
Sistem Pemantauan dan Klasifikasi Kondisi Pencemaran Air Sungai dengan Metode Fuzzy Logic

Melki Garonga¹,Semuel Yacobus Padang², Ferayanti Boas Gallaran³, Henrianto Masiku⁴

¹*Program Studi Teknik Informatika, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Toraja, Sulawesi Selatan
Email: ¹melkigaronga@ukitoraja.ac.id, ²semuelyp@ukitoraja.ac.id, ³ferayanti@ukitoraja.ac.id,
⁴henriantomasiku@ukitoraja.ac.id

Abstrak

Masalah pencemaran air menjadi penyebab utama penyakit dan kematian, dibuktikan dengan data bahwa sebanyak 3.4 juta orang meninggal setiap tahun akibat dari masalah tersebut. Tidak hanya bagi manusia, pencemaran sungai memiliki dampak yang sangat negatif bagi kehidupan organisme bawah air. Analisis kualitas air sungai sangat berhubungan dengan klasifikasi dalam penentuan kualitas air sungai. *Fuzzy logic* merupakan sistem pendukung keputusan yang dapat membantu untuk mengklasifikasi kondisi pencemaran air. Pencemaran pada umumnya dapat dilihat dari beberapa aspek yang ada pada air mulai dari tingkat kekeruhan air, nilai pH air, temperature serta TDS (*total dissolved solid*) pada air. Metode *fuzzy* digunakan untuk mengklasifikasi kualitas air sungai ke dalam tiga kelas yaitu tidak tercemar, tercemar ringan dan tercemar berat. dengan mikrocontroller dan Iot kondisi pencemaran air dapat dipantau secara langsung melalui website. Pada kinerja sistem didapatkan hasil uji akurasi sebesar 98.14%.

Kata Kunci : Pencemaran, *Fuzzy-Logic*, *Mikrocontroller*, *IoT*

MONITORING SYSTEM AND CLASSIFICATION OF RIVER WATER POLLUTION WITH FUZZY LOGIC METHOD

Abstract

The problem of water pollution is one of the main causes of disease and death, as evidenced by data that as many as 3.4 million people die every year as a result of this problem. Not only for humans, river pollution has a very negative impact on the life of underwater organisms. Analysis of river water quality is closely related to classification in determining river water quality. Fuzzy logic is a decision support system that can help to classify water pollution conditions. Pollution in general can be seen from several aspects that exist in water, starting from the level of turbidity of the water, the pH value of the water, temperature and TDS (total dissolved solid) in the water. The fuzzy method is used to classify river water quality into three classes, namely uncontaminated, lightly polluted and heavily polluted. With a microcontroller and IOT the condition of water pollution can be monitored directly through the website. In system performance, the accuracy test results are 98.14%.

I. PENDAHULUAN

Masalah pencemaran air merupakan masalah global yang saat ini terus berlangsung. Di negara berkembang seperti Indonesia, pencemaran air merupakan penyebab utama masalah kesehatan bagi manusia. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia (LH RI tahun 2014), sebanyak 75% sungai di Indonesia tercemar oleh air limbah industri dan domestik [1]. Selain itu, Organisasi Kesehatan Dunia menyatakan bahwa lebih dari 3,4 juta orang meninggal setiap tahun akibat penyakit yang berhubungan dengan pencemaran air [2].

Tidak hanya bagi manusia, tetapi pencemaran sungai memiliki dampak yang sangat negatif bagi kehidupan organisme bawah air, selain itu pencemaran air dapat menyebabkan pendangkalan dasar perairan dan kemudian hal tersebut dapat menyebabkan banjir. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan evaluasi kebijakan pencemaran air.

Pentingnya sistem pemantauan dan proses klasifikasi terhadap pencemaran air sungai dibuat agar hal tersebut bisa menjadi tolak ukur bagi pemerintah dalam upaya pengendalian pencemaran sungai. Pada umumnya pencemaran air dapat dilihat dari beberapa aspek yang ada pada air yaitu tingkat kekeruhan air, nilai ph air, suhu air serta TDS (*Total Dissolved Solid*).

pH serta TDS merupakan salah satu parameter kimia yang terkandung pada air dan menjadi salah satu indikator penentu kualitas air. Selain Ph dan TDS, kekeruhan dan suhu air juga merupakan salah satu parameter fisik yang menjadi penentu kondisi pencemaran air. Suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap ekosistem perairan. Pola suhu dalam ekosistem perairan diubah oleh banyak faktor diantaranya adalah kelembaban dan sinar matahari. Paparan sinar matahari merupakan faktor utama yang memegang efek besar yang mempengaruhi suhu air[3].

