

Implementasi Logika *Fuzzy* untuk *Monitoring* Tingkat Pencemaran Air Sungai berbasis *Internet Of Things*

Maghfiroh Nain Novian¹, Miftahul Walid², Masdukil Makruf³.

^{1,2,3}Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Islam Madura.

maupinain@gmail.com¹, Miftah.walid@gmail.com², masdukil.makruf@uim.ac.id³.

Diterima: 30 April 2024

Disetujui: 31 Mei 2024

Abstract— Pencemaran air sungai merupakan masalah yang diperlukan penanganan serius. 59% sungai di Indonesia tercemar berat dan tersebar di 564 titik. 3,4 jiwa meninggal dunia setiap harinya disebabkan penyakit yang berhubungan dengan pencemaran air. Pemantauan kualitas air perlu dilakukan guna dijadikan tolak ukur dalam upaya pengendalian pencemaran air. Untuk mengatasi masalah ini, kami mengembangkan sistem pemantauan pencemaran air sungai secara real-time menggunakan logika fuzzy Mamdani berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini menggunakan parameter pH dan TDS sebagai masukan untuk menentukan kualitas air, dan keluarannya berupa tingkat pencemaran air. Data dari sensor ditransmisikan secara real-time melalui platform IoT, memungkinkan pemantauan yang berkelanjutan dan akurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH memiliki MAPE sebesar 3,51% dan sensor TDS memiliki MAPE sebesar 3,46%. Pengujian fuzzy pada 50 data nyata dan prediksi menghasilkan MAPE sebesar 239%. Sistem ini diharapkan dapat memberikan respon yang cepat dan akurasi yang tinggi dalam pemantauan kualitas air sungai serta mempermudah proses pengendalian pencemaran air melalui pemantauan secara real-time.

Keywords—fuzzy mamdani, IoT, pencemaran air sungai.

I. PENDAHULUAN

Pencemaran air merupakan masalah serius dalam siklus kehidupan. Menurut data kementerian lingkungan hidup dan kehutanan, 59% sungai di Indonesia tercemar berat dan tersebar di 564 titik. Sedangkan 26,6% tercemar sedang dan 8,9% tercemar ringan[1]. Pencemaran air merupakan masuk dan atau dimasukkannya energi zat atau komponen lainnya hingga mengakibatkan standart mutu air melampaui standart yang telah ditentukan[2]. Makhluk hidup sangat bergantung pada kualitas air yang dipakai karena kualitas air yang buruk akan berdampak serius terhadap ekosistem kehidupan. Organisasi kesehatan dunia mengatakan kurang lebih 3,4 juta jiwa meninggal dunia setiap harinya disebabkan penyakit yang berkaitan dengan pencemaran air[3]. Oleh sebab itu untuk mengatasi masalah tersebut dibutuhkan evaluasi kebijakan pemerintah dengan melakukan pemantauan untuk dijadikan tolak ukur dalam upaya pengendalian pencemaran air.

Pemanfaatan teknologi yang semakin mengglobal dapat mengoptimalkan sistem

dalam kehidupan manusia menjadi lebih baik termasuk sistem untuk memantau tingkat kualitas air. Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan adalah IoT (*Internet Of Things*). Untuk hasil pemantauan yang lebih akurat diperlukan pendekatan cerdas yang dapat dipercaya dan dapat mempermudah proses pemantauan. Fuzzy Mamdani akan digunakan dalam penelitian ini sebagai pengambil keputusan terhadap monitoring tingkat pencemaran air sungai. Pendekatan Fuzzy Mamdani diharapkan dapat memberi solusi dalam menentukan tingkat pencemaran air.

Implementasi Fuzzy mamdani sudah dilakukan untuk monitoring kelayakan air yang akan dikonsumsi dengan mengambil beberapa sampel air antaranya air mineral, air sumur dan air erosi campur tanah. Parameter yang digunakan yaitu suhu dan TDS. Fuzzy Mamdani digunakan untuk untuk mengetahui status kelayakan air yang terdibagi menjadi dua kategori antaranya layak konsumsi dan tidak layak konsumsi[4]. Penelitian lain terkait sistem monitoring suhu kelembapan kandang pada peternakan ayam broiler dengan memanfaatkan IoT sebagai alat pemantauan.

