

# Deteksi Lokasi Pencemaran Air Sungai Citarum berbasis IoT menggunakan Fuzzy Inference System

Annisa Gustien Widowati <sup>#1</sup>, Novian Anggis Suwastika <sup>+2</sup>, Rahmat Yasirandi <sup>#3</sup>

<sup>#</sup> *School of Computing, Telkom University Bandung, Indonesia*

<sup>1</sup> annisagw@student.telkomuniversity.ac.id

<sup>2</sup> anggiss@telkomuniversity.ac.id

<sup>3</sup> batanganhitam@telkomuniversity.ac.id

## Abstract

One of the obstacles in overcoming Citarum river water pollution is determining the location that has the highest pollution level. So far away the tools and research related to the detection of pollution locations are very minimal and still use manual measurement methods. In this study a system was built to determine the location of accurate pollution and based on the Internet of Things (IoT) which is able to carry out data retrieval continuously and realtime. Data obtained from IoT readings are then classified using fuzzy inference system method type Mamdani with basic rules that can be interpreted, intuitively and widely used specifically to support decision making with a high degree of accuracy. Validation of the system built with a comparison device (conventional device) obtained the tolerance of accuracy of data reading by the system hardware that was built showed pH 3.94%, TDS 4.92% and temperature 1.84%. The results obtained from testing based on the test scenario, the classification accuracy level shows an average accuracy of 92% with a tolerance value of the system error of 4% at each location point. The area at the coordinates (107.632836 -6.974593) was detected as the most polluted area with moderate polluted river pollutants.

**Keywords:** location detection of pollution, river water quality, internet of things, fuzzy inference system.

## Abstrak

Salah satu kendala dalam mengatasi pencemaran air sungai Citarum adalah menentukan lokasi yang memiliki tingkat pencemaran paling tinggi. Sejauh ini perangkat maupun penelitian yang berkaitan dengan deteksi lokasi pencemaran sangat minim dan masih menggunakan metode pengukuran manual. Pada penelitian ini dibangun sistem untuk melakukan penentuan lokasi pencemaran yang akurat dan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan pengambilan data secara terus-menerus dan *realtime*. Data yang didapatkan dari pembacaan IoT kemudian diklasifikasikan dengan menggunakan metode *fuzzy inference system* tipe Mamdani dengan sifat dasar aturan yang dapat ditafsirkan, intuitif dan banyak digunakan khususnya untuk mendukung pengambilan keputusan yang dengan tingkat akurasi yang tinggi. Validasi terhadap sistem yang dibangun dengan alat pembanding (perangkat konvensional) didapatkan hasil toleransi akurasi pembacaan data oleh perangkat keras sistem yang dibangun menunjukkan pH 3.94%, TDS 4.92% dan suhu 1.84%. Hasil yang didapatkan dari pengujian berdasarkan skenario pengujian tingkat akurasi klasifikasi menunjukkan akurasi rata-rata 92% dengan nilai toleransi kesalahan pada sistem sebesar 4% di setiap titik lokasi. Daerah pada koordinat (107.632836 -6.974593) terdeteksi sebagai daerah paling tercemar dengan tingkat pencemaran air sungai tercemar sedang.

**Kata Kunci:** deteksi lokasi pencemaran, kualitas air sungai, *internet of things*, *fuzzy inference system*.

## I. PENDAHULUAN

MENURUT Edigius Patnistic sungai Citarum merupakan salah satu sungai tercemar di bumi [14]. Sumber pencemaran air sungai Citarum paling banyak berasal dari kegiatan industri [4] [3] [2] [21] [27]. Pemerintah telah melakukan beberapa kebijakan dan usaha untuk menanggulangi pencemaran air sungai Citarum, seperti membuat Balai Besar Wilayah Sungai Citarum, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, dan pelatihan-pelatihan kepada masyarakat namun permasalahan pencemaran air sungai Citarum masih terus terjadi [8]. Deteksi lokasi pencemaran air sungai Citarum dapat digunakan sebagai upaya pengendalian pencemaran berdasarkan lokasi sungai yang terindikasi sebagai daerah paling tercemar. Diperlukan sebuah sistem yang mampu melakukan pemantauan kualitas air sungai dan mengetahui lokasi pencemaran yang paling tinggi dan dapat mengambil data terus-menerus secara *realtime* dengan mengklasifikasikan tingkat pencemaran serta pemetaan lokasi pencemaran. Sistem yang dibangun berbasis IoT yang mengacu pada interkoneksi jaringan objek sehari-hari dengan mengintegrasikan setiap objek melalui alat yang tertanam dan mendistribusikan data menggunakan jaringan agar dapat berkomunikasi dengan manusia serta perangkat lain [25]. Sistem ini menggunakan beberapa sensor yaitu sensor suhu, sensor *Total Dissolved Solid* (TDS) dan sensor pH dan akan dihubungkan dengan mikrokontroler untuk mengintegrasikan sensor-sensor yang ada pada sistem untuk mengetahui kandungan air sungai dan lokasi pencemaran melalui pembacaan data secara terus-menerus dan *realtime*. Metode yang digunakan dalam sistem deteksi lokasi pencemaran ini yaitu *fuzzy inference system* tipe Mamdani yang dipilih karena dapat mengurangi ketidakpastian dan ketidaktepatan dalam kriteria yang digunakan sebagai alat pengambilan keputusan, menyederhanakan dan mempercepat perhitungan serta fleksibel antara kualifikasi linguistik yang digunakan untuk klasifikasi kualitas air dan pemetaan pencemaran [12] [10] [11].

Pengklasifikasian tingkat pencemaran air sungai ditentukan berdasarkan pada dua parameter yaitu parameter fisika dan kimia sebagai indikator kualitas air [5] serta pemetaan pencemaran dapat ditentukan berdasarkan peta topografi ataupun peta situasi sungai berdasarkan indikator pencemaran air sungai [22] pada titik tertentu untuk setiap *node*. Deteksi lokasi pencemaran dengan melakukan pengklasifikasian dan pemetaan tersebut dapat mengoptimalkan waktu pada kondisi yang tidak memungkinkan, sederhana, mudah dimengerti dan fleksibel serta mampu mengatasi ketika terjadi kesamaran pada parameter di sekitar kondisi sungai [22] [13].

