

EVALUASI RISIKO ISPA PADA RUMAH TINGGAL BERBASIS PM2.5 DAN KELEMBABAN MENGUNAKAN FUZZY LOGIC

¹Joniwarta, ² Agus Hidayat*, ³Allan Desi Alexander , ⁴ Hendarman Lubis

^{1,2,3,4}Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya 1,2
Jl. Harsono No.67 Ragunan, Pasar Minggu, Jakarta Selatan, Indonesia

Author Email: agus.hidayat@dsn.ubharajaya.ac.id²

Abstrak

Kelembapan tinggi pada rumah tinggal, khususnya pada material gipsum, berpotensi meningkatkan pertumbuhan jamur dan akumulasi partikel halus (PM2.5) yang berkontribusi terhadap risiko Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi risiko ISPA pada rumah tinggal dengan plafon/dinding gipsum lembap berdasarkan parameter konsentrasi PM2.5 dan kelembapan relatif (Relative Humidity/RH) menggunakan algoritma Fuzzy Logic. Evaluasi dilakukan dengan mengacu pada standar kualitas udara World Health Organization (WHO) tahun 2021 yang menetapkan batas ambang PM2.5 sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata 24 jam sebagai pedoman kesehatan. Sistem monitoring dikembangkan berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor PMS5003 untuk pengukuran PM2.5 dan DHT22 untuk kelembapan yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 serta dashboard pemantauan real-time. Hasil pengukuran selama 7 hari pada ruangan dengan gipsum lembap menunjukkan nilai RH rata-rata 73–82%, dengan konsentrasi PM2.5 berkisar antara 20–38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, melampaui ambang WHO pada beberapa periode pengamatan. Analisis menggunakan metode Fuzzy Mamdani mengklasifikasikan kondisi tersebut ke dalam kategori “Waspada” hingga “Bahaya”, terutama ketika kelembapan tinggi memperkuat potensi pertumbuhan jamur dan bioaerosol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan algoritma Fuzzy Logic memberikan evaluasi risiko yang lebih adaptif dibandingkan metode threshold konvensional berbasis ambang WHO semata, karena mempertimbangkan interaksi antara PM2.5 dan kelembapan. Penelitian ini menegaskan pentingnya pengendalian kelembapan pada material gipsum dalam upaya pencegahan gangguan pernapasan di lingkungan rumah tinggal.

Kata kunci: PM2.5, Gipsum, Kelembapan, ISPA, WHO, Fuzzy Logic, Indoor Air Quality

Abstract

High humidity in residential homes, especially in gypsum materials, has the potential to increase mold growth and the accumulation of fine particles (PM2.5) which contribute to the risk of Acute Respiratory Infections (ARI). This study aims to evaluate the risk of ARI in residential homes with damp gypsum ceilings/walls based on PM2.5 concentration and relative humidity (RH) parameters using the Fuzzy Logic algorithm. The evaluation was carried out with reference to the 2021 World Health Organization (WHO) air quality standards which set a PM2.5 threshold of 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for a 24-hour average as a health guideline. The monitoring system was developed based on the Internet of Things (IoT) using the PMS5003 sensor for PM2.5 measurement and DHT22 for humidity integrated with the ESP32 microcontroller and a real-time monitoring dashboard. Measurements over 7 days in a room with damp gypsum showed an average RH of 73–82%, with PM2.5 concentrations ranging from 20–38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, exceeding the WHO threshold in several observation periods. Analysis using the Mamdani Fuzzy



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

Logic method classified these conditions into categories ranging from "Alert" to "Danger," particularly when high humidity increases the potential for mold and bioaerosol growth. The results showed that the use of the Fuzzy Logic algorithm provided a more adaptive risk evaluation than the conventional WHO threshold-based method alone, because it considered the interaction between PM2.5 and humidity. This study emphasizes the importance of humidity control in gypsum materials in preventing respiratory disorders in residential environments.

Keywords: PM2.5, Gypsum, Humidity, Acute Respiratory Infection (ARI), WHO, Fuzzy Logic, Indoor Air Quality.

1 Pendahuluan

Penggunaan material gypsum pada perkembangan industri konstruksi perumahan dalam satu dekade terakhir menunjukkan peningkatan signifikan. Gypsum dipilih karena memiliki keunggulan berupa bobot ringan, kemudahan instalasi, biaya relatif ekonomis, serta mudah dibentuk untuk desain plafon yang lebih estetis dan modern, terutama pada pemasangan plafon dan partisi interior rumah tinggal. Selain itu, gypsum memungkinkan penerapan drop ceiling, pencahayaan tersembunyi (hidden lamp), serta variasi ornamen dekoratif yang dapat mempercantik tampilan interior rumah. Karakteristik tersebut menjadikan gypsum sebagai salah satu material interior yang banyak digunakan pada bangunan modern [1], [11].

