

Sistem Kendali Air Conditioner Otomatis Berbasis Computer Vision dan MQTT

¹Maisaka Herdadhia Fathiya Jinan, ²Edy Kurniawan, ³Rhesma Intan Vidyastari

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo, Ponorogo

¹maisakaherdadia@gmail.com, ²edy@umpo.ac.id, ³rhesma@umpo.ac.id

Abstract—Conventional operation of Air Conditioner (AC) units with static temperature settings may result in insufficient adaptation to changes in room occupancy and thermal conditions. This study aims to design and implement an automatic AC control system based on occupancy detection using computer vision and Internet of Things (IoT) technology. The system employs an ESP32-CAM to capture room images, while the YOLOv5 Nano object detection algorithm running on a local server is used to detect and count occupants. Occupancy information is transmitted through the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol to an ESP32 microcontroller, which controls the AC through an infrared (IR) transmitter without modifying the internal hardware of the AC unit. A DHT22 sensor is used to provide room temperature feedback, while the control strategy applies rule-based setpoint adjustment according to the number of occupants and a transient setpoint adjustment mechanism. Experimental results show that under occupancy scenarios involving 2, 4, 6, and 8 people, the system successfully detected the actual number of occupants with a 100% success rate. The DHT22 evaluation against a reference thermometer showed a low measurement deviation, with the error calculated based on the reference temperature. The integrated system was also able to adjust the AC setpoint according to occupancy and room thermal conditions. These results demonstrate that the integration of ESP32-CAM, YOLOv5 Nano, MQTT, DHT22, and IR control can be implemented as an adaptive and non-invasive AC control system based on room occupancy. **Keywords**—ESP32-CAM, YOLOv5, Air Conditioner, MQTT.

Abstrak—Penggunaan Air Conditioner (AC) secara konvensional dengan pengaturan suhu yang statis dapat menyebabkan pengoperasian yang kurang adaptif terhadap perubahan jumlah penghuni dan kondisi termal ruangan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian AC otomatis berbasis deteksi okupansi menggunakan computer vision dan Internet of Things (IoT). Sistem menggunakan ESP32-CAM untuk menangkap citra ruangan, sedangkan algoritma YOLOv5 Nano yang dijalankan pada server lokal digunakan untuk mendeteksi dan menghitung jumlah orang. Informasi okupansi dikirim melalui protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) menuju ESP32 yang mengendalikan AC melalui pemancar inframerah (IR) tanpa memodifikasi perangkat keras internal AC. Sensor DHT22 digunakan sebagai umpan balik kondisi suhu ruangan, sedangkan pengendalian setpoint menerapkan logika berbasis aturan berdasarkan jumlah penghuni dan mekanisme transient setpoint adjustment. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada skenario okupansi 2, 4, 6, dan 8 orang, sistem berhasil mendeteksi jumlah penghuni sesuai kondisi aktual dengan tingkat keberhasilan 100%. Pengujian DHT22 terhadap termometer referensi menunjukkan adanya selisih pembacaan yang rendah, dengan nilai error dihitung berdasarkan perbandingan terhadap suhu referensi. Sistem juga mampu menyesuaikan setpoint AC berdasarkan jumlah penghuni dan kondisi termal ruangan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi ESP32-CAM, YOLOv5 Nano, MQTT, DHT22, dan kendali IR dapat digunakan untuk membangun sistem kendali AC yang adaptif dan non-invasif berdasarkan kondisi okupansi ruangan.

Kata Kunci—ESP32-CAM, YOLOv5, Air Conditioner, MQTT.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan *computer vision* dalam beberapa tahun terakhir telah mendorong terciptanya berbagai sistem otomatis yang cerdas dan adaptif, khususnya dalam pengelolaan perangkat elektronik di lingkungan dalam ruangan. Salah satu perangkat dengan konsumsi energi paling dominan pada gedung perkantoran, ruang kelas, maupun fasilitas publik adalah *Air Conditioner* (AC). Namun, pengoperasian AC secara konvensional sering kali tidak efisien, seperti AC tetap menyala saat ruangan kosong atau pengaturan suhu yang dipatok statis tanpa memperhitungkan jumlah penghuni di dalamnya. Hal ini berdampak langsung pada pemborosan konsumsi energi listrik yang signifikan.

Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya mengatasi efisiensi manajemen energi pada bangunan cerdas. El sisi dkk. menegaskan pentingnya manajemen energi yang efektif pada bangunan pintar untuk menekan konsumsi listrik [1]. Penelitian oleh Utomo dkk. menerapkan algoritma YOLOv8 untuk mengontrol lampu dan AC secara otomatis [2], sementara Ham dkk. mengusulkan kendali individual AC *four-way* berbasis deteksi penghuni [3]. Dari sisi arsitektur komunikasi IoT, El-Basioni menunjukkan bahwa protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) sangat efisien untuk pertukaran data berlatensi rendah [4]. Penggunaan *edge computing* dan pemrosesan citra juga telah diterapkan oleh Akhtar dkk. untuk deteksi okupansi pada sistem HVAC [5]. Penelitian mengenai sistem sensing berbasis vision juga menunjukkan bahwa informasi okupansi yang diperoleh melalui kamera dapat dimanfaatkan sebagai masukan dalam sistem occupant-centric building control, dengan evaluasi yang mencakup kinerja deteksi dan aspek privasi [9]. Selain metode deteksi, evaluasi teknologi occupancy sensing menjadi aspek penting karena tingkat keberhasilan deteksi jumlah penghuni dapat memengaruhi kinerja sistem kendali HVAC berbasis okupansi [10]. Dalam konteks pengendalian HVAC, pendekatan occupancy-based control memungkinkan operasi dan setpoint sistem HVAC disesuaikan berdasarkan informasi okupansi untuk mencapai keseimbangan antara konsumsi energi, kenyamanan termal, dan kualitas udara [11]. Studi eksperimental juga menunjukkan bahwa integrasi occupancy sensing dengan pengendalian HVAC dapat digunakan untuk meningkatkan respons sistem terhadap kondisi penghuni sekaligus mengevaluasi dampaknya terhadap konsumsi energi dan kenyamanan termal [12]. Selain itu, integrasi sensor DHT22 dan kendali inframerah berbasis ESP32 terbukti efektif dalam sistem *smart remote* AC tanpa perlu merusak jaringan listrik internal unit AC [6], [7]. Kendati demikian, efisiensi modul kamera berbiaya rendah seperti ESP32-CAM dalam mendukung inferensi deteksi objek lokal masih memerlukan pengujian performa yang komprehensif [8].

