

Monitoring Kualitas Udara Ruang Gas Di RSUD Dr. Soedarmo Trenggalek Dengan IoT Berbasis Web

Ananta Romadhan*

*Informatika, Universitas Muhammadiyah Malang

ananta076238@gmail.com*

Abstrak

Kebocoran udara dalam ruang gas rumah sakit dapat berdampak buruk terhadap kesehatan. Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis website untuk mendeteksi kebocoran udara di dalam ruang gas rumah sakit, dengan fokus pada parameter PM2.5, karbon monoksida (CO), total senyawa organik volatil (TVOC), suhu, dan kelembapan. Sistem ini menggunakan metode fuzzy logic untuk menganalisis hubungan antarparameter guna menentukan tingkat kualitas udara. Dalam pengembangan sistem, metode Waterfall diterapkan secara sistematis untuk memastikan setiap tahap, mulai dari analisis kebutuhan hingga implementasi, dilakukan dengan baik. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur peringatan otomatis melalui aplikasi telegram, yang akan mengirimkan notifikasi ketika tingkat polusi udara melebihi ambang batas aman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat memantau kualitas udara secara efektif dan memberikan data yang akurat serta mudah dipahami melalui antarmuka website yang responsif. Penerapan sistem ini diharapkan dapat membantu manajemen rumah sakit dalam meningkatkan kualitas udara di ruang-ruang vital dan meminimalkan risiko kesehatan yang diakibatkan oleh polusi udara dalam ruangan.

Kata Kunci: Kebocoran Udara Ruang Gas Rumah Sakit, Internet of Things, Fuzzy Logic, Waterfall, Bot Telegram

Abstract

Air leaks in hospital gas stations can have a negative impact on health. This research develops a website-based air quality monitoring system to detect air leaks in hospital gas stations, focusing on the parameters PM2.5, carbon monoxide (CO), total volatile organic compounds (TVOC), temperature and humidity. This system uses the fuzzy logic method to analyze the relationship between parameters to determine the level of air quality. In system development, the Waterfall method is applied systematically to ensure that each stage, from requirements analysis to implementation, is carried out well. In addition, the system is equipped with an automatic warning feature via the Telegram application, which will send notifications when air pollution levels exceed safe thresholds. The research results show that the system can monitor air quality effectively and provide accurate and easy to understand data through a responsive website interface. It is hoped that the implementation of this system can help hospital management improve air quality in vital rooms and minimize health risks caused by indoor air pollution.

Keywords: Gas Room Air Leak, Fuzzy Logic, Waterfall, Internet of Things, Telegram Bot

1. Pendahuluan

Udara yang kita hirup adalah campuran berbagai zat yaitu oksigen, nitrogen, argon, karbon dioksida, dan air. Empat dari zat tersebut berada dalam bentuk gas. Komposisi udara kering normal adalah 77% nitrogen, 21% oksigen, dan 2% gas lainnya [1]. Dampak adanya polusi udara dalam ruangan penyimpanan gas rumah sakit adalah ancaman serius terhadap kesehatan bagi pasien maupun staf medis. Untuk penelitian ini, mengkaji penerapan sistem gas medis dan prosedur operasional standar (SOP) pada rumah sakit dengan tipe C. Salah satu poin penting yang tercantum dalam SOP tersebut adalah Dilarang menyimpan bahan mudah menyala, silinder berisi gas mudah menyala atau kontainer berisi cairan mudah menyala, dalam ruangan bersama silinder gas medik [2]. Dengan monitoring udara menggunakan pendekatan IoT (Internet of Things), dapat membantu memantau kondisi lingkungan [3].

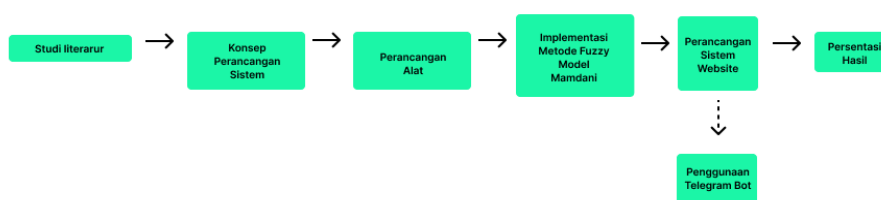
Gas beracun yang bocor atau tercampur dengan udara di ruangan penyimpanan dapat menimbulkan risiko yang dapat mengakibatkan kerusakan fasilitas dan membahayakan nyawa. Selain itu kebocoran gas beracun dapat menyebabkan penyakit seperti stroke, penyakit jantung iskemik, penyakit paru obstruktif kronik, dan kanker paru-paru [4]. Sumber polutan udara dalam ruangan, seperti karbon monoksida (CO), partikel-partikel halus seperti PM2.5, dan senyawa organik volatil berasal dari berbagai faktor seperti pemanas, pembakaran, dan asap rokok. Oleh karena itu, sangat penting untuk menerapkan langkah-langkah pengendalian kualitas udara yang ketat dan melakukan pemeliharaan rutin pada sistem penyimpanan gas untuk mencegah terjadinya polusi udara di dalam rumah sakit.

Dengan penerapan konsep IoT (Internet of Things), dapat dengan mudah mengawasi dan mengendalikan perangkat dengan leluasa [5]. Potensi ini bisa dimanfaatkan untuk mengatasi masalah polusi udara yang terjadi di dalam ruangan dan memberikan kemungkinan untuk memantau kualitas udara secara akurat dan efisien. IoT memungkinkan objek fisik dan perangkat terhubung ke internet, memungkinkan pengumpulan data sensor dari perangkat pemantau kualitas udara ke dalam website secara otomatis dan tanpa campur tangan manusia. Metode penelitian ini dilakukan secara berfokus pada aspek yang luas, mencakup tinjauan pustaka, perancangan sistem instrumentasi, dan penerapan teknologi informasi [6]. Tinjauan pustaka bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai perkembangan teknologi pengukuran kualitas udara, sementara perancangan sistem melibatkan pengembangan perangkat pemantauan kualitas udara, pengujian kinerja, dan membangun infrastruktur informasi yang diperlukan.

