

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING KELAYAKAN AIR MINUM BERBASIS IOT DENGAN FUZZY TSUKAMOTO PADA MATA AIR DESA SUKAMAJU

Riska Nurhayan ^{1*}, Mohammad Bayu Anggara ²

^{1,2} Teknik Informatika, Universitas Bale Bandung, Bandung, Indonesia.

Email: nurhayanriskas59@gmail.com*

ABSTRAK

Air layak konsumsi merupakan kebutuhan dasar manusia yang penting bagi kesehatan, namun banyak wilayah pedesaan seperti Desa Sukamaju belum memiliki sistem pemantauan kualitas air secara real-time sesuai standar kesehatan. Penilaian kelayakan air umumnya masih subjektif tanpa indikator ilmiah yang pasti. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas air minum berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan empat parameter utama: pH, TDS, kekeruhan, dan suhu. Sistem menggunakan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* untuk menentukan tingkat kelayakan air secara otomatis melalui dashboard web yang mudah diakses. Panel surya digunakan sebagai sumber energi mandiri, serta disertai fitur notifikasi *WhatsApp* untuk peringatan dini. Pengembangan sistem mengikuti metode *Waterfall*, dengan data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan studi literatur. Hasil implementasi menunjukkan sistem dapat bekerja dengan baik dalam menampilkan data sensor dan mengklasifikasikan kualitas air secara otomatis. Berdasarkan uji lapangan di dua sumber mata air, seluruh sampel terklasifikasi sebagai "Layak Minum" dengan rata-rata tingkat *error* sensor 15,17% (pH), 52,20% (TDS), dan 6,83% (suhu). Sistem ini berpotensi menjadi solusi awal pemantauan kualitas air di pedesaan, meskipun tetap diperlukan verifikasi laboratorium untuk parameter mikrobiologis dan kimia yang lebih kompleks.

Kata Kunci: *Fuzzy Tsukamoto; Internet of Things; Kualitas Air Minum; Monitoring, Waterfall*

ABSTRACT

Safe and potable water is a basic human need essential for public health. However, many rural areas such as Sukamaju Village still lack a real-time water quality monitoring system that meets health standards. Water feasibility assessments are often conducted subjectively without clear scientific indicators. This study aims to design and implement an *Internet of Things* (IoT)-based water quality monitoring system using four main physicochemical parameters: pH, TDS, turbidity, and temperature. The system employs the *Fuzzy Tsukamoto* algorithm to automatically classify water feasibility through an accessible web-based dashboard. A solar panel is used as an independent power source, while a *WhatsApp* notification feature provides early warnings when water quality exceeds threshold limits. The system was developed using the *Waterfall* method, with data collected through observation, interviews, and literature studies. The implementation results show that the system operates effectively in displaying sensor data and classifying water quality automatically. Field tests on two water sources indicated that all samples were categorized as "Safe for Drinking", with an average sensor error rate of 15.17% (pH), 52.20% (TDS), and 6.83% (temperature). This system serves as an initial solution for community-based water quality monitoring, though further laboratory validation is required for more complex microbiological and chemical parameters.

Keywords: *Fuzzy Tsukamoto; Internet of Things; Drinking Water Quality; Monitoring, Waterfall*

1. Pendahuluan

Air bersih layak minum merupakan kebutuhan dasar manusia dan menjadi indikator penting kesehatan masyarakat (UNICEF Indonesia, 2023). Namun, banyak wilayah pedesaan di Indonesia belum memiliki sistem pemantauan kualitas air secara ilmiah dan real-time, sehingga penilaian kualitas air masih bersifat subjektif. Kondisi ini berpotensi menimbulkan risiko kesehatan akibat konsumsi air yang tidak memenuhi standar. Desa Sukamaju, sebagai daerah dengan sumber air alami, belum menerapkan mekanisme pengujian kualitas air secara berkala sesuai Permenkes No. 2 Tahun 2023 (Permenkes, 2025).

Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pengembangan sistem monitoring kualitas air secara otomatis dan *real-time* (Mahbubur Rahman et al., 2020). Untuk memberikan hasil penilaian yang lebih adaptif terhadap data gradual, metode *Fuzzy Tsukamoto* digunakan sebagai sistem pendukung keputusan (Qulub et al., 2023). Pendekatan ini memungkinkan hasil klasifikasi kelayakan air yang lebih akurat dibandingkan dengan pengamatan manual. Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan IoT dalam monitoring kualitas air, namun masih terdapat keterbatasan seperti tidak adanya integrasi metode kecerdasan komputasional, ketergantungan daya listrik, serta pengujian yang terbatas pada lingkungan prototipe (Raihan et al., 2022).

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang terintegrasi dengan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* dan sumber energi mandiri berbasis panel surya. Sistem diterapkan secara langsung pada dua titik mata air di Desa Sukamaju untuk memperoleh hasil empiris di lapangan. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam menghadirkan solusi pemantauan kualitas air yang adaptif, terjangkau, dan aplikatif bagi masyarakat pedesaan.

