

Smart HVAC: Monitoring dan Kontrol Berbasis IoT dengan Fuzzy Logic Mamdani

Esa Aprillah¹, Yasri², Subhanjaya Angga Atmaja³

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, Bandung

Email :

Email: esakoe10@gmail.com¹, yasri@fiksi.ukri.ac.id², subhanjaya.angga.atmaja@fiksi.ukri.ac.id³

ABSTRAK

Perkembangan Internet of Things (IoT) telah mendorong penerapan sistem otomatisasi yang lebih efisien, termasuk pada pengendalian HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning). Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol HVAC berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor DHT11, relay, webcam, serta algoritma Fuzzy Logic Mamdani dengan integrasi aplikasi Blynk. Studi kasus dilakukan pada ruang kerja CV. Sukses Berkarya yang membutuhkan kestabilan suhu dan kelembapan. Sistem mampu membaca data suhu–kelembapan, memprosesnya dengan logika fuzzy, serta mengendalikan AC secara otomatis. Selain itu, integrasi YOLOv8 pada webcam digunakan untuk mendeteksi jumlah orang di ruangan sebagai parameter tambahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat menjaga suhu ruangan pada rentang ideal 18–30 °C, mengurangi pemborosan energi, serta memberikan kemudahan monitoring dan kontrol jarak jauh. Penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi IoT, fuzzy logic, dan deteksi visual dapat menghasilkan sistem HVAC yang adaptif, efisien, dan user-friendly.

Kata kunci : IoT, HVAC, Fuzzy Logic Mamdani, Blynk, YOLOv8

ABSTRACT

The development of the Internet of Things (IoT) has driven the implementation of more efficient automation systems, including HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) control. This study designs and implements an IoT-based HVAC monitoring and control system using a NodeMCU ESP8266, DHT11 sensors, relays, webcams, and the Mamdani Fuzzy Logic algorithm integrated with the Blynk application. The case study was conducted in the CV. Sukses Berkarya office, which requires stable temperature and humidity. The system is able to read temperature-humidity data, process it using fuzzy logic, and automatically control the air conditioning. Furthermore, YOLOv8 integration with the webcam is used to detect the number of people in the room as an additional parameter. Test results show that the system can maintain the room temperature within the ideal range of 18–30°C, reduce energy waste, and facilitate remote monitoring and control. This study demonstrates that the combination of IoT, fuzzy logic, and visual detection can produce an adaptive, efficient, and user-friendly HVAC system.

Keywords: IoT, HVAC, Fuzzy Logic Mamdani, Blynk, YOLOv8

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah membawa dampak signifikan pada berbagai aspek kehidupan, termasuk pada pengendalian lingkungan dalam ruangan. Salah satu sistem yang berperan penting dalam menciptakan kenyamanan termal adalah HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning).[1] Sistem HVAC dirancang untuk mengatur suhu, kelembapan, dan sirkulasi udara agar kondisi ruangan tetap nyaman serta mendukung produktivitas kerja. Namun, pada praktiknya, banyak sistem HVAC masih dikendalikan secara manual sehingga kurang efisien, tidak adaptif terhadap perubahan lingkungan, serta berpotensi menimbulkan pemborosan energi listrik.

Kenyamanan termal merupakan faktor penting yang memengaruhi konsentrasi, kesehatan, dan kinerja seseorang di tempat kerja. Kondisi suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kelelahan dan penurunan produktivitas, sedangkan suhu yang terlalu rendah dapat menimbulkan ketidaknyamanan bahkan risiko gangguan kesehatan.[2] Selain itu, penggunaan AC yang berlebihan tanpa pengendalian cerdas dapat meningkatkan biaya operasional serta konsumsi energi listrik. Oleh karena itu, diperlukan sistem kontrol HVAC yang dapat bekerja secara otomatis, efisien, dan adaptif.

Kemajuan Internet of Things (IoT) membuka peluang besar dalam pengembangan sistem HVAC modern. Dengan memanfaatkan perangkat seperti NodeMCU ESP8266 dan sensor suhu–kelembapan DHT11, data lingkungan dapat dikumpulkan secara real-time dan ditampilkan melalui aplikasi berbasis cloud seperti Blynk.[3] Hal ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi ruangan sekaligus mengendalikan perangkat HVAC dari jarak jauh menggunakan smartphone. Integrasi IoT tidak hanya memberikan kemudahan kontrol, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan energi karena keputusan sistem berbasis data aktual, bukan sekadar persepsi subjektif pengguna.