Pendekatan yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup pemanfaatan sensor-sensor yang terkoneksi dalam jaringan IoT untuk mengukur kualitas udara. Sensor-sensor ini dirancang khusus untuk mengidentifikasi berbagai parameter kualitas udara, seperti karbon monoksida (CO), dan partikel-partikel halus seperti PM2.5, senyawa organik volatil, serta mengukur suhu dan kelembapan udara. Komponen utama perangkat IoT melibatkan sensor yang berfungsi untuk mengumpulkan data, koneksi internet yang digunakan untuk komunikasi, serta database yang berperan dalam menyimpan data informasi dari sensor [7]. Penggunaan buzzer juga bertindak sebagai tanda peringatan langsung kepada pengguna bahwa kualitas udara dalam ruangan tidak dalam kondisi yang aman. Selain itu, pengembangan website yang berperan dalam menyajikan tampilan yang interaktif mengenai struktur nilai yang dibaca oleh sensor dan peringatan bahaya yang akan dikirim melalui perangkat aplikasi telegram dapat membantu meningkatkan respon cepat dalam situasi darurat keadaan udara yang tidak sehat. Dalam penelitian yang berjudul "Monitoring Kualitas Udara Ruang Gas di RSUD Dr. Soedarmo Trenggalek dengan IoT Berbasis Web". Sensor akan mengidentifikasi tingkat polusi didalam ruangan penyimpanan gas, kemudian mengirimkan data tersebut ke dalam website dengan data yang tersimpan pada database.

2. Metode Penelitian

Berikut adalah beberapa langkah penelitian yang akan dilaksanakan, dapat digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

2.1 Studi Literatur

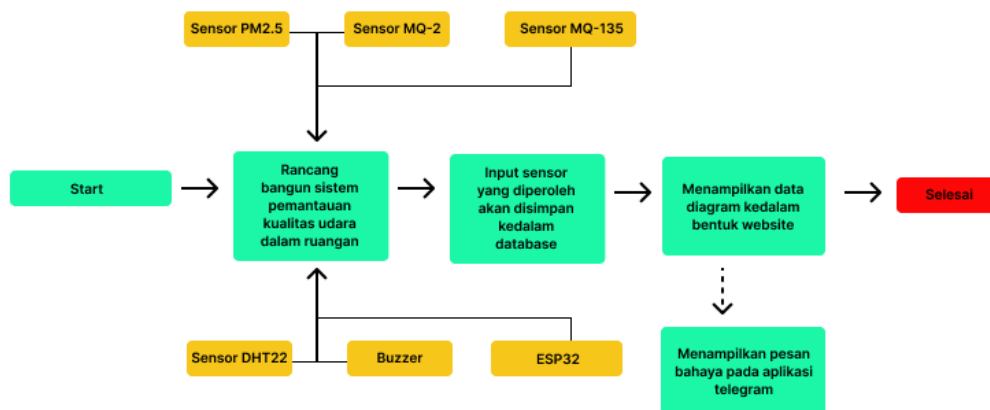
Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur untuk memahami dasar teori dan pendekatan yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya terkait topik ini. Data kualitatif dikumpulkan dengan menganalisis berbagai referensi, seperti jurnal, buku, dan makalah yang memberikan konteks mengenai teori dan metode yang dapat diaplikasikan dalam penelitian ini.

2.2 Konsep Perancangan Sistem

Perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) merupakan peran penting dalam penelitian perancangan sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT. Konsep dasar sebagai pedoman untuk membangun keberhasilan dengan langkah-langkah petunjuk yang membentuk dasar desain. Beberapa sensor yang digunakan untuk memonitoring kualitas udara dalam ruangan yang akan di hubungkan ke mikrokontroler ESP32 dengan menggunakan beberapa kabel sambung.

Sensor akan membaca dan meneruskannya ke mikrokontroler ESP32, kemudian data di kirim ke server IoT melalui modul WiFi ESP32 untuk diolah. Data yang di terima di tampilkan ke dalam halaman website yang dapat di lihat oleh pengguna. Website yang dikembangkan menyediakan penyimpanan untuk setiap data dari perangkat yang terhubung dan bisa dengan mudah menambahkan data dari perangkat. Secara langsung di tampilkan pada website, data dari setiap sensor yang dikirim juga bisa diproses atau diolah yang nanti nilainya akan ditampilkan dalam bentuk data diagram yang mudah dipahami dan berisi data nyata dari sensor.

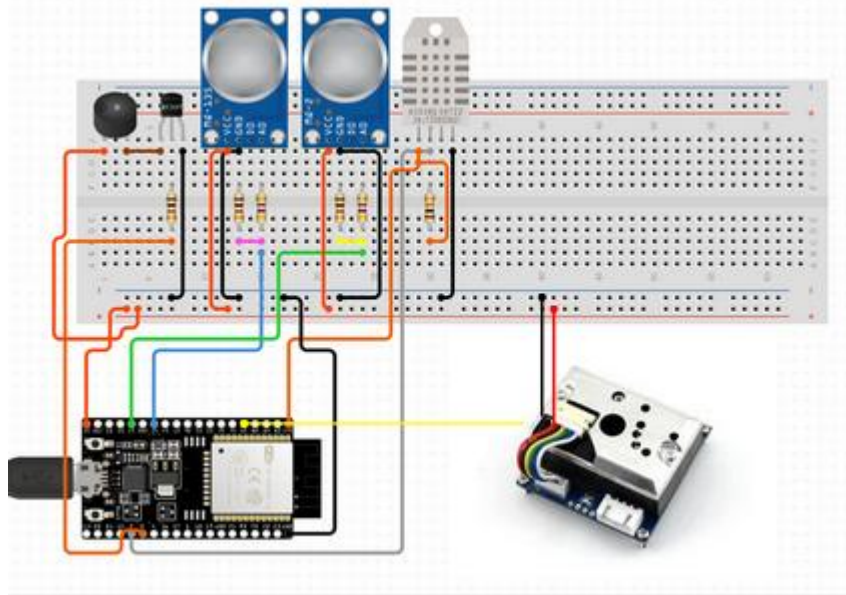
Alat ini akan diletakkan di ruangan penyimpanan tabung gas yang digunakan untuk keperluan rumah sakit. Pemilihan lokasi ini penting karena ruangan tersebut memiliki kondisi khusus yang mempengaruhi parameter kualitas udara, seperti konsentrasi gas atau bahan kimia. Dengan mengukur PM2.5, karbon monoksida (CO), senyawa organik volatil (VOC), suhu, dan kelembaban di lokasi, serta dapat memastikan bahwa lingkungan penyimpanan gas tetap aman dan sesuai standar kualitas udara yang ditetapkan, serta mendeteksi potensi risiko yang mungkin timbul dari bahan-bahan yang disimpan di ruangan tersebut. Alur diagram sistem perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Perancangan Sistem

