

IoT-Based Adaptive Room Temperature Monitoring and Energy Optimization System Using NodeMCU ESP8266

Sakti Aswandi ^{1*}, Rizal ^{2*}, Yesy Afrillia ^{3*}

* Teknik Informatika, Universitas Malikussaleh
rizal@unimal.ac.id

Article Info

Article history:

Received 2025-07-02

Revised 2025-08-10

Accepted 2025-08-18

Keyword:

*Temperatur Monitoring,
NodeMCU ESP8266,
Internet of Things,
AC Control,
Energy Efficiency.*

ABSTRACT

This study presents the development of an IoT-based room temperature monitoring and AC control system at the Faculty of Engineering, Universitas Malikussaleh, using NodeMCU ESP8266, DHT11 sensor, PIR sensor, and IR LED for real-time automation via a Firebase web interface. The system automatically adjusts AC operation based on room temperature and occupancy, with daily logic resets to accommodate dynamic conditions. Testing conducted over one week demonstrated effective temperature stabilization within 25–26°C with $\pm 2^\circ\text{C}$ fluctuations and significant energy savings by deactivating the AC when the temperature drops below 25°C or the room is unoccupied. The PIR sensor supports a detection range of up to 7 meters, allowing scalability for different room sizes. User evaluation involving five respondents reported satisfaction scores of 4.2 for comfort and energy efficiency, though aspects such as the web interface (3.6) and system information display (2.6) require improvement. Overall, the system effectively enhances energy efficiency, ensures room comfort, and provides flexible control for users, supporting the smart classroom concept. Future development is directed toward the use of more accurate sensors like DHT22 or DS18B20, improved network stability, and integration with virtual assistants for voice-controlled operation.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

I. PENDAHULUAN

Pengendalian suhu ruangan merupakan aspek penting dalam mendukung kenyamanan dan efektivitas proses belajar mengajar di lingkungan akademik. Suhu yang tidak stabil dapat mempengaruhi konsentrasi mahasiswa dan mempercepat kerusakan peralatan elektronik seperti komputer, proyektor, dan perangkat multimedia lainnya. Oleh karena itu, penggunaan Air Conditioner (AC) di ruang kelas menjadi kebutuhan utama untuk menjaga stabilitas suhu ruangan. Namun, pengoperasian AC secara manual seringkali menyebabkan inefisiensi energi. Banyak kasus di mana AC dibiarkan menyala dalam waktu lama meskipun suhu ruangan sudah cukup dingin atau ruangan dalam keadaan kosong. Hal ini menimbulkan pemborosan energi dan biaya listrik yang signifikan [1].

Penelitian ini memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT). Dengan penerapan IoT, berbagai sensor yang terhubung ke jaringan dapat ditempatkan di lokasi-lokasi

strategis dalam ruang data center guna mengumpulkan informasi suhu dan kelembapan secara langsung (*real-time*). Data yang diperoleh kemudian dapat diakses dan dianalisis melalui platform berbasis web, sehingga memudahkan pengelola data center untuk melakukan pemantauan jarak jauh dengan tingkat akurasi dan efisiensi yang lebih optimal [2]. Penelitian ini memusatkan perhatian pada pengembangan sistem pemantauan suhu dan kelembapan ruang server secara langsung (*real-time*) dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) menggunakan modul NodeMCU ESP8266 dan sensor DHT11 [3].

Penggunaan perangkat pendingin ruangan seperti Air Conditioner (AC) dalam lingkungan akademik semakin meningkat seiring dengan kebutuhan akan kenyamanan belajar dan bekerja. Namun, konsumsi energi yang tinggi pada perangkat ini seringkali menimbulkan masalah terkait efisiensi energi dan biaya operasional yang besar. Di sisi lain, penggunaan AC secara manual cenderung tidak adaptif

terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti suhu ruangan dan keberadaan penghuni, sehingga berpotensi menyebabkan pemborosan energi. Untuk menjawab permasalahan tersebut, penerapan sistem otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menjadi salah satu solusi yang banyak dikembangkan saat ini. Teknologi IoT memungkinkan integrasi sensor dan perangkat pengendali yang dapat memonitor serta mengendalikan perangkat elektronik secara real-time melalui jaringan internet. Dengan teknologi ini, proses pengendalian suhu ruangan dapat dilakukan secara otomatis dan lebih efisien, baik dari segi konsumsi energi maupun kenyamanan penghuni. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem monitoring dan kontrol suhu ruangan berbasis IoT dengan integrasi sensor suhu, sensor gerak, dan pengendali AC otomatis yang diharapkan dapat mendukung konsep smart environment di lingkungan pendidikan.

Pengelolaan AC saat ini umumnya masih dilakukan secara manual atau semi-otomatis yang bergantung pada intervensi manusia. Hal ini rentan terhadap human error, seperti lupa mematikan AC saat ruangan kosong atau saat suhu sudah cukup dingin. Selain itu, sistem pengendalian konvensional tidak memungkinkan monitoring dan kendali dari jarak jauh. Seiring perkembangan teknologi, Internet of Things (IoT) telah menjadi solusi potensial untuk mengatasi permasalahan tersebut. IoT memungkinkan pengendalian perangkat secara real-time melalui internet, dengan monitoring data yang terus-menerus dan kendali adaptif yang disesuaikan dengan kondisi aktual [4], [5].

Penelitian ini menggunakan NodeMCU yang dikenal juga sebagai ESP8266, yaitu mikrokontroler yang berfungsi menghubungkan perangkat ke jaringan Wi-Fi [6]. Modul ini memungkinkan sensor terkoneksi dengan jaringan nirkabel serta dapat berfungsi sebagai titik akses sehingga dapat berkomunikasi dengan perangkat lain [7]. Sementara itu, DHT11 adalah sensor yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan ruangan [8]. Sensor ini menghasilkan sinyal digital dengan tingkat keakuratan dan kestabilan jangka panjang yang baik [9].

