



Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Efisiensi Energi Pendingin Ruangan Menggunakan Metode Prototype

**Fiqar Haytsam Muhammad Dzul Qornain, Budi Tjahjono* , Gerry Firmansyah,
Muhamad Hadi Arfian**

Universitas Esa Unggul, Indonesia

Email: budi.tjahjono@esaunggul.ac.id*

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol AC otomatis yang hemat biaya untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal. Menggunakan mikrokontroler ESP 8266, sensor DHT22 untuk memantau suhu, dan sensor Inframerah Pasif (PIR) untuk mendeteksi keberadaan manusia, sistem ini bekerja berdasarkan prinsip logika kontrol yang hanya mengaktifkan AC saat ruangan panas dan ada orang di dalamnya. Sistem juga dapat menyesuaikan intensitas pendinginan sesuai dengan tingkat aktivitas di ruangan tersebut. Integrasi dengan aplikasi Blynk memungkinkan pemantauan suhu dan status AC secara real-time. Prototipe ini mengikuti model prototipe dan menggunakan pustaka IRac.h untuk mengelola protokol komunikasi dengan AC. Pengujian fungsional dilakukan dengan enam skenario berbeda untuk memastikan bahwa sistem berfungsi dengan baik, yaitu menghidupkan AC hanya saat diperlukan dan mematikannya ketika ruangan kosong atau suhu target tercapai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe ini berhasil mengotomatiskan kontrol AC konvensional, memberikan efisiensi energi yang lebih baik dan meningkatkan kenyamanan pengguna. Sistem ini menawarkan solusi berbiaya rendah dan ramah lingkungan untuk aplikasi rumah tangga atau kantor.

Kata kunci: ESP 8266; Kontrol Otomatis; Efisiensi Energi; Sensor PIR; Sensor DHT22; Blynk

Abstract

The research develops a cost-effective automatic air conditioning control system to improve energy efficiency and thermal comfort. Using an ESP 8266 microcontroller, a DHT22 sensor to monitor temperature, and a Passive Infrared (PIR) sensor to detect human presence, the system works on the principle of control logic that only activates the air conditioner when the room is hot and there are people inside. The system can also adjust the cooling intensity according to the level of activity in the room. Integration with the Blynk app allows real-time monitoring of air conditioning temperature and status. This prototype follows the prototype model and uses the IRac.h library to manage communication protocols with air conditioning. Functional testing is carried out with six different scenarios to ensure that the system is functioning properly, i.e. turning on the air conditioner only when needed and turning it off when the room is empty or the target temperature is reached. The test results show that this prototype successfully automates the control of conventional air conditioners, providing better energy efficiency and improving user comfort. These systems offer a low-cost, eco-friendly solution for household or office applications.

Keywords: ESP 8266; Automatic Control; Energy Efficiency; PIR Sensor; DHT22 Sensor; Blynk

PENDAHULUAN

Konsumsi energi global telah menjadi isu krusial seiring dengan meningkatnya populasi dunia dan pertumbuhan industri. Sektor bangunan komersial dan residensial tercatat sebagai salah satu konsumen energi terbesar, dengan kontribusi signifikan terhadap total penggunaan listrik global (Chandra et al., 2020). Di dalam sektor ini, sistem Pemanasan, Ventilasi, dan Pendingin Udara (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning* - HVAC) merupakan komponen yang paling banyak mengonsumsi energi, seringkali mencapai 40% hingga 50% dari total konsumsi energi sebuah gedung (Andrian, 2024). Ketergantungan yang tinggi pada sistem pendingin udara, terutama di negara-negara beriklim tropis seperti Indonesia, telah menimbulkan tantangan serius terhadap ketahanan energi dan keberlanjutan lingkungan (Dzulfikar & Broto, 2016). Oleh karena itu, penelitian yang berfokus pada optimalisasi dan

efisiensi konsumsi energi pada sistem HVAC menjadi sangat relevan dan mendesak untuk dilakukan (Vakiloroaya et al., 2013).