2. Metoda

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan model perancangan perangkat lunak Waterfall (Abdul Wahid, 2020). Model ini dipilih karena memberikan tahapan kerja yang sistematis dan terstruktur mulai dari analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, hingga pengujian sistem.

Lokasi implementasi sistem dilakukan di Desa Sukamaju, Kecamatan Talegong, Garut. Metode yang digunakan dalam perancangan ini adalah metode Waterfall yang terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu:

2.1 Analisis Kebutuhan

Menentukan kebutuhan perangkat keras (sensor pH, TDS, suhu, kekeruhan, mikrokontroler ESP32, dan panel surya) serta kebutuhan perangkat lunak (Arduino IDE, Flask, dan MySQL). Selain itu, ditentukan pula kebutuhan fungsional sistem, seperti pembacaan data sensor, klasifikasi kelayakan air, dan notifikasi otomatis.

2.2 Perancangan Sistem

Meliputi pembuatan skema rangkaian sensor dan mikrokontroler menggunakan *Fritzing*, desain antarmuka web monitoring, serta perancangan aturan *fuzzy* (Al-Faruq et al., 2022) untuk menentukan kategori air “Layak” atau “Tidak Layak”. Diagram UML digunakan untuk menggambarkan alur proses sistem.

2.3 Implementasi

Tahapan ini melibatkan pemrograman mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino IDE, integrasi sensor dengan algoritma Fuzzy Tsukamoto, serta koneksi data ke web monitoring melalui Flask. Sistem juga dihubungkan dengan API WhatsApp untuk notifikasi otomatis.

2.4 Pengujian

Pengujian dilakukan dengan tiga pendekatan: uji akurasi sensor terhadap alat ukur manual, uji fungsional menggunakan *blackbox testing*, serta uji lapangan di dua sumber mata air Desa Sukamaju untuk memastikan sistem berfungsi sesuai kebutuhan pengguna.

3. Hasil dan Pembahasan

Sistem dikembangkan mengikuti metode Waterfall, yang terdiri dari tahap analisis, perancangan, implementasi, dan pengujian.

3.1 Analisis

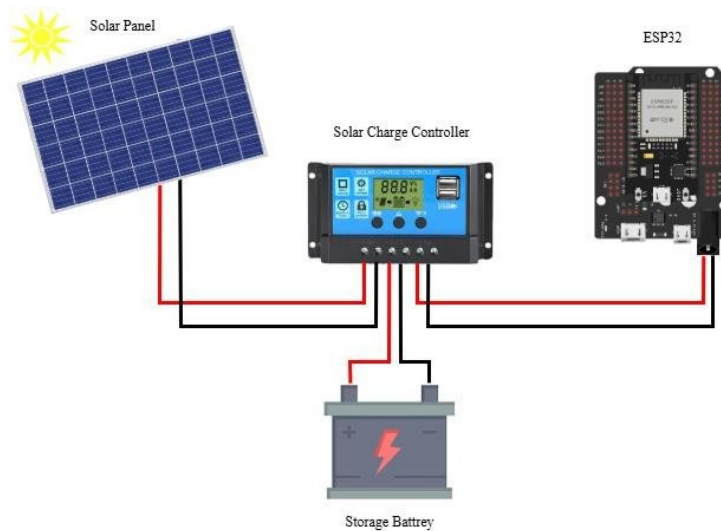
Tahap analisis dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan teknis dan fungsional sistem monitoring kelayakan air minum berbasis *Internet of Things* (IoT). Analisis mencakup empat aspek utama, yaitu permasalahan, perangkat keras, perangkat lunak, dan karakteristik pengguna. Berdasarkan hasil observasi di Desa Sukamaju, masyarakat masih menilai kelayakan air secara subjektif tanpa pengukuran ilmiah, sehingga diperlukan sistem otomatis yang mampu memantau parameter air secara *real-time*.

Analisis perangkat keras menghasilkan pemilihan komponen utama berupa ESP32 sebagai mikrokontroler pusat dengan konektivitas Wi-Fi, serta empat sensor utama pH, TDS, kekeruhan, dan suhu (DS18B20) yang berfungsi mengukur parameter fisikokimia air. Sistem juga dilengkapi panel surya dan baterai sebagai sumber energi mandiri agar dapat beroperasi di wilayah dengan keterbatasan listrik.

Analisis perangkat lunak mencakup pemilihan Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, sebagai pengguna akhir Flask (Python) sebagai framework backend, MySQL untuk penyimpanan data, serta Figma untuk perancangan antarmuka. Selain itu digunakan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* untuk klasifikasi kelayakan air, MQTT sebagai protokol komunikasi real-time, dan WhatsApp API sebagai media notifikasi otomatis kepada pengguna. Seluruh komponen ini dirancang agar terintegrasi secara efisien dan mudah diakses oleh masyarakat desa.

3.2 Perancangan

Tahap perancangan mencakup perancangan yang menggambarkan integrasi antar perangkat keras dan lunak. Selain itu perancangan ini mencakup rangkaian perangkat keras yang dibuat menggunakan aplikasi *fritzing*, serta pengembangan perangkat lunak berupa *dashboard web* yang dimodelkan melalui pendekatan UML, mencakup penyusunan *Use Case Diagram*, *Activity Diagram*, dan *Class Diagram* sebagai representasi alur dan struktur sistem.



