

Implementasi Metode Fuzzy Pada Sistem Sterilisasi Limbah Masker Sekali Pakai *Smart Recycling Bin*

Isa Rachman¹, Didik Sukoco², Purwidi Asri³, dan Zainu Rafsanjani⁴

^{1,2,4} Program Studi D4 Teknik Otomasi, ³ Program Studi D3 Teknik Kelistrikan Kapal, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Jl. Teknik Kimia, Surabaya, 60111, Indonesia

Email: isarachman@ppns.ac.id¹, didikskc@ppns.ac.id², purwidi@ppns.ac.id³, zainurafsanjani@student.ac.id⁴

Abstrak

Penyebaran Virus Human Metapneumovirus (HMPV) di Indonesia menimbulkan kekhawatiran terhadap potensi penularan melalui limbah masker sekali pakai (disposable). Salah satu solusi yang ditawarkan adalah sterilisasi limbah masker sebelum dibuang. Penelitian ini memfokuskan pada implementasi metode logika Fuzzy untuk mengatur proses sterilisasi masker sekali pakai dalam sistem *Smart Recycling Bin* berbasis Internet of Things (IoT). Sistem sterilisasi menggunakan pemanas (heater) dan lampu UV-C yang dikontrol berdasarkan data dari sensor LM35 dan sensor UV-C GUYA-S12SD. Metode logika Fuzzy digunakan untuk menentukan *output* berupa durasi sterilisasi dengan mempertimbangkan nilai suhu dan intensitas cahaya UV-C sebagai *input*. Hasil pengujian menggunakan MATLAB dengan *input* berupa suhu sebesar 78°C dan intensitas cahaya UV-C sebesar 0.1mW/cm², logika Fuzzy Sugeno dapat menentukan durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas selama 300 detik. Hal ini juga sesuai dengan hasil perhitungan secara manual selama 300 detik yang menunjukkan bahwa sistem kontrol berbasis logika Fuzzy dapat secara efektif merespon *input* dan secara otomatis menentukan *output* durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas.

Kata kunci : virus, penularan, suhu, UV-C, durasi.

Abstract

The spread of Human Metapneumovirus (HMPV) in Indonesia has raised concerns about potential transmission through disposable face mask waste. One proposed solution is the sterilization of mask waste before disposal. This study focuses on the implementation of Fuzzy logic to control the sterilization process of disposable masks in a *Smart Recycling Bin* system based on the Internet of Things (IoT). The sterilization system utilizes a heater and UV-C lamp, controlled based on input data from the LM35 sensor and the GUYA-S12SD UV-C sensor. The test results using MATLAB with input in the form of a temperature of 78°C and a UV-C light intensity of 0.1mW/cm², Sugeno Fuzzy logic can determine the duration of the UV-C lamp and heater activity for 300 seconds. This is also in accordance with the results of manual calculations for 300 seconds which show that the Fuzzy logic-based control system can effectively respond to input and automatically determine the output of the duration of the UV-C lamp and heater activity.

Keywords : virus, transmission, temperature, UV-C, duration.

1. Pendahuluan

Industri kesehatan dan kebersihan mengalami tantangan serius sejak munculnya berbagai wabah virus, salah satunya adalah Human Metapneumovirus (HMPV) yang baru-baru ini dilaporkan di Indonesia. Virus ini menimbulkan kekhawatiran terhadap penyebaran penyakit melalui media seperti limbah masker sekali pakai (*disposable*) (Kemenkes, 2025; WHO, 2025). Meskipun pemerintah telah menyarankan penggunaan masker kain yang dapat digunakan ulang, sebagian besar masyarakat masih memilih menggunakan masker sekali pakai karena dinilai lebih praktis dan higienis. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan jumlah limbah masker sekali pakai yang berpotensi menjadi sumber penularan penyakit, mencemari lingkungan, hingga disalahgunakan oleh pihak yang tidak bertanggung jawab (Isa Rachman et al., 2022).

Salah satu solusi yang ditawarkan untuk mengurangi risiko penyebaran penyakit melalui limbah masker sekali pakai yaitu, dengan melakukan proses sterilisasi sebelum masker dibuang atau didaur ulang. Proses sterilisasi ini memerlukan pengendalian yang tepat terhadap parameter seperti suhu dan intensitas cahaya UV-C untuk memastikan virus dan mikroorganisme dapat dinonaktifkan secara efektif (Aini Afida, 2022a; Devitt et al., 2024). Namun, kondisi lingkungan yang bervariasi seperti fluktuasi suhu dan intensitas cahaya, serta perbedaan jenis dan ketebalan masker menjadi tantangan tersendiri dalam menjaga konsistensi efektifitas sterilisasi.

^{1*} Penulis korespondensi

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan sistem kontrol yang adaptif dan mampu menyesuaikan diri dengan kondisi aktual di lapangan. Salah satu pendekatan yang efektif dan fleksibel adalah penerapan metode logika Fuzzy. Logika Fuzzy memiliki kemampuan dalam menangani ketidakpastian dan variabilitas data, serta mampu mengambil keputusan berdasarkan aturan linguistik yang menyerupai cara berpikir manusia (Arigo et al., 2024). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa efektifitas sterilisasi sangat bergantung pada durasi penyinaran, suhu, dan intensitas cahaya UV-C (Aini Afida, 2022b). Apabila waktu terlalu singkat, sterilisasi tidak optimal, namun jika terlalu lama dapat memboroskan energi dan merusak komponen sistem.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol sterilisasi masker sekali pakai berbasis metode logika Fuzzy pada *Smart Recycling Bin*. Metode logika Fuzzy digunakan untuk menentukan durasi sterilisasi berdasarkan *input* berupa suhu aktual dari sensor LM35 dan intensitas cahaya UV-C dari sensor GUVA-S12SD. *Output* sistem logika Fuzzy berupa durasi sterilisasi yang kemudian digunakan untuk mengontrol keaktifan pemanas dan lampu UV-C. Dengan pendekatan logika Fuzzy, sistem dapat menghasilkan keputusan durasi sterilisasi yang tepat berdasarkan kondisi lingkungan sekitar yang terukur secara aktual, adaptif, efektif, dan efisien dalam mensterilkan limbah masker sekali pakai sebelum dilanjutkan ke tahap atau proses berikutnya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini mengimplementasikan metode logika Fuzzy tipe Sugeno dalam sistem kontrol sterilisasi limbah masker sekali pakai (*disposable*). Secara umum, masker sekali pakai terbuat dari bahan non-woven yang memiliki tiga tingkat lapisan serta dilengkapi penyangga hidung dan tali pengait telinga. Non-woven adalah serat benang terbuat dari polyester atau polypropylene (PP) dengan titik leleh 163-169 °C yang direkayasa menjadi kain tanpa melalui proses tenun. Non-woven memiliki fungsi spesifik seperti daya serap, peregangan, kelembutan, kekuatan, insulasi termal dan akustik, ketahanan cairan, bantalan, retardansi api, penyaringan (bakteri), dan kemandulan (Isa Rachman et al., 2022).