Makalah ini disusun sebagai berikut, bagian pendahuluan menjelaskan tentang permasalahan pencemaran air sungai Citarum dan sistem deteksi yang akan dibangun. Bagian kajian literasi membahas mengenai *paper* yang berkaitan dengan penggunaan teknologi IoT dalam pemantauan kualitas air dan penerapan metode *fuzzy inference system* untuk klasifikasi penelitian terkait. Bagian metode penelitian yang diusulkan menjelaskan proses sistem secara umum, model dan desain *fuzzy inference system*. Bagian hasil dan diskusi menyajikan skenario akurasi perangkat keras sistem, skenario pengujian kecepatan pembacaan data dan pengiriman data, serta skenario pengujian tingkat akurasi klasifikasi dan toleransi sistem kemudian bagian Kesimpulan menjelaskan hasil implementasi dan analisis sistem secara keseluruhan.

## II. PENELITIAN TERKAIT

Pemantauan kualitas air dengan menggunakan teknologi IoT yang dinamai dengan sistem manajemen kualitas air online telah terbukti efektif dalam menjaga kualitas dan kuantitas air tetap stabil di Teluk Xinglin, China [24]. Parameter yang digunakan untuk melakukan pemantauan kualitas air adalah pH karena dapat mengukur seberapa basa atau asam air tersebut, suhu, dan total padatan terlarut untuk mengetahui konduktivitas yang memberikan indikasi jumlah kotoran dalam air [6]. Pada penelitian [19] pengambilan dan mengumpulkan data disimpan di *web-server* dengan menggunakan modul GSM.

Metode untuk mengetahui indeks yang diusulkan sebagai pengambilan keputusan menyelesaikan masalah ketidakpastian dan ambiguitas linguistik yang melekat pada masalah lingkungan yaitu dengan menggunakan *fuzzy inference system* tipe Mamdani [11]. Fleksibilitas logika fuzzy untuk mengembangkan model klasifikasi dengan sederhana telah menunjukkan bahwa komputasi dengan *fuzzy inference system* meningkatkan toleransi untuk data yang tidak tepat di Sungai Ebro, Spanyol [12]. Logika fuzzy menjadi alat yang efektif untuk

memetakan *input* ke *output* yang sesuai untuk masalah klasifikasi kualitas air yang telah dilakukan di Sungai Semenyih, Malaysia Barat [1] [17]. Dalam penelitian yang telah dilakukan pada sungai di Brazil [9] [18] metode ini terbukti dapat mengatasi ketidakpastian dan subjektivitas dalam isu-isu lingkungan serta mengatasi ketidaktepatan dari beberapa metode konvensional seperti yang didapat dari *Water Quality Index* (WQI) karena *fuzzy inference system* dapat menafsirkan hasil secara kuantitatif berdasarkan nilai keanggotaan fuzzy. Jika dibandingkan dengan metode *Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*, Brazil (CETESB) [18] dan *binary logic* [20], indeks yang dikembangkan atas dasar *fuzzy inference system* ditemukan lebih bermanfaat dan meningkatkan akurasi karena dapat meminimalkan kesalahan perhitungan dari parameter yang digunakan.

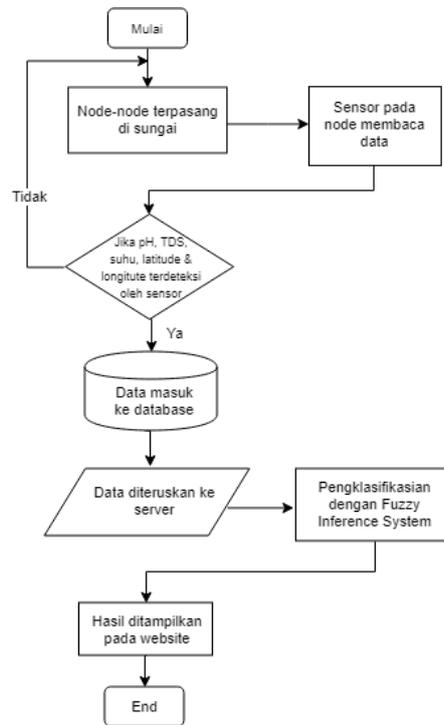
Pengkombinasian teknologi IoT dan *fuzzy inference system* telah dilakukan untuk mengetahui kualitas air dengan mengambil beberapa sampel jenis air yaitu air leding, air sumur, air mineral, dan air keran yang dicampur dengan sabun yang diujikan pada tiga tempat yaitu kota Surabaya, Singosari, Malang dan Batu. Parameternya digunakan untuk menentukan indikator kualitas air yaitu tingkat keasaman (pH), total padatan terlarut, transparansi atau kekeruhan dan suhu air. Tes presisi untuk sensor telah dilakukan dan masing-masing sensor memiliki presisi yang baik. Penentuan kualitas air menggunakan logika fuzzy, dibagi menjadi tiga kategori yaitu air kualitas baik, kurang baik dan buruk [16]. Penelitian lain yaitu melakukan pemantauan kualitas air untuk industri akuakultur yang fokus pada pengembangan prototipe yang dapat mengevaluasi data dikumpulkan melalui tiga kriteria yaitu level oksigen terlarut, level pH, dan level suhu dengan mendeteksi degradasi kualitas air di kolam melalui SMS [7].

Pada penelitian ini sistem yang akan dibangun mengadaptasi pemanfaatan teknologi IoT dengan menggunakan metode *fuzzy inference system* tipe Mamdani dari beberapa *paper* yang telah dijelaskan. Dalam pengembangannya berdasarkan *paper* yang menjadi acuan tersebut, sistem yang dibangun menghasilkan klasifikasi untuk mengetahui lokasi dengan tingkat pencemaran paling tinggi. *Node* yang terpasang di titik-titik lokasi sungai merupakan perangkat pembacaan data pH, suhu, dan TDS dengan menggunakan sensor pH, sensor suhu dan sensor TDS. Nodemcu digunakan untuk konektivitas data dan modul GPS untuk mengetahui koordinat dari lokasi pencemaran air sungai serta website sebagai *dashboard* visualisasi data hasil pembacaan dan pengolahan.