Gambar 3. Skema Rangkaian Instalasi Solar Panel

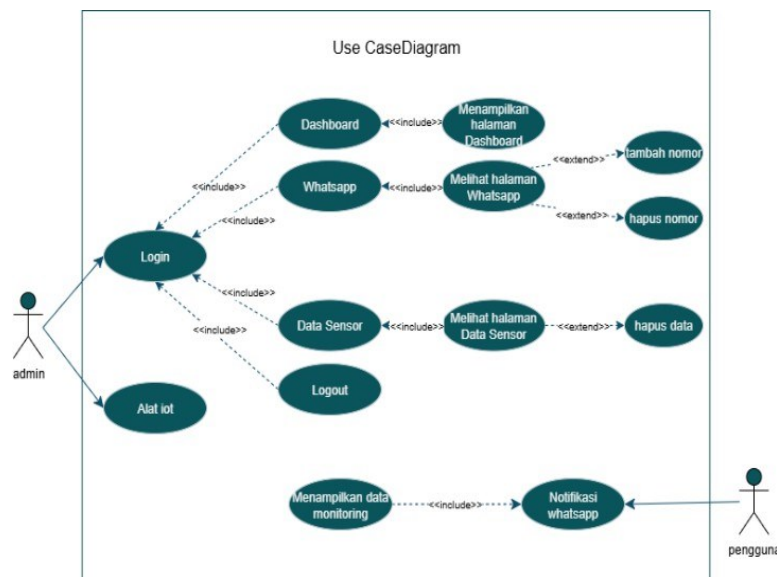
Rangkaian sistem terdiri atas beberapa komponen utama yang terhubung ke mikrokontroler ESP32, meliputi sensor pH, sensor kekeruhan (*turbidity*), sensor TDS, dan sensor suhu DS18B20. Catu daya sistem dapat berasal dari USB atau adaptor, serta panel surya yang berfungsi sebagai sumber energi alternatif. Skema daya berbasis tenaga surya ini memungkinkan perangkat beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada sumber listrik konvensional.

3.3 Unified Modeling language

Untuk menggambarkan logika sistem digunakan pendekatan pemodelan menggunakan *Unified Modeling Language* (UML).

a. Use Case Diagram

Diagram *use case* memberikan gambaran umum mengenai bagaimana masing-masing aktor berperan dalam menjalankan fitur-fitur sistem.



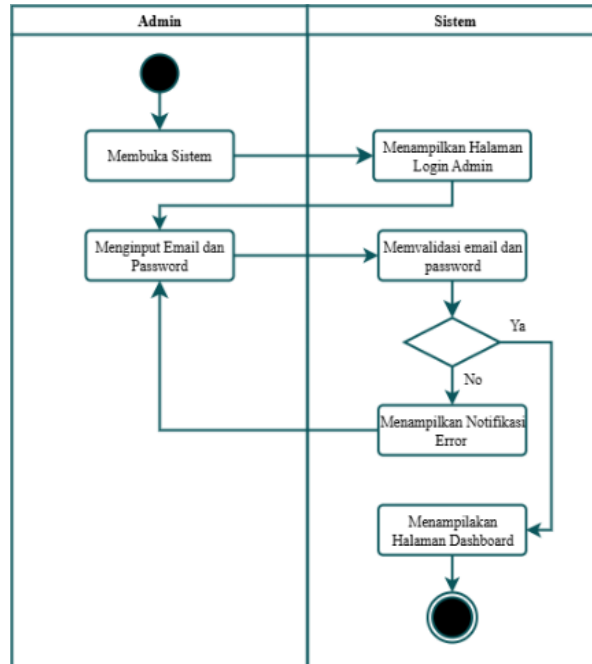
Gambar 4. Use Case Diagram

b. Activity Diagram

Diagram aktivitas berfungsi untuk mengilustrasikan alur kerja atau serangkaian proses yang terjadi dalam suatu sistem secara sistematis dan berurutan, sehingga memperjelas urutan aktivitas dari awal hingga akhir.

1. Activity Diagram Login

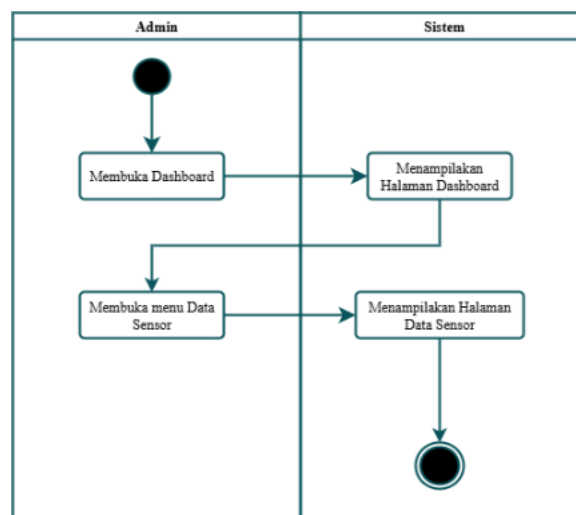
Activity Login dibuat untuk menjelaskan langkah-langkah untuk mengakses dan menggunakan halaman dashboard.