2.3 Perancangan Alat

Sistem monitoring kualitas udara ini didesain dengan memanfaatkan beberapa perangkat dan komponen yang dapat dilihat pada di bawah ini. Terdapat mikrokontroler ESP32 sebagai otak utama sistem, sensor partikel PM2.5 untuk mengukur konsentrasi partikel kecil dalam udara, sensor asap MQ-2 untuk memonitor tingkat karbon dioksida, sensor senyawa organik volatil MQ-135 untuk memonitor zat solvent (pelarut), dan sensor suhu DHT22 untuk mengukur suhu sekitar, dan sensor suara buzzer sebagai indikator audio. Gambar perancangan alat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Perancangan Alat

2.4 Implementasi Metode Fuzzy Model Mamdani

Fuzzy model Mamdani merupakan salah satu metode yang dapat digunakan pada proses pengambilan keputusan dalam sistem. Metode ini menggunakan aturan berbasis pengetahuan yang diungkapkan dalam bentuk "jika-maka" (if-then) dan memungkinkan penggabungan berbagai variabel input yang tidak pasti atau ambigu untuk menghasilkan keputusan yang lebih informatif dan akurat. Keputusan dalam metode inferensi fuzzy memiliki kemampuan untuk menangani masalah yang sulit untuk didefinisikan dan mampu memodelkan fungsi non-linear. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, diharapkan bahwa penerapan model fuzzy Mamdani dapat membantu mengolah berbagai input dari sensor untuk memberikan keputusan yang sesuai dan akurat [8].

Kelebihan dari penggunaan fuzzy logic Mamdani adalah kemampuannya yang lebih spesifik. Setiap langkah dalam metode ini sangat memperhatikan kondisi masing-masing relasi fuzzy, sehingga menghasilkan output yang lebih akurat [9]. Sebelum menentukan fuzzy logic mamdani, perlu ditetapkan ketentuan tingkat kadar udara yang normal antara lain: [10]

1. PM2.5 (Particulate Matter 2.5)
 - Good (Baik): 0 - 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Satisfactory (Cukup Baik): 31 - 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Moderately Polluted (Tercemar Sedang): 61 - 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Poor (Buruk): 91 - 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Very Poor (Sangat Buruk): 121 - 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - Severe (Berbahaya / Parah): 250+ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2. Karbon Monoksida (CO)
 - Good (Baik): 0 - 1.0 mg/m^3
 - Satisfactory (Cukup Baik): 1.1 - 2.0 mg/m^3
 - Moderately Polluted (Tercemar Sedang): 2.1 - 10 mg/m^3
 - Poor (Buruk): 10 - 17 mg/m^3
 - Very Poor (Sangat Buruk): 17 - 34 mg/m^3
 - Severe (Berbahaya / Parah): 34+ mg/m^3
3. Total Senyawa Organik Volatil (TVOC)
 - Excellent (Sempurna): 0 - 0.065 ppm
 - Good (Baik): 0.065 - 0.22 ppm
 - Moderate (Cukup Baik): 0.22 - 0.66 ppm
 - Poor (Buruk): 0.66 - 2.2 ppm
 - Unhealthy (Tidak Sehat): 2.2 - 5.5 ppm

4. Suhu
 - Good (Baik): 0 - 36°C
 - Unhealthy (Tidak Sehat): 36+°C
5. Kelembaban
 - Good (Baik): 0 - 99%
 - Unhealthy (Tidak Sehat): 99+%

Pembentukan himpunan fuzzy, penerapan fungsi implikasi, komposisi aturan, serta proses defuzzifikasi [11]. Pembentukan pengelompokan relasi sendiri dapat membantu mengatasi keterbatasan himpunan klasik dalam menangani data dan informasi yang tidak jelas atau ambigu. Dalam dunia nyata, banyak situasi di mana batas antara keanggotaan dan bukan keanggotaan tidak tegas, sehingga himpunan fuzzy memungkinkan representasi dan analisis yang lebih fleksibel. Dengan menggunakan himpunan fuzzy, kita dapat menangani ketidakpastian dan gradien keanggotaan, memberikan solusi yang lebih realistis dan aplikatif dalam berbagai bidang seperti pengambilan keputusan, pengendalian sistem, dan kecerdasan buatan. Pembuatan relasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Relasi Program Fuzzy

Relasi	PM2.5	CO	TVOC	Suhu	Kelembaban	Kondisi
R1	Good	Good	Excellent	Good	Good	Kondisi Baik
R2	Satisfactory	Satisfactory	Good	Good	Good	Kondisi Cukup Baik
R3	Satisfactory	Satisfactory	Moderate	Good	Good	Kondisi Cukup Baik
R4	Moderately Polluted	Moderately Polluted	Poor	Unhealthy	Unhealthy	Kondisi Tercemar Sedang
R5	Moderately Polluted	Poor	Unhealthy	Unhealthy	Kondisi Tercemar Sedang	Kondisi Buruk
R6	Poor	Poor	Poor	Unhealthy	Unhealthy	Kondisi Buruk
R7	Very Poor	Very Poor	Unhealthy	Unhealthy	Unhealthy	Kondisi Sangat Buruk

Aturan tambahan:

- Jika salah satu parameter lebih buruk, maka kondisi udara mengikuti kategori terburuknya.
- Jika semua parameter Baik, maka kondisi udara juga Baik.