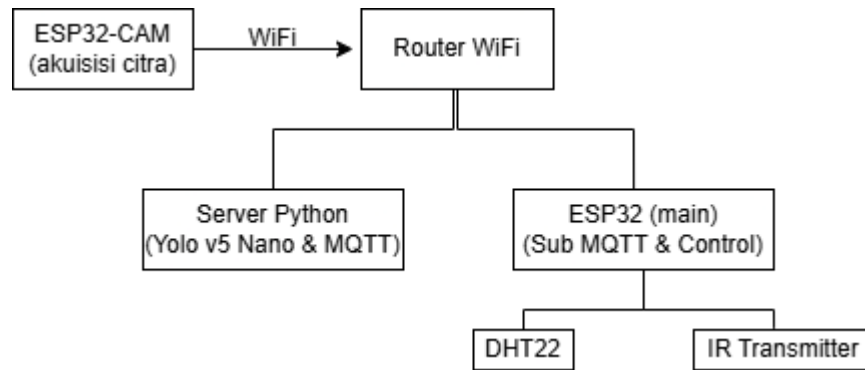
Berdasarkan penelitian terdahulu, masing-masing pendekatan telah menunjukkan kemampuan dalam mendukung pengelolaan perangkat HVAC berdasarkan okupansi, pemrosesan citra, maupun komunikasi IoT. Namun, masih terdapat kebutuhan untuk mengintegrasikan sistem deteksi okupansi berbasis kamera berbiaya rendah dengan mekanisme pengendalian AC secara non-invasif yang mampu menyesuaikan setpoint berdasarkan jumlah penghuni dan kondisi termal ruangan. Penelitian ini memberikan kontribusi melalui integrasi ESP32-CAM sebagai perangkat akuisisi citra, YOLOv5 Nano pada server lokal sebagai pengolah dan penghitung okupansi, MQTT sebagai media komunikasi data, ESP32 sebagai pengendali, serta pemancar IR sebagai antarmuka kendali AC. Selain penyesuaian setpoint berdasarkan tingkat okupansi, penelitian ini menerapkan mekanisme transient setpoint adjustment dengan memanfaatkan umpan balik suhu DHT22 untuk meningkatkan respons pengendalian terhadap kondisi termal awal ruangan. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian terletak pada perancangan dan implementasi arsitektur kendali AC adaptif yang mengintegrasikan informasi okupansi visual dan umpan balik suhu tanpa melakukan modifikasi internal pada unit AC.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini merancang sistem kendali AC otomatis yang mengintegrasikan akuisisi citra menggunakan ESP32-CAM, inferensi deteksi objek YOLOv5 Nano pada server lokal, serta transmisi data melalui MQTT. Pengendalian AC dilakukan secara non-invasif menggunakan pemancar inframerah dengan umpan balik suhu dari sensor DHT22 dan mekanisme transient setpoint adjustment. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keberhasilan deteksi okupansi, akurasi pembacaan suhu, serta kemampuan sistem dalam merespons perubahan kondisi okupansi dan suhu ruangan melalui pengendalian setpoint AC secara otomatis. METODE PENELITIAN

A. Metode

1. Gambaran Umum dan Topologi Jaringan

Sistem dirancang mengadopsi arsitektur *client-server* dengan topologi *star* berbasis jaringan nirkabel (Wi-Fi lokal). Seluruh perangkat terhubung melalui sebuah *router* pusat. Arsitektur topologi jaringan ditunjukkan pada Gambar 1.