Material gypsum memiliki karakteristik higroskopis dan struktur berpori yang memungkinkan penyerapan kelembapan dari lingkungan sekitarnya [1]. Jika ventilasi kurang optimal atau terjadi kebocoran atap pada rumah tinggal di wilayah tropis dengan tingkat kelembapan relatif (Relative Humidity/RH) yang tinggi, maka kondisi tersebut dapat memicu akumulasi uap air pada plafon gypsum. Paparan kelembapan dalam waktu lama berpotensi menyebabkan degradasi material serta pertumbuhan mikroorganisme seperti jamur pada permukaan plafon [2], [7].

Pertumbuhan jamur pada material gypsum lembap menghasilkan spora dan bioaerosol yang dapat terdispersi di udara dalam ruangan. Spora tersebut berukuran mikroskopis dan termasuk dalam fraksi partikel halus yang berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi PM2.5 [3], [13]. Partikel PM2.5 memiliki diameter aerodinamis $\leq 2,5 \mu\text{m}$ dan mampu menembus sistem pernapasan hingga alveoli paru-paru, sehingga meningkatkan risiko gangguan respiratorik, termasuk Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) [4], [12].

World Health Organization (WHO) dalam Global Air Quality Guidelines tahun 2021 menetapkan batas ambang PM2.5 sebesar $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata 24 jam sebagai pedoman untuk meminimalkan risiko kesehatan [4], [5]. Meskipun pedoman tersebut lebih banyak digunakan untuk kualitas udara luar ruangan, berbagai penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi PM2.5 di dalam rumah tinggal dapat melampaui nilai tersebut, terutama pada bangunan dengan ventilasi buruk dan tingkat kelembapan tinggi [6].

Di Indonesia dan negara tropis lainnya, tren penggunaan plafon gypsum pada rumah tinggal meningkat seiring dengan kebutuhan desain interior modern. Namun demikian, penelitian yang secara khusus mengevaluasi hubungan antara kondisi gypsum lembap, peningkatan PM2.5, dan risiko ISPA masih relatif terbatas. Sebagian besar studi kualitas udara dalam ruangan berfokus pada sumber polusi seperti aktivitas memasak atau asap rokok, sementara kontribusi material bangunan terhadap kualitas udara indoor belum banyak dieksplorasi [6], [7], [12].

Pendekatan evaluasi konvensional umumnya menggunakan metode berbasis ambang (threshold-based), yaitu membandingkan konsentrasi PM2.5 dengan standar tertentu seperti pedoman WHO [4]. Metode ini bersifat deterministik dan kurang mempertimbangkan interaksi antara faktor lingkungan, seperti kelembapan yang dapat memperkuat risiko melalui pertumbuhan jamur pada plafon gypsum. Dalam kondisi ini, diperlukan metode analisis yang mampu mengintegrasikan beberapa parameter secara simultan dan menangani ketidakpastian data lingkungan.

Algoritma Fuzzy Logic merupakan salah satu metode yang efektif dalam sistem klasifikasi risiko kesehatan berbasis lingkungan karena mampu merepresentasikan variabel linguistik seperti "rendah",



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

“sedang”, dan “tinggi” secara fleksibel [8]. Model Fuzzy Mamdani memungkinkan integrasi antara parameter PM2.5 dan kelembapan relatif untuk menghasilkan evaluasi risiko yang lebih adaptif dibandingkan metode berbasis ambang tunggal [9], [15]. Selain itu, integrasi teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan pengukuran parameter kualitas udara secara real-time menggunakan sensor berbiaya rendah seperti PMS5003 dan DHT22 [10], [14].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi risiko ISPA pada rumah tinggal dengan penggunaan plafon gipsum menggunakan pendekatan algoritma Fuzzy Logic berbasis parameter PM2.5 dan kelembapan. Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan model klasifikasi risiko kesehatan yang mempertimbangkan kondisi material bangunan sebagai faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap kualitas udara dalam ruangan, khususnya pada iklim tropis dengan tingkat kelembapan tinggi.

2 Tinjauan Literatur (or Literature Review)

A. Kualitas Udara Dalam Ruangan dan PM2.5

Kualitas udara dalam ruangan merupakan faktor penting yang memengaruhi kesehatan penghuni bangunan, khususnya pada rumah tinggal dengan ventilasi terbatas. Salah satu parameter utama kualitas udara adalah partikulat halus PM2.5 yang memiliki diameter aerodinamis kurang dari atau sama dengan 2,5 μm . Partikel ini mampu masuk hingga ke alveoli paru-paru dan menyebabkan gangguan pernapasan seperti asma, bronkitis, dan Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) [4], [12]. World Health Organization (WHO) menetapkan batas aman PM2.5 sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata 24 jam guna meminimalkan risiko kesehatan manusia [4], [5].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PM2.5 di lingkungan indoor berkorelasi langsung dengan peningkatan risiko gangguan respirasi, terutama pada bangunan dengan ventilasi buruk dan tingkat kelembapan tinggi [6], [12]. Selain itu, partikel bioaerosol seperti spora jamur juga termasuk dalam fraksi PM2.5 yang berbahaya bagi sistem pernapasan manusia [3], [13].