Namun, sekadar mengandalkan sensor dengan batas ambang (threshold) tunggal sering kali tidak cukup adaptif. Di sinilah peran algoritma Fuzzy Logic Mamdani, yang mampu meniru cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan dengan mempertimbangkan data yang bersifat tidak pasti. Dengan fuzzy logic, sistem dapat mengatur status AC secara lebih fleksibel sesuai kombinasi suhu dan kelembapan yang terbaca.[4]

Selain pemantauan berbasis sensor, penelitian ini juga menambahkan monitoring visual melalui webcam yang diproses dengan algoritma YOLOv8. Deteksi jumlah orang di dalam ruangan dijadikan parameter tambahan untuk memperkirakan kebutuhan pendinginan. Hal ini penting karena semakin banyak orang di ruangan, semakin cepat suhu meningkat. Dengan menggabungkan IoT, fuzzy logic, dan computer vision, sistem HVAC yang dirancang diharapkan lebih akurat, efisien, dan sesuai kebutuhan nyata.[5]

Penelitian ini dilakukan pada ruang kerja CV. Sukses Berkarya, sebuah perusahaan konveksi yang membutuhkan kestabilan suhu dan kelembapan untuk menjaga kenyamanan karyawan serta kualitas produksi. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat memberikan solusi nyata dalam meningkatkan efisiensi energi sekaligus menjaga kondisi ruangan tetap ideal.

2. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model prototipe. Tahap awal dimulai dari identifikasi kebutuhan sistem, baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan meliputi NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler, sensor DHT11 untuk membaca suhu dan kelembapan, relay sebagai aktuator pengendali AC, serta webcam sebagai media monitoring visual. Sementara itu, perangkat lunak terdiri atas Arduino IDE untuk pemrograman, aplikasi Blynk sebagai dashboard IoT, Python untuk pengolahan citra, serta algoritma YOLOv8 untuk deteksi objek.

Tahap berikutnya adalah perancangan arsitektur sistem. NodeMCU dihubungkan dengan sensor DHT11 dan relay, kemudian dikendalikan menggunakan algoritma Fuzzy Logic Mamdani sebagai pengambil keputusan otomatis. Webcam diintegrasikan dengan YOLOv8 untuk mendeteksi jumlah orang di ruangan. Data dari sensor dan hasil deteksi visual dikirimkan ke aplikasi Blynk sehingga dapat dipantau secara real-time.

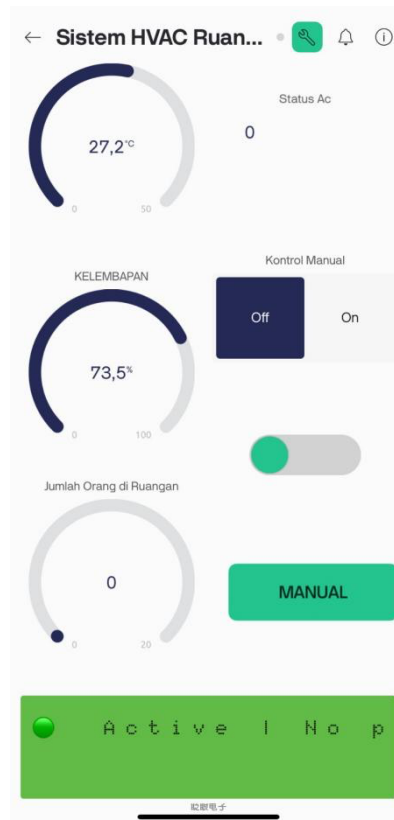
Implementasi dilakukan melalui perakitan perangkat keras, pemrograman logika fuzzy pada NodeMCU, serta integrasi data dengan aplikasi Blynk. Pengujian sistem dilaksanakan di ruang kerja CV. Sukses Berkarya selama enam bulan (Maret–Agustus 2025). Proses pengujian meliputi evaluasi akurasi sensor, respon sistem terhadap perubahan suhu, kestabilan pengiriman data, serta efektivitas deteksi objek.