Berbagai penelitian telah memanfaatkan IoT untuk monitoring suhu di berbagai bidang. Pada penelitian [10] mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembaban untuk penyimpanan gabah menggunakan NodeMCU dan sensor DHT22 yang terintegrasi dengan platform Blynk. Sistem tersebut mampu menjaga kualitas gabah dengan pengendalian suhu otomatis, namun hanya difokuskan pada pengendalian elemen pemanas untuk pertanian dan tidak mengintegrasikan pengendalian AC. Penelitian lain [11] merancang sistem monitoring suhu kandang ayam berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan sensor DHT11. Sistem ini mengontrol lampu pijar pemanas secara otomatis dan menyediakan pemantauan jarak jauh melalui Ubidots, tetapi belum memiliki mekanisme pendinginan yang adaptif. Penelitian ini merupakan pengembangan dari studi sebelumnya. Salah satu penelitian terkait berhasil membangun sistem kontrol suhu otomatis pada ruangan server menggunakan mikrokontroler Wemos D1 R1 dan

sensor DHT11. Sistem tersebut memungkinkan pemantauan dan pengendalian suhu secara jarak jauh melalui aplikasi Android dan LCD, sehingga memudahkan staf tanpa harus berada di ruang server [12].

Penelitian [13] mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembaban pada tanaman pisang menggunakan ESP8266 yang mengirimkan data secara real-time ke server berbasis web. Sistem ini memberikan kemudahan dalam pemantauan jarak jauh dan fitur notifikasi saat kondisi lingkungan tidak optimal, namun sistem ini hanya bersifat monitoring tanpa pengendalian otomatis terhadap lingkungan tanaman. Penelitian [14] menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor DS18B20 untuk pemantauan suhu air akuarium. Sistem ini mampu menampilkan data secara real-time melalui website dengan akurasi tinggi, namun hanya terbatas pada monitoring dan belum mengintegrasikan kontrol suhu otomatis.

Penelitian [15] mengembangkan sistem penstabil suhu dan kelembaban untuk kandang ayam menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor DHT22. Sistem tersebut mampu mengaktifkan kipas atau lampu pemanas secara otomatis berdasarkan suhu yang terdeteksi, namun penggunaannya lebih relevan di sektor peternakan dan belum mengintegrasikan kontrol AC atau sistem pendingin yang lebih efisien untuk ruangan tertutup seperti kelas.

Berdasarkan tinjauan literatur tersebut, dapat disimpulkan bahwa meskipun teknologi IoT sudah banyak diterapkan untuk monitoring suhu di berbagai bidang seperti pertanian, peternakan, dan perikanan, namun masih sedikit penelitian yang fokus pada pengendalian suhu ruangan di lingkungan akademik dengan mempertimbangkan efisiensi penggunaan AC. Selain itu, banyak penelitian sebelumnya yang masih menggunakan server lokal atau MQTT, yang memerlukan konfigurasi tambahan dan kurang fleksibel untuk diakses dari luar jaringan lokal. Hal ini menunjukkan adanya gap dalam pengembangan sistem pengendalian suhu berbasis IoT yang efisien, adaptif, dan mudah diakses melalui cloud.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem monitoring dan pengendalian suhu ruangan berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor DHT11, sensor PIR, dan IR LED, dengan integrasi cloud menggunakan Firebase. Sistem ini memungkinkan pengendalian AC secara otomatis maupun manual melalui antarmuka web yang dapat diakses dari mana saja. Kontrol dilakukan secara adaptif berdasarkan suhu ruangan, keberadaan aktivitas di ruangan, dan jadwal operasional. Dengan sistem ini, diharapkan konsumsi energi AC dapat ditekan hingga 30% dibandingkan penggunaan manual, serta mendukung implementasi smart classroom yang hemat energi dan ramah lingkungan.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan sistem berbasis Internet of Things (IoT) untuk monitoring dan pengendalian suhu ruangan secara otomatis di lingkungan

akademik. Sistem dirancang untuk mengendalikan Air Conditioner (AC) dengan mengacu pada parameter suhu ruangan dan keberadaan aktivitas manusia, sehingga dapat mengoptimalkan efisiensi energi dan kenyamanan ruangan secara adaptif.

A. Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan di salah satu ruang kelas Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, Kota Lhokseumawe. Ruangan yang digunakan memiliki luas kurang lebih 24 m² dan menggunakan satu unit AC 2 PK sebagai perangkat pendingin utama. Penelitian dilaksanakan mulai dari April 2024 hingga selesai, dengan tujuan utama untuk meminimalkan biaya operasional Air Conditioner (AC) melalui pengendalian otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Sampel yang digunakan adalah ruang kelas aktif, sehingga sistem dapat diuji dalam kondisi nyata dengan aktivitas belajar mengajar yang berlangsung seperti biasa. Sistem yang dihasilkan dirancang untuk mendeteksi suhu dan mengendalikan AC secara adaptif, baik secara otomatis maupun manual dari jarak jauh melalui antarmuka berbasis web.

Pengumpulan data diawali dengan studi kepustakaan yang bertujuan untuk mengumpulkan berbagai referensi terkait teori dan metode yang relevan. Literatur yang digunakan mencakup teori tentang sistem monitoring berbasis IoT, penggunaan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, serta teknik pengendalian suhu ruangan untuk efisiensi energi. Referensi diperoleh dari jurnal ilmiah, buku, artikel, dan dokumentasi terkait pengembangan sistem monitoring suhu dan pengendalian perangkat pendingin ruangan.