Gambar 1. Masker Sekali Pakai (*Disposable*)

Pemilihan metode Sugeno didasarkan pada keunggulannya dalam menghasilkan *output* berupa nilai konstan atau linier yang sangat sesuai untuk aplikasi kontrol waktu pada sistem otomasi berbasis mikrokontroler. Sistem ini dirancang untuk menyesuaikan durasi sterilisasi secara dinamis berdasarkan kondisi lingkungan aktual yang diperoleh dari dua sensor utama yaitu, sensor suhu LM35 dan sensor intensitas cahaya UV-C GUVA-S12SD. Tahapan perancangan metode logika Fuzzy Sugeno meliputi proses fuzzifikasi terhadap dua *input*, yaitu suhu dan intensitas cahaya UV-C yang diubah dari bentuk numerik menjadi representasi linguistik seperti "Rendah", "Sedang", dan "Tinggi". Proses ini dilakukan berdasarkan fungsi keanggotaan segitiga (*triangular membership function*) yang telah ditentukan sebelumnya. Selanjutnya, sistem melakukan inferensi Fuzzy dengan menggunakan aturan IF-THEN berbasis logika Fuzzy untuk menghasilkan *output* berupa durasi sterilisasi. Pada metode Sugeno, setiap aturan memiliki *output* linier yang dihitung menggunakan perhitungan berbobot terhadap hasil inferensi dari semua aturan.

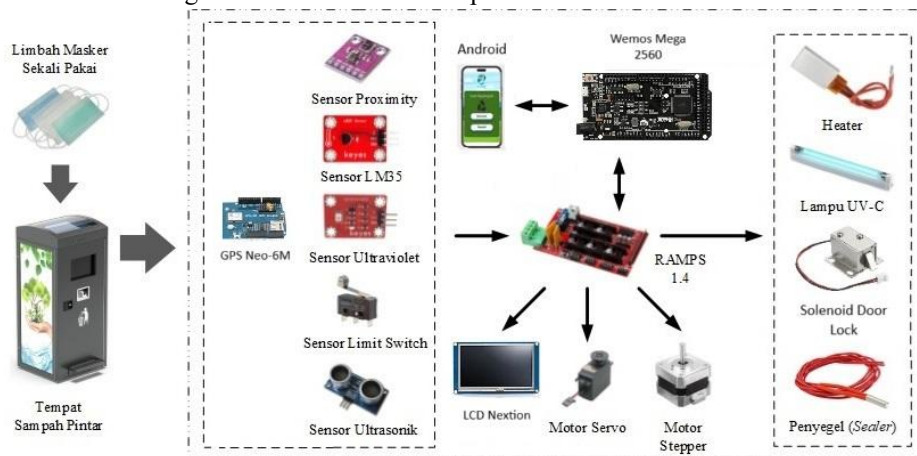
Output dari sistem logika Fuzzy berupa durasi sterilisasi (dalam detik) digunakan untuk mengontrol secara dinamis keaktifan pemanas dan lampu UV-C melalui mikrokontroler berdasarkan kondisi lingkungan aktual. Dengan demikian, proses sterilisasi bersifat adaptif sesuai kondisi sebenarnya terhadap kondisi suhu dan intensitas cahaya UV-C.

2.1 Rancangan Sistem

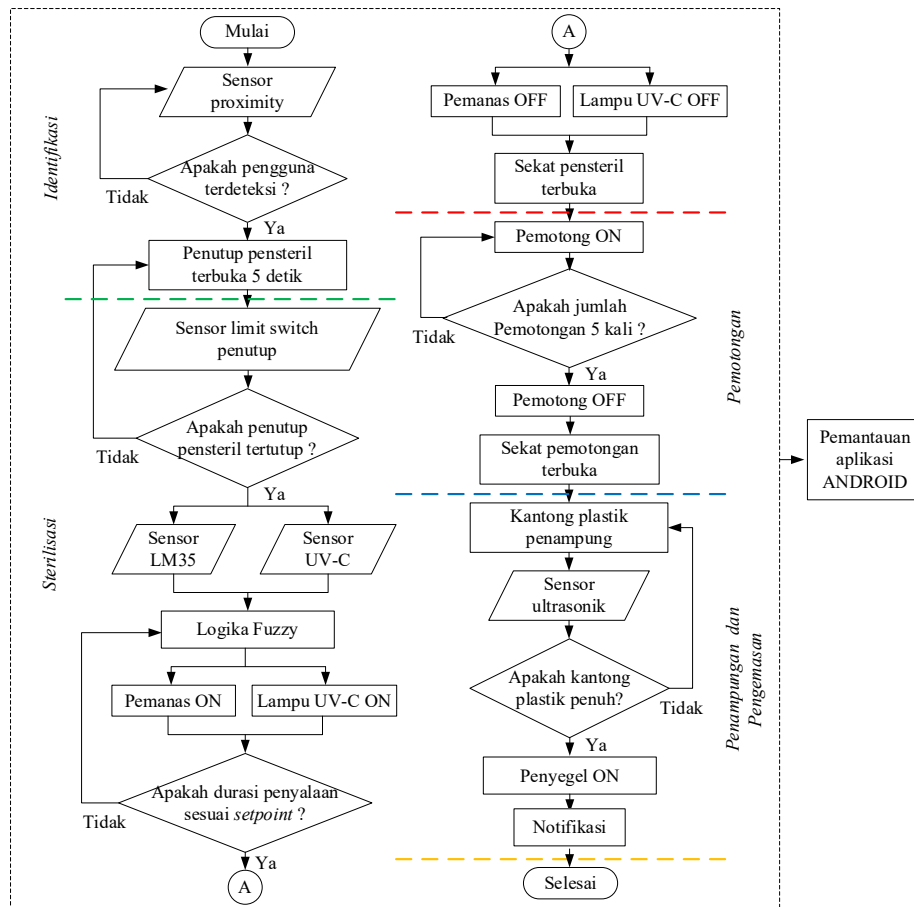
Rancangan sistem *Smart Recycling Bin* yang dikontrol langsung menggunakan mikrokontroler Wemos Mega 2560 yang dilengkapi dengan modul RAMPS 1.4. Sistem ini dirancang untuk menjalankan serangkaian proses otomatis dalam pengolahan limbah masker sekali pakai, mulai dari proses identifikasi pengguna hingga pengemasan limbah masker. Pada proses identifikasi, terdapat sensor jarak digital IR proximity APDS-9930 (0–100 mm) untuk mendeteksi keberadaan objek (pengguna) secara otomatis. Pada proses sterilisasi terdapat dua sensor utama yaitu, sensor UV-C GUVA-S12SD (240–370 nm) untuk mengukur intensitas cahaya UV-C dan sensor LM35 (–55–150 °C) untuk mengukur suhu (pemanasan) di dalam ruang sterilisasi (Isa Rachman et al., 2022). Proses berikutnya yaitu, pencacahan terdapat pemotong khusus untuk merubah bentuk limbah masker. Pada proses akhir yaitu, penampungan dan pengemasan terdapat sensor