Proses pengklasifikasian terhadap kondisi pencemaran air sungai penting dilakukan untuk mengetahui tingkat pencemaran air sungai mulai dari tidak tercemar, tercemar ringan dan tercemar

berat. Salah satu fungsi logika yang banyak digunakan dalam proses pengambilan keputusan adalah logika fuzzy. Saat ini logika fuzzy banyak digunakan sebagai alternatif dalam proses pengambilan keputusan karena logika fuzzy dikenal memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1) IoT

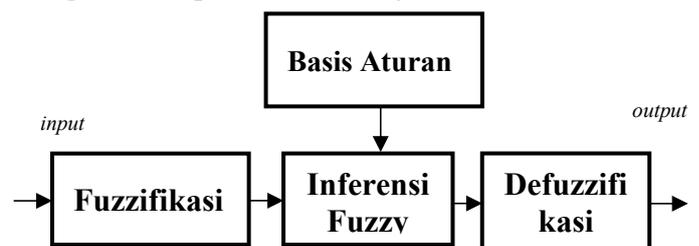
Istilah IoT pertama kali diciptakan pada tahun 1999 oleh Kevin Ashton, Internet of Things (IoT) telah mendapatkan momentum yang signifikan sebagai teknologi untuk menghubungkan objek fisik ke Internet dan untuk memfasilitasi komunikasi mesin-ke-manusia dan mesin-ke-mesin. Selama dua dekade terakhir, IoT telah menjadi bidang penelitian dan pengembangan yang aktif oleh banyak komunitas teknis dan komersial[4].

2) Klasifikasi

Klasifikasi merupakan penempatan objek-objek ke salah satu dari beberapa kategori yang telah ditetapkan sebelumnya.

3) Logika Fuzzy

Logika adalah studi tentang metode dan prinsip penalaran, di mana penalaran berarti memperoleh proposisi baru dari proposisi yang ada. Perbedaan logika fuzzy dengan logika klasik adalah dalam logika klasik, proposisi harus benar atau salah, yaitu nilai kebenaran suatu proposisi adalah 0 atau 1. Sementara logika fuzzy menggeneralisasi logika dua nilai dengan membiarkan kebenaran nilai-nilai proposisi menjadi bilangan apa pun dalam interval 0 sampai 1[5]. Pada gambar 1 diperlihatkan mengenai tahapan sistem fuzzy



Gambar 1 Tahapan Sistem Fuzzy

a. Fuzzifikasi

Menurut Wang[5] fuzzifikasi didefinisikan sebagai pemetaan dari himpunan tegas ke himpunan fuzzy.

b. Basis Aturan

Basis aturan ini mencakup suatu kumpulan aturan yang berbasis logika fuzzy untuk menyatakan suatu kondisi. Penyusunan *rule base* sangat berpengaruh pada presisi model, pada tahap pengambilan keputusan ditentukan berdasarkan rancangan *rule base*.

c. Inferensi

Inferensi *fuzzy* merupakan tahap evaluasi pada aturan *fuzzy*. Tahap evaluasi dilakukan berdasarkan penalaran dengan menggunakan *input fuzzy* dan aturan *fuzzy* sehingga diperoleh *output* berupa himpunan *fuzzy*. Berikut akan dijelaskan macam inferensi *fuzzy* yaitu metode Mamdani, Tsukamoto dan Sugeno yang sering digunakan dalam berbagai penelitian.

d. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses yang berkebalikan dengan proses pada fuzzifikasi. Wang mendefinisikan defuzzifikasi sebagai pemetaan dari himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas. Himpunan *fuzzy* yang dimaksud disini adalah hasil *output* yang diperoleh dari hasil inferensi.

4) Pencemaran Air

Menurut Peraturan Pemerintah NO. 82/2001, pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Dari pendapat tentang definisi pencemaran air secara tersirat bahwa pencemaran air adalah berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu[6].