Sistem inferensi yang menggunakan metode fuzzy Mamdani sering kali disebut sebagai metode max-min [12]. Fungsi keanggotaan merupakan sebuah kurva yang menggambarkan bagaimana titik-titik data input dipetakan ke nilai keanggotaannya (juga dikenal sebagai derajat keanggotaan) berada dalam rentang 0 hingga 1 [13]. Salah satu metode untuk memperoleh nilai keanggotaan ini adalah dengan menggunakan pendekatan fungsi relasi. Keanggotaan nol (0) bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi. Penggunaan fuzzifikasi adalah proses mengubah nilai numerik menjadi nilai fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan mengkategorikan data ke dalam himpunan fuzzy. Jika $x \leq a$, maka keanggotaan dalam himpunan fuzzy adalah 0. Jika $a < x \leq b$, maka keanggotaan dihitung sebagai $(x - a) / (b - a)$. Jika $x \geq b$, maka keanggotaan dalam himpunan fuzzy adalah 0.

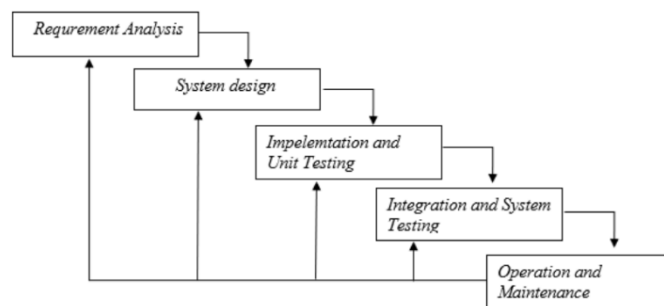
$$\mu = \begin{cases} 0 & \\ \frac{x - a}{b - a} & \\ 1 & \end{cases} \quad \begin{array}{l} x = \text{Nilai input} \\ a = \text{Nilai minimum} \\ b = \text{Nilai maximum} \end{array}$$

Dalam konteks ini, aa, dan bb adalah parameter yang menentukan batas-batas interval dimana nilai xx dinilai, dan fungsi keanggotaan memberikan nilai derajat keanggotaan yang mencerminkan seberapa kuat suatu elemen xx menjadi anggota dalam himpunan fuzzy tersebut. Fungsi ini sering digunakan dalam logika fuzzy untuk mengatasi ketidakpastian dan kekaburan dalam data.

2.5 Perancangan Sistem Website

Website adalah kumpulan halaman yang berisi informasi yang dapat diakses melalui browser. Website dibangun menggunakan berbagai bahasa pemrograman, salah satunya adalah PHP, yang memungkinkan pengelolaan konten dan interaksi pengguna secara dinamis. Informasi yang disajikan di dalam website dapat diatur dengan sangat fleksibel, mencakup elemen-elemen seperti desain tampilan, tata letak, serta jenis konten yang ingin disampaikan. Website telah menjadi media umum untuk menyajikan informasi dalam berbagai keperluan dan berfungsi sebagai media komunikasi virtual [14].

Dengan pendekatan waterfall, proses pengembangan dilakukan secara terstruktur dan berurutan. Disebut waterfall karena setiap tahap harus menunggu penyelesaian tahap sebelumnya dan berlangsung secara berurutan. Dimulai dengan analisis kebutuhan persyaratan sistem dikumpulkan secara menyeluruh dan didokumentasikan dengan baik. Setelah persyaratan dipastikan, tahap desain sistem dimulai, di mana saya merancang arsitektur website, mulai dari integrasi perangkat IoT, pengumpulan data, hingga perancangan antarmuka pengguna yang responsif. Selanjutnya, di tahap implementasi, kode untuk setiap modul dikembangkan sesuai dengan rencana yang sudah dibuat. Website kemudian diuji secara keseluruhan dalam tahap pengujian untuk memastikan fungsionalitas berjalan sesuai dengan yang diharapkan, terutama pada aspek pemantauan data dan tampilan grafik. Tahap pemeliharaan dilakukan untuk memperbaiki bug yang ditemukan dan menjaga performa sistem agar tetap optimal seiring waktu. Metode ini memastikan setiap tahap dikembangkan secara menyeluruh sebelum melangkah ke tahap berikutnya, sehingga menghasilkan sistem yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Proses tahapan pengembangan metode waterfall dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Pengembangan Waterfall

2.6 Penggunaan Telegram Bot

Bot merupakan aplikasi perangkat lunak yang berbasis otomatis yang menjalankan semua perintah melalui internet. Bot ini dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan pengguna. Telegram sendiri adalah aplikasi pesan yang tersedia di platform seluler, desktop, dan web. Bot telegram memiliki fungsi otomatis untuk merespons perintah atau permintaan pengguna. bot telegram sendiri menyediakan bentuk API (Aplication Programing Interface). Dengan memanfaatkan BotFather untuk membuat dan mengelola bot, serta idbot untuk mendapatkan chat ID, peneliti dapat mengotomatisasi pengiriman pesan, seperti notifikasi dari sistem IoT, langsung ke pengguna tertentu. Hal ini memastikan bahwa pesan atau peringatan yang dikirim melalui bot Telegram dapat diterima secara tepat oleh individu.

2.7 Presentasi Hasil

Presentasi hasil menjadi langkah terakhir dalam proses pengembangan ini, berfungsi untuk merangkum secara menyeluruh seluruh kegiatan yang telah dilaksanakan. Pada tahap ini, semua data, temuan, dan informasi yang diperoleh selama proses pengembangan dipaparkan secara sistematis, dengan penekanan pada hasil yang dicapai. Presentasi tersebut mencakup

dokumentasi lengkap dari setiap komponen dan elemen sistem yang dikembangkan, termasuk analisis dan evaluasi terhadap performa sistem.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Pembentukan dan Diagram Keanggotaan Fuzzy Model Mamdani

Hasil pengambilan data di lapangan pada tanggal 11 Januari 2025 menunjukkan adanya variasi yang signifikan, dengan beberapa data yang kurang konsisten atau cenderung kabur. Oleh karena itu, penerapan logika fuzzy diperlukan untuk menghasilkan keputusan yang lebih akurat dan adaptif. Pemrograman Python adalah bahasa yang sangat cocok untuk membangun sistem inferensi fuzzy dengan multi-input dan multi-output [15]. Hasil data yang didapat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengambilan Data Rumah Sakit

No.	Waktu Pengambilan	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (mg/m^3)	TVOC (ppb)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembaban
1.	2025-02-24 09:09:33	15	0.16	0.22	31	77