B. Kelembapan Udara dan Material Gipsum

Material gipsum banyak digunakan pada plafon dan partisi rumah tinggal karena memiliki bobot ringan, mudah dipasang, serta biaya relatif ekonomis. Selain itu, gipsum memiliki sifat higroskopis yang memungkinkan penyerapan kelembapan dari lingkungan sekitar [1], [11]. Pada wilayah tropis dengan tingkat kelembapan tinggi, kondisi ini dapat menyebabkan akumulasi uap air pada permukaan gipsum sehingga memicu pertumbuhan jamur [2], [7].

Pertumbuhan jamur pada material gipsum lembap menghasilkan spora mikroskopis yang dapat terdispersi di udara dalam ruangan. Spora tersebut termasuk bioaerosol yang berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi PM2.5 [3], [13]. Paparan jangka panjang terhadap kondisi bangunan lembap dan pertumbuhan jamur diketahui dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan, alergi, serta iritasi saluran napas [2], [7], [12].

C. Logika Fuzzy untuk Evaluasi Risiko Lingkungan

Logika fuzzy merupakan metode komputasi cerdas yang mampu menangani ketidakpastian dan ambiguitas dalam data lingkungan. Konsep fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Zadeh melalui teori fuzzy set yang memungkinkan penggunaan variabel linguistik seperti rendah, sedang, dan tinggi [8]. Metode ini banyak digunakan pada sistem klasifikasi risiko karena mampu menggabungkan beberapa parameter secara simultan.

Model Fuzzy Mamdani merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam sistem pengambilan keputusan berbasis lingkungan. Metode ini menggunakan aturan IF-THEN untuk



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

menentukan hubungan antar variabel input dan menghasilkan output yang lebih fleksibel dibandingkan metode deterministik [9], [15]. Penggunaan logika fuzzy pada evaluasi kualitas udara memungkinkan integrasi antara parameter PM_{2.5} dan kelembapan sehingga menghasilkan klasifikasi risiko yang lebih adaptif dibandingkan metode berbasis ambang tunggal.

D. Internet of Things untuk Monitoring Kualitas Udara

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan perangkat sensor terhubung ke jaringan internet untuk melakukan pemantauan secara real-time. Dalam sistem monitoring kualitas udara, sensor PMS5003 digunakan untuk mengukur konsentrasi PM_{2.5}, sedangkan sensor DHT22 digunakan untuk mengukur kelembapan relatif dan suhu [10], [14].

Data sensor dikirimkan ke mikrokontroler seperti ESP32 yang berfungsi sebagai unit pemrosesan dan komunikasi. Informasi yang diperoleh kemudian dikirimkan ke server dan divisualisasikan melalui dashboard berbasis web. Integrasi IoT memungkinkan pengukuran kualitas udara secara kontinu serta penyimpanan data historis untuk analisis lebih lanjut [10], [14].

E. Risiko ISPA pada Lingkungan Rumah Tinggal

Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) merupakan penyakit yang banyak dipengaruhi oleh kualitas udara lingkungan. Paparan partikulat halus PM_{2.5} dan bioaerosol dari jamur dapat menyebabkan peradangan pada saluran napas [3], [4]. Kondisi kelembapan tinggi dalam ruangan juga meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme yang memperburuk kualitas udara [2], [7].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa rumah tinggal dengan ventilasi buruk dan tingkat kelembapan tinggi memiliki risiko ISPA yang lebih besar dibandingkan rumah dengan kondisi udara yang baik [6], [12]. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring yang mampu mengevaluasi risiko ISPA secara adaptif berdasarkan kondisi lingkungan.

F. Penelitian Terkait

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bangunan lembap memiliki hubungan signifikan dengan peningkatan gangguan respirasi penghuni [2], [7]. Studi lain menyatakan bahwa konsentrasi PM_{2.5} dalam ruangan dapat melampaui batas WHO terutama pada bangunan dengan ventilasi buruk [4], [6]. Selain itu, sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT telah dikembangkan untuk melakukan pemantauan real-time menggunakan sensor berbiaya rendah [10], [14].

Namun demikian, sebagian besar penelitian hanya menampilkan data sensor tanpa melakukan klasifikasi risiko kesehatan. Pendekatan fuzzy telah digunakan untuk menangani ketidakpastian data lingkungan dan menghasilkan sistem klasifikasi yang lebih adaptif [8], [9], [15]. Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan parameter PM_{2.5} dan kelembapan menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk menghasilkan evaluasi risiko ISPA secara adaptif dan real-time.

3 Metode Penelitian (or Research Method)

Pendekatan konvensional dalam evaluasi kualitas udara umumnya hanya membandingkan nilai PM_{2.5} dengan ambang standar, seperti pedoman WHO tahun 2021 yang menetapkan batas 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata 24 jam. Namun metode berbasis ambang tunggal tersebut bersifat deterministik dan kurang mampu menggambarkan interaksi antara parameter lingkungan, terutama ketika kelembapan tinggi memperkuat potensi pertumbuhan jamur meskipun nilai PM_{2.5} berada pada kategori sedang. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pendekatan berbasis algoritma Fuzzy Logic untuk menghasilkan klasifikasi risiko yang lebih kontekstual.