Data pengukuran suhu ruangan dikumpulkan menggunakan sensor DHT11 yang dihubungkan langsung dengan mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Proses pengukuran dilakukan secara real-time dengan interval setiap 2 detik untuk memastikan pembacaan suhu yang akurat sesuai dengan kondisi ruangan saat itu. Sensor DHT11 memiliki akurasi $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dan rentang pengukuran suhu dari 0°C hingga 50°C . Data suhu yang diperoleh secara langsung dikirimkan ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan melalui antarmuka web. Pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengujian awal selama 1 jam untuk memastikan sistem berjalan normal dan pengujian operasional selama satu minggu penuh. Pengujian dilakukan setiap hari mulai pukul 08.00 hingga 16.00 WIB sesuai jam operasional kelas.

Selain pengambilan data suhu, sistem juga mencatat aktivitas manusia di dalam ruangan melalui sensor PIR yang mendeteksi pergerakan dengan jangkauan hingga 7 meter. Sensor ini berfungsi untuk mengatur kondisi AC agar mati secara otomatis saat ruangan tidak digunakan, guna menghindari pemborosan energi. Kontrol AC dilakukan dengan IR LED yang memancarkan sinyal inframerah dengan jangkauan 0–3 meter. Semua data dikumpulkan dan disimpan dalam log Firebase untuk dianalisis lebih lanjut sebagai dasar evaluasi performa sistem dalam menghemat energi dan menjaga kenyamanan suhu ruangan.

B. Desain dan Pengembangan Sistem

Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem monitoring dan pengendalian suhu ruangan berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Sistem ini dirancang untuk mengendalikan Air Conditioner (AC) secara adaptif dengan mempertimbangkan suhu aktual ruangan serta keberadaan aktivitas manusia. Tujuan dari pengembangan sistem ini adalah untuk menekan konsumsi listrik dan meningkatkan efisiensi energi, terutama dalam penggunaan AC di ruang kelas.

Perangkat keras utama dalam sistem ini meliputi NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali utama, sensor DHT11 sebagai pembaca suhu dan kelembaban, sensor Passive Infrared (PIR) untuk mendeteksi keberadaan manusia, serta IR LED sebagai pengendali AC melalui sinyal inframerah. Sensor DHT11 digunakan untuk membaca suhu ruangan dengan tingkat akurasi $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Pemilihan sensor DHT11 didasarkan pada pertimbangan efisiensi biaya dan ketersediaan di pasaran, mengingat prototipe sistem ini diterapkan pada ruang kelas skala kecil. Meski demikian, sistem dirancang agar dapat dikembangkan lebih lanjut menggunakan sensor dengan akurasi lebih tinggi seperti DHT22 atau DS18B20 jika diimplementasikan pada skala yang lebih besar atau ruangan dengan kebutuhan presisi yang lebih tinggi.

Sensor PIR digunakan untuk mendeteksi pergerakan manusia di dalam ruangan, dengan jangkauan deteksi hingga 7 meter. Jika tidak ada aktivitas yang terdeteksi dalam waktu tertentu, sistem akan mematikan AC untuk menghindari pemborosan energi. Pengendalian AC dilakukan melalui IR LED yang mengirimkan sinyal inframerah ke unit AC. Jangkauan efektif IR LED ini adalah sekitar 0–3 meter sehingga pemasangannya harus memperhatikan posisi agar sinyal dapat diterima dengan optimal.

Seluruh data suhu, status PIR, dan kontrol AC dikirimkan secara real-time ke Firebase Realtime Database. Firebase dipilih sebagai platform cloud karena kemudahannya dalam integrasi dengan NodeMCU dan kemampuannya untuk menyimpan serta memperbarui data secara sinkron. Antarmuka pengguna berbasis web juga dikembangkan untuk memungkinkan kontrol manual maupun monitoring suhu dari jarak jauh. Di dalam web interface tersebut ditampilkan status AC (aktif atau tidak), mode operasi (otomatis atau manual), dan suhu ruangan yang diperbarui setiap satu detik. Web interface ini masih bersifat sederhana karena sistem dikembangkan dengan alat dan biaya yang terbatas pada skala prototipe.

Sistem ini dikembangkan sebagai prototipe awal dengan mempertimbangkan efisiensi biaya dan kemudahan implementasi. Oleh karena itu, penggunaan sensor DHT11 dipilih karena lebih ekonomis dan mudah diakses di pasaran. Namun, perlu disadari bahwa sensor ini memiliki keterbatasan dalam akurasi ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) dan rentang suhu terbatas. Untuk pengembangan lebih lanjut, terutama pada ruangan dengan skala lebih besar atau kebutuhan presisi yang lebih

tinggi, disarankan penggunaan sensor DHT22 atau DS18B20 yang memiliki tingkat akurasi lebih baik.

Antarmuka web yang dikembangkan saat ini masih bersifat sederhana, hanya menampilkan informasi suhu real-time, status AC (aktif/nonaktif), serta mode operasi (otomatis/manual). Data suhu diperbarui setiap satu detik dan dapat diakses melalui browser baik dari desktop maupun perangkat mobile. Namun, fitur seperti histori suhu, grafik penggunaan, ataupun autentikasi pengguna belum tersedia pada tahap prototipe ini. Fitur-fitur tersebut akan menjadi fokus pengembangan selanjutnya untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna.

C. Logika Pengendalian Sistem

Pengendalian suhu dan AC dalam sistem ini mengikuti logika adaptif yang mempertimbangkan dua parameter utama, yaitu suhu ruangan dan keberadaan manusia. Pada mode otomatis, AC akan menyala ketika suhu ruangan melebihi 28°C dan terdapat aktivitas manusia yang terdeteksi oleh sensor PIR. Apabila suhu ruangan turun di bawah 25°C, maka AC akan dimatikan secara otomatis untuk menghemat konsumsi listrik. Jika dalam kondisi suhu di atas 28°C namun tidak ada aktivitas manusia yang terdeteksi dalam kurun waktu 15 menit, maka sistem akan mematikan AC sebagai upaya efisiensi. Sebaliknya, jika dalam rentang waktu tersebut muncul aktivitas baru, maka AC akan tetap menyala mengikuti logika adaptif yang telah ditentukan.

