

Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kendali HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) di Terminal Bandara Berbasis IoT

Ahmad Zaki¹, Akhmad Solikin²

1 Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

2 Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

*Penulis Korespondensi: aahmadzakii13@gmail.com

Abstract. Airport terminals are public facilities that must provide thermal comfort and good indoor air quality for passengers and staff. Manual management of the Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) system may result in inappropriate room temperatures, energy inefficiency, and suboptimal air quality monitoring. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based HVAC monitoring and control system to improve the effectiveness and efficiency of environmental management in airport terminals. The system employs a DHT22 sensor to measure temperature and humidity, an MQ-135 sensor to monitor air quality, an ESP32 microcontroller for data processing, and the MIT App Inventor application as the user interface. The system is capable of real-time monitoring and both automatic and remote control of HVAC equipment. The test results indicate a 100% success rate for data transmission and control operations, with an average data update time of 2.17 seconds and an average control response time of 1.23 seconds. The air conditioner is automatically activated when the temperature exceeds 27°C, while the exhaust fan operates when the air quality exceeds 150 ppm. The system successfully maintains the room temperature within the range of 26.2–26.99°C, meeting the thermal comfort standards for airport terminals. These results demonstrate that the proposed IoT-based HVAC system effectively supports the implementation of the Smart Airport concept.

Keywords: HVAC; Internet of Things (IoT); ESP32; Smart Airport; DHT22; MQ-135

Abstrak. Terminal bandara merupakan fasilitas publik yang harus memberikan kenyamanan termal dan kualitas udara yang baik bagi penumpang maupun petugas. Pengelolaan sistem Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) secara manual berpotensi menyebabkan ketidaksesuaian suhu, pemborosan energi, dan kurang optimalnya pemantauan kualitas udara. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kendali HVAC berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan lingkungan terminal bandara. Sistem menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, sensor MQ-135 untuk memantau kualitas udara, mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data, serta aplikasi MIT App Inventor sebagai antarmuka pengguna. Sistem mampu melakukan monitoring secara real-time serta pengendalian HVAC secara otomatis maupun jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan keberhasilan pengiriman data dan kendali sebesar 100%, dengan rata-rata waktu pembaruan data 2,17 detik dan waktu respons kendali 1,23 detik. AC aktif otomatis saat suhu melebihi 27°C, sedangkan exhaust fan bekerja ketika kualitas udara melebihi 150 ppm. Sistem mampu menjaga suhu ruangan pada kisaran 26,2–26,99°C sesuai standar kenyamanan terminal bandara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem HVAC berbasis IoT dapat mendukung penerapan konsep Smart Airport secara efektif dan efisien..

Kata kunci: HVAC; Internet of Things (IoT); ESP32; Smart Airport; DHT22; MQ-135

1. LATAR BELAKANG

Terminal bandara merupakan fasilitas publik yang harus memberikan kenyamanan bagi penumpang dan petugas, salah satunya melalui pengaturan suhu dan kualitas udara yang baik. Oleh karena itu, sistem Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC)

memiliki peran penting dalam menjaga kenyamanan termal serta kualitas lingkungan di dalam terminal bandara.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 41 Tahun 2023 tentang Pelayanan Jasa Kebandarudaraan di Bandar Udara, suhu ruangan pada area pelayanan penumpang, seperti area check-in dan ruang tunggu, diatur tidak kurang dari 25°C untuk menjaga kenyamanan dan kesehatan pengguna jasa bandara. Namun, pengoperasian HVAC di beberapa terminal bandara masih dilakukan secara manual sehingga pemantauan kondisi ruangan belum optimal. Kondisi tersebut dapat menyebabkan suhu tidak sesuai standar, pemborosan energi, serta kualitas udara yang kurang terpantau.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan sistem HVAC dipantau dan dikendalikan secara real-time. Dengan memanfaatkan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, sensor MQ-135 untuk memantau kualitas udara, serta mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data, sistem dapat melakukan monitoring dan pengendalian HVAC secara otomatis maupun jarak jauh. Penerapan teknologi ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi sekaligus menjaga kenyamanan lingkungan terminal bandara.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kendali HVAC berbasis IoT di terminal bandara sebagai upaya meningkatkan efektivitas pengelolaan lingkungan dalam ruangan serta mendukung penerapan konsep Smart Airport.