5) Kekeruhan

Tingkat kekeruhan atau turbiditas ditunjukkan dengan satuan pengukuran yaitu

nephelometric turbidity unit (ntu). Air dikatakan keruh apabila air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi sehingga memberikan warna/rupa yang berlumpur dan kotor.

6) Ph

Ph adalah ekspresi konsentrasi ion hidrogen (H⁺) dalam air. Kuantitasnya dinyatakan sebagai minus logaritma dari konsentrasi ion H. Air yang berkualitas baik dikatakan memiliki standar pH antara 6,5 dan 8,5, sedangkan air dikatakan asam jika nilai pH-nya kurang dari 6,5 dan dikatakan basa jika lebih besar dari 8,5. Untuk menentukan pH dalam air, perlu dilakukan pengukuran pH air[8].

7) Suhu

Suhu air yang melebihi batas normal menunjukkan indikasi terdapat bahan kimia yang terlarut dalam jumlah yang cukup besar atau sedang terjadi proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme yang berbahaya[9].

8) TDS

TDS (Total Dissolved Solids) menunjukkan berapa miligram padatan terlarut yang dilarutkan dalam satu liter air. Secara umum, semakin tinggi nilai TDS, semakin banyak padatan terlarut yang terlarut dalam air, dan semakin kurang bersihnya air tersebut. Oleh karena itu, nilai TDS dapat dijadikan sebagai salah satu titik acuan untuk mencerminkan kebersihan air[10]. Perubahan konsentrasi TDS dapat berbahaya karena akan menyebabkan perubahan salinitas, perubahan komposisi ion-ion, dan toksisitas masing-masing ion. Perubahan salinitas dapat mengganggu keseimbangan biota air, biodiversitas, menimbulkan spesies yang kurang toleran, dan menyebabkan toksisitas yang tinggi pada tahapan hidup suatu organisme[11]. TDS yang normal pada air sungai (baku mutu) menurut PPRI No. 82 Tahun 2001 adalah 1000 mg/L (ppm)[12].

9) Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* yang berfungsi sebagai pengontrol atau pengendali rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya

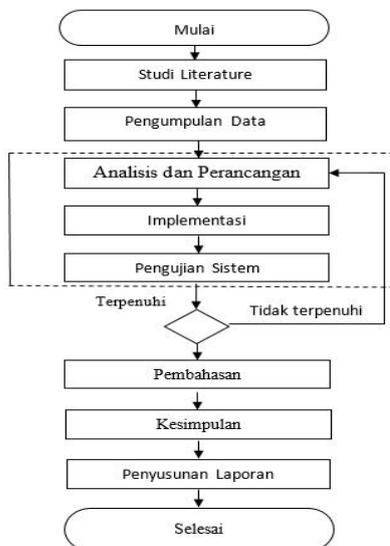
terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), memori, I/O tertentu dan unit pendukung seperti Analog-to-Digital Converter (ADC) yang sudah terintegrasi didalamnya[13].

III. METODE PENELITIAN

1. Instrumentasi Penelitian (Alat dan Bahan)

- Laptop
- Arduino Mega2560
- NodeMcu ESP8266
- Sensor Ph
- Sensor Suhu DS18B20
- Sensor TDS SKU-SEN0244
- Turbidity Sensor SKU-SEN0189
- Xampp
- VSCode
- Arduino IDE

2. Tahapan Penelitian



Gambar 2 Tahapan Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

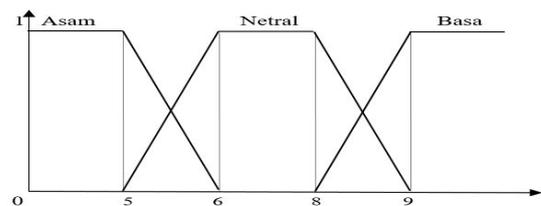
Pada bab iv menjelaskan tentang perancangan sistem pemantauan dan klasifikasi kondisi pencemaran air dengan metode *fuzzy logic*. Ada tiga bagian penting dalam perancangan tersebut, yaitu perancangan hardware, klasifikasi dengan metode logika fuzzy dan implementasi software.

a. Logika Fuzzy

Metode *fuzzy logic* diterapkan sebagai sistem pendukung keputusan mengenai kondisi

pencemaran air. Adapun kondisi pencemaran air dibagi menjadi menjadi 3 kelas yaitu tidak tercemar, tercemar ringan dan tercemar berat.