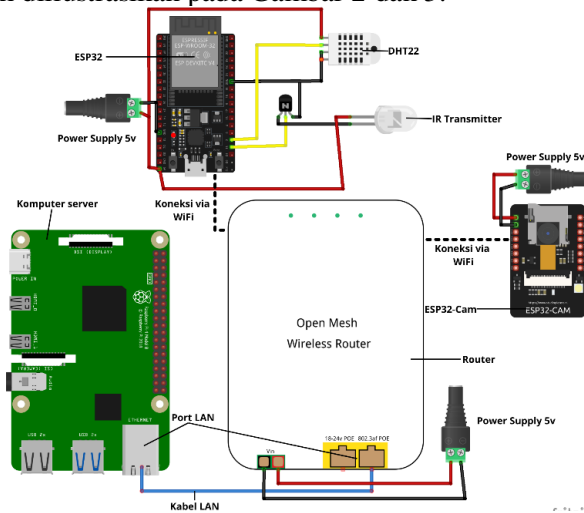


Gambar 1. Topologi Jaringan Sistem Kendali AC Adaptif

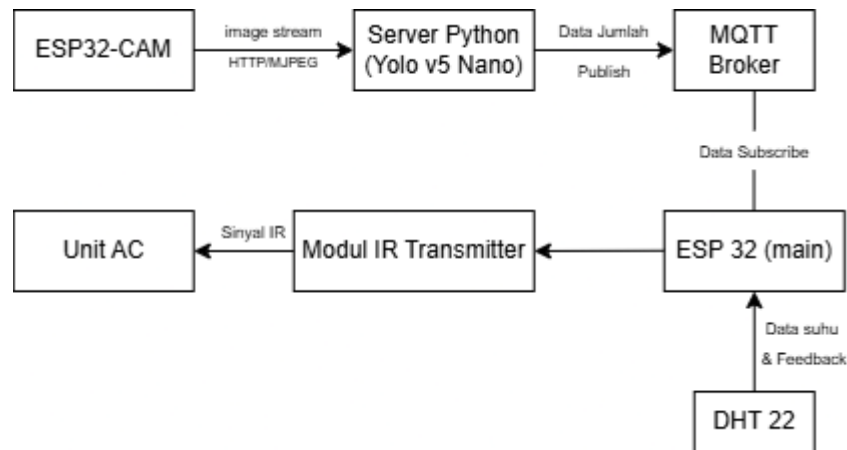
- 1) **ESP32-CAM**: Berfungsi sebagai node akuisisi visual yang menangkap citra ruangan secara *real-time* dan mengirimkan aliran citra (*image stream*) ke server.
- 2) **Server Python**: Menjalankan algoritma deteksi objek YOLOv5 Nano untuk mendeteksi keberadaan dan menghitung jumlah manusia di dalam ruangan.
- 3) **MQTT Broker (Mosquitto)**: Bertindak sebagai perantara komunikasi data lokal. Server mempublikasikan (*publish*) data jumlah orang pada topik deteksi/jumlah_orang.
- 4) **Mikrokontroler ESP32**: Berlangganan (*subscribe*) pada topik MQTT, membaca data umpan balik suhu dari sensor DHT22, mengeksekusi logika kendali sekuensial, dan memancarkan kode sinyal inframerah (IR) ke unit AC.

2. Perancangan Perangkat Keras dan Skematik

Perangkat keras dibangun dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22 pada pin GPIO, serta pemancar IR Transmitter pada pin D4. Modul dipasang oleh *power supply* 5V DC. Skema alur data dan sinyal sistem secara menyeluruh diilustrasikan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Skematik Rangkaian



Gambar 3. Aliran data dan sinyal sistem

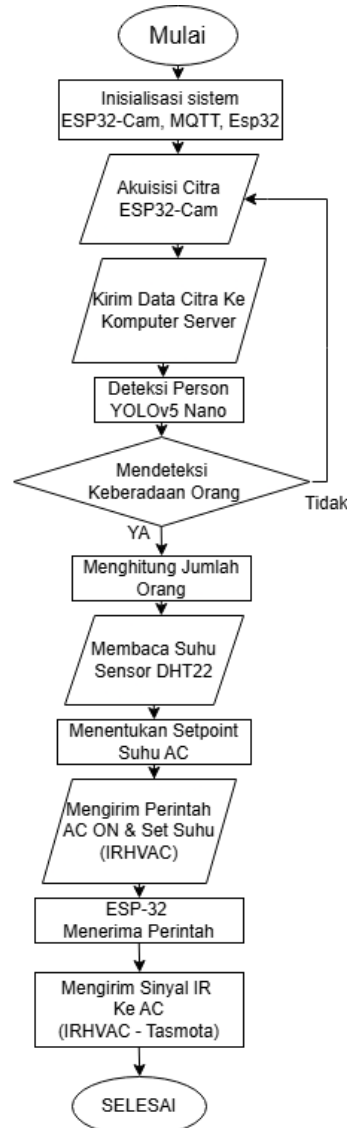
3. Logika Kendali dan Strategi Penyesuaian Setpoint

Strategi penentuan setpoint dirancang menggunakan pendekatan rule-based control dengan jumlah penghuni sebagai variabel masukan utama. Nilai setpoint ditetapkan berdasarkan rentang okupansi yang telah ditentukan pada rancangan sistem. Aturan kendali yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 1) Jika jumlah orang = 0, maka unit AC dimatikan (OFF)
- 2) Jika jumlah orang = 1–3 orang, *setpoint* diatur pada 25°C
- 3) Jika jumlah orang = 4–6 orang, *setpoint* diatur pada 23°C
- 4) Jika jumlah orang = 7–10 orang, *setpoint* diatur pada 21°C
- 5) Jika jumlah orang > 10 orang, *setpoint* diatur pada 19°C