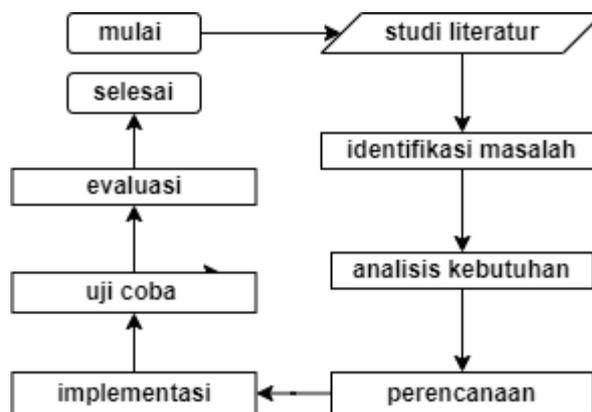
Penelitian ini mengimplementasikan Fuzzy Mamdani terhadap IoT, input dalam penelitian ini berupa sensor DHT11 untuk membaca suhu dan kelembapan. Thermo hygrometer digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan pada sensor DHT11[5].

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring tingkat pencemaran air sungai dengan memanfaatkan IoT yang akan di implementasikan pendekatan cerdas berupa logika fuzzy yaitu fuzzy mamdani. parameter ph dan TDS akan dijadikan input karna di anggap mampu untuk dijadikan penentu kualitas air. sedangkan outputnya adalah tingkat pencemaran air. Alat manual berupa ph meter dan TDS meter digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan pada masing-masing parameter. Fuzzy Mamdani digunakan sebagai penentu keputusan dalam tingkat pencemaran air. Sistem ini dirancang agar bersifat real-time dalam penerimaan data dari mikrokontroler, hal ini akan memberikan manfaat yang signifikan, respon cepat terhadap akurasi yang tinggi. Sistem ini juga dapat memantau beberapa parameter sekaligus. Hal ini akan memastikan bahwa melalui sistem ini proses pemantauan pencemaran akan lebih mudah dan relevan. Dengan demikian diharapkan sistem monitoring ini dapat memberikan solusi yang lebih efektif untuk pengendalian pencemaran air Sungai.

II. METODELOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini tahap pertaman yang dilakukan adalah studi literatur, penulis melakukan penelusuran terhadap informasi dan referensi yang relevan dengan topik penelitian ini. Tahap kedua merupakan tahap identifikasi, tahap ini merupakan tahap pengidentifikasian masalah apa saja yang akan di cari solusinya dalam proses monitoring tingkat pencemaran air sungai. Tahap berikutnya adalah analisis kebutuhan, penulis akan melakukan analisis kebutuhan pada bagian hardware dan software. Berikutnya paada tahap perencanaan penulis akan menentukan cara untuk mengatasi masalah yang sudah teridentifikasi sebelumnya dan membuat rencana aksi untuk mewujudkan tujuan yang di inginkan. Kemudian tahap implementasi, dalam tahap ini rencana yang sudah di buat sebelumnya akan diterapkan dalam monitoring tingkat pencemaran air sungai. Berikutnya uji coba, tahap ini perlu dilakukan karena untuk memastikan sistem berjalan sesuai kebutuhan. Dan yang terhir yaitu tahap evaluasi, tujuannya untuk mengevaluasi

kinerja sistem yang sudah dibuat. Alur tahapan penelitian bisa di lihata pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitiann

Penelitian ini menggunakan Fuzzy Mamdani. Fuzzy mamdani diperkenalkan pertama kali oleh Ibrahim mamdani pada 1975[6]. Metode mamdani ini juga dikenal dengan metode Min-Max[7]. Metode ini digunakan karna lebih intuitif dan diterima banyak pihak, selain itu Fuzzy Mamdani juga sangat fleksibel[6]. Pada metode mamdani ada beberapa tahapan untuk menghasilkan output.

1. Fuzzyfikasi

Pembentukan fungsi keanggotaan dan himpunan fuzzy untuk mendapatkan aturan. Proses fuzzyfikasi yaitu mengubah nilai crisp menjadi fuzzy[6].

2. Fungsi Implikasi

Fungsi Implikasi yang digunakan adalah Min. Proses fungsi implikasi yaitu mengambil nilai input dari fuzyfikasi dan di terapkan pada aturan-aturan fuzzy lalu di implikasi[8].

3. Komposisi Aturan

komposisi aturan di tentukan Setelah memperoleh hasil dari fungsi implikasi dengan menggunakan metode Max[8].