Parameter pH memiliki 3 himpunan fuzzy berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai kadar pH air yaitu jika pH kurang dari 6,5 maka cairan tersebut bersifat asam, jika pH memiliki nilai 6,5-8,5 maka cairan tersebut bersifat netral, jika cairan mengandung Ph diatas 8,5 maka cairan tersebut bersifat basa[4]. Berdasarkan teori tersebut maka derajat keanggotaan pH ditentukan seperti Gambar 3.



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

$$\mu_{(netral)} = \begin{cases} 0; & x \leq 5 \text{ atau } x \geq 9 \\ \frac{x-5}{6-5}; & 5 \leq x \leq 6 \\ 1; & 6 \leq x \leq 8 \\ \frac{9-x}{9-8}; & 8 \leq x \leq 9 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{(Basa)} = \begin{cases} 0; & x \leq 8 \\ \frac{x-8}{9-8}; & 8 \leq x \leq 9 \\ 1; & x \geq 9 \end{cases} \quad (3)$$

Gambar 3 Derajat Keanggotaan pH

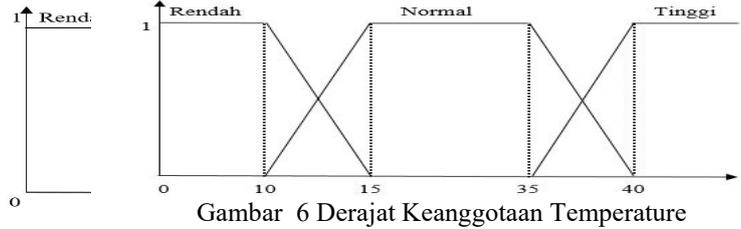
Parameter selanjutnya yang diubah dari nilai crisp menjadi himpunan Fuzzy yaitu variabel turbidity. Adapun derajat keanggotaan turbidity dapat dilihat pada Gambar 4.

$$\mu_{(rendah)} = \begin{cases} 1; x \leq 10 \\ \frac{(15-x)}{(15-10)}; 10 \leq x \leq 15 \\ 0; x \geq 15 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{(Normal)} = \begin{cases} 0; x \leq 10 \text{ atau } x \geq 40 \\ \frac{(x-10)}{(15-10)}; 10 \leq x \leq 15 \\ \frac{(40-x)}{(40-35)}; 35 \leq x \leq 40 \\ 1; 15 \leq x \leq 35 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{(tinggi)} = \begin{cases} 0; x \leq 35 \\ \frac{(x-35)}{(40-35)}; 35 \leq x \leq 40 \\ 1; x \geq 40 \end{cases} \quad (12)$$

Turbidity



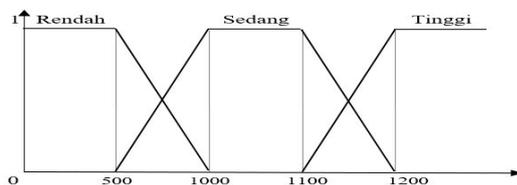
Gambar 4 Derajat Keanggotaan

Parameter selanjutnya yang diubah dari nilai crisp menjadi himpunan Fuzzy yaitu variabel TDS. Adapun derajat keanggotaan TDS dapat dilihat pada Gambar 5 dan Persamaan(7), (8), (9).

$$\mu_{(Rendah)} = \begin{cases} 1; x \leq 500 \\ \frac{(1000-x)}{(1000-500)}; 500 \leq x \leq 1000 \\ 0; x \geq 1000 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{(Sedang)} = \begin{cases} 0; x \leq 500 \text{ atau } x \geq 1200 \\ \frac{(x-500)}{(1000-500)}; 500 \leq x \leq 1000 \\ \frac{(1200-x)}{(1200-1100)}; 1100 \leq x \leq 1200 \\ 1; 1000 \leq x \leq 1100 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{(Tinggi)} = \begin{cases} 0; x \leq 1100 \\ \frac{(1200-x)}{(1200-1100)}; 1100 \leq x \leq 1200 \\ 1; x \geq 1200 \end{cases} \quad (9)$$