Guna meningkatkan responsivitas termal, diterapkan mekanisme *transient setpoint adjustment*. Apabila terdapat selisih suhu aktual (T_{aktual}) yang jauh lebih tinggi daripada suhu target (T_{target}) (misalnya $T_{\text{aktual}} \geq 29^{\circ}\text{C}$ dan $T_{\text{target}} = 25^{\circ}\text{C}$), sistem secara sementara akan menurunkan *setpoint* AC ke 18°C untuk mempercepat laju pendinginan awal (*initial cooling rate*). Setelah suhu ruangan mendekati toleransi $\pm 1^{\circ}\text{C}$ terhadap suhu target, *setpoint* dikembalikan secara bertahap ke nilai normal.

Alur kerja logika pengendalian sistem digambarkan melalui diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Pengendalian Suhu AC Otomatis

4. Formula Evaluasi Persentase Error

Akurasi pengukuran sensor diuji dengan membandingkan nilai sensor terhadap termometer referensi bersertifikasi, menggunakan perhitungan persentase error Persamaan (1) :

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Referensi}}{\text{Nilai Referensi}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Realisasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Realisasi fisik sistem berupa modul *transceiver* cerdas yang dikemas dalam wadah cetak 3D. Perangkat lunak server dikembangkan dengan Python 3.9 memanfaatkan pustaka PyTorch untuk inferensi model YOLOv5 Nano. Transmisi data MQTT diproses oleh Mosquitto broker, sedangkan mikrokontroler ESP32 diprogram menggunakan bahasa C++ pada lingkungan Arduino IDE.

2. Pengujian Sensor Suhu DHT22

Pengujian sensor DHT22 dilakukan untuk mengevaluasi akurasi umpan balik termal ruangan. Hasil komparasi pembacaan suhu DHT22 terhadap termometer referensi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi Sensor Suhu DHT22

No	Pembacaan DHT22 (°C)	Termometer Referensi (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1	29,9	30,0	0,1	0,33
2	25,3	25,0	0,3	1,20
3	24,6	24,5	0,1	0,41
4	21,9	21,0	0,9	4,29

Berdasarkan data pada Tabel 1, rata-rata error pembacaan sensor DHT22 terhadap termometer referensi adalah sebesar 1,56%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor DHT22 memiliki perbedaan pembacaan yang relatif kecil terhadap alat referensi pada kondisi pengujian. Dengan tingkat error tersebut, sensor DHT22 dinilai layak digunakan sebagai parameter umpan balik suhu pada sistem kendali AC dalam kondisi pengujian yang dilakukan.

3. Pengujian Deteksi Okupansi YOLOv5 Nano

Pengujian deteksi jumlah orang dilakukan dengan memvariasikan tingkat okupansi ruangan dari 2 hingga 8 orang. Hasil pengujian model YOLOv5 Nano disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Penghitungan Okupansi Menggunakan YOLOv5 Nano

No	Jumlah orang sebenarnya	Jumlah orang terdeteksi	Selisih	Error (%)
1	2	2	0	0
2	4	4	0	0
3	6	6	0	0
4	8	8	0	0

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pada empat skenario okupansi yang diuji, yaitu 2, 4, 6, dan 8 orang, jumlah orang yang terdeteksi oleh YOLOv5 Nano sesuai dengan jumlah orang aktual. Dengan demikian, sistem memperoleh tingkat keberhasilan penghitungan okupansi sebesar 100% pada seluruh skenario pengujian yang dilakukan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model mampu melakukan penghitungan jumlah penghuni secara tepat pada kondisi lingkungan dan skenario pengujian yang digunakan. Nilai tersebut tidak dimaksudkan untuk merepresentasikan akurasi model pada seluruh kondisi lingkungan, melainkan menunjukkan kinerja model pada skenario pengujian penelitian ini.