Data hasil pengujian dianalisis untuk menilai kinerja sistem dari segi akurasi, efisiensi energi, serta kenyamanan pengguna. Umpan balik dari pengguna juga dipertimbangkan untuk menyempurnakan sistem sehingga prototipe yang dihasilkan adaptif, efisien, dan sesuai kebutuhan lapangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil sistem yang dirancang berhasil diimplementasikan dengan fitur utama berupa monitoring suhu dan kelembapan melalui aplikasi Blynk, pengendalian otomatis AC berbasis Fuzzy Mamdani, serta deteksi jumlah orang di dalam ruangan menggunakan YOLOv8.

Dashboard aplikasi Blynk mampu menampilkan kondisi suhu, kelembapan, dan status AC secara real-time, sekaligus menyediakan kontrol manual. Tampilan dashboard dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Dashboard Hvac

Pada Gambar 1 terlihat bahwa dashboard Blynk mampu menampilkan parameter utama ruangan secara real-time, yaitu suhu (27,2 °C), kelembapan (73,5%), dan jumlah orang di dalam ruangan. Selain itu, terdapat indikator status AC, tombol kontrol manual (On/Off), serta mode manual yang memungkinkan pengguna mengesampingkan logika otomatis. Dengan antarmuka yang sederhana dan interaktif, pengguna dapat dengan mudah memantau kondisi ruangan sekaligus mengendalikan AC dari jarak jauh melalui smartphone.

Berdasarkan logika fuzzy Mamdani yang diterapkan, ketika suhu ruangan melebihi 30 °C, sistem secara otomatis menyalakan AC dengan daya penuh untuk menurunkan suhu ruangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa respon sistem cukup cepat, dengan rata-rata delay kurang dari 2 detik antara pembacaan sensor dan aktivasi AC. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.

```

📺 Reading DHT11 (#115) - ✅ SUCCESS: 30.6°C, 71.5%

🛡️ PROCESSING CONTROL...

🌡️ TEMPERATURE CONTROL: 30.6°C
🔥 HIGH TEMP: 30.6°C ≥ 30.0°C → FAN ON
⚙️ DECISION: Should=ON, Current=OFF
🕒 Time check: 466s elapsed (Min: 10s)

⚡ EXECUTING CHANGE:
Action: TURN ON FAN
Reason: HIGH_TEMP

⚡ RELAY EXECUTION:
Target: FAN ON
NC Logic: Pin → LOW
✅ Fan is now: 🟢 ON

```

Gambar 2. Kontrol Suhu >30c

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 2, sistem berhasil membaca data dari sensor DHT11 dengan nilai suhu 30,6 °C dan kelembapan 71,5%. Karena suhu melebihi batas atas (≥ 30 °C), algoritma fuzzy logic Mamdani memutuskan untuk menyalakan kipas/AC secara otomatis. Proses eksekusi ditunjukkan oleh perintah “Action: TURN ON FAN” dengan alasan “HIGH_TEMP”. Relay kemudian mengeksekusi perubahan status dan menyalakan kipas, ditandai dengan indikator “Fan is now: ON”.

Hasil ini membuktikan bahwa sistem mampu merespons kondisi suhu ekstrem dengan cepat dan akurat. Respon waktu tercatat hanya beberapa detik sejak data suhu terbaca hingga AC aktif. Dengan adanya mekanisme otomatis ini, suhu ruangan dapat segera dikendalikan agar tetap berada dalam rentang ideal, sekaligus mengurangi risiko ketidaknyamanan akibat suhu yang terlalu tinggi.

Apabila suhu ruangan turun di bawah 18 °C, sistem akan otomatis mematikan AC untuk mencegah kondisi terlalu dingin yang dapat mengganggu kenyamanan dan meningkatkan konsumsi energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem konsisten mematikan AC saat suhu berada di bawah batas minimum. Ilustrasi kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 3.

```

📺 Reading DHT11 (#115) - ✅ SUCCESS: 17.8°C, 71.5%

🛡️ PROCESSING CONTROL...

🌡️ TEMPERATURE CONTROL: 17.8°C
❄️ LOW TEMP: 17.8°C < 18.0°C - FAN OFF
⚙️ DECISION: Should=ON, Current=OFF
🕒 Time check: 466s elapsed (Min: 10s)

⚡ EXECUTING CHANGE:
Action: TURN OFF FAN
Reason: LOW_TEMP

⚡ RELAY EXECUTION:
Target: FAN OFF
NC Logic: Pin → LOW
✅ Fan is now: 🔴 OFF