HC-SR04 (3–400 cm) untuk mengukur kapasitas penampung. Sedangkan, aktuator-aktuator yang dikontrol berupa lampu UV-C, pemanas (*thermostatic*) dan motor servo pada proses sterilisasi, motor stepper pada penggerak sekat dan pemotong serta pemanas (*cartridge*) dan solenoid door lock pada proses penampungan dan pengemas.

Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan modul GPS NEO-6M untuk menerima sinyal dari satelit dan menentukan lokasi geografis *smart recycling bin* secara akurat. Semua data yang diperoleh dari sensor akan dikirimkan ke mikrokontroler Wemos Mega 2560 untuk diproses dan dianalisis guna menentukan tindakan pada setiap proses. Mikrokontroler juga bertugas mengirimkan data seperti lokasi *Smart Recycling Bin* dan status proses ke aplikasi Android, sehingga pengguna atau petugas pengelola dapat melakukan pemantauan dan pengontrolan secara *real-time* melalui perangkat seluler. Dengan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak ini, maka sistem mampu beroperasi secara otomatis dan cerdas dalam menangani limbah masker sekali pakai.



Gambar 2. Rancangan Sistem



Gambar 3. Diagram Alir Sistem

Pada tahap identifikasi, sensor proximity mendeteksi keberadaan pengguna. Apabila pengguna terdeteksi, maka penutup bagian sterilisasi terbuka selama 5 detik untuk memberikan kesempatan pengguna meletakkan limbah masker sekali pakai pada bagian sterilisasi. Tahap sterilisasi dimulai jika penutup bagian sterilisasi telah tertutup kembali yang dapat diketahui dari sensor *limit switch*. Data pengukuran suhu aktual dari sensor LM35 dan intensitas cahaya UV-C dari sensor UV-C diproses menggunakan logika Fuzzy untuk menentukan durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas. Sekat bagian sterilisasi terbuka jika durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas telah terpenuhi serta proses dilanjutkan ke tahap pemotongan. Apabila pemotongan telah dilakukan sebanyak lima kali, maka sekat bagian pemotongan terbuka dan proses dilanjutkan ke tahap penampungan dan pengemasan. Penyegel bekerja jika kondisi dalam kantong plastik telah penuh yang dapat diketahui dari sensor ultrasonic dan terdapat notifikasi pada LCD dan aplikasi Android bagi pengguna dan petugas kebersihan atau pengelola.

2.2 Logika Fuzzy Sugeno

Fuzzy merupakan pendekatan logika yang menggunakan aturan berbentuk IF-THEN. Pada bagian IF (*antecedent*), kondisi dinyatakan dalam himpunan Fuzzy, sementara bagian THEN (*consequent*) memberikan *output* dalam bentuk nilai tegas (*crisp*). Dalam model Sugeno, *output* Fuzzy diperoleh melalui fungsi matematis yang tergantung pada nilai *input* (Arigo et al., 2024). Secara umum, aturan dasar dalam logika Fuzzy Sugeno dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x, y) \quad (1)$$

Dalam persamaan 1 tersebut, A dan B merupakan himpunan Fuzzy pada bagian *antecedent*, sedangkan $z = f(x, y)$ adalah fungsi tegas pada bagian *consequent*. Berdasarkan bentuk fungsi $f(x, y)$, model Sugeno terbagi menjadi dua jenis. Pertama, jika $f(x, y)$ merupakan polinomial orde satu, maka model tersebut disebut model Fuzzy Sugeno orde satu karena *output* dihitung berdasarkan hubungan linier antar *input*. Kedua, jika nilai f adalah konstan, maka sistem disebut sebagai model Sugeno orde nol karena *output* berupa nilai tetap tanpa tergantung pada *input*.

Keunggulan utama dari model Sugeno terletak pada kemampuannya menghasilkan *output* yang lebih presisi, responsif, dan sesuai untuk sistem pengontrolan maupun optimasi yang memerlukan respon waktu nyata. Penerapan

sistem inferensi Fuzzy memerlukan tahapan awal berupa identifikasi parameter *input* dan *output* dari sistem. Tahap ini krusial untuk memastikan setiap *input* dapat dikonversikan menjadi *output* yang sesuai dengan tujuan kontrol sistem. Adapun parameter *input* dan *output* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter *Input* dan *Output* Sistem

<i>Input</i>	<i>Output</i>
Sensor LM35 (suhu) Sensor GUVA-S12SD (intensitas cahaya UV-C)	Durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas

Dengan setiap parameter *input* dan *output* pada sistem diklasifikasikan ke dalam beberapa himpunan Fuzzy berdasarkan domain nilainya. Untuk pembentukan himpunan Fuzzy, digunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan karakteristik masing-masing parameter. Fungsi keanggotaan yang digunakan akan berpengaruh langsung pada sensitivitas sistem dalam merespon perubahan kondisi *input*.