Gambar 5. Activity Diagram Menampilkan Login

2. Activity Diagram Data Sensor

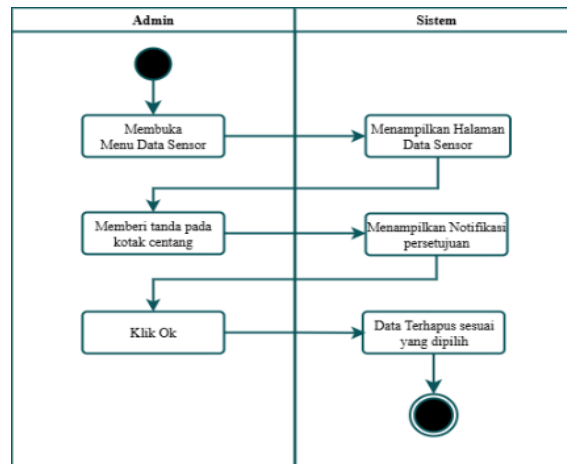
Activity diagram ini menggambarkan alur sistem dalam menampilkan data hasil pembacaan sensor kualitas air.



Gambar 6. Activity Diagram Menampilkan Data Sensor

3. Activity Diagram Menghapus Data Sensor

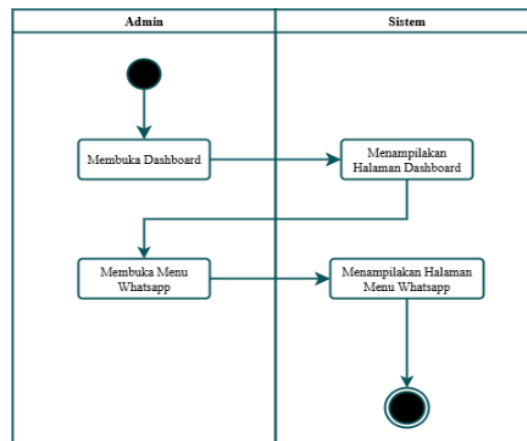
Activity diagram dibawah menggambarkan alur interaksi admin dengan sistem dalam penghapusan data sensor yang tersimpan.



Gambar 7. Activity Diagram Menghapus Data Sensor

4. Activity Diagram Menampilkan Menu WhatsApp

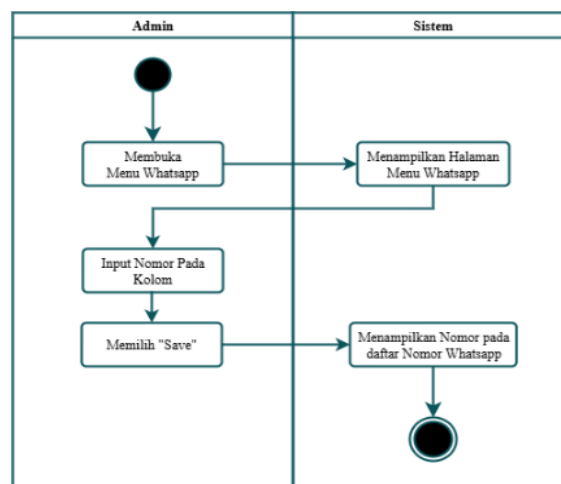
Activity Diagram menjelaskan alur proses ketika admin mengakses fitur Menu WhatsApp melalui sistem.



Gambar 8. Activity Diagram Menampilkan Menu WhatsApp

5. Activity Diagram Menambah Nomor WhatsApp

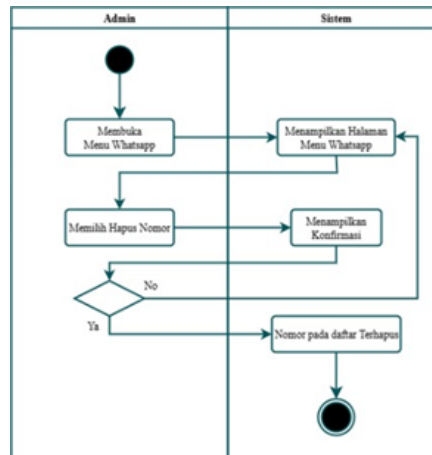
Diagram ini menggambarkan alur ketika admin menambahkan nomor WhatsApp baru ke dalam daftar penerima notifikasi.



