan angka yang masuk dalam batas aman standar air bersih. Suhu air terukur pada rentang yang wajar dan sesuai dengan kondisi lingkungan sekitar. Nilai pH-nya juga berada di tingkat netral, yang artinya air tidak bersifat asam ataupun terlalu basa, sehingga aman dan tidak akan menyebabkan iritasi pada kulit. Dari sisi kejernihan, nilai TDS dan kekeruhan (*turbidity*) berada di level yang sangat rendah. Ini menandakan air dalam kondisi bening, bersih, serta bebas dari lumpur maupun partikel kotoran melayang. Begitu juga dengan kandungan besinya (Fe), nilainya tercatat sangat kecil dan berada jauh di bawah batas maksimum standar air bersih (< 0.2 mg/L). Kandungan besi yang sangat rendah ini memastikan air tidak berbau karat, tidak berwarna kekuningan, dan tidak merusak perabotan rumah tangga. Secara keseluruhan, kombinasi dari seluruh hasil parameter ini membuktikan bahwa sampel Air D memenuhi standar kualitas air dan aman dipakai untuk kebutuhan sanitasi maupun aktivitas harian.

Selain pengujian pembacaan sensor, dilakukan pula pengujian tingkat akurasi pengiriman data dari mikrokontroler ESP32 ke *platform IoT Thingspeak* secara nirkabel dengan interval pengiriman setiap 20 detik. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan tidak ada data yang hilang (*packet loss*) atau mengalami perubahan nilai (*data corruption*) selama proses transmisi dari lokal (tampilan LCD) ke basis data *cloud*.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Transmisi Data Kualitas Air pada LCD dan *Thingspeak*

SPL	LCD					THINGSPEAK				
	Suhu	pH	TDS	Fe	TUR	Suhu	pH	TDS	Fe	TUR
1	30.1	7.38	112.2	0.1	0.1	30.1	7.38	112.2	0.1	0.1
2	30.3	7.39	111.8	0.05	0	30.3	7.39	111.8	0.05	0
3	30.1	7.28	110.1	0.05	0.2	30.1	7.28	110.1	0.05	0.2
4	30.2	7.22	112.2	0.1	0.3	30.2	7.22	112.2	0.1	0.3
5	30.1	7.21	109.8	0.1	0	30.1	7.21	109.8	0.1	0
6	30.2	7.23	112.1	0.05	0.1	30.2	7.23	112.1	0.05	0.1

SPL	LCD					THINKSPEAK				
	Suhu	pH	TDS	Fe	TUR	Suhu	pH	TDS	Fe	TUR
7	30.7	7.24	110.3	0.1	0	30.7	7.24	110.3	0.1	0
8	30.6	7.25	109.7	0.05	0.3	30.6	7.25	109.7	0.05	0.3
9	30.1	7.24	112.2	0.1	0	30.1	7.24	112.2	0.1	0
10	30.2	7.25	111.9	0.05	0	30.2	7.25	111.9	0.05	0
11	30.1	7.27	112.4	0.05	0	30.1	7.27	112.4	0.05	0
12	30.2	7.28	111.7	0.1	0.3	30.2	7.28	111.7	0.1	0.3
13	30.1	7.26	109.8	0.05	0	30.1	7.26	109.8	0.05	0
14	30.2	7.27	112.1	0.05	0.1	30.2	7.27	112.1	0.05	0.1
15	30.7	7.28	111.8	0.05	0	30.7	7.28	111.8	0.05	0
16	30.7	7.26	112.3	0.05	0	30.7	7.26	112.3	0.05	0
17	30.7	7.27	108.8	0.1	0.2	30.7	7.27	108.8	0.1	0.2
18	30.7	7.38	112.2	0.05	0.5	30.7	7.38	112.2	0.05	0.5
19	30.6	7.37	109.9	0.05	0	30.6	7.37	109.9	0.05	0
20	30.7	7.39	112.2	0.1	0	30.7	7.39	112.2	0.1	0

Keterangan :

SPL : Sampel

Suhu : Nilai pengukuran suhu

pH : Nilai pengukuran kadar Ph

TDS : Nilai pengukuran TDS

Fe : Nilai pengukuran kadar zat besi (Fe)

TUR : Nilai pengukuran kekeruhan

Berdasarkan data Tabel 4. 7 hasil pengujian 20 kali percobaan pengiriman yang ditunjukkan pada tabel di atas, seluruh parameter kualitas air yang meliputi suhu, pH, TDS, kadar besi (Fe), dan kekeruhan (*Turbidity*) yang ditampilkan pada layar LCD bernilai sama persis 100% dengan data yang diterima pada server *Thinkspeak*. Selisih atau *error* pengiriman antar kedua media bernilai 0,0. Hal ini membuktikan bahwa transmisi data IoT pada sistem memiliki tingkat akurasi pengiriman sebesar 100,00% dengan jeda waktu penulisan data yang stabil setiap

20 detik, sehingga sistem pemantauan berbasis *cloud* terbukti sangat andal untuk komunikasi data jarak jauh secara *real-time*.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap sistem monitoring kualitas air berbasis ESP32, dapat disimpulkan bahwa:

1. Seluruh sensor yang terintegrasi mampu memberikan tingkat akurasi yang tinggi pada sampel air yang diuji, dengan tingkat akurasi tertinggi dicapai oleh sensor TDS sebesar 99,83%. Selanjutnya, sensor kekeruhan (*Turbidity*) mencatatkan akurasi sebesar 97,50%, diikuti oleh sensor suhu (DS18B20) sebesar 96,47%, serta sensor kadar besi (Fe) berbasis konduktivitas dengan akurasi berkisar antara 96,00% hingga 98,33%. Sementara itu, sensor pH juga memperlihatkan tingkat keandalan yang baik dengan hasil akurasi sebesar 94,97%.
2. Pengiriman data dari mikrokontroler ESP32 ke server *Thinkspeak* berjalan sangat stabil dengan tingkat akurasi transmisi data sebesar 100%. Data pembacaan pada layar LCD lokal akurat dengan data yang diterima pada server *Thinkspeak* tanpa adanya *packet loss* pada interval pengiriman data setiap 20 detik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan keterbatasan sistem yang ditemukan selama penelitian, beberapa saran yang dapat diajukan untuk pengembangan selanjutnya adalah:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan fitur notifikasi aktif di setiap ambang batas sensor kualitas air. Sistem ini dapat diintegrasikan dengan *platform* pesan digital atau aplikasi seluler untuk memberikan peringatan instan secara jarak jauh ketika parameter air terdeteksi berada di luar batas aman.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan mekanisme aksi otomatis pada perangkat ketika indikator LED menyala, yang menandakan

kondisi air tidak layak minum. Aksi responsif tersebut dapat dikembangkan berupa sistem penutupan katup otomatis (*solenoid valve*) untuk menghentikan aliran air, atau mengaktifkan pompa penyaringan sekunder guna memulihkan parameter air secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Helena Manurung, C. T., Arifin, J., Syifa, F. T., & Rochmanto, R. A. (2022). Pemanfaatan ESP32 Sebagai Sistem Pemantauan Kualitas Air Keran Siap Minum Secara *Real-time* Menggunakan Aplikasi. *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, 4(2), 93–98. <https://doi.org/10.20895/jtece.v4i2.535>
- Hidayat, M. S., Pambudi, D. S. A., & Nugraha, A. T. (2022). Sistem Monitoring Air Compressor pada Sistem Pendistribusian Udara Berbasis IoT. *Elektriese: Jurnal Sains Dan Teknologi Elektro*, 12(02), 126–140. <https://doi.org/10.47709/elektriese.v12i02.1944>
- Melangi, S., Asri, M., & Hulukati, S. A. (2022). Sistem Monitoring Informasi Kualitas dan Kekeruhan Air Tambak Berbasis *Internet Of Things*. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(1), 77–82. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i1.12061>
- Nadhira, V., Juliastuti, E., Ilham Fauzy, L., & Tri Widodo, R. (2017). Alat Ukur Portabel Kadar Logam Mangan dan Besi dalam Air Menggunakan Prinsip Spektrofotometer. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 9(2), 71. <https://doi.org/10.5614/joki.2017.9.2.1>
- Nuantra, V. A., Mahmudah, M. J., Hanif, A. C., Fadillah, R., Sacky, R., Kristanto, W., & Yuamita, F. (2022). Faktor Usability Testing Terhadap Penggunaan Presensi Di Web SIA UTY. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 1(3), 173–182.
- Politeknik Caltex Riau. (2026). <https://pcr.ac.id/profil/organisasi>
- Pratmanto, D., Ardiansyah, A., Widodo, A. E., & Titiani, F. (2019). Pembuatan Alat Pendeteksi Kadar Logam Pada Air Berbasis Aduino Uno. *EVOLUSI - Jurnal Sains Dan Manajemen*, 7(1), 29–34. <https://doi.org/10.31294/evolusi.v7i1.5013>
- Rasjid, N., Indra, I., & Alfikri, M. (2022). Rancangan Alat Monitoring Air Layak Konsumsi Berbasis Mikrokontroler. *PHYDAGOGIC: Jurnal Fisika Dan Pembelajarannya*, 4(2), 74–82. <https://doi.org/10.31605/phy.v4i2.1636>
- Rezki, R., Nugroho, B. S., & Nurhasanah, N. (2021). Rancang Bangun Alat Ukur Kualitas Air Berdasarkan pH Air dan Kekeruhan. *Prisma Fisika*, 9(3), 297. <https://doi.org/10.26418/pf.v9i3.51573>
- Santaefiigenia. (2017). *How to use a PH probe and sensor*. 6, 0–5.
- SHELEMO, A. A. (2023). No Title. *Nucl. Phys.*, 13(1), 104–116.
- Technology, H. (2019). I2C Serial Interface 20x4 LCD Module. *Datasheet LCD 20X4 I2C Serial Interface*, 1–26.

- Ucmariance, Herdianto, Anugrah, F., Rizal, C., & Supiyandi. (2022). Sistem Monitoring Kualitas Air Layak Pakai Menggunakan Arduino Uno. *Bulletin of Information Technology (BIT)*, 3(2), 100–105. <https://doi.org/10.47065/bit.v3i2.277>
- Ramadhani, A. D., Ningsih, N., Nurcahya, A., & Azizah, N. (2023). Klasifikasi dan monitoring kualitas udara dalam ruangan menggunakan *Thinkspeak*. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, 10(1), 1-5.
- Aulia, A. G. P. (2024). *RANCANG BANGUN ALAT MONITORING KUALITAS AIR SUNGAI SIAK BERBASIS IoT (INTERNET OF THINGS) DI PT. TIRTA MADANI* (Doctoral dissertation, Politeknik Caltex Riau).
- Akbar, S. A., Kalbuadi, D. B., & Yudhana, A. (2019). Online monitoring kualitas air waduk berbasis *Thinkspeak*. *Transmisi Jurnal Teknik Elektro*, 21(4), 109-115.

LAMPIRAN A

Dokumentasi