Dalam tugas akhir ini penulis merancang sebuah sistem monitoring otomatis pada kondisi terminal bandara yang berjudul “RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN KENDALI HVAC (HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING) DI TERMINAL BANDARA BERBASIS IoT”.

2. METODE PENELITIAN

Rancangan Produk

Perencanaan alat dimulai pada tahun 2026 bulan Maret mulai dari desain rancangan, perolehan bahan serta pembuatan juga run – up alat peraga. Sehingga bisa didapatkan

hasil yang maksimal dan tidak mengecewakan, Pada tahapan ini digambarkan sebuah blok diagram penelitian pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alur Rancangan Penelitian

Blok Diagram Sistem

Sebelum merancang suatu sistem, terlebih dahulu membuat blok diagram. Blok diagram merupakan salah satu cara sederhana untuk menjelaskan cara kerja dari suatu sistem. Blok diagram sistem ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Blok Diagram Sistem

Penjelasan Diagram pada Gambar 10 sebagai berikut:

1. Sensor Suhu / kelembapan digunakan untuk memantau kondisi ruangan bandara;
2. Mikrokontroler NodeMCU ESP32 mengolah data dari sensor dan mengirimkannya ke cloud;
3. Modul WiFi sudah terintegrasi dalam NodeMCU, digunakan untuk koneksi internet;
4. Platform IoT (Blynk) untuk pemantauan dan kendali dari jarak jauh melalui android;
5. Relay untuk memutus dan menghubungkan tegangan.

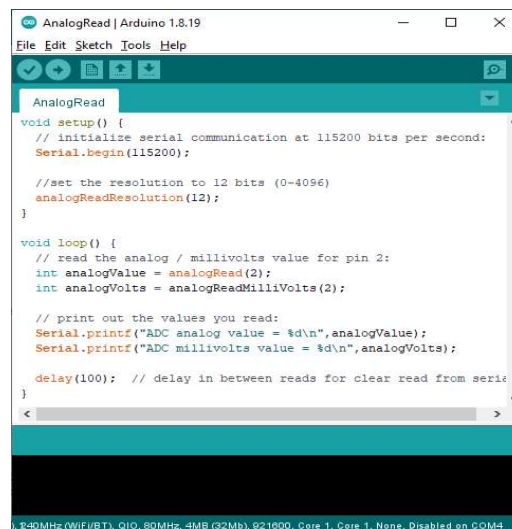
Perancangan Software

Di dalam perancangan software dibagi menjadi tiga bagian yaitu perancangan software yang digunakan untuk memprogram ESP32, perancangan aplikasi android, dan flowchart. Untuk merancang program dan menulis data pada ESP32 digunakan software utama yaitu Arduino 1.8.19, sedangkan untuk pembuatan aplikasi android menggunakan MIT App Inventor.