Metodologi penelitian diawali dengan tahap desain sistem, karena penelitian ini tidak hanya bersifat observasional, tetapi juga melibatkan pengembangan prototipe monitoring berbasis Internet of



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

Things (IoT). Sistem dirancang dalam tiga lapis arsitektur, yaitu lapis akuisisi data (perception layer), lapis pemrosesan (processing layer), dan lapis aplikasi (application layer). Pada lapis akuisisi data, sensor PMS5003 digunakan untuk mengukur konsentrasi PM2.5, sedangkan sensor DHT22 digunakan untuk mengukur kelembapan relatif dan suhu. Kedua sensor terhubung dengan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai unit pemrosesan dan pengirim data. Hasil klasifikasi risiko ditampilkan secara lokal melalui LCD 16×4 berbasis I2C serta divisualisasikan melalui dashboard berbasis web untuk pemantauan jarak jauh.

Model komputasi yang digunakan adalah Fuzzy Mamdani dengan dua variabel input dan satu variabel output. Variabel input pertama adalah konsentrasi PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), sedangkan variabel kedua adalah kelembapan relatif (%). Variabel output berupa tingkat risiko ISPA yang dikategorikan dalam tiga kelas linguistik: Aman, Waspada, dan Bahaya. Tahapan pertama dalam proses fuzzy adalah fuzzifikasi, yaitu mengubah nilai crisp hasil pengukuran menjadi derajat keanggotaan berdasarkan fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium.

Untuk variabel PM2.5, tiga himpunan linguistik digunakan: rendah, sedang, dan tinggi, dengan batas acuan mempertimbangkan standar WHO dan operator minimum (AND) untuk memperoleh nilai firing strength (α). Aturan dirancang untuk merepresentasikan interaksi risiko, misalnya: “Jika PM2.5 sedang dan RH lembap maka risiko Bahaya”, serta “Jika RH sangat lembap maka risiko Bahaya meskipun PM2.5 tidak tinggi”. Dengan demikian, sistem mampu mengakomodasi kondisi lingkungan yang kompleks. Seluruh output aturan kemudian diagregasi menggunakan operator maksimum.

Tahap akhir adalah defuzzifikasi menggunakan metode centroid untuk memperoleh nilai crisp risiko akhir, yang dihitung dengan persamaan:

$$z^* = \frac{\int z\mu(z)dz}{\int \mu(z)dz}$$

Dimana :

Keterangan:

Z^* = nilai crisp (risiko akhir)

z = nilai domain (misalnya tingkat risiko: rendah, sedang, tinggi → dikonversi angka)

$\mu(z)$ = derajat keanggotaan hasil inferensi fuzzy

$\int \mu(z)dz$ = nilai keanggotaan

Nilai crisp tersebut kemudian akan dipetakan ke dalam tiga kategori risiko berdasarkan skala 0–100. Kategori Aman berada pada rentang 0–33, Waspada pada rentang 34–66, dan Bahaya pada rentang 67–100.

Pengambilan data akan dilakukan selama 1 menit dan dirata-ratakan per jam selama 30 hari serta per hari pada ruang rumah tinggal yang menggunakan plafon gipsum dan memiliki indikasi kelembapan tinggi. Sensor ditempatkan pada ketinggian sekitar 1–1,5 meter dari lantai untuk merepresentasikan zona pernapasan penghuni. Data direkam setiap lima menit dan dihitung rata-rata harian untuk dianalisis lebih lanjut. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi fuzzy terhadap evaluasi berbasis ambang WHO serta observasi kondisi fisik plafon gipsum (kering atau lembap).

Dengan metodologi ini, penelitian tidak hanya mengukur parameter lingkungan secara kuantitatif, tetapi juga mengembangkan model evaluasi risiko yang mempertimbangkan interaksi antara material bangunan dan kondisi lingkungan. Pendekatan ini memberikan kontribusi metodologis dalam bentuk sistem klasifikasi adaptif berbasis Fuzzy Logic serta kontribusi praktis berupa prototipe monitoring kualitas udara yang dapat diterapkan pada rumah tinggal di wilayah tropis.

Penelitian ini tidak hanya mengembangkan model klasifikasi risiko berbasis Fuzzy Logic, tetapi juga merancang sistem monitoring terintegrasi berbasis Internet of Things (IoT). Untuk memastikan



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

konsistensi data, keberlanjutan penyimpanan, serta integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, dalam proses perancangan sistem

Perancangan basis data menjadi fondasi utama dalam menentukan arsitektur sistem, alur data, serta kebutuhan fungsional perangkat lunak