Sistem ini juga menyediakan mode manual yang memungkinkan pengguna menyalakan atau mematikan AC secara langsung melalui antarmuka web tanpa mengikuti aturan pengendalian otomatis.

D. Implementasi Sistem dan Pengujian

Implementasi sistem dilakukan di salah satu ruang kelas Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh. Pengujian dilakukan selama satu minggu, dimulai dari hari Senin hingga Jumat, berikut ini merupakan tabel skema hasil pengujian.

TABEL I.
SKEMA PENGUJIAN KONSUMSI LISTRIK AC

Hari	Konsumsi Sebelum Sistem (kWh/hari)	Konsumsi Sesudah Sistem (kWh/hari)
Senin	14	9
Selasa	14	9
Rabu	14	9
Kamis	14	9
Jumat	14	9
Total	70	45

Pengukuran dilakukan dengan mencatat waktu nyala dan mati AC secara real-time serta mencatat suhu ruangan setiap detik. Data ini menjadi log konsumsi aktual yang digunakan sebagai dasar analisis efisiensi energi.

Sistem ini menggunakan Firebase sebagai media penyimpanan dan kontrol berbasis cloud. Jika koneksi internet terputus sementara, sistem tetap dapat mengendalikan

AC secara otomatis berdasarkan data sensor yang terakhir terbaca, karena logika kontrol utama diproses langsung di NodeMCU. Namun, fitur kendali manual melalui antarmuka web akan nonaktif sementara hingga koneksi internet kembali normal.

E. Perhitungan Penghematan Energi

Perhitungan penghematan dilakukan dengan membandingkan konsumsi listrik sebelum dan sesudah penerapan sistem. Sebelum sistem diimplementasikan, konsumsi listrik AC selama 8 jam penuh per hari adalah 14 kWh. Setelah sistem digunakan, konsumsi listrik menurun menjadi sekitar 9 kWh per hari karena adanya pengendalian otomatis yang mempertimbangkan suhu dan aktivitas manusia.

TABEL II.
PERHITUNGAN PENGHEMATAN ENERGI LISTRIK SETELAH IMPLEMENTASI SISTEM

No	Deskripsi	Sebelum Sistem	Sesudah Sistem	Selisih
1	Konsumsi Listrik per Hari (kWh)	14 kWh	9 kWh	5 kWh
2	Tarif Listrik per kWh	Rp1.500	Rp1.500	-
3	Pengeluaran Listrik per Hari (Rp)	Rp21.000	Rp13.500	Rp7.500
4	Hari Operasional per Bulan	20 hari	20 hari	-
5	Pengeluaran Listrik per Bulan (Rp)	Rp420.000	Rp270.000	Rp150.000
6	Total Penghematan untuk 3 Kelas per Bulan	-	-	Rp450.000

Pada skala yang lebih besar, jika sistem ini diterapkan di seluruh ruang kelas dan laboratorium Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh yang memiliki puluhan ruangan dengan beban AC serupa, maka potensi penghematan bisa mencapai sekitar Rp4.200.000 per bulan. Angka ini dihitung dengan mempertimbangkan total kapasitas AC, lama operasional, dan efisiensi yang dicapai dari sistem otomatisasi. Dengan sistem ini, selain mengurangi konsumsi listrik, juga diperoleh dampak positif dalam penghematan biaya operasional kampus.

F. Evaluasi Sistem dan Persepsi Pengguna

Responden dalam penelitian ini terdiri dari 23 mahasiswa aktif yang rutin menggunakan ruang kelas tersebut selama proses pengujian berlangsung. Pemilihan responden difokuskan pada pengguna langsung ruang kelas agar evaluasi mencerminkan pengalaman nyata dalam penggunaan sistem.

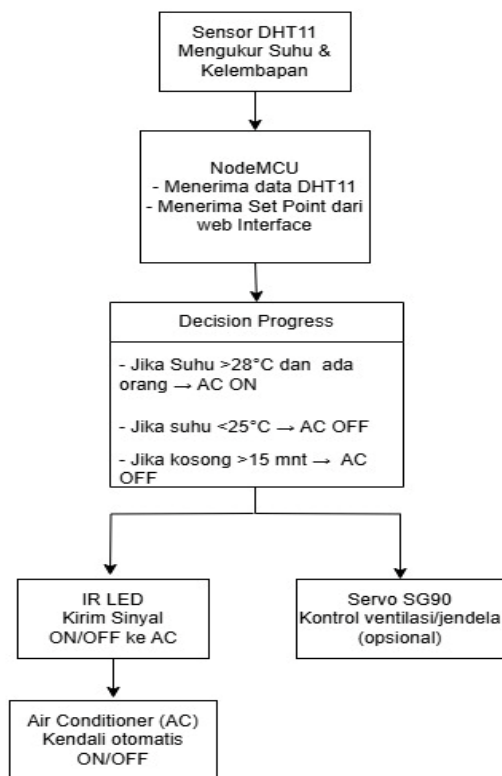
Kuesioner disusun menggunakan skala Likert 1 sampai 5 dengan beberapa indikator utama, yaitu kenyamanan suhu ruangan setelah sistem diterapkan, kemudahan penggunaan antarmuka web untuk kontrol AC, tingkat efisiensi energi yang dirasakan, serta kecepatan respon sistem terhadap perubahan suhu dan aktivitas ruangan. Hasil evaluasi ini

menunjukkan bahwa sistem diterima dengan baik oleh sebagian besar responden meskipun terdapat beberapa catatan terkait keterbatasan perangkat.