Software Arduino Uno

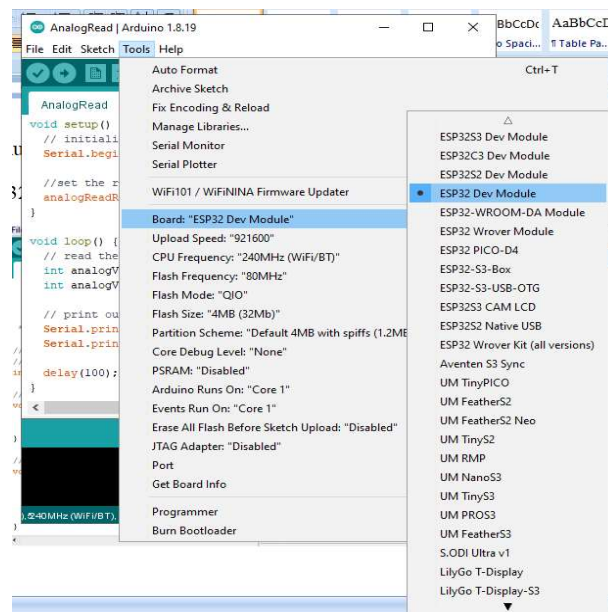
Arduino 1.8.19 adalah software yang digunakan untuk memprogram ESP32 pada komputer. Berikut adalah cara menginstal dan menggunakan software Arduino 1.8.19:

1. Sediakan board ESP32 dan kabel penghubung antara ESP32 dan komputer;
2. Download file Arduino <http://Arduino.cc/en/Main/Software>. Setelah download selesai; ekstrak file yang telah di-download tadi. Pastikan tidak merubah struktur folder. Klik dua kali pada folder untuk membukanya. Terdapat beberapa file dan sub-folder di dalamnya;
3. Hubungkan board ESP32 dengan komputer menggunakan kabel USB;
4. Untuk menginstal driver Arduino, klik kanan pada Computer – Properties – Device Manager – Other Device;
5. Kemudian klik 2 kali pada aplikasi Arduino 1.8.19.exe. Tampilan seperti terlihat pada Gambar 11;



Gambar 11. Tampilan Arduino IDE

6. Kemudian pilih opsi pada menu Tools – Board kemudian pilih ESP32, dapat dilihat pada Gambar 12.

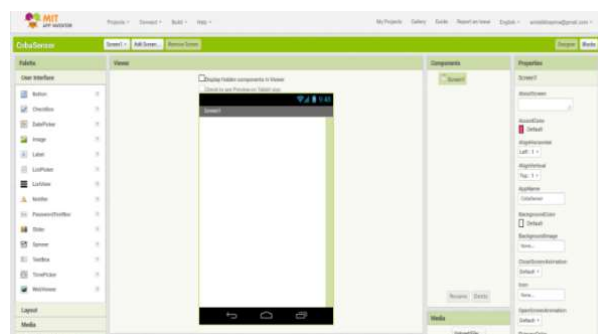


Gambar 12. Pemilihan Board ESP32

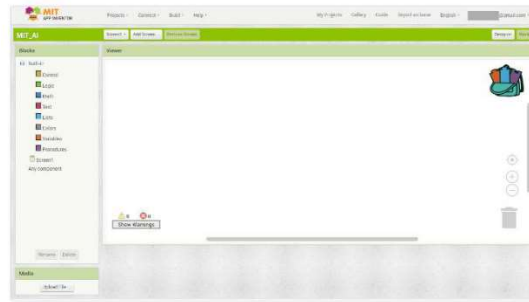
MIT App Inventor

MIT App Inventor merupakan platform untuk memudahkan proses pembuatan aplikasi sederhana tanpa harus mempelajari atau menggunakan bahasa pemrograman yang terlalu banyak. Kita dapat mendesain aplikasi android sesuai keinginan dengan menggunakan berbagai macam layout dan komponen yang tersedia.

Pada MIT App Inventor terdapat dua halaman utama, yaitu halaman designer dan halaman blocks. Halaman designer digunakan untuk mendesain tampilan aplikasi dengan berbagai komponen dan layout yang disediakan sesuai dengan keinginan. Sedangkan halaman blocks digunakan untuk memprogram jalannya aplikasi android sesuai dengan tujuan ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Halaman Designer MIT App Inventor



Gambar 14. Halaman Blocks MIT App Inventor

Uji Produk

Pengujian adalah suatu proses yang dilakukan untuk memastikan bahwa alat yang dibuat mampu bekerja sesuai dengan baik. Pengujian yang akan dilakukan diantaranya sebagai berikut:

Tabel 1. Pengujian Kinerja Sistem Monitoring Berbasis MIT App Inventor

No.	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Kualitas Udara (PPM)	Data Tampil di MIT APP	Waktu Update (Detik)	Status
-----	--------------	---------------------	----------------------------	------------------------------	----------------------------	--------

Tabel 2. Pengujian Sistem Kendali HVAC

No.	Suhu (°C)	MQ-135 (PPM)	Status AC	Status Exhaust Fan	Kendali MIT APP	Waktu Respons (Detik)	Status
-----	--------------	-----------------	--------------	--------------------------	--------------------	-----------------------------	--------

Tabel 3. Pengujian Kinerja Sistem HVAC

No.	Suhu Awal (°C)	Suhu Setelah Kendali (°C)	Waktu Stabilisasi (menit)	Standar Tercapai
-----	-------------------	------------------------------	------------------------------	---------------------

Variabel dan Definisi Operasional Variabel

Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang menyebabkan atau mempengaruhi, yaitu faktor-faktor yang diukur, dimanipulasi atau dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diobservasi atau diamati. Pada penelitian ini variabel bebas antara lain:

1. Suhu udara ($^{\circ}\text{C}$) yang diukur menggunakan sensor DHT22;
2. Kelembapan udara (%RH) yang diukur menggunakan sensor DHT22;
3. Kualitas udara (ppm) yang diukur menggunakan sensor MQ-135.

Variabel Terkait

Variabel terkait adalah faktor-faktor yang diobservasi dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh variabel bebas, yaitu faktor yang muncul, atau tidak muncul, atau berubah sesuai dengan yang diperkenalkan oleh peneliti. Pada penelitian ini variabel terkait antara lain:

1. Status kerja HVAC (ON/OFF);
2. Waktu respons sistem (detik);

Kemampuan sistem menjaga suhu ruangan sesuai standar kenyamanan terminal bandara ($24\text{--}27^{\circ}\text{C}$).

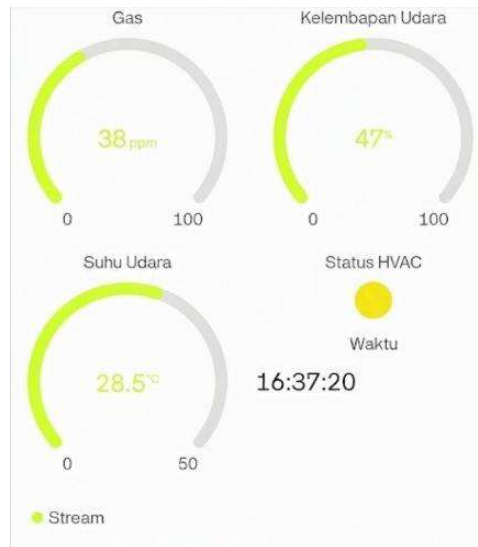
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Evaluasi Produk

Hasil dan evaluasi produk bertujuan untuk menilai sejauh mana produk ini memenuhi standar fungsional dan kinerjanya. Proses ini akan mengevaluasi apakah produk tersebut sudah siap digunakan sesuai dengan kebutuhan atau masih memerlukan perbaikan lebih lanjut. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa penyajian data pada alat tersebut dapat dilakukan secara optimal dan efektif, sehingga produk ini dapat berfungsi dengan baik dan memenuhi harapan pengguna.