4. Defuzzyfikasi

Pada penelitian ini metode defuzzyfikasi yang digunakan adalah metode centroid. Metode ini akan diperoleh dengan mengambil pusat daerah fuzzy[9].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

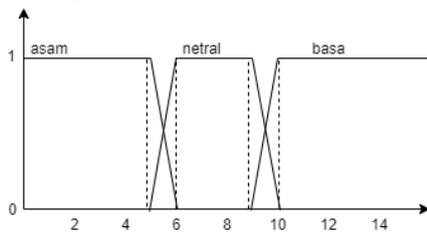
A. Fuzzy Mamdani

penerapan metode Fuzzy Mamdani diproses dalam NodeMCU ESP32. Berdasarkan

sampel yang di ambil di desa palengaan input dalam sistem monitoring Tingkat pencemran air ini adalah : Ph = 7.15, TDS= 358.

1. Fuzzyfikasi

Menurut PPRI No.22 tahun 2021. standar baku mutu air Sungai yang diperbolehkan untuk nilai Ph adalah 6-9. Variabel ph dikategorikan menjadi tiga himpunan yaitu Asam,Netral dan Basa. Himpunan asam memiliki nilai dari 0-6, himpunan Netral memiliki nilai dari 6-9, dan himpunan Basa memiliki nilai 9-14.



Dibawah ini merupakan Fungsi keanggotaan variabel ph :

$$\mu_{asam}(x) = \begin{cases} 1; x \leq 5 \\ \frac{6-x}{6-5}; 5 \leq x \leq 6 \\ 0; x \geq 6 \end{cases}$$

$$\mu_{netral}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 5 \text{ atau } \geq 10 \\ \frac{x-5}{6-5}; 5 \leq x \leq 6 \\ 1; 6 \leq x \leq 9 \\ \frac{10-x}{10-9}; 9 \leq x \leq 10 \end{cases}$$

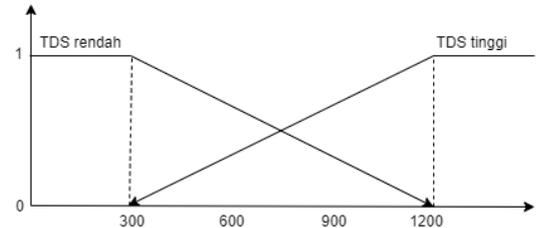
$$\mu_{basa}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 9 \\ \frac{x-9}{10-9}; 9 \leq x \leq 10 \\ 1; x \geq 10 \end{cases}$$

Input ph bernilai 7.15 maka nilai keanggotaanya yaitu :

$$\mu_{netral}(7.15) = 1$$

Menurut PPRI No. 22 tahun 2001. standar baku mutu air Sungai adalah 1000 mg/L (ppm). Secara umum semakin tinggi nilai TDS maka semakin banyak padatan terlarut yang ada dalam air dan semakin tinggi Tingkat pencemaran air tersebut. Variabel TDS

dikategorikan menjadi dua himpunan yaitu TDSrendah dan TDStinggi, himpunan TDSrendah memiliki nilai 0-300, dan himpunan TDStinggi memiliki nilai 300-1200.



Dibawah ini merupakan fungsi keanggotaan variabel TDS :

$$\mu_{TDSrendah}(x) = \begin{cases} 1; x \leq 300 \\ \frac{1200-x}{1200-300}; 300 \leq x \leq 1200 \\ 0; x \geq 1200 \end{cases}$$

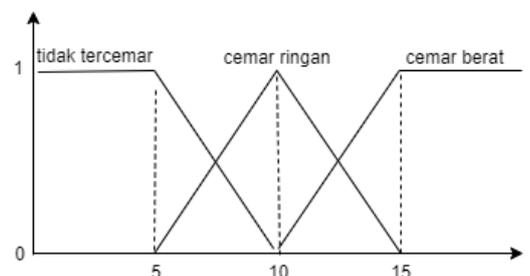
$$\mu_{TDStinggi}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 300 \\ \frac{x-300}{1200-300}; 300 \leq x \leq 1200 \\ 1; x \geq 1200 \end{cases}$$

Input TDS bernilai 358 maka nilai keanggotaanya yaitu :

$$\mu_{tdsrendah}(358) = \frac{1200 - 358}{1200 - 300} = 0.94$$

$$\mu_{tdstinggi}(358) = \frac{358 - 300}{1200 - 300} = 0.06$$

Variabel outpu yaitu tingkat kualitas air dikategorikan menjadi tiga himpunan diantaranya tidak tercemar 0-5, cemar ringan 5-10 dan cemar berat 10-15.