Dalam implementasinya, metode Fuzzy Sugeno ini dirancang untuk mengontrol keaktifan durasi lampu UV-C dan pemanas aktif pada proses sterilisasi limbah masker sekali pakai secara adaptif berdasarkan kondisi sebenarnya suhu dan intensitas cahaya UV-C. Dengan struktur aturan Fuzzy yang disesuaikan, metode ini mampu memberikan respon yang cepat dan akurat terhadap perubahan nilai suhu dan intensitas cahaya UV-C sehingga proses sterilisasi dapat berjalan secara efektif dan optimal.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Penelitian

Tabel 2 menunjukkan hasil pengambilan data yang dilakukan secara bertahap untuk menganalisis hubungan antara tegangan lampu UV-C, intensitas sinar UV-C, dan suhu ruang sterilisasi. Pengambilan data dilakukan dengan interval waktu tertentu dan dilakukan dalam kondisi tegangan yang tetap agar diperoleh karakteristik pemanasan dan penyinaran secara menyeluruh selama proses sterilisasi berlangsung. Tegangan lampu UV-C divariasikan secara bertahap dan menghasilkan intensitas sinar UV-C (dalam satuan mW/cm^2) yang berbeda-beda, serta perubahan suhu di dalam ruang sterilisasi yang terukur melalui sensor suhu LM35.

Berdasarkan hasil pengamatan, suhu tertinggi tercatat sebesar $145,7^\circ\text{C}$ pada saat intensitas cahaya UV-C mencapai $1,290 \text{ mW}/\text{cm}^2$ dan tegangan lampu sebesar 221 V. Sementara itu, suhu terendah terdeteksi sebesar $70,7^\circ\text{C}$ pada saat intensitas cahaya UV-C berada di angka $0,587 \text{ mW}/\text{cm}^2$ dengan tegangan 135 V. Data ini menjadi dasar dalam perancangan logika Fuzzy yang menggunakan suhu dan intensitas cahaya UV-C sebagai *input* untuk menentukan *output* berupa durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas. Dengan data ini, sistem diharapkan mampu menghasilkan proses sterilisasi yang aktual, efisien, efektif, dan sesuai dengan kebutuhan disinfeksi masker sekali pakai.

Tabel 2. Hasil Pengambilan Data Penelitian

No.	Tegangan Lampu UV-C (V)	Intensitas Cahaya UV-C (mW/cm^2)	Tegangan Pemanas (V)	Suhu ($^\circ\text{C}$)
1.	221	1.290	11.9	145.7
2.	210	1.261	11.5	120.3
3.	200	1.230	11	102.9
4.	195	1.160	10.5	101.4
5.	185	1.116	10	96.9
6.	171	1.053	9.5	91.1
7.	155	0.821	9	80.4
8.	145	0.750	8.5	76.3
9.	140	0.709	8	72.1
10.	135	0.587	7.5	70.7

3.2. Pengolahan Logika Fuzzy

Pengolahan sistem kendali berbasis logika Fuzzy dilakukan melalui beberapa tahap yang saling berkaitan untuk menjamin sistem bekerja secara optimal. Tahapan pertama yang dilakukan adalah menentukan variabel Fuzzy yaitu, parameter-parameter yang memengaruhi sistem yaitu, intensitas cahaya UV-C dan suhu pada Tahap sterilisasi. Setelah variabel-variabel tersebut ditetapkan, langkah selanjutnya adalah menetapkan variabel linguistik yaitu, istilah-istilah yang

digunakan untuk mendeskripsikan nilai dari setiap variabel Fuzzy. Sebagai contoh, untuk suhu digunakan istilah seperti “Rendah”, “Sedang”, dan “Tinggi”, dan kemudian untuk UV-C digunakan istilah seperti “Lemah”, “Normal”, dan “Kuat”.

Tahap berikutnya adalah fuzzifikasi yaitu, proses mengubah nilai numerik dari masing-masing variabel menjadi nilai Fuzzy dengan bantuan fungsi keanggotaan. Fungsi ini berperan dalam menentukan tingkat keanggotaan suatu nilai terhadap masing-masing kategori linguistik. Misalnya, suhu sebesar 91.1°C dapat memiliki tingkat keanggotaan tertentu dalam kategori “efisien” dan “Sangat_Efisien” secara bersamaan. Selanjutnya, dibentuk aturan-aturan Fuzzy dalam bentuk pernyataan logika “jika-maka” (IF-THEN) yang menghubungkan kondisi *input* dengan aksi *Output* yang diharapkan. Sebagai contoh, aturan seperti “Jika intensitas UV-C “Kuat”, “Tinggi”, dan “Sedikit”, maka durasi yang dibutuhkan untuk keaktifan lampu UV-C dan pemanas “Cepat”.

Tahap inferensi dilakukan dengan menggabungkan aturan-aturan Fuzzy tersebut berdasarkan *input* yang telah difuzzifikasi. Tahap inferensi akan memproses semua aturan dan menghasilkan kesimpulan dalam bentuk *output* Fuzzy. Tahap terakhir dilakukan proses defuzzifikasi yaitu, tahap mengubah hasil *output* Fuzzy menjadi nilai numerik yang dapat diterapkan secara nyata dalam sistem. Misalnya, sistem akan menentukan durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas dalam satuan waktu (s) setelah tahap inferensi memberikan *output* dalam bentuk linguistik seperti “60 detik” atau “300 detik”. Melalui seluruh tahapan ini, logika Fuzzy mampu menangani ketidakpastian dan memberikan keputusan yang fleksibel serta adaptif dalam sistem menentukan durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas pada tahap sterilisasi.