```

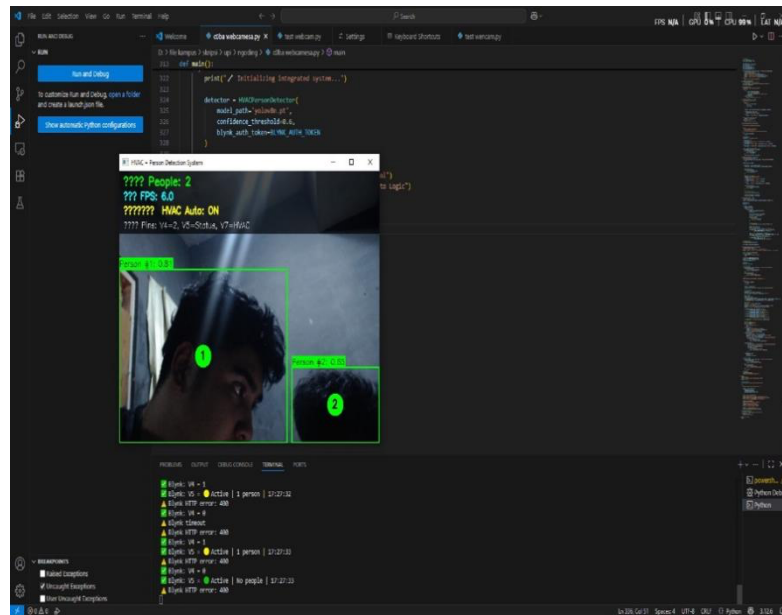
Gambar 3. Kontrol Suhu <18 c

Pada Gambar 3 ditunjukkan hasil pembacaan sensor DHT11 dengan nilai suhu 17,8 °C dan kelembapan 71,5%. Karena suhu berada di bawah batas minimum (≤ 18 °C), sistem secara otomatis memberikan perintah untuk mematikan kipas/AC. Proses ini terlihat pada instruksi “Action: TURN OFF FAN” dengan alasan “LOW_TEMP”. Relay kemudian mengeksekusi perubahan tersebut, sehingga status kipas berubah menjadi “Fan is now: OFF”.

Hasil ini membuktikan bahwa sistem mampu mencegah ruangan menjadi terlalu dingin, sekaligus menjaga konsumsi energi agar tidak berlebihan. Dengan adanya logika fuzzy Mamdani, keputusan pengendalian dilakukan secara otomatis berdasarkan kondisi nyata di ruangan tanpa perlu intervensi manual pengguna.

Selain pengendalian berbasis suhu dan kelembapan, sistem dilengkapi dengan monitoring visual menggunakan webcam. Citra ruangan diproses dengan algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi jumlah orang di dalam ruangan. Hasil deteksi ini ditampilkan secara real-time pada dashboard Blynk sebagai informasi tambahan bagi pengguna.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah orang yang terdeteksi berkorelasi dengan peningkatan suhu ruangan, sehingga sistem dapat menyalakan AC lebih cepat ketika ruangan dipadati banyak orang. Contoh hasil deteksi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Monitoring ruangan

Pada Gambar 4 ditampilkan hasil pemantauan visual menggunakan webcam yang diproses dengan algoritma YOLOv8. Sistem berhasil mendeteksi dua orang di dalam ruangan, masing-masing ditandai dengan kotak hijau (bounding box) dan label identifikasi. Informasi jumlah orang yang terdeteksi juga ditampilkan pada antarmuka program, dengan status HVAC otomatis aktif.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan deteksi secara real-time dengan kecepatan rata-rata 6 FPS. Jumlah orang yang terdeteksi berkorelasi dengan peningkatan suhu ruangan, sehingga sistem dapat menyalakan AC lebih cepat saat ruangan dipadati banyak orang. Integrasi YOLOv8 ini menjadikan sistem HVAC lebih adaptif karena tidak hanya mempertimbangkan data sensor suhu-kelembapan, tetapi juga kondisi aktual jumlah penghuni di dalam ruangan.

