

Pengendalian Kualitas Air Minum Menggunakan *Fuzzy Mamdani* Berbasis *Internet of Things*

Daniel Izzulhaq Elriyan¹, Ali Rizal Chaidir², Khairul Anam³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember, Jember

Jalan Kalimantan No. 37 Jember 68121

¹ izzulhaqdaniel@gmail.com

² ali.rizal@unej.ac.id

³ khairul@unej.ac.id

Intisari — Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan dan kontrol kualitas air minum menggunakan *Internet of Things* (IoT) dan metode *fuzzy Mamdani*. Pengukuran akurasi sistem *fuzzy Mamdani* sebagai sistem pendukung keputusan dalam menentukan kualitas air minum. Metode yang digunakan adalah *fuzzy Mamdani*. Variabel penelitian ini menggunakan 4 *input* (suhu, TDS, pH, kekeruhan) dan 1 *output* (kualitas air). Aturan *fuzzy* akan disusun berdasarkan variabel *input* dan *output*. Sebanyak 36 aturan *fuzzy* akan terbentuk yang mempertimbangkan semua kemungkinan. Pengujian dilakukan menggunakan pengujian keseluruhan, metode *fuzzy Mamdani* dievaluasi sebanyak 20 kali untuk membandingkan *output* kualitas air dengan standar kesehatan lingkungan. Hasil evaluasi ini digunakan untuk menghitung akurasi sistem melalui *Confusion Matrix*. Evaluasi melibatkan pengujian respons sistem untuk kontrol dan aktuator terintegrasi. Berdasarkan hasil penelitian dan uji coba yang dilakukan, sistem pemantauan dan kontrol kualitas air menggunakan IoT dan *fuzzy Mamdani* berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32, sensor suhu, sensor TDS, sensor pH, sensor kekeruhan, modul RTC, LED, LCD, buzzer, motor servo, Firebase, dan Kodular. Metode *fuzzy Mamdani* sebagai sistem pendukung keputusan menilai kelayakan air minum dengan tingkat akurasi 90% dan tingkat kesalahan 10%, memberikan dasar yang kuat untuk keputusan terkait konsumsi manusia.

Kata kunci — *internet of things*, *fuzzy mamdani*, kualitas air.

Abstract — This research aims to design and build a system for monitoring and controlling drinking water quality using the Internet of Things (IoT) and Mamdani's fuzzy method. The method used is Mamdani's fuzzy. This study variable uses 4 inputs (temperature, TDS, pH, turbidity) and 1 output (water quality). The fuzzy rule will be structured based on the input and output variables. A total of 36 fuzzy rules will be formed that consider all possibilities. The tests were conducted using the overall test, Mamdani's fuzzy method, evaluated 20 times to compare water quality outputs with environmental health standards. The results of this evaluation are used to calculate the accuracy of the system through the Confusion Matrix. The evaluation involves testing the system's response to integrated controls and actuators. Based on the results of the research and tests carried out, the water quality monitoring and control system using IoT and fuzzy Mamdani was successfully implemented using the ESP32, temperature sensor, TDS sensor, pH sensor, turbidity sensor, RTC module, LED, LCD, buzzer, servo motor, Firebase, and Kodular. Mamdani's fuzzy method as a decision support system evaluates drinking water quality with a 90% accuracy rate and a 10% error rate, providing a solid basis for decisions related to human consumption.

Keywords — *internet of things*, *fuzzy mamdani*, *water quality*.

I. PENDAHULUAN

Air adalah elemen penting dalam kelangsungan hidup manusia dan ekosistem bumi. Kualitas air minum, dengan standar pH dan kekeruhan tertentu, menjadi fokus utama regulasi kesehatan lingkungan [1]. Pertumbuhan populasi dan aktivitas industri meningkatkan risiko pencemaran air, terutama di Indonesia, di mana lebih dari separuh rumah tangga belum memiliki akses memadai pada air minum [2]. Pemantauan kualitas air yang masih dilakukan secara manual menghadapi keterbatasan, sehingga