Gambar 9. Activity Diagram Menambah Nomor

6. Activity Diagram Menghapus Nomor WhatsApp

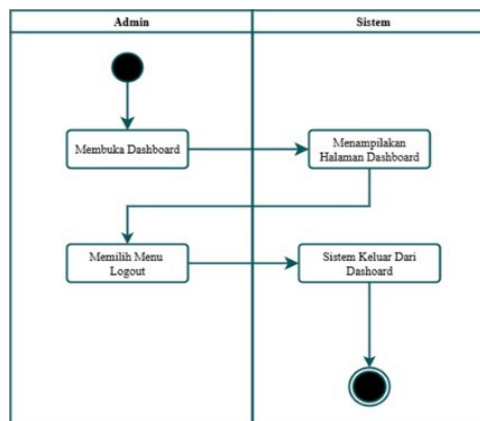
Activity diagram ini menunjukkan proses penghapusan nomor WhatsApp oleh admin dari daftar penerima notifikasi sistem.



Gambar 10. Activity Diagram Hapus Nomor

7. Activity Diagram Logout

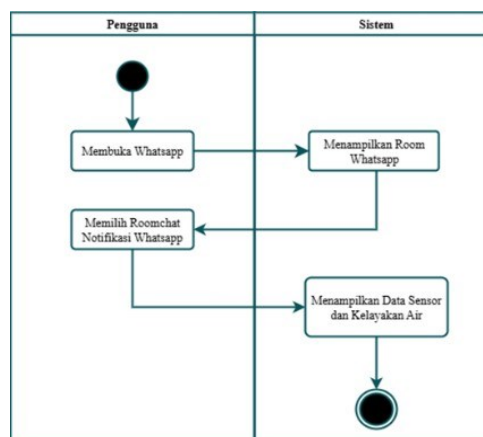
Activity diagram logout merupakan penjelasan dari langkah-langkah ketika admin akan keluar dari sistem monitoring kualitas air layak minum melalui fitur logout pada *dashboard*.



Gambar 11. Activity Diagram Logout

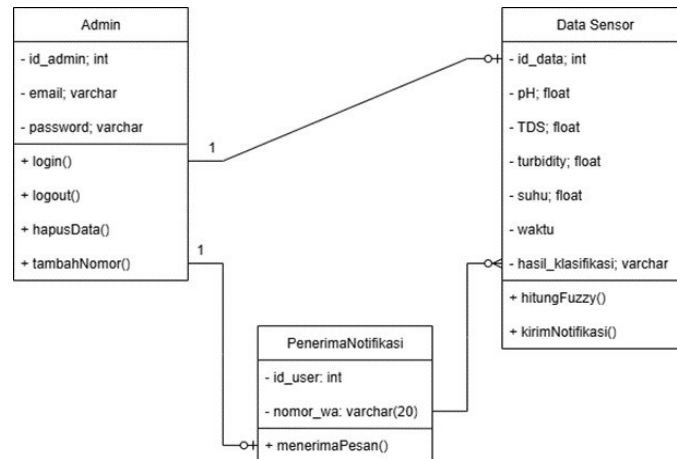
8. Activity Diagram Menampilkan Notifikasi WhatsApp

Diagram ini menggambarkan alur proses saat pengguna menerima dan melihat notifikasi kondisi kualitas air melalui *Whatsapp*.



Gambar 12. Activity Diagram Notifikasi WhatsApp

c. Class Diagram



Gambar 13. Class Diagram

Class diagram menggambarkan struktur sistem monitoring kelayakan air minum berbasis IoT yang terdiri dari tiga class utama: Admin, DataSensor, dan Penerima Notifikasi.

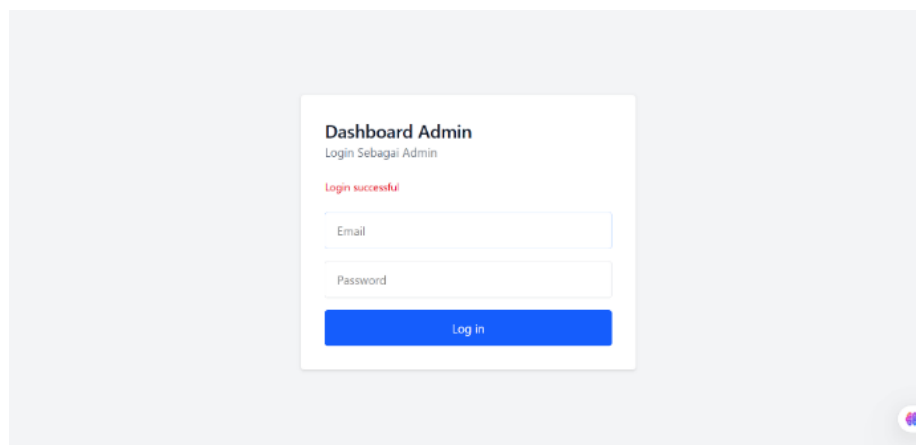
3.4 Implementasi

Tahap implementasi merupakan hasil penerapan rancangan sistem yang telah dibuat sebelumnya. Sistem ini diintegrasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan sensor pH, TDS, kekeruhan, dan suhu DS18B20 yang berfungsi membaca data kualitas air secara langsung dan mengirimkannya ke server melalui koneksi Wi-Fi.