### III. METODE PENELITIAN

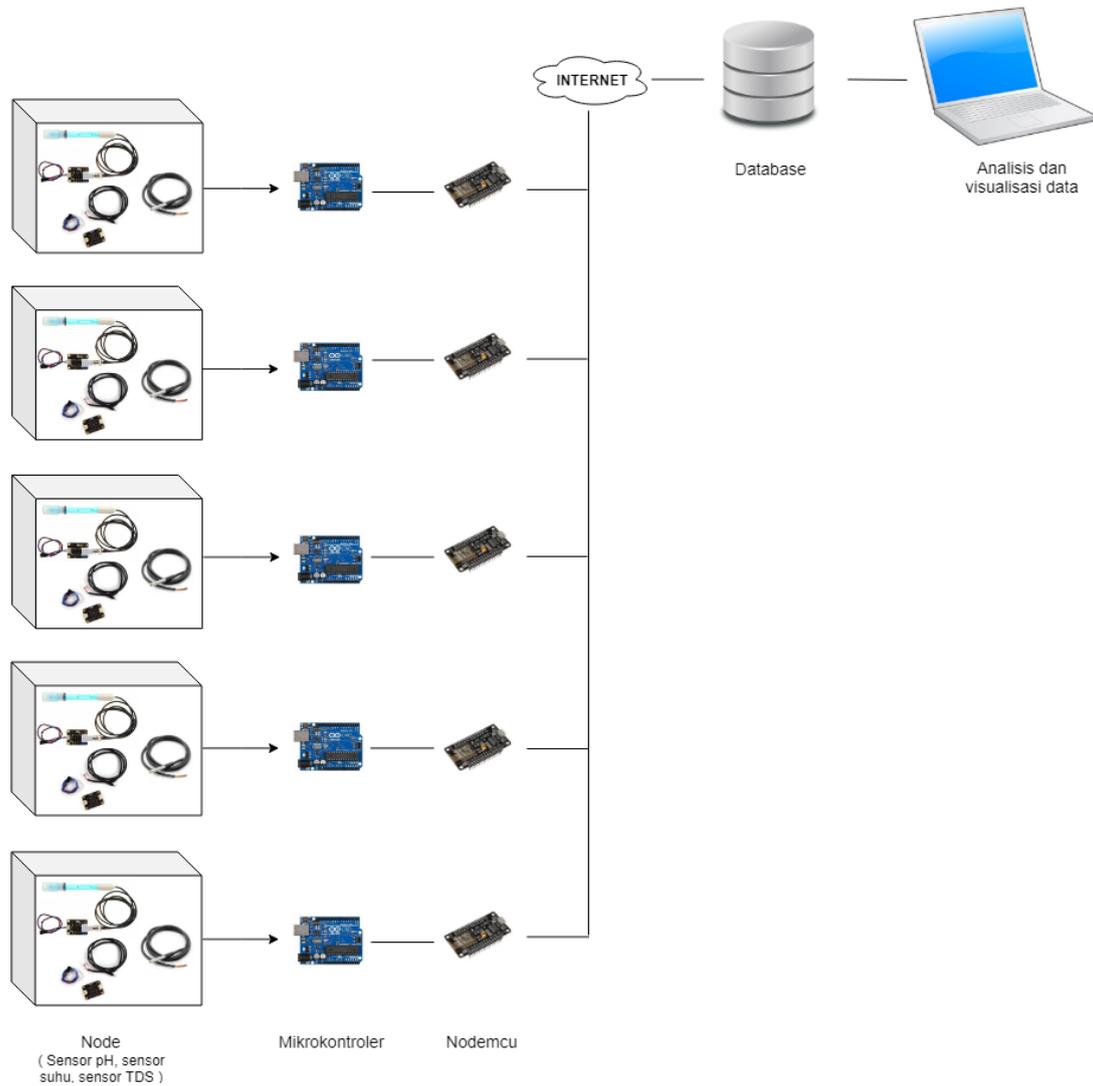
#### A. Proses Umum Sistem

Alur proses sistem seperti Gambar 1 berjalan dimulai dengan telah terpasangnya *node* pada beberapa titik yang ditentukan kemudian sensor-sensor yang terdapat pada *node* membaca nilai pH, TDS, suhu pada air sungai serta *latitude* dan *longitude* sesuai posisi *node*, jika nilai dari parameter-parameter tersebut gagal terdeteksi maka akan dilakukan pembacaan ulang. Jika nilai dari parameter-parameter tersebut berhasil terdeteksi maka nilai yang didapatkan akan disimpan pada *database* yang akan diteruskan ke *server*. Data yang masuk ke *server* diklasifikasikan secara paralel.