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, sistem mampu melakukan monitoring terhadap parameter lingkungan berupa suhu udara, kelembapan udara, dan kualitas udara. Data hasil pembacaan sensor berhasil diproses oleh ESP32 dan dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju aplikasi MIT App Inventor. Hal ini dibuktikan dengan keberhasilan aplikasi dalam menampilkan data hasil pembacaan sensor secara real-time. Tampilan antarmuka aplikasi yang ditunjukkan pada Gambar 15 memperlihatkan nilai kualitas udara sebesar 38 ppm, kelembapan udara sebesar 47%RH, dan suhu udara sebesar $28,5^{\circ}\text{C}$. Selain itu, aplikasi juga menampilkan indikator status

HVAC dan waktu pembacaan data sebagai informasi pendukung dalam proses monitoring. Ditampilkan pada Gambar 15 tentang kendali HVAC.



Gambar 15. Tampilan Monitoring dan Kendali HVAC pada MIT App Inventor

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa integrasi antara sensor, ESP32, dan aplikasi MIT App Inventor telah berjalan dengan baik. Sistem monitoring mampu menampilkan seluruh parameter lingkungan dengan tingkat keberhasilan yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai media pemantauan kondisi terminal bandara secara efektif. Dari sisi kendali, sistem juga mampu mengoperasikan perangkat HVAC secara otomatis berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan. AC akan aktif ketika suhu ruangan melebihi batas kenyamanan yang ditetapkan, sedangkan exhaust fan akan menyala ketika kualitas udara berada di atas batas yang telah diprogram. Selain itu, pengguna juga dapat melakukan pengendalian secara manual melalui aplikasi MIT App Inventor dengan waktu respons yang relatif cepat.

Penggunaan aplikasi MIT App Inventor sebagai antarmuka pengguna memberikan beberapa keunggulan, seperti kemudahan akses, tampilan yang sederhana, serta kemampuan untuk melakukan monitoring dan kendali dari jarak jauh. Indikator berbentuk gauge yang digunakan pada aplikasi memudahkan pengguna dalam memahami kondisi lingkungan secara visual. Dengan adanya fitur tersebut, petugas dapat mengambil tindakan secara cepat apabila terjadi perubahan kondisi lingkungan yang memerlukan penyesuaian terhadap pengoperasian HVAC. Namun demikian, sistem yang

dikembangkan masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti belum tersedianya fitur penyimpanan data historis, grafik tren pengukuran, serta notifikasi otomatis ketika parameter lingkungan berada di luar batas standar yang telah ditentukan.

Secara keseluruhan, sistem monitoring dan kendali HVAC berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini telah mampu memenuhi tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Sistem dapat melakukan monitoring kondisi lingkungan secara real-time, mengendalikan perangkat HVAC secara otomatis maupun jarak jauh, serta mendukung upaya menjaga kenyamanan termal penumpang di terminal bandara. Oleh karena itu, sistem ini dinilai layak untuk digunakan sebagai prototipe pendukung implementasi konsep Smart Airport, khususnya dalam pengelolaan HVAC yang lebih efisien, responsif, dan berbasis data.

Pengujian Sistem Monitoring Suhu, Kelembapan, dan Kualitas Udara

Pengujian sistem monitoring dilakukan untuk menjawab rumusan masalah pertama, yaitu bagaimana merancang dan membangun sistem monitoring suhu, kelembapan, dan kualitas udara pada terminal bandara berbasis Internet of Things (IoT). Sistem yang dikembangkan terdiri atas sensor DHT22 sebagai pendeteksi suhu dan kelembapan, sensor MQ-135 sebagai pendeteksi kualitas udara, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data, serta aplikasi MIT App Inventor sebagai media monitoring secara real-time.

Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membaca data dari sensor dan menampilkan hasil pengukuran pada aplikasi MIT App Inventor. Parameter yang diamati meliputi nilai suhu, kelembapan, kualitas udara, waktu pembaruan data pada aplikasi, serta keberhasilan proses pengiriman data. Sistem dikatakan bekerja dengan baik apabila seluruh data sensor dapat ditampilkan pada aplikasi tanpa mengalami kegagalan komunikasi.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Monitoring Berbasis MIT App Inventor

No.	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Kualitas Udara (PPM)	Data Tampil	Waktu Update (Detik)	Status
-----	--------------	---------------------	----------------------------	----------------	----------------------------	--------

				di MIT APP		
1	24,8	68,2	115	Ya	2,1	Berhasil
2	25,1	68,5	121	Ya	2,0	Berhasil
3	25,5	67,9	128	Ya	2,3	Berhasil
4	26,0	68,7	136	Ya	2,2	Berhasil
5	26,4	69,0	142	Ya	2,0	Berhasil
6	26,8	68,3	148	Ya	2,1	Berhasil
7	27,2	68,8	154	Ya	2,4	Berhasil
8	27,5	67,6	160	Ya	2,2	Berhasil
9	27,8	68,1	166	Ya	2,3	Berhasil
10	28,0	68,4	172	Ya	2,1	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, seluruh data hasil pembacaan sensor berhasil ditampilkan pada aplikasi MIT App Inventor dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Suhu yang terukur berada pada rentang 24,8°C hingga 28,0°C, sedangkan kelembapan udara berada pada rentang 67,6%RH hingga 69,0%RH. Sementara itu, nilai kualitas udara yang dideteksi sensor MQ-135 berkisar antara 115 ppm hingga 172 ppm.

Waktu pembaruan data pada aplikasi berkisar antara 2,0 hingga 2,4 detik, dengan rata-rata sebesar 2,17 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komunikasi data antara ESP32 dan aplikasi MIT App Inventor berjalan dengan baik. Dengan demikian, sistem monitoring yang dikembangkan telah mampu melakukan pemantauan kondisi lingkungan terminal secara real-time sehingga dapat mendukung pengelolaan HVAC yang lebih efektif dan berbasis data.

Pengujian Sistem Kendali HVAC Secara Otomatis dan Jarak Jauh

Pengujian sistem kendali dilakukan untuk menjawab rumusan masalah kedua, yaitu bagaimana sistem kendali HVAC dapat diimplementasikan secara otomatis dan jarak jauh berdasarkan data sensor DHT22 dan MQ-135 menggunakan mikrokontroler ESP32.

Sistem dirancang agar mampu mengendalikan perangkat HVAC melalui dua metode, yaitu kendali otomatis berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan serta kendali manual menggunakan aplikasi MIT App Inventor.

Pada pengujian ini, AC akan aktif apabila suhu ruangan melebihi 27°C dan akan mati ketika suhu berada pada kondisi normal. Exhaust fan akan aktif apabila nilai kualitas udara melebihi 150 ppm. Selain itu, pengguna juga dapat mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat melalui aplikasi. Parameter yang diamati meliputi status aktuator, keberhasilan perintah kendali, serta waktu respons sistem.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sistem Kendali HVAC

No.	Suhu (°C)	MQ-135 (PPM)	Status AC	Status Exhaust Fan	Kendali MIT APP	Waktu Respons (Detik)	Status
1	24,8	115	OFF	OFF	Berhasil	1,3	Berhasil
2	25,5	121	OFF	OFF	Berhasil	1,2	Berhasil
3	26,4	148	OFF	OFF	Berhasil	1,4	Berhasil
4	27,2	145	ON	OFF	Berhasil	1,2	Berhasil
5	27,6	152	ON	ON	Berhasil	1,1	Berhasil
6	28,0	160	ON	ON	Berhasil	1,3	Berhasil
7	26,7	165	OFF	ON	Berhasil	1,2	Berhasil
8	24,9	149	OFF	OFF	Berhasil	1,1	Berhasil
9	27,4	168	ON	ON	Berhasil	1,2	Berhasil
10	25,0	135	OFF	OFF	Berhasil	1,3	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5, sistem kendali HVAC mampu bekerja sesuai dengan logika yang telah diprogram pada ESP32. AC berhasil menyala ketika suhu melebihi batas yang telah ditentukan, sedangkan exhaust fan berhasil diaktifkan ketika kualitas udara berada pada kondisi yang kurang baik.