Beberapa responden mengemukakan bahwa jangkauan IR LED yang hanya 0–3 meter menjadi salah satu kekurangan sistem, sehingga peletakan perangkat harus diposisikan dekat dengan AC agar sinyal inframerah dapat diterima dengan baik. Selain itu, antarmuka web yang dikembangkan masih sederhana, hanya menampilkan suhu, status AC, dan mode kontrol tanpa menampilkan histori data atau grafik suhu harian. Meskipun demikian, mayoritas responden menyatakan puas dengan penerapan sistem karena mampu menekan konsumsi energi dan tetap menjaga kenyamanan suhu ruangan.

G. Skema Sistem

Skema sistem ini menggambarkan bagaimana komponen-komponen seperti sensor DHT11, NodeMCU ESP8266, dan Servo SG90 berinteraksi untuk mendeteksi suhu dan mengendalikan ventilasi atau jendela dalam ruangan.



Gambar 1. Skema Sistem

Skema sistem yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1. Diagram tersebut menunjukkan alur kerja sistem mulai dari pembacaan suhu dan aktivitas, proses pengendalian melalui NodeMCU, hingga pengiriman sinyal IR ke AC. Proses monitoring dan pengendalian dilakukan secara real-time melalui Firebase dan antarmuka web. Skema sistem ini menggambarkan integrasi antara

komponen perangkat keras dan perangkat lunak dalam mendukung efisiensi energi berbasis IoT.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi dan Kinerja Sistem

Sistem monitoring dan kendali suhu berbasis IoT yang dikembangkan berhasil diimplementasikan di ruang kelas Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh. Sistem ini menggabungkan sensor suhu DHT11, sensor PIR, IR LED, dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan Firebase sebagai antarmuka kendali. Pengujian dilakukan selama 1 minggu (Senin–Jumat), dari pukul 08.00–16.00, dengan pengamatan langsung terhadap kondisi suhu dan aktivitas ruangan.

Antarmuka web berbasis Firebase memungkinkan pengguna memantau suhu secara real-time, melihat status AC (ON/OFF), memilih mode kendali (otomatis/manual), serta mengakses informasi waktu aktif dan nonaktif AC terakhir. Web antarmuka bersifat mobile-friendly, dapat diakses melalui smartphone dan komputer melalui link URL tanpa autentikasi, karena sistem masih dalam tahap prototipe. Data suhu diperbarui setiap 1 detik, namun sistem saat ini belum menyimpan histori data, hanya memantau kondisi real-time.

Jika koneksi internet terputus, mode otomatis tetap berjalan secara lokal di NodeMCU. Pengendalian AC akan tetap aktif berdasarkan suhu dan deteksi aktivitas tanpa tergantung koneksi ke Firebase. Fungsi kontrol manual akan nonaktif saat offline, namun kendali otomatis tidak terpengaruh.

B. Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu DHT11 menunjukkan bahwa sistem mampu membaca suhu ruangan secara real-time dengan fluktuasi $\pm 2^\circ\text{C}$. Selama pengujian, suhu ruangan berkisar antara $25\text{--}27^\circ\text{C}$ dan ditampilkan di antarmuka web (Gambar 3). Meskipun DHT11 memiliki keterbatasan akurasi, sensor ini dipilih untuk tahap awal karena faktor biaya dan skala ruangan kecil. Untuk skala lebih besar, penggunaan DHT22 atau DS18B20 lebih direkomendasikan agar pengendalian suhu lebih presisi.

C. Pengujian Sensor Suhu

Sensor PIR diuji untuk mendeteksi aktivitas dengan sudut deteksi 120° dan jarak maksimal 7 meter. Pengujian dilakukan dengan berbagai jarak dan sudut untuk memastikan efektivitasnya. Hasilnya ditampilkan pada Tabel 1.

TABEL III.
HASIL UJI SENSOR PIR

Jarak (meter)	Sudut Deteksi ($^\circ$)	Hasil Deteksi
3	90°	Aktivitas Terdeteksi
5	120°	Aktivitas Terdeteksi

7	60°	Aktivitas Terdeteksi
8	120°	Aktivitas Tidak Terdeteksi
10	90°	Aktivitas Tidak Terdeteksi

Jika ruangan lebih besar, disarankan untuk menambah jumlah sensor PIR agar cakupan area lebih merata.

D. Pengujian IR LED dan Delay Sistem

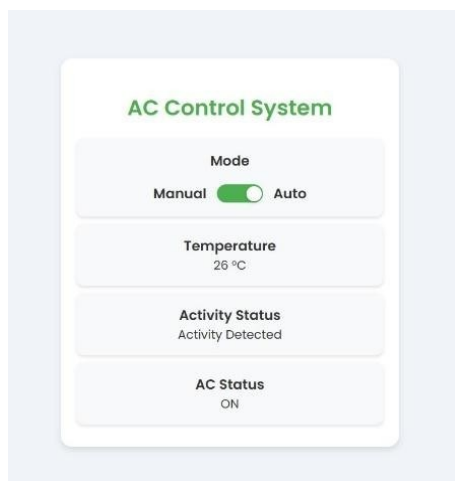
IR LED berfungsi sebagai pengendali AC dengan sinyal inframerah. Pengujian dilakukan dengan mengukur waktu tunda dari antarmuka web hingga AC merespons. Rata-rata delay end-to-end adalah 1 detik, termasuk proses dari Firebase → NodeMCU → IR LED → AC. Pengujian ini membuktikan bahwa sistem responsif baik pada mode otomatis maupun manual.