diperlukan pendekatan yang lebih efisien. Penelitian sebelumnya oleh Ula [3] menjelajahi metode *fuzzy* Tsukamoto. Penelitian ini memilih pendekatan metode *fuzzy Mamdani* yang terbukti memiliki akurasi lebih tinggi dan tingkat kesalahan yang lebih rendah [4]. Integrasi metode ini dengan *internet of things* untuk pengumpulan data secara *real-time* dianggap sebagai solusi yang optimal. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem pemantauan dan kontrol kualitas air minum yang memanfaatkan teknologi IoT dan metode *fuzzy Mamdani*. Evaluasi sistem keseluruhan dilakukan untuk

mengetahui akurasi sistem *fuzzy Mamdani* sebagai pendukung keputusan dalam penentuan kualitas air minum. Evaluasi juga melibatkan pengujian respons sistem untuk kontrol dan aktuator terintegrasi. Implementasi sistem ini, diharapkan pemantauan kualitas air dapat dilakukan secara lebih efektif, menyediakan informasi yang cepat untuk langkah-langkah pencegahan, dan menjadi landasan krusial dalam menjaga ketersediaan air yang aman bagi konsumsi manusia.

II. METODE PENELITIAN

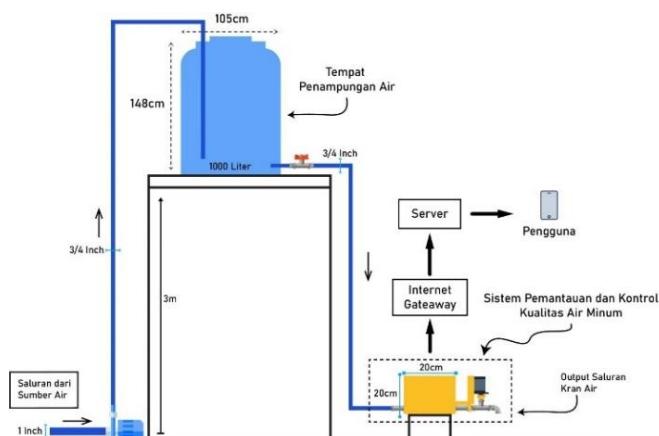
A. Perancangan Sistem

Desain penerapan alat sebagaimana yang terlihat pada Gambar 1 dan perangkat keras pada Gambar 2 berfungsi sebagai sarana untuk memperjelas bentuk penerapan alat. Tampilan skematik rangkaian terlihat pada Gambar 3 ini digunakan untuk mendetailkan koneksi dan komponen elektronik dalam sistem.

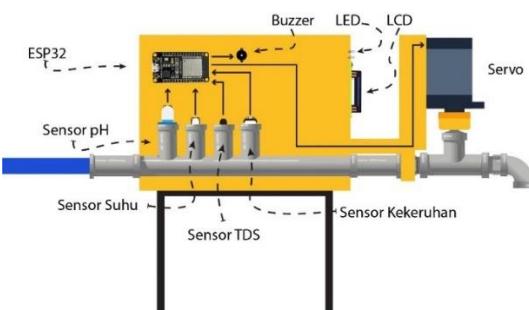
B. Metode Fuzzy Mamdani

Metode *fuzzy Mamdani*, diperkenalkan oleh Mamdani pada tahun 1977, menggabungkan logika *fuzzy* dan bahasa manusia untuk mengatasi ketidakpastian dalam masalah keputusan yang tidak jelas [5]. Fuzzifikasi adalah proses pertama, nilai-nilai masukan diubah menjadi bentuk yang dapat dimengerti oleh logika kabur, memberikan