Gambar 5 Derajat Keanggotaan TDS

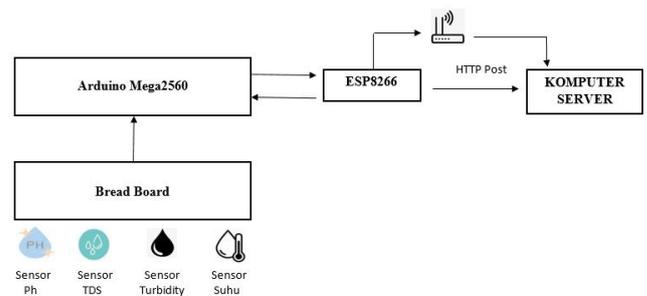
Parameter selanjutnya yang diubah dari nilai crisp menjadi himpunan Fuzzy yaitu variabel temperature. Adapun derajat keanggotaan temperature dapat dilihat pada Gambar 6

$$\mu_{(rendah)} = \begin{cases} 1; x \leq 900 \\ \frac{(1200-x)}{(1200-900)}; 900 \leq x \leq 1200 \\ 0; x \geq 1200 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{(Sedang)} = \begin{cases} 0; x \leq 900 \text{ atau } x \geq 2000 \\ \frac{(x-900)}{(1200-900)}; 900 \leq x \leq 1200 \\ \frac{(2000-x)}{(2000-1400)}; 1400 \leq x \leq 2000 \\ 1; 1200 \leq x \leq 1400 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{(Tinggi)} = \begin{cases} 0; x \leq 1400 \\ \frac{(x-1400)}{(2000-1400)}; 1400 \leq x \leq 2000 \\ 1; x \geq 2000 \end{cases} \quad (6)$$

b. Perancangan Hardware



Gambar 7 Diagram Blok Perancangan Hardware

1. Input sensor

Pada perancangan hardware digunakan 4 sensor yaitu sensor ph XD0982, sensor kekeruhan air SEN0189, sensor tds air SEN0244 dan sensor suhu air DS18B20.

2. Arduino Mega

Arduino Mega digunakan sebagai papan mikrokontroler untuk mengontrol komponen-komponen yang digunakan terutama sensor yang digunakan. Arduino Mega berperan sebagai papan mikrokontroler untuk mengambil data dari sensor. Pada arduino mega ditanamkan sebuah program dimana sensor tidak harus memberikan

data secara terus menerus hal ini untuk mengantisipasi agar sensor tidak muda mengalami kerusakan.

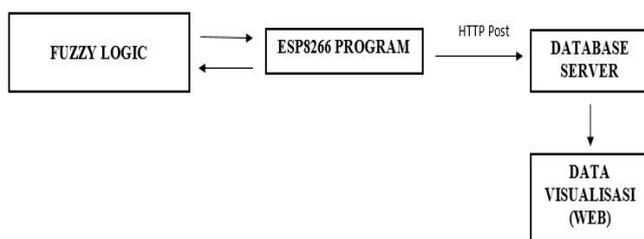
3. ESP8266 (Modul WiFi)

Melalui koneksi wireless, Esp8266 digunakan sebagai papan untuk mengirim data dari Arduino Mega. Awalnya ESP8266 dikomunikasikan dengan arduino mega dengan menggunakan komunikasi serial dan kemudian Arduino Mega mengirim data ke ESP6288 setelah itu ESP6288 meneruskannya ke komputer server server menggunakan protokol HTTP Post.

4. Komputer Server

Komputer server digunakan untuk menampung data dari sensor dan kemudian disimpan secara realtime.

c. Implementasi software



Gambar 8 Diagram Proses Implementasi Software

Pada gambar 8 diperlihatkan blok diagram proses implementasi software. Tahapan yang dilalui dalam merancang software dari sistem ini adalah proses membuat model sistem Fuzzy yang dilakukan di arduino mega, perintah dari Arduino Mega dengan keempat sensor yang digunakan, komunikasi antara Arduino Mega dengan NodeMCU, komunikasi antara wireless dengan NodeMCU dan komunikasi antara NodeMCU dengan komputer server menggunakan protokol http post. Kemudian data dari sensor disimpan secara realtime pada database server dan kemudian data tersebut divisualisasi di website.

2. Pembahasan

Dari tahap perancangan sistem dimulai dari pemilihan komponen yang akan digunakan,

kemudian riset mengenai pencemaran air dan logika fuzzy sebagai sistem pendukung keputusan dalam menentukan tingkat pencemaran air. Selanjutnya perancangan perangkat keras, pada perancangan perangkat keras 4 sensor yang digunakan yaitu sensor ph, sensor turbidity, sensor TDS dan sensor suhu air.