TABEL IV
PENGUJIAN RESPON IR LED TERHADAP PERINTAH PENGENDALIAN AC BERDASARKAN SUHU

Suhu (°C)	Perintah Sistem	Hasil IR LED	Status AC	Delay (detik)
24°C	Mematikan AC	Sinyal terkirim	AC mati	1
26°C	Mematikan AC	Sinyal terkirim	AC menyala	1
25°C	Tidak ada Perintah	Tidak ada sinyal terkirim	AC tetap mati	1
27°C	Mematikan AC	Sinyal terkirim	AC menyala	1
23°C	Mematikan AC	Sinyal terkirim	AC mati	1

E. Mode Operasi Sistem

1. Mode Otomatis



Gambar 2. Tampilan Mode Otomatis

Pada mode otomatis, pengendalian AC dilakukan berdasarkan suhu ruangan, aktivitas manusia, dan jadwal

operasional. AC akan mati otomatis jika suhu di bawah 25°C atau ruangan kosong selama 15 menit. AC juga mengikuti jadwal aktif pukul 08:00–17:00.

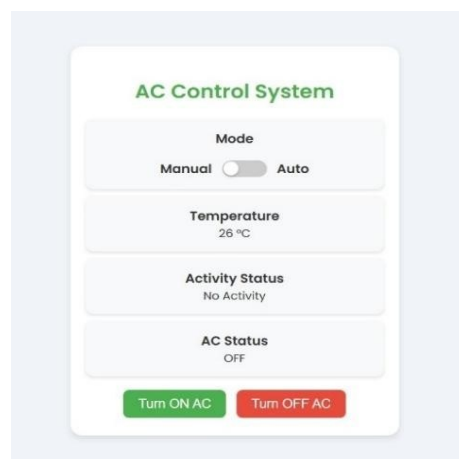
TABEL V.
PENGUJIAN MODE OTOMATIS PENGENDALIAN AC

Waktu	Suhu (°C)	Aktivitas	Status AC	Keterangan
08:00	26	Aktivitas Terdeteksi	ON	AC menyala sesuai jadwal operasional
12:00	24	Aktivitas Terdeteksi	OFF	AC mati karena suhu < 25°C (di bawah ambang)
15:00	27	Tidak Ada Aktivitas	OFF	AC mati karena tidak ada aktivitas
17:00	26	Aktivitas Terdeteksi	OFF	AC mati karena waktu operasional berakhir

2. Mode Manual

Pada mode manual, pengguna dapat menghidupkan atau mematikan AC langsung dari web interface. Hal ini memungkinkan pengguna mengabaikan logika otomatis jika diperlukan.

Mode manual memungkinkan pengguna untuk mengontrol AC secara langsung melalui antarmuka berbasis web yang terintegrasi dengan Firebase, dengan kecepatan respon hanya 1 detik. Pengguna dapat menyalakan atau mematikan AC dengan menekan tombol yang sesuai, bahkan dalam kondisi suhu di bawah atau di atas setingan, menunjukkan kemampuan untuk mengabaikan logika otomatis. Uji coba dilakukan dalam berbagai kondisi suhu dan aktivitas ruangan, membuktikan bahwa sistem dapat merespons efektif terhadap perintah pengguna, memberikan fleksibilitas penuh dalam pengoperasian.



Gambar 3. Tampilan Mode Manual

F. Penghematan Energi dan Perhitungan Biaya

Sebelum sistem diterapkan, dua AC 2 PK beroperasi 8 jam/hari, dengan konsumsi 14 kWh per hari dan biaya sekitar

Rp21.000/hari. Dalam sebulan (20 hari kerja), biayanya sekitar Rp420.000/kelas/bulan.

Setelah sistem diterapkan, waktu penggunaan AC rata-rata menjadi 5 jam 20 menit/hari. Konsumsi turun menjadi 9 kWh/hari, atau Rp13.500/hari. Biaya bulanan menjadi Rp270.000/kelas/bulan. Penghematan per kelas adalah:

$$\text{Rp}420.000 - \text{Rp}270.000 = \text{Rp}150.000/\text{kelas/bulan}$$

Jika diakumulasi untuk 28 unit AC di fakultas, potensi penghematan menjadi:

$$\text{Rp}150.000 \times 28 = \text{Rp}4.200.000 \text{ per bulan}$$

G. Evaluasi Persepsi Pengguna

Survei dilakukan kepada 23 responden yang terdiri dari 20 mahasiswa, 2 dosen, dan 1 teknisi. Kuesioner menggunakan skala Likert (1–5).

Untuk melengkapi pengujian teknis, dilakukan evaluasi awal terhadap persepsi pengguna terkait kenyamanan suhu, kemudahan penggunaan sistem, dan efisiensi energi. Evaluasi ini dilakukan dengan membagikan kuesioner kepada 5 orang pengguna aktif ruang kelas, terdiri dari mahasiswa yang menggunakan ruangan setiap hari selama periode pengujian.

Jumlah responden memang masih terbatas, sehingga hasil ini lebih bersifat studi pendahuluan (preliminary assessment). Hal ini sejalan dengan tahap prototipe sistem yang masih dalam pengembangan awal. Evaluasi dengan skala kecil seperti ini sering digunakan dalam penelitian tahap awal untuk mengidentifikasi respon awal pengguna sebelum dilakukan uji coba lebih besar. Oleh karena itu, hasil ini tidak dimaksudkan untuk generalisasi secara populasi, tetapi memberikan gambaran awal terhadap penerimaan sistem oleh pengguna langsung di lapangan.

Untuk penelitian lanjutan, pengujian akan diperluas dengan melibatkan lebih banyak responden, minimal 20–30 partisipan, agar memungkinkan dilakukan analisis statistik lebih mendalam seperti uji distribusi atau analisis skala Likert secara signifikan.