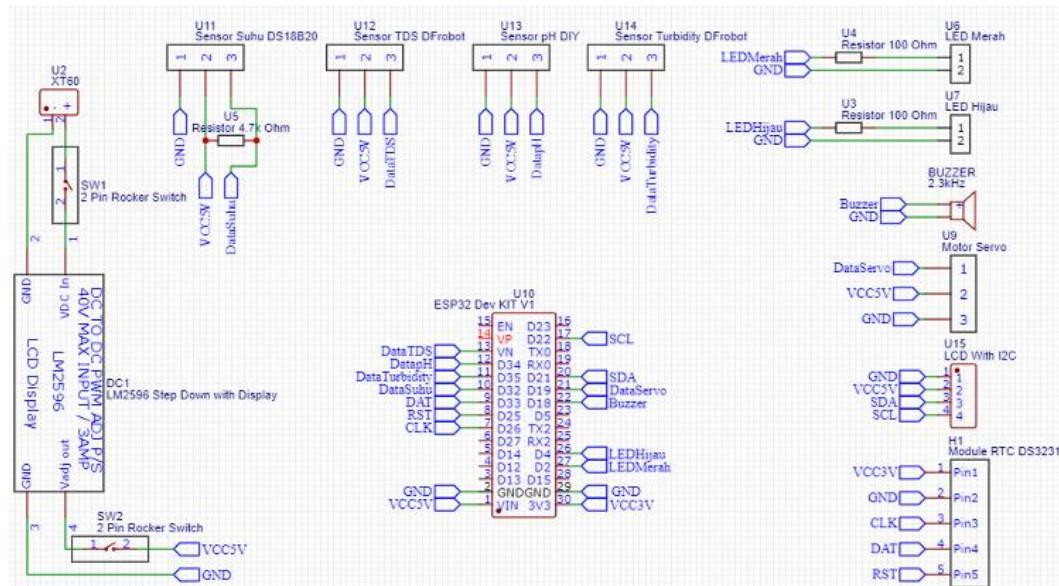
fleksibilitas dan ketidakpastian dalam pengambilan keputusan [6]. Aturan *IF-THEN fuzzy* dibentuk dalam pembentukan *rule*, menghubungkan variabel masukan dengan himpunan *fuzzy* keluaran berdasarkan kondisi kabur [7]. Analisis logika *fuzzy input* memungkinkan sistem menjalankan inferensi kabur berdasarkan aturan yang telah ditentukan sebelumnya [6]. Defuzzifikasi mengkonversi keluaran kabur menjadi nilai tegas yang dapat dimengerti dan diterapkan [8]. Metode ini diterapkan dalam penelitian ini dengan empat variabel *input* (suhu, TDS, pH, kekeruhan) dan satu variabel *output* (kualitas air). Representasi fungsi keanggotaan dari variabel *input* dan *output* masing-masing terlihat pada Gambar 4 untuk representasi fungsi keanggotaan variabel suhu, Gambar 5 untuk representasi fungsi keanggotaan variabel TDS, Gambar 6 untuk representasi fungsi keanggotaan variabel pH, Gambar 7 untuk representasi fungsi keanggotaan variabel kekeruhan, dan Gambar 8 untuk representasi fungsi keanggotaan variabel kualitas air. Aturan *fuzzy* disusun berdasarkan variabel *input* dan *output*, jumlah aturan yang terbentuk adalah 36 aturan *fuzzy* yang mempertimbangkan seluruh kemungkinan. Jumlah aturan ini didapat dari proses perkalian jumlah kategori dari masing-masing variabel, sebagaimana beberapa contoh aturan yang terlihat pada tabel 1.