3.2.1 Variabel Linguistik

Pada tahap ini, ditentukan nilai-nilai linguistik dari setiap variabel Fuzzy yang digunakan untuk menentukan durasi yang dibutuhkan untuk proses sterilisasi. Penentuan variabel linguistik ini dilakukan dengan mengacu pada hasil analisis data dari masing-masing sensor yang kemudian diklasifikasikan ke dalam dua kategori untuk tiap variabel. Variabel pertama adalah intensitas cahaya UV-C yang diukur menggunakan sensor GUVA-S12SD. Variabel ini dibagi ke dalam tiga himpunan linguistik yaitu, “Lemah”, “Normal”, dan “Kuat”, dengan rentang nilai sebagai berikut :

- Lemah : $0 - 0.5 \text{ mW/cm}^2$
- Normal : $0.1 - 0.9 \text{ mW/cm}^2$
- Kuat : $0.5 - 1.5 \text{ mW/cm}^2$

Rentang nilai ini diperoleh dari pengamatan langsung pada proses uji coba sistem dengan variasi tegangan lampu UV-C pada tahap sterilisasi (M. Fani Irsad, 2023).

Variabel kedua adalah suhu yang diukur menggunakan sensor LM35. Variabel ini dibagi ke dalam tiga kondisi linguistik yaitu, “Rendah”, “Sedang”, dan “Tinggi”. Rentang masing-masing kategori adalah sebagai berikut :

- Rendah : $0 - 80^{\circ}\text{C}$
- Sedang : $70 - 90^{\circ}\text{C}$
- Tinggi : $80 - 150^{\circ}\text{C}$

Rentang ini didasarkan pada karakteristik suhu pemanas pada tahap sterilisasi.

Untuk variabel *output* yaitu, durasi (detik) yang diperlukan untuk keaktifan lampu UV-C dan pemanas dibagi menjadi tiga kategori linguistik, yaitu, “Cepat”, “Sedang”, dan “Lama”, dengan nilai ditetapkan sebagai berikut :

- Cepat : 60 detik
- Sedang : 180 detik
- Lama : 300 detik

Nilai-nilai ini merupakan waktu ideal untuk menghancurkan masker dan virus. Nilai *output* diolah mikrokontroler untuk memberi perintah durasi yang dibutuhkan untuk keaktifan lampu UV-C dan pemanas. Melalui penetapan variabel linguistik ini, logika Fuzzy dapat menganalisis kondisi pada tahap sterilisasi berdasarkan *input* sensor dan memberikan keputusan durasi yang dibutuhkan untuk keaktifan lampu UV-C dan pemanas.

3.2.2 Fuzzifikasi

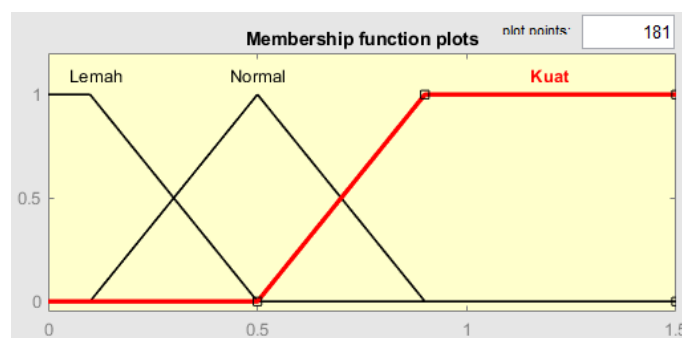
Fuzzifikasi adalah proses awal dalam logika Fuzzy yang bertujuan mengubah *input* numerik dari sensor menjadi nilai Fuzzy berdasarkan derajat keanggotaan pada masing-masing himpunan linguistik. Dalam penelitian ini, dua *input* utama yang difuzzifikasi yaitu, intensitas cahaya UV-C dan suhu. Masing-masing nilai *input* dikonversi menggunakan fungsi keanggotaan segitiga ke dalam kategori linguistik.

Tabel 1. Data Pengujian Fuzzifikasi

UV-C (mW/cm ²)	Suhu (°C)
0.01	78

Tabel 6 menunjukkan data *input* berupa suhu dan UV-C yang akan diuji menggunakan MATLAB serta melalui perhitungan manual. Hasil dari proses fuzzifikasi terhadap data tersebut akan digunakan pada tahap inferensi Fuzzy untuk menentukan *output* berupa durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas. Dengan demikian, sistem dapat menyesuaikan respons secara otomatis berdasarkan kondisi aktual yang terdeteksi oleh sensor.

3.2.2.1 Variabel Intensitas Cahaya UV-C



Gambar 4. Himpunan Keanggotaan Intensitas Cahaya UV-C

Gambar 5 menunjukkan himpunan keanggotaan pada variabel intensitas cahaya UV-C yang dibentuk menggunakan MATLAB. Nilai derajat keanggotaan dari variabel ini dapat dihitung menggunakan rumus keanggotaan sebagai berikut :

Himpunan Lemah (x)

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 0.1 \\ \frac{0.5 - x}{0.5 - 0.1} & ; 0.1 < x \leq 0.5 \\ 0 & ; x > 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

Himpunan Normal (x)

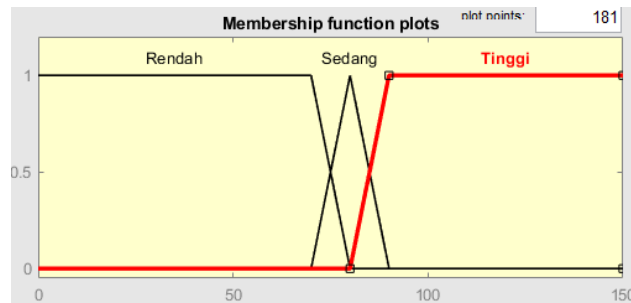
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 0.1 \\ \frac{x - 0.1}{0.5 - 0.1} & ; 0.1 \leq x < 0.5 \\ \frac{0.9 - x}{0.9 - 0.5} & ; 0.5 \leq x < 0.9 \\ 0 & ; x \geq 0.9 \end{cases} \quad (3)$$

Himpunan Kuat (x)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 0.5 \\ \frac{x - 1500}{3000 - 1500} & ; 0.5 < x \leq 0.9 \\ 1 & ; x > 0.9 \end{cases} \quad (4)$$

Berdasarkan nilai intensitas cahaya UV-C, dilakukan simulasi perhitungan derajat keanggotaan, maka diperoleh hasil Lemah $\mu(0.1)$ adalah 1, Normal $\mu(0.1)$ adalah 0 Kuat $\mu(0.1)$ adalah 0.