Dibawah ini merupakan fungsi keanggotaan variabel tingkat kualitas air:

$$\mu_{\text{tidak tercemar}}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 5 \\ \frac{10-x}{10-5}; & 5 \leq x \leq 10 \\ 0; & x \geq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{cemar ringan}}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 5 \text{ atau } x \geq 15 \\ \frac{x-5}{5}; & 5 \leq x \leq 10 \\ \frac{15-x}{5}; & 10 \leq x \leq 15 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{cemar berat}}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 5 \\ \frac{x-10}{5}; & 10 \leq x \leq 15 \\ 1; & x \geq 15 \end{cases}$$

2. Fungsi implikasi

[R1] jika Ph Asam dan TDS Rendah maka Tingkat Kualitas Air Tercemar Ringan

[R2] jika Ph Asam dan TDS Tinggi maka Tingkat Kualitas Air Tercemar Berat

[R3] jika Ph Netral dan TDS Rendah maka Tingkat Kualitas Air Tidak tercemar

$$\begin{aligned} a \text{ predikat}_2 &= \mu_{\text{netral}}(x) \cap \mu_{\text{rendah}}(x) \\ &= \min(\mu_{\text{netral}}(x); \mu_{\text{rendah}}(x)) \\ &= \min(1; 0.94) \\ &= 0.94 \end{aligned}$$

[R4] jika Ph Netral dan TDS Tinggi maka Tingkat Kualitas Air Tercemar ringan

$$\begin{aligned} a \text{ predikat}_2 &= \mu_{\text{netral}}(x) \cap \mu_{\text{rendah}}(x) \\ &= \min(\mu_{\text{netral}}(x); \mu_{\text{rendah}}(x)) \\ &= \min(1; 0.06) \\ &= 0.06 \end{aligned}$$

[R5] jika Ph Basa dan TDS Rendah maka Tingkat Kualitas Air Tercemar Ringan

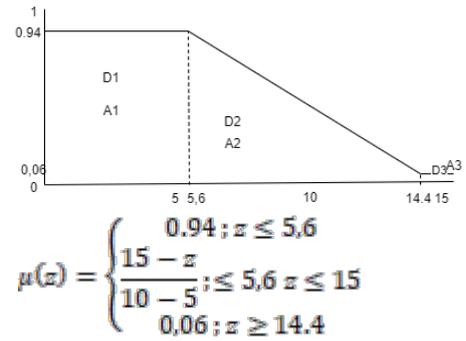
[R6] jika Ph Basa dan TDS Tinggi maka Tingkat Kualitas Air Tercemar berat

3. Komposisi aturan

Tidak tercemar = 0.94

Tercemar ringan = 0.06

Berdasarkan komposisi aturan tersebut di dapat fungsi himpunan *fuzzy* yang baru. Di bawah ini merupakan kurva penggabungan dan fungsi himpunan *fuzzy* yang baru berdasarkan kurva penggabungan.



Setelah mendapat himpunan baru selanjutnya menentukan momen dan luas daerah *fuzzy*.

4. Defuzifikasi

Tahap terhir yaitu defuzzyfikasi dengan menggunakan metode *centroid* atau *coA*.

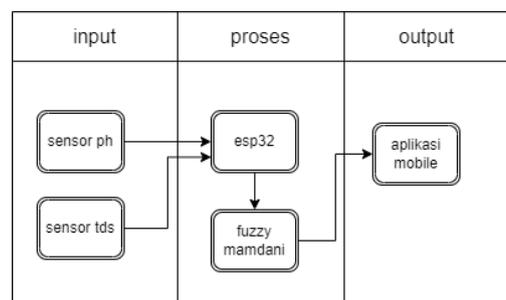
$$z = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$z = \frac{38.91}{9.13} = 4,26$$

dapat dilihat dari hasil perhitungan fungsi keanggotaan di atas, nilai yang dihasilkan adalah 4.26. Dimana nilai ini masuk dalam kategori tidak tercemar. Maka dari itu contoh perhitungan *Fuzzy Mamdani* dari kasus ini menunjukkan bahwa kualitas air tidak tercemar.