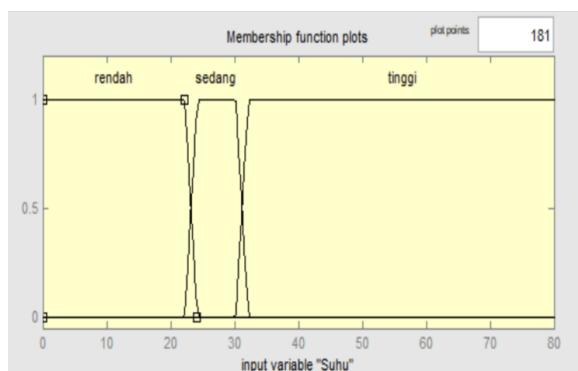
Gbr. 1 Desain penerapan alat



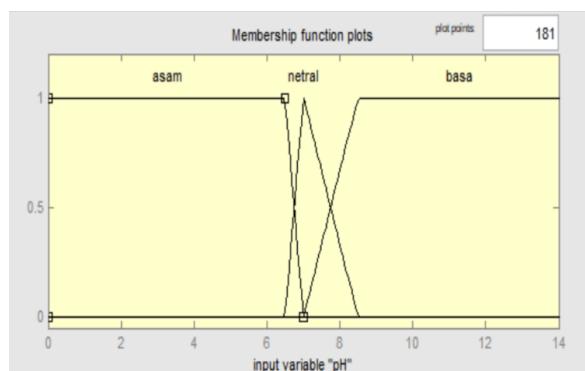
Gbr. 2 Desain perangkat keras



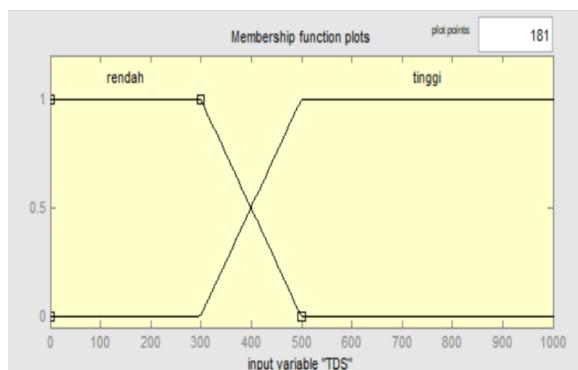
Gbr. 3 Desain skematis rangkaian



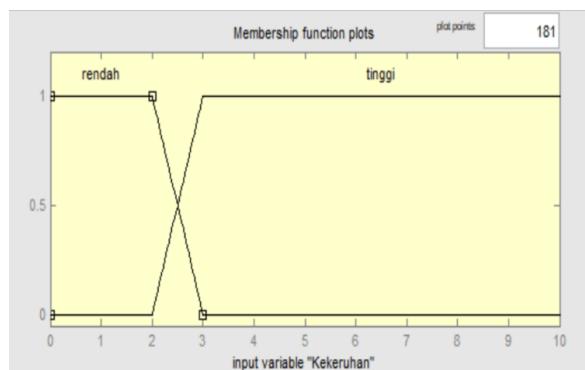
Gbr. 4 Representasi fungsi keanggotaan suhu



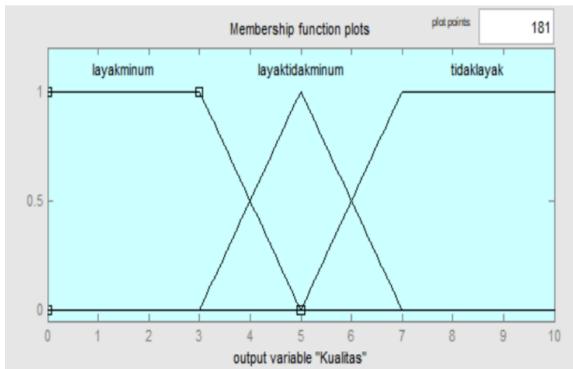
Gbr. 6 Representasi fungsi keanggotaan pH



Gbr. 5 Representasi fungsi keanggotaan TDS



Gbr. 7 Representasi fungsi keanggotaan kekeruhan



Gbr. 8 Representasi fungsi keanggotaan kualitas air

Tabel 1. Pembentukan Aturan Fuzzy

Rule	Suhu	TDS	pH	Turbidity	Kualitas
1	rendah	rendah	asam	rendah	Layak Tidak Minum
2	rendah	rendah	asam	tinggi	Tidak Layak
3	rendah	rendah	netral	rendah	Layak
4	rendah	rendah	netral	tinggi	Tidak Layak
5	rendah	rendah	basa	rendah	Layak Tidak Minum

Proses defuzzyifikasi dalam penelitian ini dilakukan melalui metode *Centre of Area* (COA) yang bertujuan untuk menghasilkan nilai tegas dari variabel *output fuzzy*. Pendekatan COA digunakan untuk merumuskan keputusan akhir berdasarkan tingkat keanggotaan dari setiap kategori *output fuzzy*. Rumus defuzzifikasi dengan metode COA dinyatakan dalam Persamaan 1.

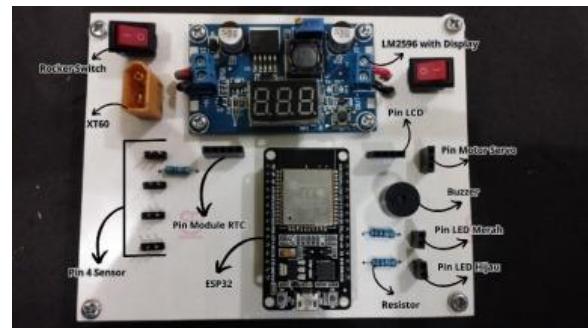
$$COA = \frac{\int y \cdot \mu(y) dy}{\int \mu(y) dy} = \frac{M1+M2+M3+Mn}{A1+A2+A3+An} \quad (1)$$

Rumus ini menyatakan bahwa, y adalah nilai keluaran *fuzzy*, $\mu(y)$ adalah fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* pada nilai y , dan \int merupakan simbol integral yang terlibat dalam perhitungan luas area di bawah kurva fungsi keanggotaan. Metode COA memfasilitasi perhitungan titik pusat area dari himpunan *fuzzy* keluaran. Titik pusat tersebut kemudian dijadikan sebagai nilai konkret yang merefleksikan keputusan akhir, sejalan dengan distribusi massa himpunan *fuzzy*.