4. Pengujian Kendali Terintegrasi Sistem AC

Pengujian fungsi kendali terintegrasi dilakukan untuk menguji keberhasilan eksekusi perubahan *setpoint* AC berdasarkan kondisi okupansi dan suhu lingkungan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

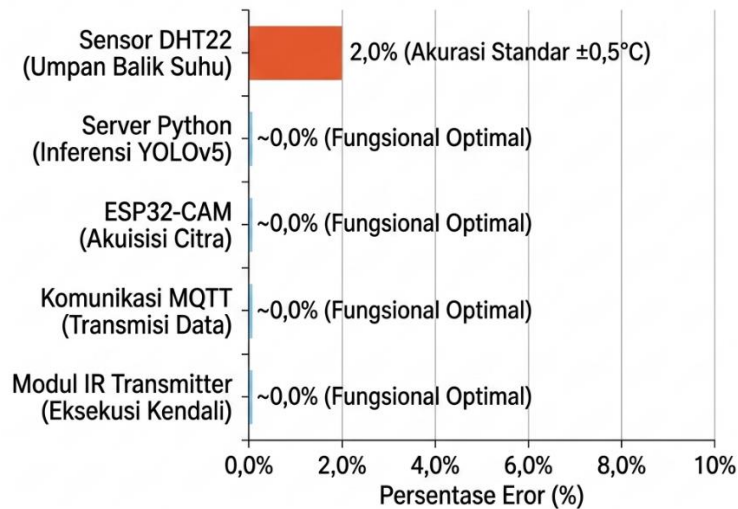
No	Jumlah orang	Suhu Awal (°C)	Setpoint Target (°C)	Suhu Akhir Ruangan (°C)
1	2 orang	30,0	25,0	25,4
2	6 orang	26,0	23,0	23,2

Hasil pengujian pada Tabel 3 menunjukkan bahwa sistem mampu menerapkan perubahan *setpoint* AC berdasarkan jumlah penghuni dan kondisi suhu awal ruangan. Pada percobaan dengan 2 orang, suhu awal sebesar 30,0 °C dikendalikan menuju *setpoint* 25,0 °C dan menghasilkan suhu akhir sebesar 25,4 °C. Sementara itu, pada percobaan dengan 6 orang, sistem menerapkan *setpoint* 23,0 °C dari suhu awal 26,0 °C dan menghasilkan suhu akhir sebesar 23,2 °C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan *setpoint* yang

ditentukan berdasarkan tingkat okupansi dapat dieksekusi oleh sistem kendali dan menghasilkan kondisi suhu akhir yang mendekati nilai target pada skenario pengujian.

5. Analisis Kinerja dan Tingkat Error Fungsional

Analisis kinerja fungsional seluruh modul dilakukan untuk memastikan keandalan sistem dalam jangka panjang. Grafik persentase error fungsional sistem ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Analisis Tingkat Error Fungsional Sistem

Gambar 5 menegaskan bahwa sub-sistem utama seperti transmisi MQTT, inferensi YOLOv5 Nano, akuisisi citra ESP32-CAM, dan modul IR transmitter memiliki tingkat error fungsional mendekati 0%. Error sekecil 2,0% hanya ditemukan pada batas toleransi fisik sensor suhu DHT22, yang tidak mengganggu kestabilan kendali AC secara keseluruhan.

III. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem kendali AC otomatis berbasis *computer vision* dan MQTT, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut :

1. Sistem otomasi kendali AC berbasis IoT dan pemrosesan citra telah berhasil dirancang dan diimplementasikan secara terintegrasi menggunakan ESP32, ESP32-CAM, sensor DHT22, serta pemancar inframerah.
2. Pada skenario pengujian dengan tingkat okupansi 2, 4, 6, dan 8 orang, YOLOv5 Nano berhasil menghitung jumlah penghuni sesuai kondisi aktual pada seluruh pengujian sehingga diperoleh tingkat keberhasilan penghitungan sebesar 100%. Hasil tersebut berlaku pada kondisi dan skenario pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.
3. Sensor suhu DHT22 memiliki rata-rata error pengukuran sebesar 1,56% terhadap termometer referensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa DHT22 layak digunakan sebagai parameter umpan balik suhu pada sistem kendali AC dalam kondisi pengujian yang dilakukan.
4. Strategi kendali adaptif berbasis aturan yang dikombinasikan dengan mekanisme transient setpoint adjustment berhasil mengatur setpoint AC secara otomatis berdasarkan tingkat okupansi dan kondisi suhu ruangan. Pengendalian dilakukan secara non-invasif melalui pemancar inframerah tanpa memerlukan modifikasi terhadap perangkat keras internal unit AC.

IV. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Elsis, M. Tran, K. Mahmoud, M. Lehtonen, and M. M. F. Darwish, "Towards Effective Energy Management for Smart Buildings," *Sensors*, vol. 21, no. 4, p. 1038, 2021.
- [2] I. T. Utomo, M. N. Firdaus, S. Adinandra, and S. Murnani, "An Intelligent System for Light and Air Conditioner Control Using YOLOv8," *J. Innov. Inf. Technol. Appl.*, vol. 6, no. 2, pp. 141–152, 2024.
- [3] J. H. Ham, B. S. Kim, I. W. Bae, and J. Joe, "Occupant-Detection-Based Individual Control of Four-Way Air Conditioner for Sustainable Building Energy Management," *Sustainability*, vol. 16, no. 17, p. 7404, 2024.
- [4] B. M. Mohammad El-Basioni, "A conceptual modeling approach of MQTT for IoT-based systems," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 11, no. 1, p. 18, 2024.
- [5] T. Akhtar, S. Khatoon, and A. Mahmood, "Occupancy Detection for HVAC Systems Using IoT Edge Computing and Vision-Based Image Processing," in *Proc. 2024 IEEE/ACM 17th Int. Conf. Util. Cloud Comput. (UCC)*, 2024, pp. 477–482.
- [6] R. Alfarizi and M. Basri, "Pengembangan Sistem Control Dan Monitoring Air Conditioner Otomatis Berbasis Sensor DHT 22 Dan Internet of Things (IoT)," *J. Ilmu Komput.*, vol. 12, no. 1, pp. 12–20, 2026.
- [7] A. Maulana, "Design And Build Smart Remotes For IoT Based Air Conditioners," *J. Impresi Indones.*, vol. 3, no. 11, pp. 871–887, 2024.
- [8] A. Herwandi, A. A. Ramadhan, N. T. Sunggono, and F. Ferawati, "Analisis Kinerja ESP32-CAM Dalam Mendeteksi Objek," *bit-Tech*, vol. 7, no. 3, pp. 1014–1021, 2025.
- [9] S. S. et al. / Review of vision-based occupant information sensing systems for occupant-centric control, *Building and Environment*, vol. 203, 108064, 2021.
- [10] Development of a testing and evaluation protocol for occupancy sensing technologies in building HVAC controls: A case study of representative people counting sensors, *Building and Environment*, vol. 208, 108610, 2022.
- [11] M. Esrafilian-Najafabadi and F. Haghighat, "Occupancy-based HVAC control systems in buildings: A state-of-the-art review," *Building and Environment*, vol. 197, 107810, 2021.
- [12] M. Kong, B. Dong, R. Zhang, and Z. O'Neill, "HVAC energy savings, thermal comfort and air quality for occupant-centric control through a side-by-side experimental study," *Applied Energy*, vol. 306, 117987, 2022.