TABEL VI
HASIL EVALUASI KEPUASAN PENGGUNA TERHADAP SISTEM OTOMATISASI AC

No	Frekuensi Penggunaan	Skor Q1–Q6	Ringkasan Jawaban Terbuka
1	Setiap hari	Q1=5, Q2=4, Q3=4, Q4=5, Q5=5, Q6=3	Suhu nyaman, stabil. Web mudah digunakan tapi butuh panduan. Sistem andal. Saran: indikator visual.
2	2–3 kali/minggu	Q1=4, Q2=4, Q3=3, Q4=4, Q5=4, Q6=2	Suhu lebih baik tapi kadang terasa dingin. Web lambat jika sinyal buruk. Saran: perbaiki koneksi.
3	Setiap hari	Q1=5, Q2=5, Q3=5,	Suhu pas untuk belajar. Web simpel, bagus.

		Q4=5, Q5=4, Q6=4	Saran: kontrol suhu lebih detail.
4	< 2 kali/minggu	Q1=3, Q2=3, Q3=2, Q4=3, Q5=3, Q6=1	Suhu biasa. Web susah diakses, kurang andal. Saran: beri petunjuk yang lebih jelas.
5	Setiap hari	Q1=4, Q2=4, Q3=4, Q4=4, Q5=5, Q6=3	Suhu sejuk dan hemat energi. Web oke. Saran: suhu bisa diatur lebih fleksibel.

Penilaian persepsi pengguna dilakukan menggunakan kuesioner berbasis skala Likert yang mencakup enam indikator utama, yaitu kenyamanan suhu (Q1), kestabilan suhu (Q2), kemudahan penggunaan antarmuka (Q3), tingkat respons sistem (Q4), efisiensi penggunaan AC (Q5), serta kelengkapan informasi sistem (Q6).

H. Pembahasan

Sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan pengguna dengan pengendalian suhu berbasis IoT. Delay sistem end-to-end yang hanya 1 detik menunjukkan respons cepat baik pada mode manual maupun otomatis.

Kelebihan sistem antara lain yaitu sistem yang dikembangkan menunjukkan beberapa kelebihan utama. Salah satunya adalah peningkatan efisiensi energi yang berhasil menekan biaya operasional hingga Rp4,2 juta per bulan untuk skala fakultas. Selain itu, fleksibilitas kontrol memberikan kemudahan bagi pengguna karena dapat memilih mode otomatis maupun manual sesuai kebutuhan. Keunggulan lain adalah kemampuan sistem untuk tetap beroperasi dalam kondisi offline; pada saat koneksi internet terputus, kontrol suhu tetap berjalan secara otomatis tanpa gangguan.

Namun, beberapa kekurangan masih ditemukan pada sistem ini. Pertama, penggunaan sensor DHT11 memiliki keterbatasan akurasi ($\pm 2^\circ\text{C}$), sehingga disarankan beralih ke DHT22 atau DS18B20. Kedua, sistem belum terintegrasi dengan perangkat smart classroom lain seperti lampu, proyektor, atau absensi otomatis. Ketiga, antarmuka web hanya menampilkan data suhu secara real-time tanpa histori data. Keempat, belum tersedia fitur autentikasi, sehingga akses sistem masih terbuka untuk umum.

Jika dibandingkan dengan sistem IoT di kampus lain seperti di Singapura yang menggunakan sensor DS18B20 dengan presisi tinggi, sistem ini unggul dalam biaya rendah dan fleksibilitas kontrol, namun kalah dalam aspek presisi dan integrasi menyeluruh.

I. Rekomendasi Pengembangan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, baik secara teknis maupun persepsi awal pengguna, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan performa dan cakupan sistem. Rekomendasi pengembangan ini disusun untuk menjawab keterbatasan yang ditemukan selama implementasi, sekaligus mempersiapkan sistem agar lebih siap digunakan dalam skala yang lebih besar dan beragam.

Untuk meningkatkan kinerja dan cakupan sistem, terdapat beberapa aspek yang direkomendasikan untuk pengembangan di masa mendatang. Pertama, peningkatan akurasi pengukuran dapat dilakukan dengan mengganti sensor DHT11 menjadi DHT22 atau DS18B20 yang memiliki presisi lebih baik. Kedua, sistem perlu dilengkapi dengan fitur histori data dan log pemakaian pada antarmuka web guna mendukung pemantauan penggunaan secara longitudinal, sekaligus mempertimbangkan integrasi dengan asisten virtual seperti Google Assistant atau Alexa untuk pengendalian berbasis suara. Ketiga, pengembangan sistem dapat diperluas untuk mengendalikan perangkat lain seperti pencahayaan, proyektor, dan sistem absensi, sehingga mendukung implementasi smart classroom yang lebih komprehensif. Terakhir, perlu dilakukan uji coba jangka panjang untuk memastikan konsistensi efisiensi energi pada berbagai kondisi penggunaan dan musim.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian, dan analisis terhadap sistem monitoring dan kendali suhu ruangan berbasis IoT di Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, dapat disimpulkan bahwa sistem ini berhasil mengintegrasikan pengendalian suhu otomatis dan manual secara real-time melalui platform web berbasis Firebase. Sistem terbukti efektif menjaga suhu ruangan dalam kisaran ideal 25–26°C dengan fluktuasi minimal ($\pm 2^\circ\text{C}$) dan respons cepat melalui sensor DHT11 dan IR LED, serta mengurangi konsumsi energi hingga 30% dibandingkan pengoperasian AC secara manual. Selain efisiensi energi, sistem ini juga mampu menjaga stabilitas suhu dengan fluktuasi minimal ($\pm 2^\circ\text{C}$) pada kisaran 25–26°C sesuai dengan set point otomatis. Sensor DHT11 dan IR LED dengan delay 1 detik memastikan respons cepat terhadap perubahan suhu, seperti mematikan AC pada suhu 24°C untuk mencegah overcooling. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu yang ditetapkan pada 26°C di pagi hari tetap terjaga sepanjang hari, dan skor kepuasan pengguna sebesar 4,0 menunjukkan bahwa fluktuasi suhu yang terjadi tidak mengganggu kenyamanan mereka. Meskipun sensor DHT11 cukup akurat untuk lingkungan ruang kelas, penggunaan sensor dengan presisi lebih tinggi seperti DHT22 dapat meningkatkan stabilitas suhu lebih lanjut. Efektivitas sistem dalam mode otomatis yang mempertimbangkan suhu, keberadaan aktivitas (sensor PIR), dan jadwal operasional berhasil menurunkan biaya

penggunaan AC yang sebelumnya mencapai Rp1,4 juta per bulan. Skor kepuasan pengguna yang tinggi (rata-rata 4,2) serta 80% responden yang mendukung efektivitas sistem menunjukkan potensi adopsi yang luas di lingkungan akademik maupun non-akademik.