3.2.2.2 Variabel Suhu



Gambar 5. Himpunan Keanggotaan Variabel Suhu

Gambar 6 menunjukkan himpunan keanggotaan pada variabel suhu yang dibentuk menggunakan MATLAB. Nilai derajat keanggotaan dari variabel ini dapat dihitung menggunakan rumus keanggotaan sebagai berikut :

Himpunan Rendah (x)

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 70 \\ \frac{80 - x}{80 - 70} & ; 70 < x \leq 80 \\ 0 & ; x > 80 \end{cases} \quad (5)$$

Himpunan Sedang (x)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 70 \\ \frac{x - 70}{80 - 70} & ; 70 \leq x < 80 \\ \frac{90 - x}{90 - 80} & ; 80 \leq x < 90 \\ 0 & ; x \geq 90 \end{cases} \quad (6)$$

Himpunan Tinggi (x)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 80 \\ \frac{x - 80}{90 - 80} & ; 80 \leq x \leq 90 \\ 1 & ; x > 90 \end{cases} \quad (7)$$

Berdasarkan nilai suhu sebesar 78°C, dilakukan simulasi perhitungan derajat keanggotaan, maka diperoleh hasil rendah $\mu(78)$ adalah 0.2, Sedang $\mu(78)$ adalah 0.8, Tinggi $\mu(78)$ adalah 0.

Tabel 2. Hasil data Fuzzifikasi Data Penelitian

Variabel	UV-C (mW/cm ²)	Suhu (°C)
Himpunan	Lemah = 1	Rendah = 0.2
	Normal = 0	Sedang = 0.8
	Kuat = 0	Tinggi = 0

Tabel 7 menunjukkan hasil fuzzifikasi dari dua variabel penelitian yaitu, intensitas cahaya UV-C dan suhu. Nilai-nilai numerik dari setiap variabel diubah menjadi derajat keanggotaan Fuzzy menggunakan metode logika Fuzzy (Imelda Piyoh et al., n.d.). Pada variabel UV-C, keanggotaan tertinggi berada pada himpunan Lemah. Proses ini merupakan tahap penting dalam logika Fuzzy karena memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih fleksibel terhadap durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas.

3.2.3 Fuzzy Rules

Aturan Fuzzy (*Fuzzy rules*) merupakan inti dari logika Fuzzy yang menghubungkan *input* dan *output* berdasarkan pengetahuan atau pengamatan terhadap sistem. Dalam penelitian ini, telah dirancang sebanyak sembilan aturan Fuzzy

yang menggambarkan hubungan antara dua variabel *input* yaitu, intensitas cahaya UV-C dan suhu dengan satu variabel *output* yaitu, durasi keaktifan Lampu UV-C dan pemanas.

Tabel 3. Fuzzy Rules

Rule	Input		Output (detik)
	Suhu (°C)	UV-C (mW/cm ²)	
1	Rendah	Lemah	Lama
2	Rendah	Normal	Lama
3	Rendah	Kuat	Sedang
4	Sedang	Lemah	Lama
5	Sedang	Normal	Sedang
6	Sedang	Kuat	Cepat
7	Tinggi	Lemah	Sedang
8	Tinggi	Normal	Cepat
9	Tinggi	Kuat	Cepat

3.2.4 Defuzzifikasi

Setelah proses inferensi dilakukan, langkah selanjutnya yaitu, mengubah nilai Fuzzy menjadi nilai tegas (*crisp*) yang dapat digunakan secara langsung dalam sistem. Proses ini disebut defuzzifikasi yang merupakan tahapan dalam logika Fuzzy dengan tujuan untuk mengonversi hasil inferensi yang berupa nilai Fuzzy ke dalam bentuk nilai tegas atau pasti sehingga dapat diaplikasikan dalam pengendalian sistem nyata (Arul et al., 2024). Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode Fuzzy Sugeno dengan operator logika AND yang diwakili oleh fungsi minimum (MIN). Proses perhitungan dilakukan berdasarkan derajat keanggotaan terkecil dari setiap aturan yang berlaku. Nilai hasil perhitungan ini kemudian digunakan untuk menentukan *output* sistem, dalam hal ini adalah durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas. Hasil akhir dari proses defuzzifikasi ini ditampilkan secara rinci dalam Tabel 9.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Defuzzifikasi

Rule	Input		Output (detik)
	Suhu (°C)	UV-C (mW/cm ²)	
1	Rendah (0.2)	Lemah (1)	Lama (300)
2	Rendah (0.2)	Normal (0)	Lama (300)
3	Rendah (0.2)	Kuat (0)	Sedang (180)
4	Sedang (0.8)	Lemah (1)	Lama (300)
5	Sedang (0.8)	Normal (0)	Sedang (180)
6	Sedang (0.8)	Kuat (0)	Cepat (60)
7	Tinggi (0)	Lemah (1)	Sedang (180)
8	Tinggi (0)	Normal (0)	Cepat (60)
9	Tinggi (0)	Kuat (0)	Cepat (60)

Proses terakhir dalam analisis ini yaitu, menentukan nilai keanggotaan dari *output* yang terlibat menggunakan perhitungan manual. Langkah ini melibatkan penerapan metode matematis secara rinci untuk memastikan bahwa setiap nilai keanggotaan dihitung dengan akurat. Berikut adalah tahapan perhitungan manual yang digunakan :

$$Output = \frac{\sum(\text{derajat keanggotaan} \times \text{nilai output})}{\sum(\text{derajat keanggotaan})} \quad (8)$$

$$Output = \frac{(0.2 \times 300) + (0.8 \times 300)}{0.2 + 0.8}$$

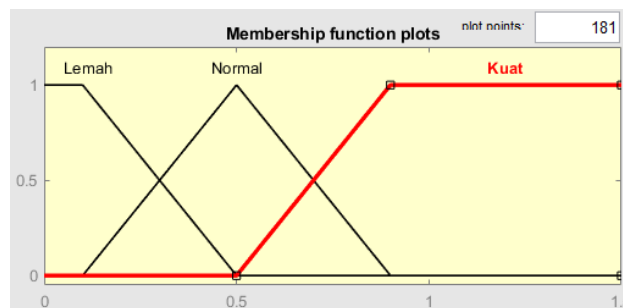
$$Output = \frac{(60) + (240)}{1}$$

$$Output = \frac{300}{1} = 300$$

Setelah melakukan perhitungan secara manual, dapat disimpulkan bahwa nilai *output* durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas selama 300 detik.