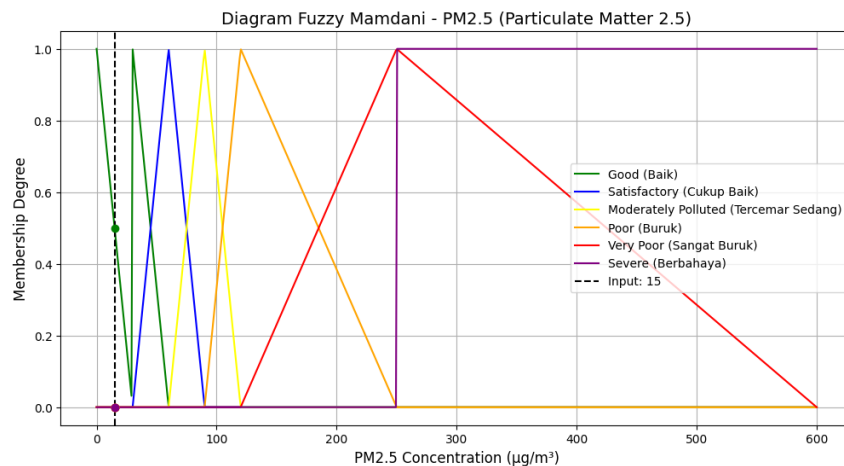
Pembentukan himpunan fuzzy mamdani data No.1:

Diketahui:

- PM2.5: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- CO: 0.16 mg/m^3
- TVOC: 0.22 ppb
- Suhu: 31 $^{\circ}\text{C}$
- Kelembaban: 77 %

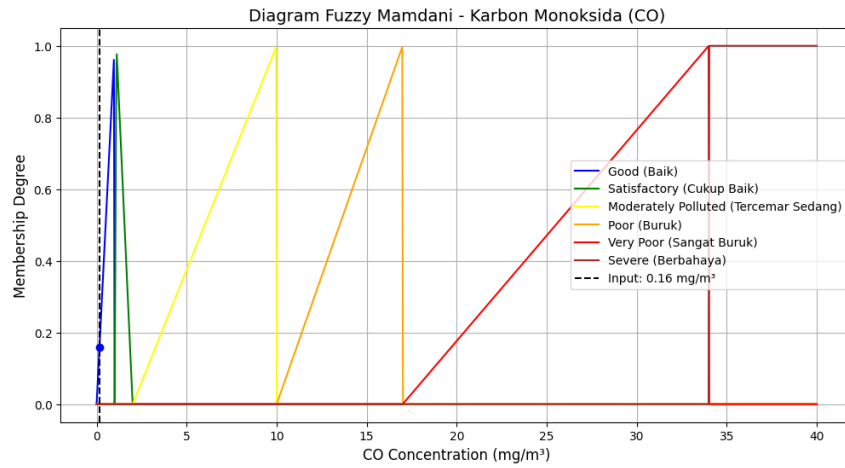
Dijawab:

- PM2.5: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 $= \mu \{0 \ x\text{-ab-a } 1$
 $= \mu \{0 \ 15\text{-}030 \ - \ 0 \ 1$
 $= \mu \{0 \ 1530 \ 1$
 $= 0.5 \text{ kategori good(baik).}$



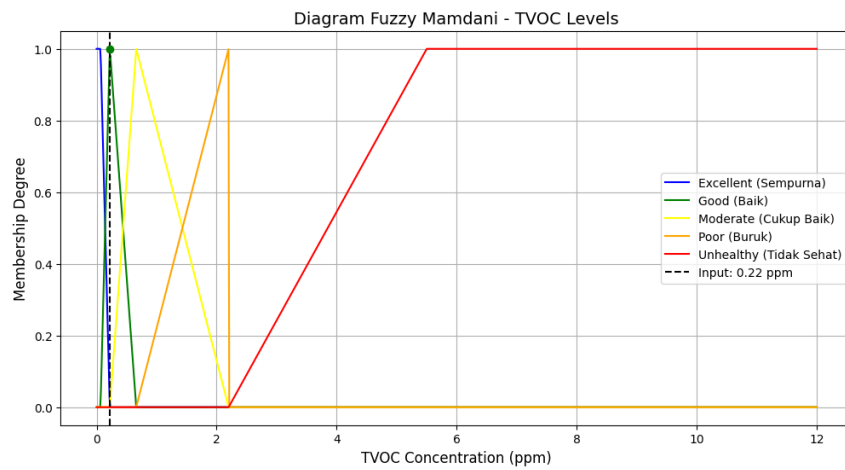
Gambar 5. Tampilan Variabel Output PM2.5

- CO: 0.16 mg/m^3
 $= \mu \{0 \ x\text{-ab-a } 1$
 $= \mu \{0 \ 0.16\text{-}01.0\text{-}0 \ 1$
 $= \mu \{0 \ 0.161.0 \ 1$
 $= 0.16 \text{ Kategori good(baik).}$



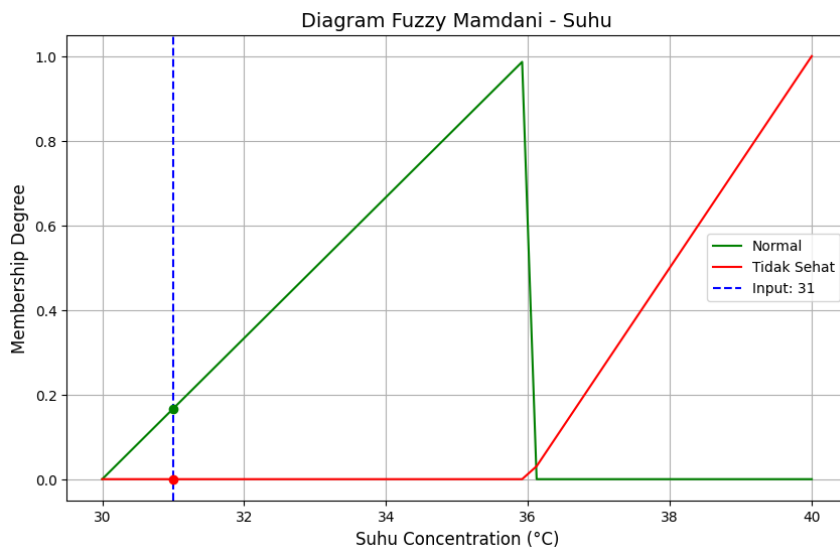
Gambar 6. Tampilan Variabel Output CO

- TVOC: 0.22 ppb
 $= \mu \{0 \ x-ab-a \ 1\}$
 $= \mu \{0 \ 0.22-0.0650.22-0.065 \ 1\}$
 $= \mu \{0 \ 0.1550.155 \ 1\}$
 $= 1$ kategori good(baik)