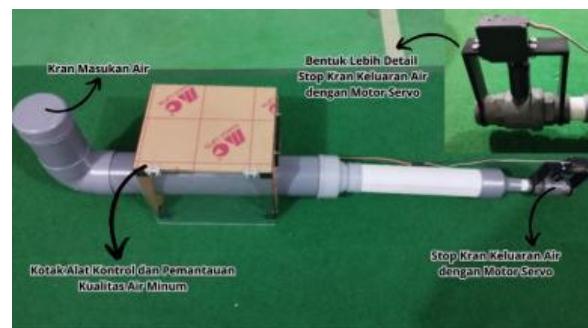
III. PEMBAHASAN

A. Implementasi Perangkat Keras

Tahap implementasi perangkat keras, eksekusi dilakukan sesuai dengan rancangan sistem yang telah ditetapkan sebelumnya. Hasil rancangan skematik rangkaian sistem pada *printed circuit board* (PCB), sebagaimana terlihat pada Gambar 9. Proses implementasi ini melibatkan penerapan setiap komponen dan sensor sesuai dengan perencanaan awal. Detail dari implementasi tersebut dapat diamati pada bentuk alat yang disajikan pada Gambar 10 untuk tampak samping, dan Gambar 11 untuk tampak depan.



Gbr. 9 Printed circuit board



Gbr. 10 Tampak samping alat dan mekanisme motor servo



Gbr. 11 Tampak depan pada penempatan LCD dan LED

B. Implementasi Aplikasi Pemantauan

Implementasi perangkat lunak dilakukan sesuai dengan desain sistem yang telah direncanakan sebelumnya. Proses implementasi melibatkan konfigurasi setiap elemen aplikasi dan visualisasi antarmuka pengguna. Tampilan aplikasi yang terdapat pada Gambar 12 menunjukkan *log in* menggunakan metode *anonymous* untuk akses cepat tanpa pendaftaran rumit. *Dashboard* aplikasi memberikan pengalaman informatif dan interaktif untuk memantau kualitas air melalui menu *overview* dan *history*. Laman *history* menampilkan data kualitas air dengan akses ke rekaman historis. Pengujian untuk memastikan koneksi yang berhasil antara aplikasi dan perangkat keras, hasil uji terdokumentasi dalam Gambar 13.



Gbr. 12 Tampilan aplikasi

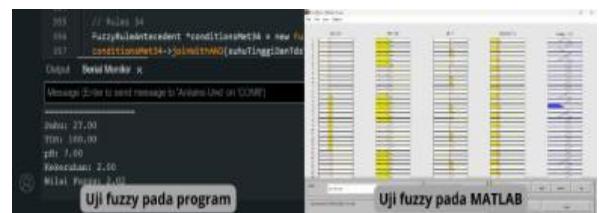


Gbr. 13 Hasil uji koneksi antara data aplikasi dan LCD

C. Implementasi Fuzzy Mamdani

Implementasi *fuzzy* Mamdani menggunakan *library* eFLL pada program Arduino, yang menggunakan metode *fuzzy* Mamdani dan *Center of Area* (COA) untuk defuzzifikasi. Pengujian program *fuzzy* Mamdani dilakukan menggunakan pengujian pada program dan MATLAB untuk memverifikasi hasil eksekusi program dengan nilai-nilai yang diharapkan sesuai. Hal ini penting untuk memastikan implementasi sistem *fuzzy* Mamdani sesuai

dengan spesifikasi yang diinginkan sesuai terlihat pada Gambar 14.