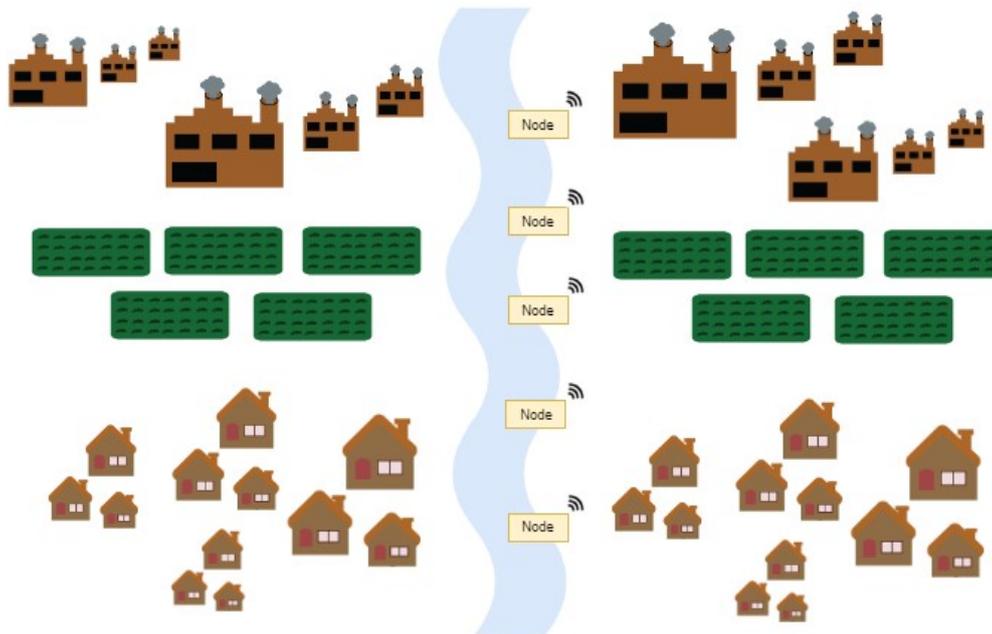
Gambar 1: Alur Proses Sistem

Model sistem yang dijalankan pada Gambar 2 masing-masing *node* berisi 3 sensor yaitu sensor pH, sensor TDS dan sensor suhu, modul GPS, mikrokontroler, nodemcu serta untuk analisis dan visualisasi menggunakan laptop. *Node* satu dengan *node* lain berkomunikasi menggunakan *wireless sensor network*. Sensor pH, sensor TDS dan sensor suhu digunakan untuk mengambil data air sungai, modul GPS digunakan untuk mengetahui *latitude* dan *longitude*, mikrokontroler untuk mengkonfigurasi sensor-sensor saat pengambilan data yang ditampung kemudian diteruskan ke nodemcu yang berfungsi juga sebagai konektivitas yang akan mengirimkan data yang telah terbaca ke *database*. Protokol yang digunakan yaitu HTTP yang sesuai dengan sistem yang hanya mengirimkan data tanpa ada perintah lain yang harus diterima. *Database* yang telah menampung data pH, TDS, suhu, *latitude* dan *longitude* diteruskan pada *server* kemudian diklasifikasikan menggunakan *fuzzy inference system* dan ditampilkan melalui *website*.



Gambar 2: Model Sistem

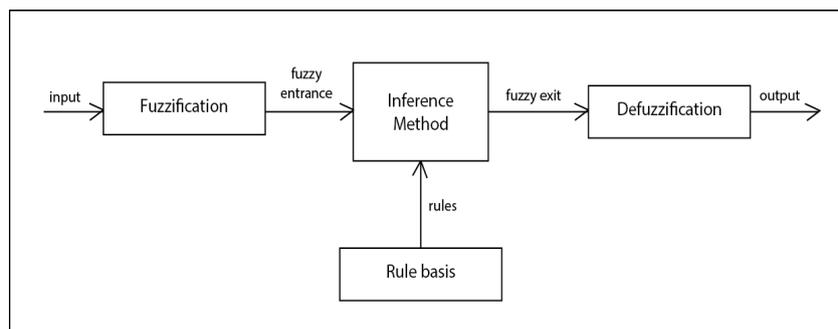
Pada Gambar 3 menunjukkan denah posisi *node* yang dipasang pada titik tertentu untuk pengambilan data kandungan air sungai dan klasifikasi lokasi pencemaran. Peletakkan *node* difokuskan pada aliran sungai dari lain seperti aliran dari pabrik, persawahan dan area hunian penduduk. Pada daerah pengambilan data membutuhkan minimal 5 *node* sebagai alat pembacaan data untuk 5 titik lokasi.



Gambar 3: Denah Posisi Node

#### B. Model dan Desain Fuzzy Inference System

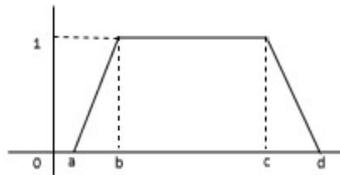
Logika fuzzy dapat dilihat sebagai perpanjangan dari logika klasik, dengan kerangka kerja konseptual yang cocok untuk perawatan masalah yang memiliki subjektivitas intrinsik. Salah satunya alat untuk pemodelan fuzzy adalah proses inferensi fuzzy. Proses ini menggunakan tiga konsep penting : fungsi validitas, operasi antara koleksi fuzzy, dan basis aturan dan memiliki tiga tahap: fuzzifikasi, rule basis proses inferensi, dan defuzzifikasi seperti skema pada pada Gambar 4.



Gambar 4: Skematik Fuzzy Inference System

1) Fuzzifikasi merupakan pemetaan nilai *input* yang merupakan nilai tegas ke dalam fungsi keanggotaan himpunan fuzzy, untuk kemudian diolah di dalam mesin penalaran. Fungsi keanggotaan bentuk trapesium seperti pada Gambar 5 dipilih karena dapat membantu menemukan akurasi yang lebih tinggi, menghindari kompleksitas klasifikasi data dan kinerja fungsi trapesium lebih baik dari fungsi keanggotaan segitiga. [15].

$$\mu(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{if } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{if } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{if } c \leq x \leq d \end{cases} \quad (1)$$



Gambar 5: Fungsi Keanggotaan Trapesium

2) Rule basis merupakan aturan dasar dalam kendali logika fuzzy adalah aturan implikasi dalam bentuk *IF...THEN...* Aturan dasar tersebut ditentukan dengan bantuan seorang pakar yang mengetahui karakteristik objek yang akan dikendalikan.

3) Proses inferensi Pada tahapan ini sistem menalar nilai masukan untuk menentukan nilai keluaran sebagai bentuk pengambil keputusan. Kesimpulan diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Pada penelitian ini menggunakan metode *max-min*, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator *AND*. Dalam penalaran ini, pertama-tama dilakukan proses operasi min sinyal keluaran lapisan fuzzyfikasi, kemudian diteruskan dengan operasi max untuk mencari nilai keluaran yang selanjutnya akan defuzzyfikasikan sebagai bentuk keluaran pengendali.