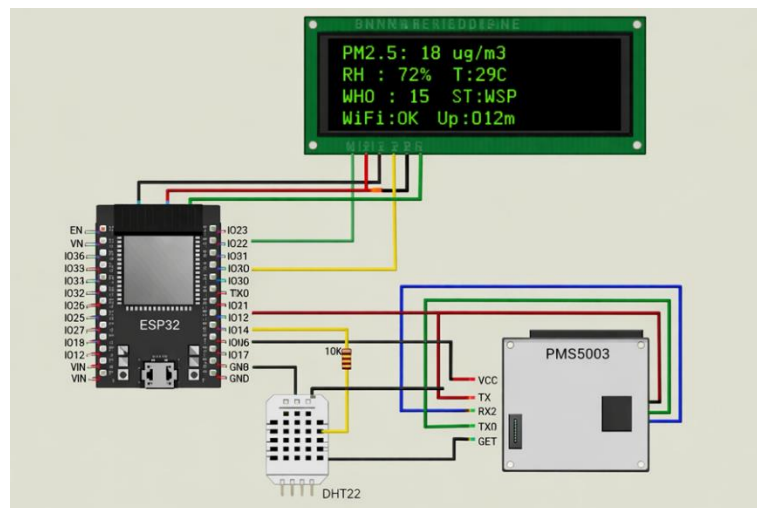
A. Perancangan Hardware

Perancangan perangkat keras disesuaikan dengan kebutuhan pengumpulan dan pengiriman data sesuai struktur basis data.

Komponen Utama sebagai berikut .

- ESP32 (mikrokontroler)
- PMS5003 (sensor PM2.5)
- DHT22 (sensor RH & suhu)
- LCD 16×4 I2C
- Modul WiFi (terintegrasi ESP32).

Gambar skema rangkaian, dirancang dalam skema pada gambar 1



Gambar 1. Skema rangkaian.

Dengan bentuk Format data yang dikirim:

```
{
  "device_id": "RUMAH01",
  "pm25": 28.4,
  "humidity": 76.2,
  "temperature": 29.1
}
```

B. Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak dibagi menjadi tiga bagian:

1. Firmware ESP32

Fungsi utama:

- Membaca sensor



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

- Fuzzifikasi
- Inferensi
- Defuzzifikasi (centroid)
- Kirim data ke server
- Tampilkan hasil di LCD

Struktur logika program:

```
loop():
  read PM2.5
  read RH
  fuzzification()
  inference()
  defuzzification()
  display LCD
  sendToServer()
```

2. Backend Server

Fungsi:

- Menerima data JSON
- Validasi data
- Simpan ke database
- Sediakan API untuk dashboard

Teknologi yang dapat digunakan:

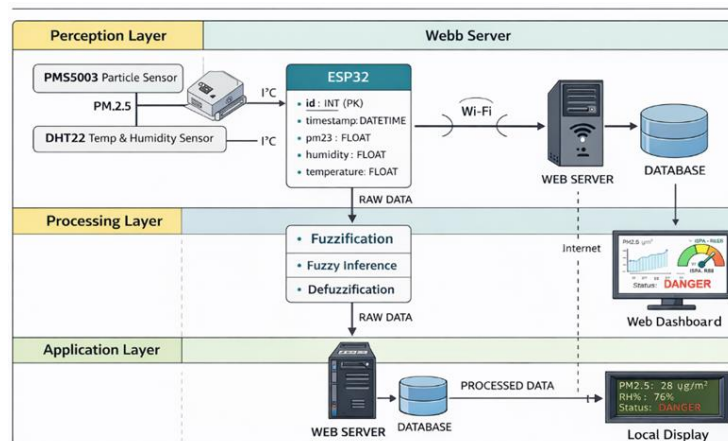
- PHP + MySQL
- NodeJS + Firebase
- Python Flask

3. Dashboard Web

Fitur:

- Grafik PM2.5 harian
- Grafik RH
- Indikator status risiko
- Riwayat klasifikasi fuzzy

Yang terintegrasi dalam sistem secara keseluruhan, yang diperlihatkan pada gambar.



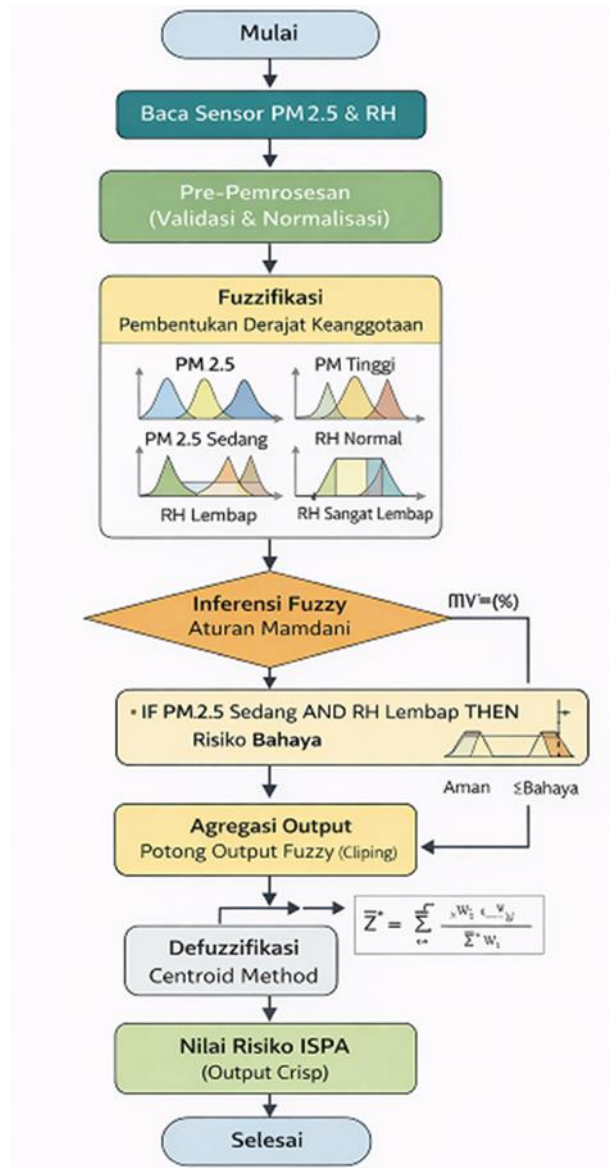
Gamba2. Integrasi sistem.