Gbr. 14 Hasil uji fuzzy pada program

D. Pengujian Keseluruhan

Data dikumpulkan dari berbagai sampel air minum kemasan. Setiap sampel diambil sebanyak 20 kali, dan hasil pengukuran dicatat dalam *database* setiap 30 detik. Penilaian kualitas air ditentukan oleh hasil perhitungan *fuzzy* Mamdani, dengan nilai yang lebih rendah menunjukkan kualitas air yang lebih tinggi. Setiap kategori kualitas air menghasilkan respons sistem yang berbeda, seperti penandaan indikator LED hijau untuk air yang dapat dikonsumsi, penandaan LED merah dan bunyi Buzzer secara berkala untuk air yang tidak layak dikonsumsi, dan penandaan LED merah bersamaan dengan bunyi Buzzer serta penutupan kran saluran air oleh motor servo untuk air yang tidak layak. Informasi rinci mengenai parameter dan kualitas air yang dapat diakses melalui layar LCD atau aplikasi pemantauan. Hasil pengujian sistem keseluruhan akan diuraikan secara rinci melalui penyajian data yang terstruktur dalam Tabel 2 dan 3.

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 2 dan 3, dilakukan perhitungan nilai akurasi dan eror menggunakan metode *Confusion Matrix*. Pengukuran ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana efektivitas metode *fuzzy* Mamdani dalam menganalisis tingkat kelayakan air untuk konsumsi. Berikut merupakan perhitungan akurasi dan eror dengan menggunakan metode *Confusion Matrix*, yang akan memberikan gambaran secara kuantitatif mengenai performa metode *fuzzy* Mamdani dalam konteks penilaian kualitas air layak konsumsi.

Tabel 2. Data Nilai pada Setiap Sensor

Data Ke-	Waktu	Suhu (°C)	pH	TDS (PPM)	Turbidity (NTU)
1	8:51:07	27.56	6.79	98.68	0.71
2	8:51:38	27.50	6.78	98.24	0.71
3	8:52:09	27.44	6.93	98.52	0.71
4	8:52:40	27.37	6.86	98.32	0.71
5	8:53:11	27.37	6.82	98.79	0.71
6	8:53:42	27.37	6.94	98.76	0.71
7	8:54:13	27.37	7.04	97.33	0.71
8	8:54:44	27.37	6.92	98.97	0.71
9	8:55:15	27.37	6.93	100.21	0.71
10	8:55:46	27.37	6.93	99.85	0.71
11	8:56:17	27.37	6.91	100.04	0.71
12	8:56:48	27.37	7.04	100.91	0.71
13	8:57:19	27.37	7.01	100.35	0.71
14	8:57:50	27.37	6.94	100.46	0.71
15	8:58:21	27.37	6.88	100.79	0.71
16	8:58:52	27.37	6.86	100.77	0.71
17	8:59:23	27.37	6.92	98.87	0.71
18	8:59:54	27.37	6.88	100.66	0.71
19	9:00:25	27.37	6.83	100.18	0.71
20	9:00:56	27.37	6.89	100.64	0.71

Analisis akurasi menggunakan *Confusion Matrix* pada data yang disajikan menunjukkan bahwa perbandingan hasil prediksi kualitas air menggunakan metode fuzzy Mamdani dengan acuan pada standar Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan, menghasilkan tingkat akurasi sebesar 90% dan nilai eror sebesar 10%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa alat pemantau dan kontrol kualitas air layak minum berbasis *internet of things* (IoT) dengan pendekatan fuzzy Mamdani sebagai sistem pendukung keputusan dapat dianggap layak.

- Accuracy $= \frac{TP+TN}{Total\ Data} \times 100\%$
 $= \frac{18+0}{20} \times 100\%$
 $= 90\%$

- Misclassification Rate $= \frac{FP+FN}{Total\ Data} \times 100\%$
 $= \frac{0+2}{20} \times 100\%$
 $= 10\%$