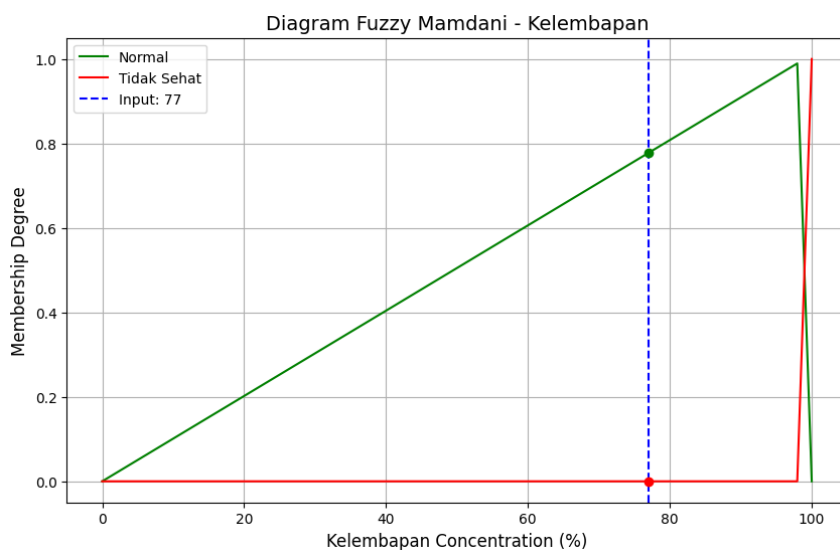
Gambar 7. Tampilan Variabel Output TVOC

- Suhu: 31°C
 $= \mu \{0 \ x-ab-a \ 1\}$
 $= \mu \{0 \ 31-3036-30 \ 1\}$
 $= \mu \{0 \ 16 \ 1\}$
 $= 0.16$ kategori good(baik).



Gambar 8. Tampilan Variabel Output Suhu

- Kelembaban: 77 %
 = $\mu \{0 \ x-ab-a \ 1$
 = $\mu \{0 \ 77-099-0 \ 1$
 = $\mu \{0 \ 7799 \ 1$
 = 0.77 kategori good(baik)



Gambar 9. Tampilan Variabel Output Kelembaban

- Kualifikasi hasil fuzzy:

Tabel 3. Hasil Fuzzifikasi Data No.1

No.	Waktu Pengambilan	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (mg/m^3)	TVOC (ppb)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembaban	Keterangan
1	2025-02-24 09:09:33	15 /baik	0.16 /baik	0.22 /baik	31 /baik	77 /baik	Kondisi Baik

3.2 Perancangan Website

Perancangan website ini menggunakan metode Waterfall, yang merupakan pendekatan sistematis dalam pengembangan perangkat lunak dengan alur kerja yang berurutan. Tahapan dalam metode ini meliputi analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan.

3.2.1 Requirement Analysis

Dalam tahap requirement analysis menggunakan metode Waterfall untuk penelitian pemantauan udara berbasis IoT di ruang gas rumah sakit harus mencakup semua kebutuhan sistem secara detail. Berikut adalah elemen-elemen yang sebaiknya dimasukkan:

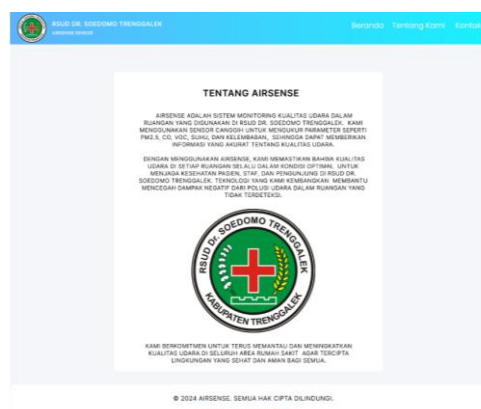
1. Functional Requirements (Kebutuhan Fungsional) meliputi:
 - Pemantauan kualitas udara, notifikasi dan alarm, penyimpanan data, user access management.
2. Non-Functional Requirements (Kebutuhan Non-Fungsional) meliputi:
 - Keamanan, responsivitas, kecepatan.
3. Technical Requirements (Kebutuhan Teknis) meliputi:
 - Hardware, software, komunikasi data, integrasi.
4. User Requirements (Kebutuhan Pengguna) meliputi:
 - Administrator, pengguna umum.
 -

3.2.2 System Design

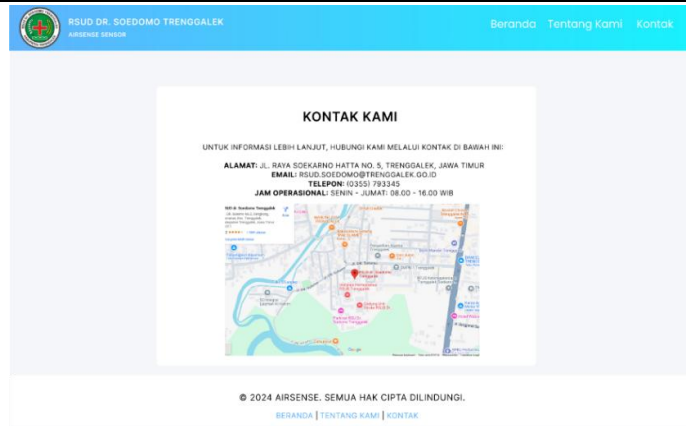
Dalam tahap system design, fokus utama adalah merancang arsitektur website secara menyeluruh, yang mencakup bagaimana setiap komponen dalam sistem akan saling berinteraksi. Hal ini melibatkan pemilihan teknologi yang sesuai, pengaturan data flow antara frontend dan backend, desain database untuk efisiensi penyimpanan data, serta penyusunan antarmuka pengguna (User Interface) yang responsif. Hasil UI website dapat dilihat pada Gambar 10 sampai Gambar 14.