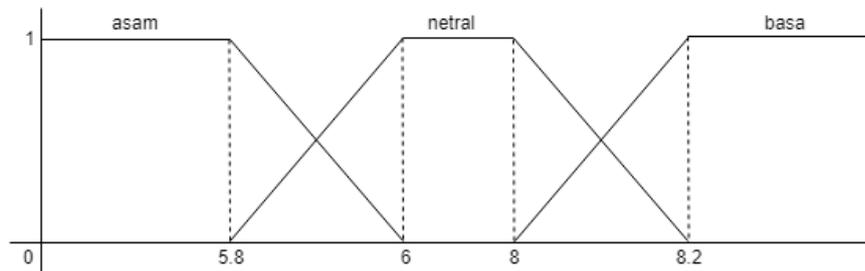
4) Defuzzyfikasi merupakan kebalikan dari fuzzyfikasi, yaitu pemetaan dari himpunan fuzzy ke himpunan tegas. Input dari proses defuzzyfikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy. Hasil dari defuzzyfikasi ini merupakan *output* dari sistem kendali logika fuzzy [26].

Dalam implementasi pengambilan keputusan klasifikasi menggunakan *fuzzy inference system* jumlah label yang digunakan pada sistem sebanyak 8 unit sebagai input. Label-label pada parameter dibuat berdasarkan standar baku mutu air sungai [16] [23] Suhu dan pH memiliki masing-masing tiga label input dan TDS memiliki dua label input seperti pada Tabel I.

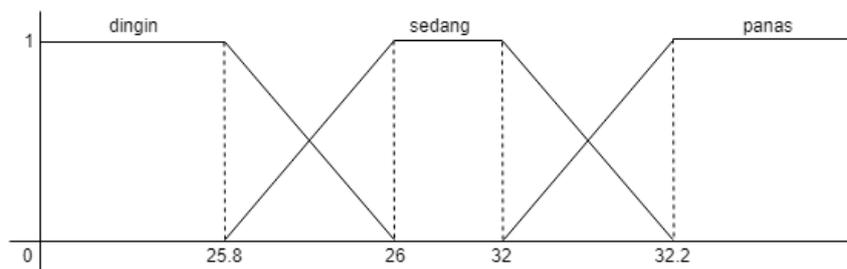
Tabel I: Label Parameter Kualitas Air

Parameter	Nilai	Kategori
pH	<6	Asam
	6-8	Netral
	>8	Basa
Suhu	<26°C	Dingin
	26-32°C	Sedang
	>32°C	Panas
TDS	0-300	Baik
	250-1000	Buruk

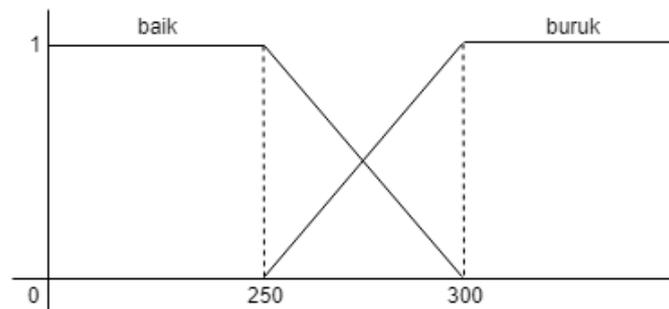
Fungsi keanggotaan ditentukan untuk menyatakan fungsi sistem secara keseluruhan dengan bentuk trapesium. Fungsi keanggotaan pH dibagi menjadi tiga kategori yaitu nilai pH kurang dari 5.8 adalah asam, 6 sampai 8 adalah netral dan lebih dari 8.2 adalah basa. Fungsi keanggotaan suhu dibagi menjadi tiga kategori yaitu nilai suhu kurang dari 25.8 adalah dingin, 26 sampai 32 adalah sedang dan lebih dari 3.22 adalah panas. Fungsi keanggotaan TDS dibagi menjadi 2 yaitu nilai TDS kurang dari 250 adalah baik dan lebih dari 300 adalah buruk.



Gambar 6: Fungsi Keanggotaan pH



Gambar 7: Fungsi Keanggotaan Suhu



Gambar 8: Fungsi Keanggotaan Total Dissolved Solid

Tabel II. menunjukkan himpunan keanggotaan fuzzy yang digunakan untuk *output* sistem yang didapatkan dari Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 yaitu fungsi keanggotaan pH, suhu dan TDS dengan menggunakan *rule* logika fuzzy *IF...(AND)...THEN*. Kategori yang menjadi hasil proses defuzzyfikasi terdiri dari empat label *decision* yaitu tidak tercemar, tercemar ringan, tercemar sedang dan tercemar berat.

Tabel II: Himpunan Keanggotaan Fuzzy Inference System

pH	Suhu	TDS	TDS
		Baik	Buruk
Asam	Dingin	Tercemar Sedang	Tercemar Berat
Asam	Sedang	Tercemar Ringan	Tercemar Sedang
Asam	Panas	Tercemar Sedang	Tercemar Berat
Netral	Dingin	Tercemar Ringan	Tercemar Sedang
Netral	Sedang	Tidak Tercemar	Tercemar Ringan
Netral	Panas	Tercemar Ringan	Tercemar Sedang
Basa	Dingin	Tercemar Sedang	Tercemar Berat
Basa	Sedang	Tercemar Ringan	Tercemar Sedang

Basa	Panas	Tercemar Sedang	Tercemar Berat
------	-------	-----------------	----------------

- 1) if (ph = asam AND tds = baik AND suhu = dingin) THEN tercemar sedang
- 2) if (ph = asam AND tds = baik AND suhu = sedang) THEN tercemar ringan
- 3) if (ph = asam AND tds = baik AND suhu = panas) THEN tercemar sedang
- 4) if (ph = asam AND tds = buruk AND suhu = dingin) THEN tercemar berat
- 5) if (ph = asam AND tds = buruk AND suhu = sedang) THEN tercemar sedang
- 6) if (ph = asam AND tds = buruk AND suhu = panas) THEN tercemar berat
- 7) if (ph = netral AND tds = baik AND suhu = dingin) THEN tercemar ringan
- 8) if (ph = netral AND tds = baik AND suhu = sedang) THEN tidak tercemar
- 9) if (ph = netral AND tds = baik AND suhu = panas) THEN tercemar ringan
- 10) if (ph = netral AND tds = buruk AND suhu = dingin) THEN tercemar sedang
- 11) if (ph = netral AND tds = buruk AND suhu = sedang) THEN tercemar ringan
- 12) if (ph = netral AND tds = buruk AND suhu = panas) THEN tercemar sedang
- 13) if (ph = basa AND tds = baik AND suhu = dingin) THEN tercemar sedang
- 14) if (ph = basa AND tds = baik AND suhu = sedang) THEN tercemar ringan
- 15) if (ph = basa AND tds = baik AND suhu = panas) THEN tercemar sedang
- 16) if (ph = basa AND tds = buruk AND suhu = dingin) THEN tercemar berat
- 17) if (ph = basa AND tds = buruk AND suhu = sedang) THEN tercemar sedang
- 18) if (ph = basa AND tds = buruk AND suhu = panas) THEN tercemar sedang