Sistem ini menghasilkan antarmuka monitoring berbasis web yang menampilkan hasil pengukuran setiap sensor secara real-time. Pada dashboard, pengguna dapat melihat data dalam bentuk nilai numerik dan grafik visual, serta status kelayakan air berdasarkan hasil inferensi algoritma Fuzzy Tsukamoto. Tampilan antarmuka dirancang sederhana agar mudah dipahami oleh pengguna umum, sekaligus memberikan informasi yang jelas mengenai kondisi kualitas air.

a. Tampilann Halaman Login

Halaman login berfungsi sebagai gerbang utama bagi administrator untuk masuk ke dalam sistem pemantauan kualitas air.

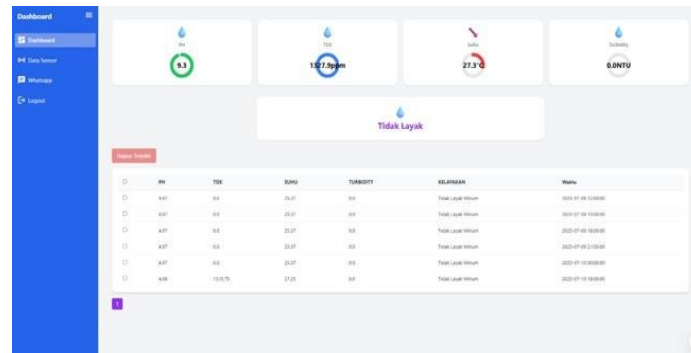


Gambar 14. Halaman Login

Melalui antarmuka ini, administrator diwajibkan memasukkan email dan kata sandi yang telah terdaftar sebelumnya. Keamanan autentikasi sangat krusial agar hanya pengguna dengan kredensial sah yang diperkenankan untuk mengakses dan mengelola data sistem.

b. Tampilan Halaman *Dashboard*

Halaman yang merupakan pusat tampilan utama sistem monitoring kualitas air.



Gambar 15. Halaman *Dashboard*

Gambar di atas menunjukkan tampilan halaman dashboard yang menyajikan data hasil pembacaan sensor dalam bentuk indikator digital untuk masing-masing parameter air.

c. Tampilan Halaman *Data Sensor*

Halaman Data Sensor menyajikan seluruh hasil pembacaan parameter kualitas air dalam bentuk tabel yang terstruktur.

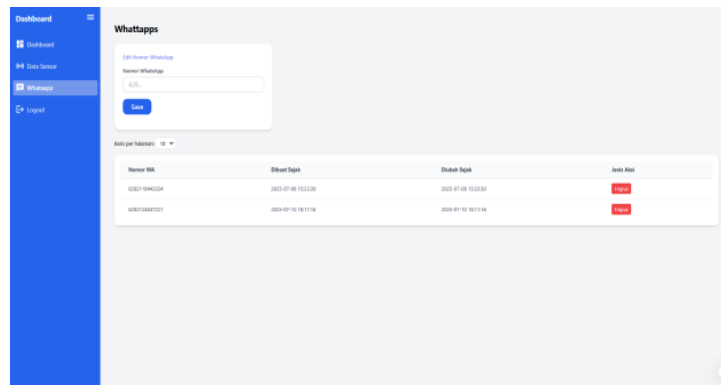
ID	PH	TDS	BUNGU	TURBIDITY	KELAYAKAN	Waktu
1	5.3	157.5ppm	27.3	28.0°C	Tidak Layak Minum	2025-07-01 12:00:00
2	5.3	157.5ppm	27.3	28.0°C	Tidak Layak Minum	2025-07-01 13:00:00
3	5.3	157.5ppm	27.3	28.0°C	Tidak Layak Minum	2025-07-01 14:00:00
4	5.3	157.5ppm	27.3	28.0°C	Tidak Layak Minum	2025-07-01 15:00:00
5	5.3	157.5ppm	27.3	28.0°C	Tidak Layak Minum	2025-07-01 16:00:00
6	5.3	157.5ppm	27.3	28.0°C	Tidak Layak Minum	2025-07-01 17:00:00

Gambar 16. Halaman *Data Sensor*

Informasi ini ditampilkan untuk memudahkan admin dalam memantau data historis dan mengelola catatan hasil pemantauan. Sistem secara otomatis menyimpan data sensor ke database setiap satu jam sekali, sehingga halaman ini menyediakan rekam jejak kondisi air secara berkala dan berkelanjutan.

d. Tampilan Halaman *WhatsApp*

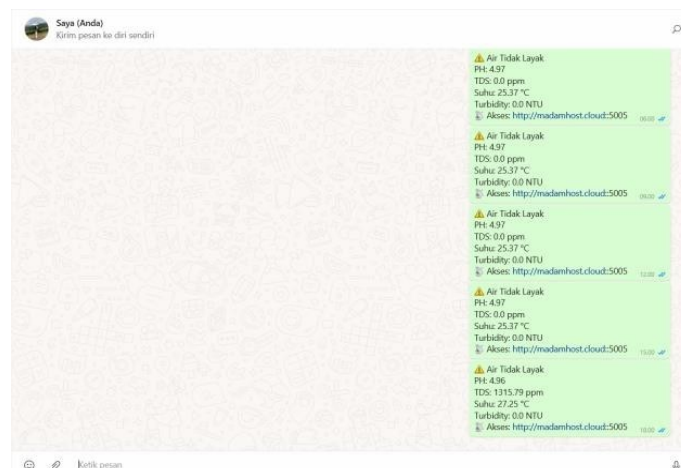
Halaman *WhatsApp* digunakan oleh admin untuk mengelola daftar nomor yang akan menerima notifikasi otomatis dari sistem. Nomor-nomor ini akan menjadi tujuan pesan peringatan apabila kualitas air dinyatakan tidak layak konsumsi.