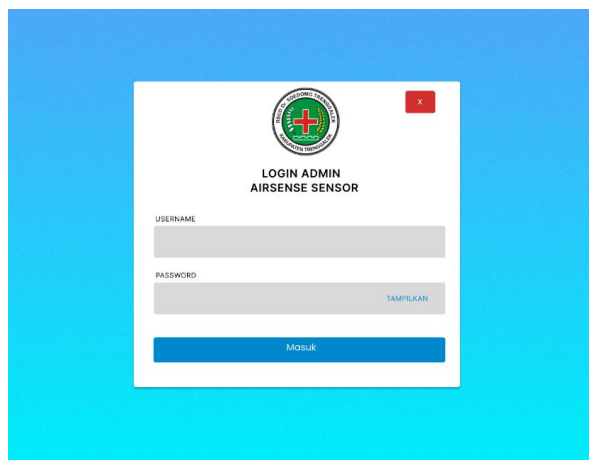
Gambar 10. UI Dashboard



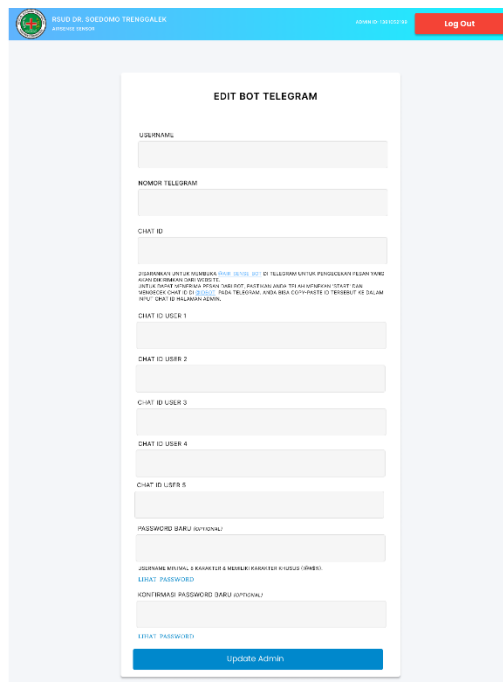
Gambar 11. UI Tentang Kami



Gambar 12 UI Kontak Kami



Gambar 13. UI Login Admin



Gambar 14. UI Halaman Utama Admin

3.2.3 Implementation and Unit Testing

1. Program Perangkat IOT (ESP32) Mengirim Data Ke Server

```
#include <HTTPClient.h>

const char* serverUrl = "https://airsense.airquality.my.id/server";
const char* apiKey = "HFJIG-90687-ABDCE-54132";

// Fungsi untuk mengirim data ke server
void sendData(int pm25, float co, float tvoc, int suhu, int kelembaban) {
  HTTPClient http;
  http.begin(serverUrl);
  http.addHeader("Content-Type", "application/json");
  http.addHeader("X-API-KEY", apiKey);

  String jsonPayload = "{\"pm25\": " + String(pm25) +
    ", \"co\": " + String(co) +
    ", \"tvoc\": " + String(tvoc) +
    ", \"suhu\": " + String(suhu) +
    ", \"kelembaban\": " + String(kelembaban) + "}";

  int httpResponseCode = http.POST(jsonPayload);
  if (httpResponseCode > 0) {
    Serial.println("Data sent successfully!");
  } else {
    Serial.print("Error on sending POST: ");
    Serial.println(httpResponseCode);
  }
  http.end();
}
```

Deskripsi

Mengirim data ke server dalam format JSON melalui protokol HTTP.

Tabel 4 Deskripsi Program Mengirim Data Ke Server

3.2.4 Integration and System Testing

1. Pengembangan dan Pengujian Perangkat IoT (ESP32)

- Program Implementasi:

```
#include <HTTPClient.h>

const char* serverUrl = "https://airsense.airquality.my.id/server";
const char* apiKey = "HFJIG-90687-ABDCE-54132";

// Fungsi untuk mengirim data ke server
void sendData(int pm25, float co, float tvoc, int suhu, int kelembaban) {
  HTTPClient http;
  http.begin(serverUrl);
  http.addHeader("Content-Type", "application/json");
  http.addHeader("X-API-KEY", apiKey);

  String jsonPayload = "{\"pm25\": " + String(pm25) +
    ", \"co\": " + String(co) +
    ", \"tvoc\": " + String(tvoc) +
    ", \"suhu\": " + String(suhu) +
    ", \"kelembaban\": " + String(kelembaban) + "}";

  int httpResponseCode = http.POST(jsonPayload);
  if (httpResponseCode > 0) {
```

```
Serial.println("Data sent successfully!");
} else {
  Serial.print("Error on sending POST: ");
  Serial.println(httpResponseCode);
}
http.end();
}
```

- Data yang dibaca dikonversi ke format JSON dan dikirimkan ke server melalui protokol HTTPS menggunakan library HTTPClient.
- Program Implementasi:

```
09:09:33.630 -> PM2.5: 15 µg/m3 | CO: 0.16 mg/m3 | TVOC: 0.22 ppb |
Suhu: 31°C | Kelembaban: 77% |
```
- Data dari masing-masing sensor berhasil ditangkap dengan akurasi sesuai spesifikasi sensor:
 - PM2.5: 15 µg/m³
 - CO: 0.16 mg/m³
 - TVOC: 0.22 ppb
 - Suhu: 31 °C
 - Kelembaban: 77%
- Program Implementasi:

```
{
  "pm25": 15,
  "co": 0.16,
  "tvoc": 0.22,
  "suhu": 31,
  "kelembaban": 77
}
```
- Pengujian menunjukkan data berhasil terkirim ke endpoint API tanpa error (HTTP response code: 200 OK).

```
09:09:33.886 -> 200
```

3.2.5 Operation and Maintenance

Sistem akan dioperasikan secara otomatis untuk memantau kualitas udara ruangan menggunakan sensor yang terhubung ke website. Hasil pemantauan ditampilkan dalam bentuk grafik, dan pesan darurat akan dikirimkan ke pengguna melalui Telegram jika terdeteksi kondisi udara yang buruk atau kebocoran gas. Pemeliharaan meliputi kalibrasi rutin sensor setiap 1 minggu, pembaruan perangkat lunak sistem, dan backup data setiap bulan.