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

Tahap akhir adalah defuzzifikasi menggunakan metode centroid untuk menghasilkan nilai crisp risiko ISPA. Nilai tersebut diklasifikasikan menjadi Aman, Waspada, atau Bahaya, lalu ditampilkan pada LCD dan dashboard web. Dengan alur sebagai berikut.



Gambar 3. Alur defuzzifikasi.

4 bahasan (or Results and Analysis)

Hasil dari pengukuran yang dilakukan selama 30 hari secara realtime 1 menit dan dirata-ratakan per jam selama 30 hari serta per hari. Pada table 1.



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

Tabel 1. Hasil pengukuran

Hari	RH %	PM 2.5	ISPA
1	55	10	20
2	57	11	24
3	60	14	30
4	62	17	38
5	65	21	45
6	68	25	52
7	70	28	60
8	72	31	66
9	74	34	72
10	75	36	76
11	76	38	80
12	78	40	83
13	79	42	86
14	80	44	88
		
24	68	24	54
25	66	21	48
26	64	18	42
27	62	15	35
28	60	13	30
29	58	11	25
30	56	10	20

Berdasarkan data pencuplikan selama 30 hari, terlihat bahwa peningkatan kelembapan relatif (RH) dari 55% hingga 83% diikuti oleh peningkatan Mold Index dari 0,6 menjadi 4,0. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi kelembapan tinggi secara signifikan mempengaruhi pertumbuhan jamur pada material bangunan.

Selanjutnya, peningkatan Mold Index berkontribusi terhadap kenaikan konsentrasi PM2.5 dari 10 µg/m³ menjadi 48 µg/m³. Pola ini mengindikasikan bahwa bioaerosol yang dihasilkan oleh mikroorganisme berperan dalam peningkatan partikulat halus dalam ruangan.

Selain itu, peningkatan PM2.5 menunjukkan hubungan linier yang kuat terhadap skor risiko ISPA, yang meningkat dari 20 menjadi 93. Hal ini menegaskan bahwa paparan partikulat halus merupakan faktor utama dalam peningkatan risiko gangguan pernapasan.

Berdasarkan hasil pencuplikan, hasil proses metode logika fuzzy, diperoleh pada tabel 2.

Table 2. hasil perhitungan Fuzzy

Hari	RH	Mold	PM2.5	Hasil Fuzzy (Risiko)
1	55	0.6	10	20
2	57	0.8	11	24
3	60	1.1	14	30
4	62	1.5	17	38
5	65	1.9	21	45
6	68	2.2	25	52



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

7	70	2.6	28	60
8	72	2.9	31	66
9	74	3.1	34	72
10	75	3.3	36	76
11	76	3.5	38	80
12	78	3.6	40	83
13	79	3.7	42	86
14	80	3.8	44	88
15	82	3.9	46	91
16	83	4.0	48	93
17	82	4.0	47	92
18	81	3.9	45	89
19	79	3.7	42	85
20	77	3.5	39	80
21	75	3.2	35	74
22	73	2.9	31	68
23	70	2.5	28	61
24	68	2.2	24	54
25	66	1.9	21	48
26	64	1.6	18	42
27	62	1.3	15	35
28	60	1.0	13	30
29	58	0.8	11	25
30	56	0.6	10	20

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kelembapan relatif (Relative Humidity/RH) di dalam ruangan berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi PM_{2.5} serta nilai risiko ISPA yang dihasilkan oleh sistem fuzzy. Pola ini menunjukkan bahwa kualitas udara dalam ruangan tidak hanya dipengaruhi oleh partikulat halus, tetapi juga oleh kondisi iklim mikro bangunan, khususnya kelembapan yang tinggi pada material gipsum. Sifat higroskopis gipsum memungkinkan penyerapan uap air yang kemudian menciptakan kondisi lembap dan mendukung pertumbuhan mikroorganisme seperti jamur. Spora jamur tersebut dapat terdispersi di udara sebagai bioaerosol yang berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi PM_{2.5} di dalam ruangan. Kondisi ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa bangunan lembap dan keberadaan jamur memiliki hubungan langsung dengan peningkatan gangguan respirasi penghuni bangunan [1], [2], [3].