Gambar 17. Halaman WhatsApp

e. Tampilan Notifikasi WhatsApp

Sistem ini memiliki fitur pengiriman notifikasi otomatis melalui *WhatsApp* kepada pengguna ketika kualitas air terdeteksi tidak layak konsumsi. Notifikasi tidak dikirim setiap kali data masuk, melainkan dijadwalkan setiap 3 jam sekali untuk mencegah pengiriman pesan yang berlebihan (*spam*). Dengan pengaturan ini, pengguna tetap mendapatkan informasi penting tanpa terganggu oleh notifikasi yang terlalu sering



Gambar 16. Notifikasi WhatsApp

f. Implementasi Alat Monitoring

Alat monitoring kualitas air dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu rangkaian panel surya sebagai sumber daya, rangkaian mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, dan rangkaian sensor sebagai unit pendeteksi kualitas air.



Gambar (a)

Gambar (b)

Gambar (c)

Gambar 16. Implementasi Lapangan

Gambar (a) menunjukkan sistem catu daya berbasis panel surya yang berfungsi menyuplai energi secara mandiri ke alat monitoring. Energi dari panel surya diatur oleh *solar charge controller* agar pengisian baterai stabil, kemudian digunakan untuk menyalakan seluruh rangkaian alat,

terutama di lokasi tanpa akses listrik. Gambar (b) memperlihatkan rangkaian utama berbasis mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke sensor melalui pin digital dan analog. ESP32 berfungsi membaca data dari sensor, mengolahnya menggunakan logika *fuzzy*, serta mengirimkan hasilnya ke server melalui koneksi Wi-Fi dengan protokol MQTT. Gambar (c) menampilkan susunan sensor pH, TDS, suhu, dan turbidity yang terhubung langsung ke ESP32. Sensor-sensor ini membaca parameter kualitas air secara berkala, mengubahnya menjadi sinyal digital, lalu mengirimkannya ke sistem untuk dianalisis dan ditampilkan pada dashboard web.

3.5 Pengujian

Tahapan pengujian dilakukan untuk memastikan keakuratan sensor dan keandalan sistem dalam kondisi lapangan.

Tabel 1. Pengujian Sensor

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Rata-rata Error
pH	3,98%	28,24%	13,31%	15,17%
TDS	7,38%	79,70%	69,52%	52,20%
Suhu	1,18%	1,79%	17,56%	6,83%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai rata-rata error sensor terhadap alat ukur manual adalah 15,17% untuk pH, 52,20% untuk TDS, dan 6,83% untuk suhu. Meskipun sensor TDS memiliki error tertinggi, sistem tetap mampu menampilkan data yang stabil dan akurat untuk penentuan tingkat kelayakan air.

Uji lapangan dilakukan di dua sumber mata air di Desa Sukamaju, Kabupaten Garut. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa seluruh parameter air masih berada dalam batas standar Permenkes RI No. 2 Tahun 2023, dengan klasifikasi akhir “Layak Minum” sebesar 100%. Sistem berhasil menampilkan data sensor secara real-time, menampilkan grafik pemantauan pada dashboard web, dan mengirimkan notifikasi otomatis melalui WhatsApp apabila kualitas air berada di bawah ambang batas.

Tabel 2. Uji Lapangan Lokasi A

No	Waktu	pH	TDS	Kekeruhan	Suhu	Kualitas	Fuzzy Tsukamoto	Permenkes
1	13:00	8,6	107,6	0	21,7	Layak	Layak Minum	Ya
2	13:05	8,7	106,8	0	21,6	Layak	Layak Minum	Ya
3	13:10	8,5	106,9	0	21,6	Layak	Layak Minum	Ya
4	13:15	8,6	113,6	0	21,7	Layak	Layak Minum	Ya
5	13:20	8,5	115,3	0	21,7	Layak	Layak Minum	Ya
6	13:25	8,5	113,7	0	21,6	Layak	Layak Minum	Ya
7	13:30	8,7	106,2	0	21,5	Layak	Layak Minum	Ya
8	13:35	8,6	114,1	0	21,7	Layak	Layak Minum	Ya
9	13:40	8,5	115,0	0	21,6	Layak	Layak Minum	Ya
10	13:45	8,6	115,8	0	21,6	Layak	Layak Minum	Ya