Selain efisiensi energi, sistem ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan kelas cerdas (smart classroom) berbasis IoT yang adaptif dan ramah lingkungan. Dengan arsitektur cloud-based menggunakan Firebase, sistem ini memiliki skalabilitas tinggi dan dapat dengan mudah diterapkan di berbagai institusi seperti sekolah, universitas lain, maupun gedung perkantoran yang ingin mengoptimalkan konsumsi energi pendingin ruangan.

Sistem ini memiliki potensi besar untuk terus dikembangkan, antara lain dengan menggunakan sensor suhu yang memiliki presisi lebih tinggi seperti DHT22 atau DS18B20 guna meningkatkan kestabilan suhu ruangan. Integrasi dengan teknologi kecerdasan buatan (AI) atau machine learning juga dapat diimplementasikan untuk memungkinkan prediksi kebutuhan pendinginan berdasarkan pola penggunaan ruangan, data historis, atau bahkan kondisi cuaca. Selain itu, penambahan fitur kendali suara melalui asisten virtual dapat meningkatkan kenyamanan dan aksesibilitas bagi pengguna. Untuk validasi skala besar, pengujian lanjutan di berbagai jenis bangunan dan lingkungan juga perlu dilakukan agar sistem ini dapat diadaptasi secara luas sebagai solusi efisien dan pintar dalam manajemen suhu ruangan yang berkelanjutan. Dengan pendekatan ini, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat pengendali suhu otomatis, tetapi juga sebagai solusi pintar dan hemat energi yang relevan untuk mendukung transformasi digital dan keberlanjutan di berbagai sektor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Vinola, A. Rakhman, and Sarjana, "Sistem Monitoring dan Controlling Suhu Ruangan Berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 117–126, Aug. 2020.
- [2] R. Kusumah and H. Izzatul Islam, "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis Internet of Things (IoT) Pada Ruang Data Center," 2023. [Online]. Available: <http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JAIC>
- [3] E. B. Raharjo *et al.*, "Rancangan Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembapan Ruang Server Berbasis Internet Of Things", [Online]. Available: www.Thingspeak.com.
- [4] Sunardi, A. Yudhana, and Furizal, "Tsukamoto Fuzzy Inference System on Internet of Things-Based for Room Temperature and Humidity Control," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 6209–6227, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3236183.
- [5] A. H. Ali, R. A. El-Kammar, H. F. Ali Hamed, A. A. Elbaset, and A. Hossam, "Smart monitoring technique for solar cell systems using internet of things based on NodeMCU ESP8266 microcontroller," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 2322–2329, Apr. 2024, doi: 10.11591/ijece.v14i2.pp2322-2329.
- [6] X. Bajrami and I. Murturi, "An efficient approach to monitoring environmental conditions using a wireless sensor network and NodeMCU," *Elektrotechnik und Informationstechnik*, vol. 135, no. 3, pp. 294–301, Jun. 2018, doi: 10.1007/s00502-018-0612-9.

- [7] H. Ouldzira, A. Mouhsen, H. Lagraini, M. Chhiba, A. Tabyaoui, and S. Amrane, "Remote monitoring of an object using a wireless sensor network based on NODEMCU ESP8266," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 16, no. 3, pp. 1154–1162, 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v16.i3.pp1154-1162.
- [8] X. Bajrami and I. Murturi, "An efficient approach to monitoring environmental conditions using a wireless sensor network and NodeMCU," *Elektrotechnik und Informationstechnik*, vol. 135, no. 3, pp. 294–301, Jun. 2018, doi: 10.1007/s00502-018-0612-9.
- [9] R. A. Rahman, U. R. Hashim, and S. Ahmad, "IoT based temperature and humidity monitoring framework," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 9, no. 1, pp. 229–237, Feb. 2020, doi: 10.11591/eei.v9i1.1557.
- [10] M. R. Siregar, A. Bintoro, and R. Putri, "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban pada Penyimpanan Gabah untuk Menjaga Kualitas Beras Berbasis Internet of Things (IoT)," vol. 10, pp. 14–17, 2021.
- [11] K. Ardiputra, "Monitoring Suhu dan Kelembaban Kandang Ayam Berbasis Internet of Things (Iot) Menggunakan Ubidots."
- [12] F. Arief Deswar and R. Pradana, "Monitoring Suhu Pada Ruang Server Menggunakan Wemos D1 R1 Berbasis Internet Of Things (IoT)," 2021.
- [13] U. Bacin and D. A. Sihotang, "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara Pada Tanaman Pisang Menggunakan ESP8266," vol. 1, no. 1, pp. 36–40, 2023.
- [14] M. A. Rafi and R. B. Safar, "Pemantau Suhu Aquarium Berbasis NodeMCU dan Sensor Suhu dengan Internet of Things," vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2023.
- [15] S. Kiram and F. Alfarezy, "Penstabil Suhu dan Kelembapan pada Kandang Ayam Menggunakan NodeMCU," vol. 1, no. 1, pp. 20–27, 2023.