#### IV. HASIL DAN DISKUSI

Dalam skenario pengujian sistem pada lokasi dengan panjang 12.9 km membutuhkan minimal 5 *node* untuk 5 titik lokasi yaitu dari Citeureup, Dayeuhkolot sampai Gang PGA, Bojongsoang. Pengambilan data dilakukan menggunakan *node* untuk simulasi dengan meletakkan *node* tersebut pada 5 titik lokasi dengan koordinat (107.632836 -6.974593) untuk *node* 1, koordinat (107.632343 -6.979798) untuk *node* 2, koordinat (107.618575 -6.973022) untuk *node* 3, koordinat (107.626359 -6.991224) untuk *node* 4 dan koordinat (107.630238 -6.984247) untuk *node* 5. Masing-masing *node* berisi sensor pH, sensor TDS, sensor suhu, modul GPS. Pembacaan data dilakukan secara *realtime* dan terus-menerus yang kemudian disimpan pada *database*. Data yang telah tersimpan pada *database* diteruskan ke *server* untuk diklasifikasikan menggunakan *fuzzy inference system* tipe Mamdani sehingga akan menghasilkan kategori-kategori tingkat pencemaran air sungai dari data *node* 1 sampai 5 pada lokasi yang telah didapatkan koordinat nilai *latitude* dan *longitude*.

##### A. Skenario Pengujian Perangkat Keras Sistem

Tahap ini menganalisis pengujian perangkat keras sistem yang didapatkan dari parameter-parameter yaitu pH, TDS dan suhu. Dari nilai yang didapatkan diambil sampel sebanyak 5 data kemudian dibandingkan dengan 5 data dari alat pembanding (perangkat konvensional) yaitu pH meter, TDS meter dan termometer seperti pada Tabel III, Tabel IV dan Tabel V dengan nilai rata-rata error yang didapatkan dari pH sebesar 3.94%, TDS sebesar 4.92% dan suhu sebesar 1.84%. Rata-rata nilai error dari pengujian perangkat keras yang didapatkan menunjukkan nilai-nilai yang dapat ditoleransi untuk pengambilan data pada sistem. Nilai error didapatkan dari perhitungan dengan rumus sebagai berikut :

$$NE(\%) = \frac{(X-Y) \times 100}{X} \quad (2)$$

Keterangan:

- NE = Nilai eror perangkat keras sistem  
X = Nilai alat ukur konvensional

Y = Nilai alat ukur sistem

Tabel III: Pengujian Akurasi Nilai pH

pH Meter	pH Sistem	pH Selisih	Error
8.4	7.99	0.41	4.8%
8.3	8.03	0.27	3.2%
8.2	7.88	0.32	3.9%
8.4	7.80	0.6	7.1%
7.6	7.66	0.06	0.7%

Tabel IV: Pengujian Akurasi Nilai TDS

TDS Meter	TDS Sistem	TDS Selisih	Error
331	326.76	4.24	1.2%
333	325.00	8	2.4%
320	290.36	0.97	9.2%
263	232.55	30.45	11.5%
253	252.03	0.97	0.3%

Tabel V: Pengujian Akurasi Nilai Suhu

Thermometer	Suhu Sistem	Suhu Selisih	Error
26.8	26.06	0.74	2.7%
26.7	25.94	0.76	2.8%
27.1	27.03	0.07	0.2%
26.8	26.38	0.42	1.5%
26.9	26.90	0.54	2%

### B. Skenario Pengujian Kecepatan Pembacaan dan Pengiriman Data

Pada tahap pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kecepatan pembacaan data pada *node* yang telah diletakkan di 5 titik. *Node* mengirimkan data ke *database*. Data yang diperoleh kemudian dihitung sehingga mendapatkan rata-rata pembacaan data pada *node* seperti pada Tabel VI.

Tabel VI: Tabel Hasil Pengujian Kecepatan Pembacaan Node

Nama Node	Rata-rata Jumlah Data Terbaca	Rata-rata Waktu Pembacaan Data
Node-1	150 data	147 detik
Node-2	152 data	121 detik
Node-3	146 data	160 detik
Node-4	198 data	184 detik
Node-5	161 data	163 detik

Dalam pengujian selanjutnya dilakukan untuk mengetahui ketepatan waktu pada interval tertentu saat melakukan pengiriman data ke *server*. Dalam proses pengiriman data membutuhkan selang waktu 5 detik agar data yang terkirim dipastikan tidak saling menumpuk sehingga didapatkan rata-rata waktu pengiriman data ke *server* seperti pada Tabel VII.

Tabel VII: Tabel Hasil Pengujian Kecepatan Pengiriman Data ke Server

Jumlah Node	Rata-rata Jumlah Data Terkirim ke Server	Rata-rata Waktu Pengiriman Data ke Server
5 node	161 data	155 detik

### C. Skenario Pengujian Tingkat Akurasi Klasifikasi dan Toleransi Sistem

Tingkat akurasi klasifikasi dianalisis berdasarkan hasil akhir yang telah diolah oleh sistem menggunakan metode *fuzzy inference system* dibandingkan dengan standar kualitas air sungai menggunakan perhitungan manual dengan cara mengambil sampel 5 data terakhir dari setiap *node*. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel VIII sampai tabel XII.