3.3. Pengujian Logika Fuzzy pada MATLAB

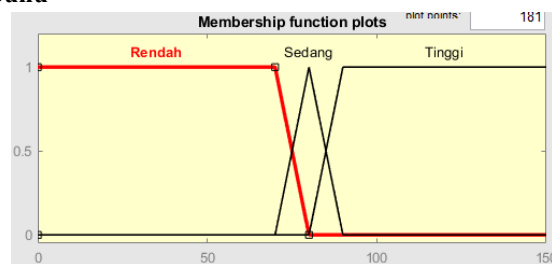
3.3.1 Himpunan Keanggotaan Intensitas Cahaya UV-C



Gambar 6. Himpunan Keanggotaan Intensitas Cahaya UV-C

Gambar 6 menunjukkan kurva keanggotaan pada variabel intensitas cahaya UV-C yang dibentuk menggunakan MATLAB. Rentang intensitas cahaya UV-C yang digunakan untuk variabel ini berkisar antara 0 - 1.5 mW/cm². Setiap himpunan keanggotaan memiliki irisan (*overlap*) satu sama lain untuk memungkinkan proses transisi yang halus dan sesuai dengan prinsip logika Fuzzy. Hal ini bertujuan agar logika Fuzzy dapat mengambil keputusan yang lebih fleksibel terhadap durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas.

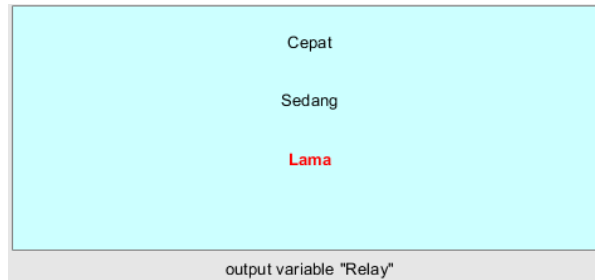
3.3.2 Himpunan Keanggotaan Suhu



Gambar 7. Himpunan Keanggotaan Suhu

Pada Gambar 7 menunjukkan kurva keanggotaan pada variabel suhu yang dibentuk menggunakan MATLAB. Rentang suhu yang digunakan untuk variabel ini berkisar antara 0 - 150°C. Setiap himpunan keanggotaan memiliki irisan (*overlap*) satu sama lain untuk memungkinkan proses transisi yang halus dan sesuai dengan prinsip logika Fuzzy. Hal ini bertujuan agar masker tidak sampai terbakar.

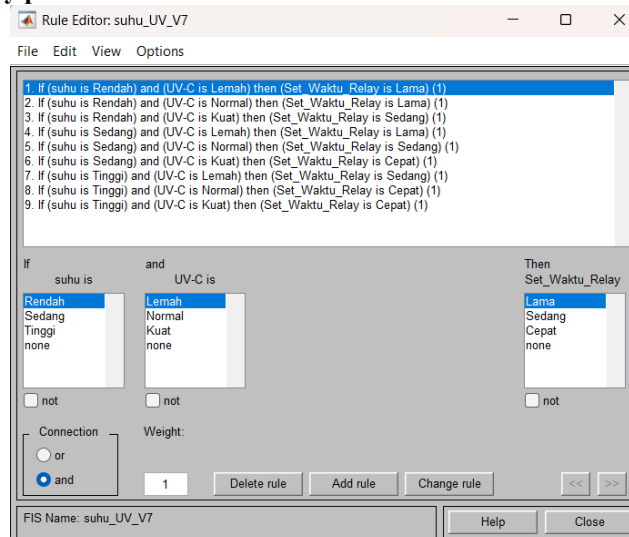
3.3.3 Himpunan Keanggotaan Durasi Keaktifan Lampu UV-C dan Pemanas



Gambar 8. Himpunan Keanggotaan Durasi Keaktifan Lampu UV-C dan Pemanas

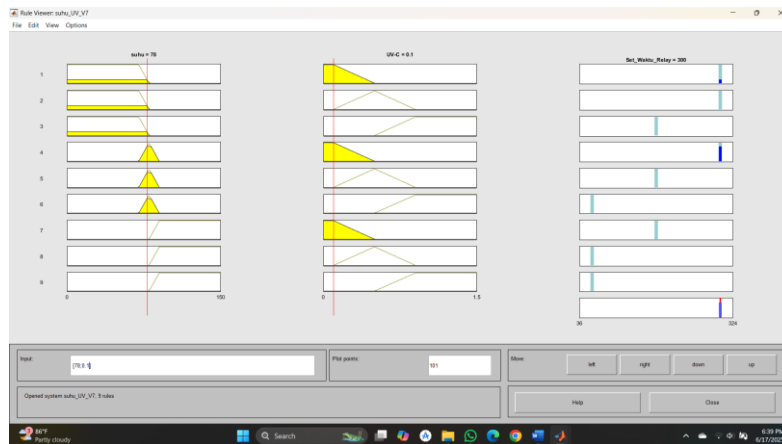
Gambar 8 menunjukkan tiga kategori keanggotaan durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas yaitu, kondisi cepat, kondisi sedang, dan kondisi lama. Rentang nilai yang digunakan bersifat diskrit dengan representasi waktu tertentu pada setiap kategori. Kategori kondisi cepat didefinisikan pada waktu 60 detik, kondisi sedang pada waktu 180 detik, dan kondisi lama pada waktu 300 detik. Ketiga kategori tersebut memungkinkan proses pada tahap sterilisasi dapat menjadi lebih efisien.