Agar sensor dapat bekerja maka harus dihubungkan dengan mikrokontroller dimana yang digunakan yaitu arduino mega setelah setiap data dari sensor dapat terbaca dengan baik maka arduino mega kemudian meneruskannya ke Nodemcu melalui komunikasi serial antara keduanya dan setelah itu nodemcu meneruskannya ke komputer server dan diterima oleh database server secara realtime dan kemudian divisualisasi di web agar bisa diakses oleh siapapun dan dimanapun.

Pada proses pengujian dimulai dari uji akurasi sensor dimana masing-masing sensor memiliki nilai rata-rata error yaitu sensor Ph memiliki error rata-rata 0.2 kemudian sensor TDS memiliki rata-rata error sebesar 10.25, selanjutnya adalah sensor suhu dimana rata-rata error adalah 0.9 dan pada turbidity sensor yaitu dilakukan pengujian pada 2 sampel air yang berbeda dimana pada air jernih nilai turbidity rendah dan pada air keruh nilai turbidity tinggi. Pengujian selanjutnya yaitu uji kinerja sistem dimana akurasi yang didapat yaitu 98.14% dan yang terakhir yaitu uji klasifikasi dimana rata-rata error yang didapatkan yaitu 0.02.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Fuzzy logic dengan metode mamdani dapat diterapkan sebagai salah satu sistem pendukung keputusan dalam proses menentukan kondisi pencemaran air. Sistem yang dirancang dapat memantau kondisi pencemaran air secara langsung melalui website. Pada kinerja sistem didapatkan akurasi sebesar 98.14%.

2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya bisa dilakukan dengan menambahkan lebih banyak parameter agar penentuan kondisi air bisa lebih akurat lagi.

REFERENSI

- [1] M. Dawud, I. Namara, N. Chayati, and F. M. Lt, "analisis sistem pengendalian pencemaran air sungai cisadane kota tangerang berbasis masyarakat," p. 8.
- [2] J. Berman, "WHO: Waterborne Disease is World's Leading Killer," *VOA*. <https://www.voanews.com/a/a-13-2005-03-17-voa34-67381152/274768.html>
- [3] E. K. Sari and O. E. Wijaya, "Penentuan Status Mutu Air Dengan Metode Indeks Pencemaran Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Sungai Ogan Kabupaten Ogan Komering Ulu," *J. Ilmu Lingk.*, vol. 17, no. 3, p. 486, Dec. 2019, doi: 10.14710/jil.17.3.486-491.
- [4] W. E. Zhang *et al.*, "The 10 Research Topics in the Internet of Things." arXiv, Dec. 02, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2012.01594>
- [5] L. X. Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*. Prentice Hall PTR, 1997. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=wbJQAAAAMAAJ>
- [6] "PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air [JDIH BPK RI]." <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/53103/pp-no-82-tahun-2001>
- [7] B. Permana *et al.*, "Analisis Sifat Fisika dan Derajat Keasaman terhadap Kualitas Air Minum Isi Ulang 20 Rumah RW 01 di Kampung Cilember Desa Jogjogan Kecamatan Cisarua Kabupaten Bogor," *Risenologi*, vol. 5, no. 1, pp. 64–69, Apr. 2020, doi: 10.47028/j.risenologi.2020.51.82.
- [8] N. Wiyono, A. Faturrahman, and I. Syauqiah, "sistem pengolahan air minum sederhana," vol. 6, no. 1, p. 9, 2017.
- [9] "Gravity__Analog_TDS_Sensor__Meter_For__Arduino_SKU__SEN0244-DFRobot." https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_TDS_Sensor__Meter_For__Arduino_SKU__SEN0244
- [10] D. Hidayat, R. Suprianto, and P. S. Dewi, "penentuan kandungan zat padat (total dissolve solid dan total suspended solid)di perairan teluk lampung," vol. 1, no. 01, p. 10, 2016.
- [11] "kondisi kualitas air sungai di wilayah kutai kartanegara ditinjau dari parameter fisika dan kimia," p. 19.
- [12] A. Fauzi, "penerapan smart environment berbasis internet of things dengan metode fuzzy logic," p. 79, 2020.