Tabel 3. Uji Lapangan Lokasi B

No	Waktu	pH	TDS	Kekeruhan	Suhu	Kualitas	Fuzzy Tsukamoto	Permenkes
1	14:05	8,8	66,1	0	23,5	Layak	Layak Minum	Ya
2	14:10	8,7	62,7	0	23,5	Layak	Layak Minum	Ya
3	14:15	8,7	62,4	0	23,5	Layak	Layak Minum	Ya
4	14:20	8,7	62,1	0	23,4	Layak	Layak Minum	Ya
5	14:25	8,6	62,4	0	23,5	Layak	Layak Minum	Ya
6	14:30	8,4	62,4	0	23,5	Layak	Layak Minum	Ya
7	14:35	8,8	61,0	0	23,6	Layak	Layak Minum	Ya
8	14:40	8,8	62,1	0	23,5	Layak	Layak Minum	Ya
9	14:45	8,6	62,4	0	23,5	Layak	Layak Minum	Ya
10	14:50	8,6	62,4	0	23,5	Layak	Layak Minum	Ya

Hasil implementasi menunjukkan bahwa integrasi antara teknologi IoT dan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* mampu memberikan solusi cerdas dan efisien dalam memantau kualitas air secara berkelanjutan. Keunggulan utama sistem ini adalah efisiensi energi berkat penggunaan panel surya serta kemudahan akses informasi bagi masyarakat melalui antarmuka web dan notifikasi *WhatsApp*. Namun demikian, akurasi sensor TDS masih perlu ditingkatkan, dan pengujian lanjutan dengan parameter mikrobiologi disarankan untuk penelitian berikutnya.

Secara keseluruhan, sistem ini terbukti berfungsi efektif, responsif, dan adaptif, serta dapat menjadi alat bantu masyarakat pedesaan dalam memantau kualitas air minum secara ilmiah dan *real-time*.

4. Simpulan dan Saran

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kelayakan air minum berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* pada dua sumber mata air di Desa Sukamaju. Sistem mampu membaca parameter pH, TDS, suhu, dan kekeruhan menggunakan mikrokontroler ESP32, dengan data yang dikirim secara *real-time* ke *dashboard* web serta dilengkapi notifikasi otomatis melalui *WhatsApp*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara terpadu, menampilkan data dengan baik, dan memberikan peringatan dini terhadap kondisi air yang tidak memenuhi standar Permenkes No. 2 Tahun 2023. Sensor pH dan suhu menunjukkan akurasi cukup baik, sementara sensor TDS dan turbidity memerlukan kalibrasi lanjutan agar hasil lebih presisi. Berdasarkan pengujian lapangan, kedua sumber mata air diklasifikasikan “Layak Minum”, namun hasil ini hanya mencakup parameter fisik dan kimia, sehingga diperlukan uji laboratorium lanjutan untuk parameter mikrobiologis.

Untuk meningkatkan efektivitas sistem, perlu dilakukan kalibrasi rutin terutama pada sensor pH dan TDS agar hasil pembacaan lebih akurat. Penggunaan voltage regulator disarankan guna menstabilkan daya dari panel surya serta menjaga kestabilan pengiriman data. Validasi sensor turbidity menggunakan turbidimeter digital juga penting untuk meningkatkan presisi. Pengembangan selanjutnya dapat mencakup pembuatan aplikasi mobile, penyimpanan data jangka panjang berbasis cloud, serta integrasi dengan pemerintah desa atau dinas kesehatan untuk penerapan lebih luas. Selain itu, penerapan metode kecerdasan buatan (AI) dan uji coba jangka panjang di lapangan dapat membantu meningkatkan akurasi serta ketahanan sistem terhadap kondisi lingkungan.

Daftar Pustaka

- Abdul Wahid. (2020). Analisis Metode Waterfall Untuk Pengembangan Sistem Informasi. <https://www.researchgate.net/publication/346397070>
- Al-Faruq, M. N. M., Nur'aini, S., & Aufan, M. H. (2022). Perancangan Ui/Ux Semarang Virtual Tourism Dengan Figma. *Walisongo Journal Of Information Technology*, 4(1), 43–52. <https://doi.org/10.21580/Wjit.2022.4.1.12079>
- Mahbubur Rahman, M., Bapery, C., Jamal Hossain, M., Hassan, Z., Jamil Hossain, G., & Muzahidul Islam, M. (2020). Internet Of Things (IoT) Based Water Quality Monitoring System. In *International Journal Of Multidisciplinary And Current Educational Research (Ijmcser)* (Vol. 2). www.ijmcser.com
- Permenkes. (2025). Berita Negara Republik Indonesia. www.peraturan.go.id

- Qulub, H., Wibowo, S. A., & Faisol, A. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kelayakan Air Minum Berbasis Iot Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto (Studi Kasus: Pondok Shifa' 2). In *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 7, Issue 5).
- Raihan, T. M., Sains, F., & Teknologi, D. (2022). Sistem Pemantauan Kualitas Air Menggunakan Esp32 Dengan Fuzzy Logic Sugeno Berbasis Android.
- Unicef Indonesia. (2023). Wash Acts – Edisi 2023. <https://www.unicef.org/indonesia/id/Laporan/Wash-Acts-Edisi-2023>