3.3.4 Rule Base Logika Fuzzy pada MATLAB



Gambar 9. Rule Base Logika Fuzzy

Gambar 10 menunjukkan tampilan *rule base* logika Fuzzy yang diimplementasikan menggunakan MATLAB. *Rule base* ini merupakan komponen utama dalam logika Fuzzy yang berperan penting dalam proses inferensi yaitu, mekanisme pengambilan keputusan berdasarkan kondisi *input* yang kompleks. *Rule base* logika Fuzzy pada Gambar 10 menghubungkan kombinasi nilai dari variabel *input* intensitas cahaya UV-C dan suhu dengan *output* durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas. *Rule base* berfungsi sebagai panduan logis untuk menghasilkan respons yang tepat terhadap berbagai kemungkinan durasi proses pada tahap sterilisasi dapat menjadi lebih efisien.



Gambar 10. Pengujian Logika Fuzzy pada MATLAB

Pada Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian logika Fuzzy pada MATLAB dengan *input* suhu sebesar 78°C dan intensitas cahaya UV-C sebesar 0.1 mW/cm². Dari pengujian tersebut, logika Fuzzy menghasilkan durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas selama 300 detik.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan logika Fuzzy dengan metode Sugeno pada tahap sterilisasi terbukti efektif dalam menentukan durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas berdasarkan variasi parameter *input* suhu dan intensitas cahaya UV-C. Dari hasil pengujian menggunakan MATLAB dengan *input* berupa suhu sebesar 78°C dan intensitas cahaya UV-C sebesar 0.1mW/cm², logika Fuzzy Sugeno dapat menentukan durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas selama 300 detik. Hal ini juga sesuai dengan hasil perhitungan secara manual yang dilakukan sebelumnya selama 300 detik yang menunjukkan bahwa sistem kontrol berbasis logika Fuzzy dapat secara efektif merespon *input* dan secara otomatis menentukan *output* durasi keaktifan lampu UV-C dan pemanas.

5. Daftar Pustaka

- Aini Afida, N. (2022a). POTENSI SINAR ULTRAVIOLET-C TERHADAP JUMLAH BAKTERI SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN PERILAKU HIDUP BERSIH DAN SEHAT Potential of Ultraviolet-C Rays on the Number of Bacteria as an Effort to Improve Clean Healthy Lifestyle. *Nurul Aini Afida, Dkk.....Jurnal Kesehatan Madani Medika*, 13(01), 1–6.
- Aini Afida, N. (2022b). POTENSI SINAR ULTRAVIOLET-C TERHADAP JUMLAH BAKTERI SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN PERILAKU HIDUP BERSIH DAN SEHAT Potential of Ultraviolet-C Rays on the Number of Bacteria as an Effort to Improve Clean Healthy Lifestyle. *Nurul Aini Afida, Dkk.....Jurnal Kesehatan Madani Medika*, 13(01), 1–6.
- Arigo, M. A. Al. H., Sofi Berliana Rizky, Zainu Rafsanjani, Isa Rachman, , Rini Indarti, Noorman Rinanto, & Agus Khumaidi. (2024). Optimasi Penghematan Energi Listrik Menggunakan Metode Fuzzy Logic Pada Sistem Pendingin Udara Berbasis IoT. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 11(2), 363–375. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i2.5467>
- Arul, S., Novi, N. S., & Denok, D. W. (2024). Penerapan Algoritma Fuzzy Mamdani Pada Monitoring dan Sistem Kontrol Pemakaian Kipas Angin di Ruangan Berbasis Internet Of Things. *Jurnal PROCESSOR*, 19(2). <https://doi.org/10.33998/processor.2024.19.2.1955>
- Devitt, G., Johnson, P. B., Hanrahan, N., Lane, S. I. R., Vidale, M. C., Sheth, B., Allen, J. D., Humbert, M. V., Spalluto, C. M., Hervé, R. C., Staples, K., West, J. J., Forster, R., Divecha, N., McCormick, C. J., Crispin, M., Hempler, N., Malcolm, G. P. A., & Mahajan, S. (2024). Mechanisms of SARS-CoV-2 Inactivation Using UVC Laser Radiation. *ACS Photonics*, 11(1), 42–52. <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.3c00828>

- Hadi, S., Putra, R., Davi Labib, M., & Diptya Widayaka, P. (n.d.). *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi) PERBANDINGAN AKURASI PENGUKURAN SENSOR LM35 DAN SENSOR DHT11 UNTUK MONITORING SUHU BERBASIS INTERNET OF THINGS*.
- Imelda Piyoh, Y., Rai Suci Shanti, M., & Setiawan, A. (n.d.). *Perancangan dan Pengujian Sistem Pengukuran Sinar UV Dari Intensitas Matahari*.
- Isa Rachman, Rahmat, M. B., Arfianto, A. Z., & Hasin, M. K. (2022). PERANCANGAN TEMPAT SAMPAH PINTAR UNTUK LIMBAH MASKER SEKALI PAKAI BERBASIS RAMPS 1.4. *Transmisi*, 24(2), 67–73. <https://doi.org/10.14710/transmisi.24.2.67-73>
- Kemenkes. (2025, January 3). Wabah virus HMPV Merebak di China, Kemenkes Imbau Publik Untuk Waspada. *Ayosehat.Kemkes.Go.Id*.
- M. Fani Irsad. (2023). *RANCANG BANGUN ALAT PENGUKURAN RADIASI SINAR ULTRAVIOLET DAN RADIASI MATAHARI BERBASIS IoT TUGAS AKHIR Disusun dan Diajukan sabagai salah satu persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Diploma III Teknik Listrik PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK D-III FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG 2023*.
- Natonis, M. M., Manu, L. L. K., Amleni, P. M. C., Nababan, D., Kelen, Y. P. K., & Sucipto, W. (2023). Smart Greenhouse Design Based Internet of Things (IoT) With Microcontroller Arduino Uno. *JURNAL TEKNIK INFORMATIKA*, 16(1), 35–44. <https://doi.org/10.15408/jti.v16i1.30889>
- Tejaleksono, G., Notosudjono, D., Machdi, A. R., Adzikri, F., & Rahayu, A. U. (n.d.). *PROTOTYPE OF CO, CO 2 , UV LIGHT, TEMPERATURE, AND HUMIDITY DETECTION DEVICE BASED ON IOT AND SOLAR CELLS*.
- WHO. (2025, January 10). *Human metapneumovirus (hMPV) infection*. [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/human-metapneumovirus-\(hmpv\)-infection](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/human-metapneumovirus-(hmpv)-infection).