Tabel 3. Data Hasil Keputusan Fuzzy

Data Ke-	Nilai Fuzzy	Kualitas Air Fuzzy	Standar Kesehatan	Ket.
1	3.02	Layak Tidak Minum	Layak Minum	FN
2	3.08	Layak Tidak Minum	Layak Minum	FN
3	2.35	Layak Minum	Layak Minum	TP
4	2.68	Layak Minum	Layak Minum	TP
5	2.88	Layak Minum	Layak Minum	TP
6	2.30	Layak Minum	Layak Minum	TP
7	2.08	Layak Minum	Layak Minum	TP
8	2.39	Layak Minum	Layak Minum	TP
9	2.35	Layak Minum	Layak Minum	TP
10	2.35	Layak Minum	Layak Minum	TP
11	2.44	Layak Minum	Layak Minum	TP
12	2.08	Layak Minum	Layak Minum	TP
13	2.03	Layak Minum	Layak Minum	TP
14	2.30	Layak Minum	Layak Minum	TP
15	2.58	Layak Minum	Layak Minum	TP
16	2.68	Layak Minum	Layak Minum	TP
17	2.39	Layak Minum	Layak Minum	TP
18	2.58	Layak Minum	Layak Minum	TP
19	2.83	Layak Minum	Layak Minum	TP
20	2.54	Layak Minum	Layak Minum	TP

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan uji coba yang dilaksanakan, dapat ditarik kesimpulan bahwa, sistem pemantauan dan kontrol kualitas air menggunakan IoT dan fuzzy Mamdani berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32, sensor suhu, sensor TDS, sensor pH, sensor kekeruhan, modul RTC, LED, LCD, Buzzer, Motor Servo,

Firebase, dan Kodular. Metode *fuzzy* Mamdani sebagai sistem pendukung keputusan menilai kelayakan air konsumsi dengan tingkat akurasi 90% dan tingkat eror 10%, memberikan dasar yang kuat untuk keputusan terkait konsumsi manusia. Pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar penelitian selanjutnya memperluas penggunaan variabel air yang relevan dengan standar kualitas air minum di Indonesia, sesuai dengan peraturan terkini, seperti pemanfaatan sensor warna. Rancangan penelitian mendatang sebaiknya mempertimbangkan pengembangan pembangkit listrik portabel atau pemanfaatan energi dari aliran air sebagai sumber daya, guna memfasilitasi pemasangan alat di lapangan tanpa kendala signifikan.

REFERENSI

- [1] U. L. Usnul dan Z. Alamsyah, “Implementasi Fuzzy Mamdani sebagai Pendukung Keputusan pada Sistem Monitoring Air Layak Konsumsi,” *J. CoSciTech Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 1, Art. no. 1, Apr 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i1.4479.
- [2] B. P. S. Indonesia, “Proporsi Rumah Tangga dengan Akses Terhadap Pelayanan Dasar Menurut Provinsi (Persen), 2021-2022.” Diakses: 18 Januari 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MjAxNiMy/proporsi-rumah-tangga-dengan-akses-terhadap-pelayanan-dasar-menurut-provinsi.html>
- [3] D. A. Ula, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Layak Konsumsi Berbasis Internet of Things dengan Metode Fuzzy Tsukamoto sebagai Sistem Pendukung Keputusan,” undergraduate, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2020. Diakses: 18 Januari 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://etheses.uin-malang.ac.id/23732/>
- [4] L. P. Ayuningtias, M. Irfan, dan J. Jumadi, “Analisa Perbandingan Logika Fuzzy Metode Tsukamoto, Sugeno, dan Mamdani (Studi Kasus: Prediksi Jumlah Pendaftar Mahasiswa Baru Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung),” *J. Tek. Inform. UIN Syarif Hidayatullah*, vol. 10, no. 1, hlm. 133582, 2017.
- [5] Mamdani, “Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis,” *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-26, no. 12, hlm. 1182–1191, Des 1977, doi: 10.1109/TC.1977.1674779.
- [6] A. J. Rindengan dan Y. A. Langi, *Sistem Fuzzy*. 2019. Diakses: 18 Januari 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://fmipa.unsrat.ac.id/sisteminformasi/wp-content/uploads/06_Sistem-Fuzzy_2019.pdf
- [7] I. Rosyidah, A. R. Chadir, dan S. Sumardi, “Sistem Pemantauan dan Kontrol Kualitas Air pada Budidaya Bandeng Menggunakan Metode Fuzzy Logic,” *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Mar 2023, doi: 10.23917/emitor.v1i1.21551.
- [8] G. S. Mada, N. K. F. Dethan, dan A. E. S. H. Maharani, “The Defuzzification Methods Comparison of Mamdani Fuzzy Inference System in Predicting Tofu Production,” *J. Varian*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Apr 2022, doi: 10.30812/varian.v5i2.1816.