Tabel VIII: Hasil Perbandingan Data Node 1

pH	TDS	Suhu	Hasil Observasi	Hasil Perhitungan Sistem
7.63	327.76	25.67	Tercemar Sedang	Tercemar Sedang
7.70	533.13	25.81	Tercemar Sedang	Tercemar Sedang
7.64	953.59	26.01	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
7.91	1027.94	26.04	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
8.03	1216.46	26.00	Tercemar Sedang	Tercemar Sedang

Tabel IX: Hasil Perbandingan Data Node 2

pH	TDS	Suhu	Hasil Observasi	Hasil Perhitungan Sistem
7.15	234.25	25.44	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
7.18	239.33	25.50	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
7.16	290.36	25.69	Tercemar Sedang	Tercemar Sedang
7.19	325.01	25.56	Tercemar Sedang	Tercemar Sedang
7.22	326.76	25.90	Tercemar Sedang	Tercemar Ringan

Tabel X: Hasil Perbandingan Data Node 3

pH	TDS	Suhu	Hasil Observasi	Hasil Perhitungan Sistem
6.95	235.94	25.56	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
6.94	239.64	25.50	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
6.97	244.94	25.63	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
7.0	251.25	27.44	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
7.02	254.25	27.50	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan

Tabel XI: Hasil Perbandingan Data Node 4

pH	TDS	Suhu	Hasil Observasi	Hasil Perhitungan Sistem
6.98	232.55	25.50	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
6.93	235.94	25.56	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
6.95	239.55	25.64	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
6.91	247.64	25.91	Tercemar Ringan	Tidak Tercemar
6.92	252.03	26.06	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan

Tabel XII: Hasil Perbandingan Data Node 5

pH	TDS	Suhu	Hasil Observasi	Hasil Perhitungan Sistem
7.41	240.21	25.87	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan
7.31	241.02	26.25	Tidak Tercemar	Tidak Tercemar
7.51	245.08	26.31	Tidak Tercemar	Tidak Tercemar
7.50	248.11	26.25	Tidak Tercemar	Tidak Tercemar
7.28	251.12	26.38	Tercemar Ringan	Tercemar Ringan

Proses perhitungan akurasi klasifikasi data dari *node* 1 sampai 5 dengan mengambil 5 data untuk setiap *node* sebagai sampel perhitungan. Data tersebut dijumlahkan dengan total 25 data yang digunakan sebagai perbandingan. Dari kelima tabel yang menunjukkan perbandingan antara klasifikasi sistem dengan standar kualitas air sungai menggunakan perhitungan dengan rumus sebagai berikut :

$$R(\%) = \frac{\sum xi}{\sum yi} \times 100 \tag{3}$$

Keterangan:

- R = Akurasi klasifikasi sistem
- $\sum xi$  = Jumlah standar baku mutu air
- $\sum yi$  = Jumlah perhitungan sistem

Toleransi error pada sistem didapatkan dari selisih antara klasifikasi kategori sistem yang dihitung dengan membandingkan data dari parameter-parameter yang digunakan berdasarkan standar kualitas air sungai seperti pada Tabel XIII. Total data sampel dari alat ukur konvensional memiliki nilai 100 dalam satuan persen (%) sebagai pembanding untuk mengetahui persentase toleransi yang dihasilkan dari sistem. Nilai toleransi yang didapatkan dari sistem yang dibangun, dianalisis menggunakan perhitungan dengan rumus perbandingan sebagai berikut :

$$\frac{n}{e} = \frac{100}{x} \tag{4}$$

Keterangan:

- n = Nilai alat ukur konvensional
- e = Nilai alat ukur sistem
- x = Toleransi error

Tabel XIII: Selisih Data Seluruh Node

Jumlah Node	Total Pemeriksaan(observasi)	Total Perhitungan(diharapkan)	Error
5 node	25 data	23 data	2 data

Dari keseluruhan data yang telah dihitung untuk mengetahui tingkat akurasi pengklasifikasian dan toleransi sistem yang dibangun menunjukkan kesamaan hasil prediksi dengan persentase akurasi klasifikasi 92% dan nilai toleransi sistem error yang dapat dikatakan baik untuk sistem yang dibangun yaitu sebesar 4%.

Tabel XIV: Hasil Pengujian Klasifikasi FIS

Nama Node	pH	TDS	suhu	Latitude	Longitude	Kategori
Node-1	8.03 (netral)	1216.46 (buruk)	26.0 (sedang)	107.632836	-6.974593	Tercemar Sedang
Node-2	7.22 (netral)	326.76 (baik)	25.9 (dingin)	107.632343	-6.979798	Tercemar Ringan
Node-3	7.02 (netral)	254.25 (baik)	27.5 (dingin)	107.618575	-6.973022	Tercemar Ringan
Node-4	6.92 (netral)	252.03 (baik)	26.06 (dingin)	107.626359	-6.991224	Tercemar Ringan
Node-5	7.28 (netral)	251.12 (baik)	26.38 (sedang)	107.630238	-6.984247	Tercemar Ringan

Pada tabel XIV merupakan tampilan hasil analisis klasifikasi kualitas air sungai dari *node* 1 sampai 5 yang kemudian ditampilkan pada *website*. Hasil akhir klasifikasi menunjukkan indikasi tercemar ringan yang didapatkan pada 4 titik koordinat lokasi sungai yaitu (107.632343 -6.979798), (107.630238 -6.984247), (107.626359 -6.991224), (107.618575 -6.973022) dan indikasi tercemar sedang pada 1 titik koordinat (107.632836 -6.974593). Dari hasil akhir klasifikasi pada 5 titik lokasi yang didapatkan diketahui bahwa lokasi

pada koordinat (107.632836 -6.974593) merupakan lokasi yang terdeteksi sebagai daerah paling tercemar karena memiliki tingkat pencemaran air sungai tercemar sedang dan 4 lokai lainnya didapatkan tingkat pencemaran air hanya tercemar ringan.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan validasi terhadap sistem dibandingkan dengan alat pembanding (perangkat konvensional) didapatkan hasil toleransi akurasi pembacaan data oleh perangkat keras sistem yang dibangun menunjukkan pH 3.94%, TDS 4.92 dan suhu 1.84%. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa sistem yang dibangun dengan menggunakan metode *fuzzy inference system* mampu menghasilkan akurasi klasifikasi rata-rata 92% dengan nilai toleransi kesalahan pada sistem sebesar 4% di setiap titik lokasi. Lokasi yang terdeteksi paling tercemar dengan tingkat pencemaran air sungai tercemar sedang yaitu terdapat pada koordinat (107.632836 -6.974593).