Seluruh proses kendali melalui aplikasi MIT App Inventor juga menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Waktu respons sistem berada pada rentang 1,1 hingga 1,4 detik, dengan rata-rata 1,23 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan yang baik dalam melakukan kendali otomatis maupun kendali jarak jauh. Dengan demikian, sistem yang dirancang telah memenuhi kebutuhan implementasi konsep Smart Airport dalam aspek pengelolaan HVAC yang cerdas dan terintegrasi.

Hasil Pengujian Kinerja Sistem HVAC

Pengujian kinerja sistem dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem HVAC dalam mempertahankan suhu ruangan sesuai standar kenyamanan penumpang di terminal bandara. Berdasarkan standar pelayanan terminal bandara, suhu ruangan yang nyaman berada pada rentang 24°C hingga 27°C.

Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi suhu awal yang berada di atas batas kenyamanan, kemudian diamati perubahan suhu setelah sistem kendali HVAC bekerja. Dilihat pada Tabel 6 tentang hasil pengujian kinerja sistem HVAC.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kinerja Sistem HVAC

No.	Suhu Awal (°C)	Suhu Setelah Kendali (°C)	Waktu Stabilisasi (menit)	Standar Tercapai
1	28.5	26.8	8	Ya
2	29.0	26.9	10	Ya
3	28.2	26.5	7	Ya
4	27.9	26.3	6	Ya
5	28,8	26.7	9	Ya
6	29,2	26.8	11	Ya
7	28,4	26.4	8	Ya
8	27,8	26.2	6	Ya

9	28,6	26.6	9	Ya
10	29,1	26.9	10	Ya

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem HVAC mampu menurunkan suhu ruangan hingga berada pada rentang suhu yang memenuhi standar kenyamanan terminal bandara. Dari 10 kali pengujian yang dilakukan, seluruh data menunjukkan status "Standar Tercapai", sehingga tingkat keberhasilan sistem mencapai 100%.

Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi suhu yang stabil berkisar antara 6 hingga 11 menit, dengan rata-rata sekitar 8,4 menit. Perbedaan waktu stabilisasi dipengaruhi oleh besarnya suhu awal ruangan serta kapasitas pendinginan yang digunakan. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki kinerja yang baik dalam menjaga kenyamanan termal penumpang. Selain meningkatkan kenyamanan, pengoperasian HVAC yang berbasis data juga berpotensi mendukung efisiensi energi dalam implementasi konsep Smart Airport.

Perbandingan

Penelitian yang dilakukan oleh Amri et al. (2026) berjudul IoT-Based Smart Energy Management System for Air-Conditioning Energy Efficiency in Mosques mengembangkan sistem manajemen energi berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi penggunaan AC di lingkungan masjid. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 dan infrared (IR) transmitter untuk mengendalikan AC tanpa mengubah instalasi listrik yang telah ada. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mode pengendalian otomatis mampu menghemat konsumsi energi hingga 23,7% dibandingkan pengoperasian manual.