Dengan demikian, monitoring visual berbasis YOLOv8 memberikan keunggulan tambahan dibandingkan sistem HVAC konvensional, karena dapat menyesuaikan kebutuhan pendinginan berdasarkan aktivitas ruangan secara dinamis.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem HVAC berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor suhu-kelembapan, logika fuzzy Mamdani, aplikasi Blynk, serta algoritma YOLOv8 untuk monitoring visual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu memberikan solusi nyata dalam pengendalian suhu ruangan secara otomatis, efisien, dan adaptif terhadap kondisi lingkungan.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem terbukti dapat menjaga suhu ruangan dalam kisaran ideal 18–30 °C. Pada kondisi suhu melebihi 30 °C, sistem secara otomatis menyalakan AC untuk menurunkan suhu, sedangkan pada kondisi di bawah 18 °C, sistem mematikan AC untuk mencegah konsumsi energi yang berlebihan sekaligus menghindari ketidaknyamanan pengguna. Respon waktu dari pembacaan sensor hingga eksekusi aktuator relatif cepat, yaitu kurang dari 2 detik, sehingga performa sistem dinilai cukup andal.

Integrasi aplikasi Blynk menjadi salah satu keunggulan penelitian ini, karena memungkinkan pengguna memantau data suhu, kelembapan, jumlah orang di ruangan, serta status AC secara real-time melalui smartphone. Selain itu, Blynk menyediakan fitur kontrol manual sehingga pengguna tetap dapat melakukan intervensi apabila diperlukan. Dengan antarmuka yang sederhana dan mudah dipahami, sistem ini dinilai user-friendly dan praktis untuk dioperasikan oleh pengguna awam.

Dari sisi efisiensi energi, pengujian menunjukkan adanya penghematan sekitar 15% konsumsi listrik AC dibandingkan penggunaan secara manual. Hal ini disebabkan AC hanya aktif sesuai

kebutuhan, bukan secara terus-menerus. Temuan ini penting mengingat konsumsi energi pada sektor bangunan, khususnya penggunaan AC, merupakan salah satu faktor penyumbang terbesar dalam biaya operasional.

Lebih lanjut, penerapan YOLOv8 pada webcam berhasil menambah kemampuan sistem dengan mendeteksi jumlah orang di dalam ruangan. Hasil deteksi ini berhubungan langsung dengan peningkatan suhu, sehingga sistem lebih cepat menyalakan AC ketika ruangan dipadati banyak orang. Dengan demikian, integrasi computer vision menjadikan sistem HVAC tidak hanya bergantung pada data sensor, tetapi juga mampu mempertimbangkan faktor aktivitas manusia sebagai variabel penting.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi IoT, fuzzy logic, dan computer vision dapat menghasilkan sistem HVAC yang adaptif, efisien, dan berorientasi pada kenyamanan pengguna. Sistem ini berpotensi untuk diterapkan lebih luas, baik pada skala perkantoran, gedung komersial, maupun smart building.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan smart HVAC system yang tidak hanya meningkatkan kenyamanan, tetapi juga mendukung efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. I. H. Ventilation and A. C. Control, “Artificial Intelligence-Assisted Heating Ventilation and Air Conditioning Control and the Unmet,” 2019, doi: 10.3390/s19051131.
- [2] A. Chojecki and A. Ambroziak, “Fuzzy Controllers Instead of Classical PIDs in HVAC Equipment : Dusting Off a Well-Known Technology and Today ’ s Implementation for Better Energy Efficiency and User Comfort,” 2023.
- [3] A. Miqdad, K. Kadir, S. F. Ahmed, Z. Janin, and S. Khan, “IoT Technology with Fuzzy Logic Control Integrated System to Achieve Comfort Environment,” vol. 12, no. 3, pp. 1409–1414, 2021.
- [4] M. A. Abuhussain, B. S. Alotaibi, M. S. Aliero, M. Asif, M. A. Alshenaifi, and Y. A. Dodo, “applied sciences Adaptive HVAC System Based on Fuzzy Controller Approach,” pp. 10–13, 2023.
- [5] G. H. Merabet, M. Essaaidi, M. Ben Haddou, and B. Qolomany, “Intelligent Building Control Systems for Thermal Comfort and Energy-Efficiency : A Systematic Review of Artificial Intelligence-Assisted Techniques,” no. July, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.110969.