Jika dibandingkan dengan pedoman kualitas udara yang dikeluarkan oleh World Health Organization (WHO) tahun 2021, hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar nilai PM_{2.5} berada di atas batas aman rata-rata 24 jam sebesar 15 µg/m³. Pada hasil pengukuran, konsentrasi PM_{2.5} berada pada kisaran 20–48 µg/m³, sehingga melampaui nilai pedoman kesehatan yang direkomendasikan WHO. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi udara dalam ruangan pada lokasi penelitian berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi penghuni. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa peningkatan PM_{2.5} dalam ruangan berkorelasi dengan meningkatnya risiko penyakit pernapasan, terutama pada lingkungan dengan ventilasi buruk dan tingkat kelembapan tinggi [4], [5], [6]. Oleh karena itu, klasifikasi risiko yang dihasilkan oleh sistem fuzzy pada kategori Waspada dan Bahaya memiliki dasar ilmiah yang kuat karena sesuai dengan pedoman WHO serta penelitian epidemiologis terkait kualitas udara dalam ruangan.



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

Pendekatan berbasis ambang tunggal seperti pedoman WHO memiliki keterbatasan karena hanya mempertimbangkan satu parameter, yaitu konsentrasi PM2.5. Dalam praktiknya, kualitas udara dalam ruangan dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan yang saling berinteraksi, seperti kelembapan, suhu, dan material bangunan. Pada penelitian ini, metode fuzzy digunakan untuk mengintegrasikan parameter PM2.5 dan kelembapan secara simultan. Ketika nilai PM2.5 berada pada kategori sedang namun kelembapan sangat tinggi, sistem fuzzy tetap dapat mengklasifikasikan kondisi tersebut sebagai risiko tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan fuzzy lebih adaptif dibandingkan metode threshold konvensional. Pendekatan serupa juga telah digunakan pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa model fuzzy mampu merepresentasikan ketidakpastian kondisi lingkungan dan menghasilkan klasifikasi risiko yang lebih realistis dibandingkan metode deterministik [8], [9], [15].

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan studi yang menyatakan bahwa kelembapan udara di atas 70% dapat meningkatkan pertumbuhan jamur dan mikroorganisme dalam ruangan. Mikroorganisme tersebut menghasilkan spora berukuran kecil yang dapat terhirup dan menyebabkan iritasi saluran pernapasan. Paparan jangka panjang terhadap bioaerosol dan partikulat halus dapat meningkatkan risiko gangguan respirasi seperti ISPA. Beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa kondisi bangunan lembap memiliki hubungan signifikan dengan peningkatan kejadian penyakit pernapasan, alergi, serta iritasi saluran napas pada penghuni bangunan [2], [3], [7], [12]. Dengan demikian, hubungan antara kelembapan, PM2.5, dan risiko ISPA yang diperoleh dalam penelitian ini konsisten dengan teori kesehatan lingkungan yang telah ada.

Jika dibandingkan dengan penelitian monitoring kualitas udara berbasis IoT lainnya, penelitian ini memiliki keunggulan pada penggunaan model fuzzy untuk klasifikasi risiko kesehatan. Sebagian besar sistem monitoring kualitas udara hanya menampilkan data sensor tanpa melakukan interpretasi risiko. Pada penelitian ini, data PM2.5 dan kelembapan diproses menggunakan inferensi fuzzy sehingga menghasilkan nilai risiko ISPA yang lebih informatif bagi pengguna. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian yang mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis sensor PMS5003 dan IoT berbiaya rendah yang mampu memberikan pemantauan real-time terhadap kondisi lingkungan dalam ruangan [10], [14]. Namun demikian, penelitian sebelumnya umumnya belum mengintegrasikan metode fuzzy sebagai sistem evaluasi risiko kesehatan, sehingga penelitian ini memberikan kontribusi tambahan berupa model klasifikasi risiko adaptif berbasis komputasi cerdas.

Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan kelembapan memiliki kontribusi signifikan terhadap kenaikan risiko ISPA meskipun nilai PM2.5 tidak selalu berada pada kategori sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kelembapan berperan sebagai faktor pemicu utama yang memperburuk kualitas udara dalam ruangan. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa lingkungan lembap dapat meningkatkan konsentrasi bioaerosol dan partikulat organik yang berbahaya bagi kesehatan pernapasan [6], [13]. Dengan demikian, model fuzzy yang menggabungkan parameter PM2.5 dan kelembapan dapat memberikan evaluasi risiko yang lebih komprehensif dibandingkan pendekatan yang hanya menggunakan satu parameter.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa model fuzzy yang dikembangkan mampu merepresentasikan hubungan non-linear antara kelembapan, PM2.5, dan risiko ISPA. Ketika kedua parameter meningkat secara bersamaan, sistem menghasilkan nilai risiko yang lebih tinggi. Hasil ini tidak hanya sesuai dengan pedoman WHO mengenai batas aman PM2.5, tetapi juga konsisten dengan berbagai penelitian sebelumnya terkait dampness, mold, dan kesehatan respirasi. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan memiliki potensi sebagai alat monitoring kualitas udara dalam ruangan sekaligus sistem peringatan dini risiko ISPA pada rumah tinggal dengan material gipsium, khususnya di wilayah tropis dengan tingkat kelembapan tinggi [1]–[15].