3.3 Perancangan Telegram Bot

Bot merupakan aplikasi perangkat lunak yang berbasis otomatis yang menjalankan semua perintah melalui internet. Bot ini dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan pengguna. telegram sendiri adalah aplikasi pesan yang tersedia di platform seluler, desktop, dan web. Bot telegram memiliki fungsi otomatis untuk merespons perintah atau permintaan pengguna. bot telegram sendiri menyediakan bentuk API (Application Programming Interface) [16]. Dengan memanfaatkan BotFather untuk membuat dan mengelola bot, serta idbot untuk mendapatkan chat IDE yang mengotomatisasi pengiriman pesan, seperti notifikasi dari sistem IoT langsung ke pengguna tertentu.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan pemantauan kualitas udara di ruang gas rumah sakit sangatlah penting untuk memastikan keselamatan dan kesehatan baik bagi pasien maupun tenaga medis yang bekerja di lingkungan tersebut. Berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran menggunakan sensor IoT, terungkap bahwa parameter-parameter seperti PM2.5,

karbon monoksida (CO), total senyawa organik volatil (TVOC), suhu, dan kelembaban memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas udara di ruang tersebut. Dalam kondisi tertentu, nilai parameter ini dapat melebihi ambang batas normal, yang berpotensi membahayakan kesehatan, terutama dalam ruang tertutup seperti ruang gas.

Oleh karena itu, implementasi sistem pemantauan berbasis teknologi sensor IoT yang dapat memberikan pembacaan data dan mengirimkan notifikasi otomatis ke platform seperti Telegram memiliki tingkat keberhasilan pemantauan udara yang tinggi bergantung pada akurasi sensor, dimana seluruh parameter memenuhi standar kadar normal. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam mendukung pengelolaan udara bersih di fasilitas rumah sakit, yang pada akhirnya dapat meningkatkan keamanan lingkungan kerja, serta memenuhi standar kesehatan yang berlaku.

Referensi

- [1] Indyah Sulistyoy Arty, "Peran Udara Dalam Kehidupan Kaitannya Dengan Pandangan Hidup Masyarakat Indonesia," *Prosiding Semnas Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, no. 1, pp. 83–90, 2005.
- [2] D. Bina *et al.*, "Pedoman Teknis Prasana Rumah Sakit Sistem Instalasi Gas Medik Dan Vakum Medik."
- [3] B. Bahri, M. Raharjo, and S. Suhartono, "Dampak Polusi Udara Dalam Ruangan Pada Kejadian Kasus Pneumonia: Sebuah Review" *LINK*, vol. 17, no. 2, pp. 99–104, 2021.
- [4] R. Muttaqin, W. Sakti, W. Prayitno, N. E. Setyaningsih, and U. Nurbaiti, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IoT (Internet of Things) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135," *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, vol. 6, no. 2, pp. 2654–251, 2024.
- [5] A. Selay *et al.*, "INTERNET OF THINGS," *Karimah Tauhid*, vol. 1, pp. 860–868, 2022.
- [6] R. Purbakawaca and S. A. Fauzan, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbiaya Rendah Berbasis IoT," *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 5, no. 1, pp. 118–125, 2022.
- [7] R. Kurniawan and T. Informasi, "Rancang Bangun Aplikasi Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IoT untuk Lingkungan Perumahan," *cyberarea.id*, vol. 3, no. 2, pp. 1–19, 2023.
- [8] A. Firman Choiri, E. Setyati, and F. H. Chandra, "Sistem IoT Berbasis Fuzzy Inference Engine Untuk Penilaian Kualitas Udara Dalam Ruangan," *Jurnal Teknologi Informasi dan Terapan (J-TIT)*, vol. 9, no. 2, pp. 2580–2291, 2022.
- [9] S. Agustiani, "Penerapan Fuzzy Logic Mamdani Untuk Menentukan Prestasi Belajar Matematika Siswa SMP," *ELIPS: JURNAL PENDIDIKAN MATEMATIKA*, vol. 4, no. 2, pp. 202–215, 2023.
- [10] Gifty M. O., Simon A. A., Daniel A., Benjamin M. S., "Exposure to particulate matter (PM2.5) and volatile organic compounds (VOCs), and self-reported health symptoms among fish smokers: A case study in the Western Region of Ghana," *Plos One*, vol. 18, no. 3, pp. 1–21, 2023.
- [11] E. Haerani, "Analisa Kendali Logika Fuzzy dengan Metode Defuzzifikasi COA (Center of Area), Bisektor, MOM (Mean of Maximum), LOM (Largest of Maximum), dan SOM (Smallest of Maximum)," *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 10, no. 1, pp. 1-10, Juni 2012.
- [12] U. M. Rifanti, H. Pujiharsono, and Z. H. Pradana, "Implementasi Logika Fuzzy Pada Penilaian Kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM)," *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, vol. 12, no. 1, pp. 250–260, Mar. 2023.
- [13] S. Fitra Widya Utama and H. Arif Wibawa, "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Dalam Game Simulasi Memancing," *Dinamika Rekayasa*, vol. 11, no. 1, pp. 48–53, 2015.
- [14] Devid Alfian, Budhi Irawan, and Faisal Candrasyah Hasibuan, "Perancangan Aplikasi Website Berbasis IoT Untuk Pemantauan dan Kontrol Pada PLTA di Desa Tambolusu Kabupaten Konawe Provinsi Sulawesi Tenggara," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 661–674, 2023.
- [15] Prasenjit Nath, "FUZZY Inference System using Python," *Global Journal of Infectious Disease (GJID)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–3, 2020.
- [16] M. Safii *et al.*, "Monitoring Ketinggian Permukaan Air Menggunakan Telegram Bot Berbasis NodeMCU ESP8266," *METIK JURNAL*, vol. 6, pp. 123–132, 2022.