B. Perancangan Sistem

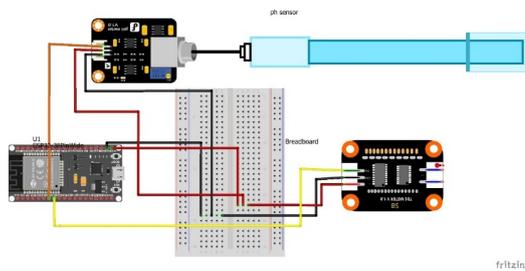
Dalam system ini terdapat beberapa bagian diantaranya input, proses dan output. Dalam bagian input terdapat dua sensor yang digunakan diantaranya sensor ph dan TDS untuk mengukur kualitas air. Bagian proses merupakan pemrosesan data dari pembacaan sensor menggunakan *Fuzzy Mamdani*. Outputnya berupa nilai Tingkat pencemaran air Sungai yang akan di tampilkan pada aplikasi *mobile*. Desain perancangan sistem dapat di lihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2 Desain perancangan

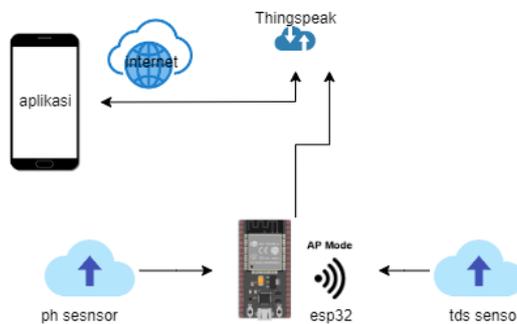
C. Desain Rangkaian Alat

Rancangan alat dimulai dengan menghubungkan dua sensor, sensor ph dan sensor tds pada *NodeMCU ESP32*. Sensor ph dengan Pin analog (34) dan sensor tds dengan pin analog (35). Pemrograman mikrokontroler dijalankan pada Arduino IDE. Arduino IDE merupakan platform untuk mengimplementasikan *Fuzzy Mamdani* dan mengakses pembacaan sensor. Perancangan perangkat keras dapat di lihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 3 Rancangan Sistem

Data diperoleh dari hasil pembacaan sensor terhadap sampel. hasil pembacaan sensor ini nantinya akan di proses pada mikrokontroler dengan menggunakan *Fuzzy Mamdani*. hasil perhitungan *fuzzy* akan di simpan pada database untuk kemudian ditampilkan pada aplikasi mobile. Pada penelitian ini platform *Thingspeak* digunakan sebagai tempat penyimpanan database. Konektivitas *Thingspeak* dengan mikrokontroler beserata sensor dapat di lihat pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 4 Konektifitas *Thinspeak*

D. Aplikasi Mobile

Penelitian ini memanfaatkan kodular sebagai platform pembuat aplikasi untuk menampilkan data yang dikirim oleh *database*. Aplikasi mobile terdiri dari dua menu, *Home* dan *Data*. Dimana pada menu *Home* terdapat tampilan untuk menampilkan

hasil pembacaan sensor juga kualitas air yang sudah di olah oleh mikrokontroler. Sedangkan menu *Data* akan di arahkan pada website *thingspeak* yang menampilkan data grafik dari history pemantauan. Tampilan aplikasi dapat di lihat pada Gambar 4. (a) menunjukkan splash scree, (b) menunjukkan halaman Home, (c) menunjukkan halaman Data.



Gambar 5 aplikasi *mobile*

E. Pengujian Alat

Pengujian dilakukan untuk menghitung persentase kesalahan dari setiap sensor. Pengujian ini dilakukan dengan metode *MAPE*. *MAPE* adalah ukuran ketetapan relatif yang digunakan untuk mengetahui presentasi penyimpangan hasil pendugaan, dimana menurut lewis jika semakin rendah nilai *MAPE* maka model peramalan akurat dan begitujuga sebaliknya semakin tinggi nilai *MAPE* makan model peramalan bisa dikatakan tidak akurat[10]. Pengujian sesnsor dilakukan menggunakan 50 sampel air sungai dimana nilai aktual di dapat dari pengukuran alat manual sedangkan nilai prediksi di ambil dari hasil pengukuran sensor. Langkah pengujian meliputi mencari selisih dari nilai aktual dan nilai prediksi, selanjutnya selisih tersebut akan di absolutkan sehingga dapat di cari nilai *MAPE*-nya . secara umum mencari nilai *MAPE* dapat dituliskan seperti persamaan (1) berikut:

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{\hat{Y}_i} \right| \times 100\% \tag{1}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan menggunakan metode *MAPE* di peroleh hasil 3,51% sensor Ph dan 3,46 % sesnsor TDS. Yang artinya sensor Ph dan TDS yang digunakan dalam sistem ini sangan akurat. Hasil pengujian alat sistem monitoring tingkat pencemaran air sungai dapat di lihat pada tabel 1