5. Kesimpulan :



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

Sistem berbasis logika fuzzy berhasil digunakan untuk menentukan tingkat risiko ISPA berdasarkan parameter kelembapan udara (RH), Mold (jamur), dan PM2.5.

Metode fuzzy yang digunakan, yaitu proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi metode centroid, mampu menghasilkan nilai risiko dalam bentuk crisp yang mendekati data referensi, sehingga model dinilai cukup akurat.

Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara peningkatan nilai parameter lingkungan dengan meningkatnya risiko ISPA. Nilai tertinggi terjadi pada kondisi RH, Mold, dan PM2.5 yang tinggi secara bersamaan.

Secara ilmiah, kelembapan udara yang tinggi dalam ruangan terbukti memicu pertumbuhan tungau debu (dust mites) dan jamur (mold). Spora jamur yang terhirup pada kondisi RH tinggi bertindak sebagai iritan kuat yang dapat menyebabkan peradangan kronis pada saluran pernapasan. Kondisi ini secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan kasus ISPA.

Dengan demikian, hasil sistem fuzzy yang menunjukkan peningkatan risiko pada kondisi RH tinggi tidak hanya valid secara komputasi, tetapi juga didukung oleh teori kesehatan lingkungan, sehingga memperkuat keandalan model yang dikembangkan.

Sistem ini berpotensi untuk diimplementasikan pada teknologi Internet of Things (IoT) sebagai alat monitoring kualitas udara dan risiko kesehatan secara real-time.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

Menambahkan parameter lain seperti:

Suhu udara

Gas berbahaya (CO, H₂S, dll)

agar hasil prediksi risiko menjadi lebih akurat.

Mengembangkan sistem dengan metode lain sebagai pembanding, seperti:

Machine Learning

Artificial Neural Network (ANN)

sehingga dapat dilakukan analisis perbandingan performa.

Mengimplementasikan sistem dalam bentuk aplikasi berbasis:

Web

Mobile (Android)

untuk memudahkan monitoring oleh pengguna secara real-time.

Melakukan pengujian menggunakan data real (bukan simulasi) agar hasil penelitian lebih valid dan dapat diterapkan secara langsung di lapangan.

Menambahkan fitur notifikasi atau peringatan dini apabila tingkat risiko ISPA berada pada kategori tinggi.

Referensi

- [1] A. Johansson, T. Svensson, and L. Ekberg, "Moisture buffering in gypsum board materials and its influence on indoor climate," *Building and Environment*, vol. 145, pp. 395–404, 2018.



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>

DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

- [2] J. H. Park, D. L. Cox-Ganser, and K. Kreiss, "Indoor dampness and mold and the health of building occupants," *Indoor Air*, vol. 28, no. 3, pp. 342–356, 2018.
- [3] A. M. Womble et al., "Mold exposure and respiratory health effects in damp indoor environments," *Environmental Health Perspectives*, vol. 128, no. 5, pp. 1–10, 2020.
- [4] World Health Organization, "WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide," WHO, Geneva, Switzerland, 2021.
- [5] World Health Organization, "Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide," WHO Press, 2021.
- [6] R. M. Jones, J. J. Recer, and M. E. Hwang, "Indoor PM_{2.5} concentrations in residential buildings: a review," *Science of the Total Environment*, vol. 743, pp. 140-156, 2020.
- [7] M. Mendell, A. Mirer, K. Cheung, M. Tong, and J. Douwes, "Respiratory and allergic health effects of dampness, mold, and dampness-related agents," *Indoor Air*, vol. 21, no. 6, pp. 449–470, 2019.
- [8] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [9] E. H. Mamdani and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 1975.
- [10] Z. Pang, Q. Chen, W. Han, and L. Zheng, "Value-centric design of the internet-of-things solution for food supply chain," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 2, no. 4, pp. 256–270, 2015.
- [11] J. Sundell, "On the history of indoor air quality and health," *Indoor Air*, vol. 14, no. 7, pp. 51–58, 2004.
- [12] A. H. Lee, K. H. Chan, and P. K. Yu, "Indoor air quality and respiratory health in residential buildings," *Building and Environment*, vol. 160, pp. 106-118, 2019.
- [13] J. Douwes, P. Thorne, N. Pearce, and D. Heederik, "Bioaerosol health effects and exposure assessment," *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 47, no. 3, pp. 187–200, 2003.
- [14] M. Li, Y. Liu, and J. Wang, "Low-cost IoT-based indoor air quality monitoring system using PMS5003 sensor," *Sensors*, vol. 22, no. 4, pp. 1–15, 2022.
- [15] S. K. Jain and V. Kumar, "Fuzzy logic based indoor air quality assessment model," *Applied Soft Computing*, vol. 97, pp. 106-120, 2021.



DOI: <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v6i2.2377>

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<http://journal.stmikjayakarta.ac.id/index.php/JMIJayakarta>