## REFERENCES

- [1] Md Pauzi Abdullah, Sadia Waseem, V Raman Bai, and Ijaz-ul Mohsin. Development of new water quality model using fuzzy logic system for malaysia. *Open Environmental Sciences*, 2(1):101–106, 2008.
- [2] Bambang Taufik Perdana Budiman, Yayat Dhahiyat, and Ike Rustikawati. Bioakumulasi logam berat pb (timbal) dan cd (kadmium) pada daging ikan yang tertangkap di sungai citarum hulu. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 3(4), 2012.
- [3] Nana Terangna Bukit and Iskandar A Yusuf. Beban pencemaran limbah industri dan status kualitas air sungai citarum. *J. Teknologi Lingkungan*, 3(2):98–106, 2002.
- [4] Andriati Cahyaningsih and Budi Harsoyo. Distribusi spasial tingkat pencemaran air di das citarum. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 11(2):1–9, 2010.
- [5] Hefni Effendi. *Telaah kualitas air, bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Kanisius, 2003.
- [6] S Geetha and S Gouthami. Internet of things enabled real time water quality monitoring system. *Smart Water*, 2(1):1, 2016.
- [7] Nazleeni Samiha Haron, Mohd Khuzaimi B Mahamad, Izzatdin Abdul Aziz, and Mazlina Mehat. A system architecture for water quality monitoring system using wired sensors. In *2008 International Symposium on Information Technology*, volume 4, pages 1–7. IEEE, 2008.
- [8] Muhammad Fadhil Imansyah. Studi umum permasalahan dan solusi das citarum serta analisis kebijakan pemerintah. *Sosioteknologi Edisi*, 25, 2012.
- [9] André Lermontov, Lidia Yokoyama, Mihail Lermontov, and Maria Augusta Soares Machado. A fuzzy water quality index for watershed quality analysis and management. In *Environmental Management in Practice*. InTech, 2011.
- [10] SS Mahapatra, Santosh Kumar Nanda, and BK Panigrahy. A cascaded fuzzy inference system for indian river water quality prediction. *Advances in Engineering Software*, 42(10):787–796, 2011.
- [11] Asmaa Mourhir, Tajjeeddine Rachidi, and Mohammed Karim. River water quality index for morocco using a fuzzy inference system. *Environmental Systems Research*, 3(1):21, 2014.
- [12] William Ocampo-Duque, Nuria Ferre-Huguet, José L Domingo, and Marta Schuhmacher. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study. *Environment International*, 32(6):733–742, 2006.
- [13] William Ocampo-Duque, Carolina Osorio, Christian Piamba, Marta Schuhmacher, and José L Domingo. Water quality analysis in rivers with non-parametric probability distributions and fuzzy inference systems: application to the cauca river, colombia. *Environment international*, 52:17–28, 2013.
- [14] Edigius Patnistic. Citarum sungai paling tercemar dibumi, 2010.
- [15] S Princy and SS Dhenakaran. Comparison of triangular and trapezoidal fuzzy membership function. *J. Comput. Sci. Eng*, 2:46–51, 2016.
- [16] Dito Adhi Putra, Tri Harsono, et al. Smart sensor device for detection of water quality as anticipation of disaster environment pollution. In *2016 International electronics symposium (IES)*, pages 87–92. IEEE, 2016.
- [17] Bai V Raman, Reinier Bouwmeester, and S Mohan. Fuzzy logic water quality index and importance of water quality parameters. *Air, Soil and Water Research*, 2:ASWR–S2156, 2009.
- [18] Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda, Ana Paula Maia Bondança, João Guilherme Soares Silva, José Arnaldo Frutuoso Roveda, and André Henrique Rosa. Development of a water quality index using a fuzzy logic: A case study for the sorocaba river. In *International Conference on Fuzzy Systems*, page 1-5 .IEEE,2010.
- [19] K Saravanan, E Anusuya, Raghvendra Kumar, et al. Real-time water quality monitoring using internet of things in scada. *Environmental monitoring and assessment*, 190(9):556, 2018.
- [20] D Scannapieco, V Naddeo, T Zarra, and V Belgiorno. River water quality assessment: a comparison of binary-and fuzzy logic-based approaches. *Ecological Engineering*, 47:132–140, 2012.
- [21] Ade Sudradjat. Peran industri dan produk tekstil pada kelestarian sumberdaya lingkungan perairan das citarum. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(2):92–97, 2002.

- [22] Sumadi Suryabrata. Metode penelitian. *Jakarta: PT RajaGrafindo Persada*, 1998.
- [23] F Tatangindatu, K Ockstan, and R Robert. Study on water physical-chemical parameters around fish culture areas in lake tondano, paleloan village, minahasa regency. *Journal of Budidaya Perairan*, 1(2):8–19, 2013.
- [24] Shumei Wang, Zhaoji Zhang, Zhilong Ye, Xiaojun Wang, Xiangyu Lin, and Shaohua Chen. Application of environmental internet of things on water quality management of urban scenic river. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 20(3):216–222, 2013.
- [25] Feng Xia, Laurence T Yang, Lizhe Wang, and Alexey Vinel. Internet of things. *International Journal of Communication Systems*, 25(9):1101–1102, 2012.
- [26] Yulmaini Yulmaini. Penggunaan metode fuzzy inference system (fis) mamdani dalam pemilihan peminatan mahasiswa untuk tugas akhir. *Jurnal Informatika Darmajaya*, 15(1):10–23.
- [27] Iskandar A Yusuf. Analysis of water pollution control in the upper citarum river zone using multi dimensional scalling model. *Jurnal Sumber Daya Air*, 12(1):17–32, 2016.