Table 1 ringkasan data pengujian alat

Alat	Mean	Median	Min	Max	Std.Dev	MAPE
Sensor Ph	7,3836	7,595	4,52	8,31	0,721692342	3,51%
Meter Ph	7,3312	7,5	4	8,2	0,794888363	
Sensor TDS	534,24	413,5	315	791	191,1564761	3,46%
Meter TDS	526,08	405,5	305	793	187,5767968	

Sama halnya dengan pengujian sensor pengujian Fuzzy juga dilakukan menggunakan metode *MAPE*. Data yang digunakan adalah hasil pemantauan dari mikrokontroler dengan implentasi Fuzzy Mamdani yang didapat dari sensor ph dan TDS sebagai data prediksi. Sedangkan data aktual menggunakan data perhitungan Matlab yang sudah di setting menggunakan *Fuzzy Mamdani* dengan mengambil data dari alat manual pengukur ph dan TDS. Dari hasil perhitungan metode *MAPE* diperoleh eror 2,39 %. Yang artinya sistem ini sangat akurat. Hasil pengujian fuzzy sistem monitoring tingkat pencemaran air sungai dapat di lihat pada tabel 2.

Table 2 pengujian fuzzy

data	mean	median	Min	max	Std.dev	MAPE
Mikrokontroler	5,676	4,645	3,95	13,3	1,969606819	2,39%
Matlab	5,629	4,59	3,87	13,4	1,975632423	

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah di lakukan, didapat presenstase eror sensor ph 3,51%, sensor TDS 3,46% dan Fuzzy 2,39%. Alat monitoring ini berfungsi dengan baik dan dapat digungakan sebagai alat manitoring tingkat pencemaran air sungai. Oleh karena itu *Fuzzy Mamdani* dapat dikatakan layak mejadi penentu keputusan dalam tingkat pencemaran air. Juga

sistem ini bisa dikatakan layak untuk memonitoring tingkat pencemaran air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Habiba Jamal El Afif, "Membuang Sampah Pada Tempatnya, Masih Efektifkah Untuk Mengatasi Pencemaran Sungai?," *dompetdhuafa.org*, 2023. [https://dmc.dompetdhuafa.org/membuang-sampah-pada-tempatnya-masih-efektifkah-untuk-mengatasi-pencemaran-sungai/#:~:text=Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan,ringan sebanyak 8%2C9%25.\(accessed Jun. 05, 2023\).](https://dmc.dompetdhuafa.org/membuang-sampah-pada-tempatnya-masih-efektifkah-untuk-mengatasi-pencemaran-sungai/#:~:text=Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan,ringan sebanyak 8%2C9%25.(accessed Jun. 05, 2023).)
- [2] F. Sugiester S, Y. W. Firmansyah, W. Widiyantoro, M. F. Fuadi, Y. Afrina, and A. Hardiyanto, "Dampak Pencemaran Sungai Di Indonesia Terhadap Gangguan Kesehatan : Literature Review," *J. Ris. Kesehat. Poltekkes Depkes Bandung*, vol. 13, no. 1, pp. 120–133, 2021, doi: 10.34011/juriskesbdg.v13i1.1829.
- [3] M. Garonga, S. Y. Padang, F. B. Gallaran, and H. Masiku, "Sistem Pemantauan dan Klasifikasi Kondisi Pencemaran Air Sungai dengan Metode Fuzzy Logic," no. 2.
- [4] Cika Nurqueen Paradis, "SISTEM INFORMASI KUALITAS AIR LAYAK KONSUMSI BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI," UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG, 2023.
- [5] A. F. Trinaldi, "Sistem Kontrol dan Monitoring Suhu Kelembaban Kandang pada Peternakan Ayam Broiler dengan Metode Logika Fuzzy Mamdani Berbasis Internet of Things," *Pros. Sains Nas. dan Teknol.*, vol. 12, no. 1, p. 349, 2022, doi: 10.36499/psnst.v12i1.7046.
- [6] U. Latipah, Z. Alamsyah, and F. Mamdani, "ANALISIS PERANCANGAN SISTEM MONITORING AIR," no. September, 2022.
- [7] D. Oktarina *et al.*, "IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC MAMDANI UNTUK," vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2015.
- [8] E. K. Putra, *SISTEM MONITORING KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA BIBIT IKAN HIAS MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI BERBASIS INTERNET of THINGS SKRIPSI oleh* : 2020.
- [9] M. S. S. Virdaus and E. Ihsanto, "Rancang Bangun Monitoring Dan Kontrol Kualitas Udara Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Wemos," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 1, p. 22, 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i1.005.