Perbedaan dengan penelitian ini terletak pada fokus sistem yang dikembangkan. Penelitian Amri et al. (2026) berfokus pada efisiensi energi AC, sedangkan penelitian ini mengintegrasikan fungsi monitoring suhu, kelembapan, dan kualitas udara secara real-time serta kendali HVAC secara otomatis maupun jarak jauh menggunakan ESP32 dan aplikasi MIT App Inventor. Selain itu, penelitian ini diterapkan pada terminal bandara sebagai bagian dari implementasi konsep Smart Airport.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem monitoring dan kendali HVAC di Terminal Bandara berbasis IoT, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring suhu, kelembapan, dan kualitas udara pada terminal bandara berbasis IoT telah berhasil dirancang dan dibangun menggunakan sensor DHT22, sensor MQ-135, mikrokontroler ESP32, serta aplikasi MIT App Inventor sebagai antarmuka pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan kondisi lingkungan secara real-time dengan tingkat keberhasilan pengiriman dan penampilan data pada aplikasi sebesar 100%. Waktu pembaruan data yang diperoleh berkisar antara 2,0–2,4 detik dengan rata-rata 2,17 detik.
2. Sistem kendali HVAC berhasil diimplementasikan secara otomatis dan jarak jauh berdasarkan data yang diperoleh dari sensor DHT22 dan MQ-135. Sistem dapat mengaktifkan AC secara otomatis ketika suhu ruangan melebihi 27°C serta mengoperasikan exhaust fan ketika kualitas udara berada di atas 150 ppm. Selain itu, pengguna juga dapat melakukan pengendalian secara manual melalui aplikasi MIT App Inventor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi kendali berjalan dengan baik dengan tingkat keberhasilan 100% dan waktu respons rata-rata sebesar 1,23 detik.
3. Kinerja sistem HVAC dalam menjaga kenyamanan termal ruangan terminal bandara menunjukkan hasil yang baik. Sistem mampu menurunkan suhu ruangan dari kondisi awal 28,2°C–29,2°C menjadi 26,2°C–26,99°C, sehingga memenuhi standar kenyamanan terminal bandara sesuai ketentuan yang berlaku. Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi suhu stabil berkisar antara 6–11 menit dengan rata-rata 8,4 menit.
4. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat mendukung pengelolaan HVAC yang lebih efektif, efisien, dan berbasis data dalam implementasi konsep Smart Airport.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M., “Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,” IEEE, 2015.
- [2] S. Amri, R. Fajrul, & J. Custer, “IoT-Based Smart Energy Management System for Air-Conditioning Energy Efficiency in Mosques,” *Journal of Embedded Systems, Security and Intelligent Systems*, pp. 33–48, 2026.
- [3] K. Ashish & R. Singh, “Design and Implementation of Smart Airport Infrastructure Using Internet of Things,” *Sensors*, vol. 21, no. 18, pp. 1–20, 2021.
- [4] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers and Industrial Automation*. Oxford: Elsevier, 2015.
- [5] D. Fachrul Ramadhan, D. Satria, & R. Aisuwarya, “Rancang Bangun Implementasi Sistem Pencuci Tangan (Hand Washer) dan Pengereng Tangan (Hand Dryer) Otomatis,” *Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas, Padang*, 2013.
- [6] Hafizur Rizki & Wildian, “Rancang Bangun Sistem Wastafel Otomatis Berbasis Mikrokontroler ATmega8535 dengan Menggunakan Sensor Fotodioda,” *Jurusan Fisika, Fakultas FMIPA, Universitas Andalas, Padang*, 2015.
- [7] G. Haryadi, “Pencuci dan Pengereng Tangan Otomatis Berbasis Mikrokontroler ATmega8535,” *Jurusan Sistem Komputer, Universitas Gunadarma*, 2012.
- [8] International Civil Aviation Organization, *Aerodrome Design and Operations (Annex 14, Volume I, 8th ed.)*. Montreal, QC, Canada: ICAO, 2018.
- [9] L. Da Xu, W. He, & S. Li, “Internet of Things in Industries: A Survey,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 4, pp. 2233–2243, 2014.
- [10] J. Mada, *Belajar Pemrograman Mikrokontroler Arduino*, 2014.
- [11] *Pedoman Penulis Skripsi*, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Adi Buana, 2020.
- [12] A. Solikin & S. Rochman, “Artificial Intelligence System for Face Detection to Identify Passenger Identity at the Airport,” *Best: Journal of Applied Electrical, Science and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 11–16, 2025.
- [13] L. Wardhana, *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535: Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2006.
- [14] L. Zhang et al., “Intelligent Climate Control Using IoT and Cloud Integration,” *Sensors Journal*, 2021.