Masalah utama dari konsumsi energi yang tinggi pada Air Conditioner (AC) konvensional adalah inefisiensi operasional yang sering terjadi. AC seringkali dibiarkan menyala dalam waktu lama di ruangan yang tidak berpenghuni atau diatur pada suhu yang terlalu rendah, yang keduanya merupakan pemborosan energi yang signifikan (Tang et al., 2021). Selain itu, sistem AC konvensional tidak bersifat adaptif; unit AC tidak dapat menyesuaikan kinerjanya berdasarkan jumlah orang di dalam ruangan (Dong et al., 2018). Padahal, setiap individu di dalam ruangan melepaskan panas tubuh (beban termal), yang berarti AC yang disetel untuk satu orang akan terasa kurang dingin ketika ruangan tersebut diisi oleh sepuluh orang (Wang et al., 2018). Kurangnya kemampuan adaptasi terhadap beban termal dinamis ini tidak hanya menyebabkan pemborosan energi tetapi juga sering gagal dalam mencapai kenyamanan termal (thermal comfort) yang optimal bagi penghuninya (Niza et al., 2022).

Menanggapi tantangan tersebut, konsep "Bangunan Cerdas" (Smart Building) telah berkembang pesat, menawarkan solusi untuk manajemen energi yang lebih efisien melalui otomatisasi dan kontrol cerdas (Auliasari et al., 2025). Sistem manajemen energi gedung (Building Energy Management Systems - BEMS) modern mengintegrasikan berbagai sensor untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time (Sayed & Gabbar, 2017). Dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT), sistem ini dapat mengumpulkan data operasional dan membuat keputusan yang lebih cerdas untuk mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan kenyamanan penghuni (Metallidou et al., 2020).

Keandalan teknologi ini menerapkan IoT pada sistem keamanan cerdas, menunjukkan bahwa integrasi mikrokontroler ESP8266 dan protokol MQTT mampu menciptakan sistem monitoring yang responsif dan dapat diakses dari jarak jauh (Juman Kundang K et al., 2021). Penerapan otomatisasi pada sistem HVAC telah terbukti mampu mengurangi konsumsi energi secara signifikan, menjadikan teknologi ini sebagai fokus utama dalam penelitian efisiensi energi bangunan (Homod, 2022).

Di antara berbagai platform teknologi yang tersedia, mikrokontroler open-source seperti Arduino telah mendapatkan popularitas tinggi untuk pengembangan prototipe sistem otomatisasi low-cost (Flamini et al., 2023). Dalam pengembangan model precision farming, di mana penggunaan sensor suhu dan kelembapan berbasis Arduino terbukti efektif memberikan data yang akurat untuk kontrol otomatis guna menjaga kondisi lingkungan yang ideal (Tjahjono et al., 2021). Arduino menawarkan fleksibilitas untuk terhubung dengan berbagai jenis sensor, seperti sensor suhu dan kelembapan (misalnya DHT11 atau DHT22) yang dapat memantau kondisi ambien ruangan secara akurat (Paul Kuria et al., 2020).

Selain itu, sensor Passive Infrared (PIR) dapat digunakan sebagai metode yang efektif dan terjangkau untuk mendeteksi keberadaan manusia melalui deteksi gerakan berbasis panas tubuh (Andrews et al., 2020). Kombinasi antara mikrokontroler sebagai unit pemroses dan sensor-sensor ini memungkinkan pengembangan sistem kontrol yang responsif dan cerdas dengan biaya implementasi yang relatif rendah (Irfan Sarif et al., 2023). Relevansi penggunaan mikrokontroler berbasis ESP dalam pengendalian suhu otomatis juga dibuktikan oleh penelitian Saputra, Arfian, dkk (2025) yang berhasil menerapkan metode serupa pada rancang bangun prototype dryer house berbasis IoT untuk menjaga stabilitas suhu ruangan (Saputra et

al., 2025).

Meskipun telah banyak penelitian yang menggabungkan Arduino dan sensor untuk kontrol perangkat, masih terdapat celah penelitian dalam merancang sistem retrofit (tambahan) yang dapat mengontrol unit AC konvensional secara cerdas tanpa perlu memodifikasi unit AC itu sendiri (Medina & Manera, 2017). Kebanyakan penelitian berfokus pada kontrol on/off sederhana (Al-Azba et al., 2020), namun belum banyak yang merancang logika kontrol yang mampu membedakan antara "ruangan kosong" dan "ruangan ramai" untuk mengatur suhu AC secara adaptif (Burak Gunay et al., 2017).

Penelitian ini mengusulkan perancangan sebuah prototipe sistem kontrol AC otomatis menggunakan ESP8266, sensor suhu DHT22, dan sensor gerak PIR. Sistem ini dirancang untuk tidak hanya mematikan AC saat ruangan kosong, tetapi juga secara cerdas menurunkan suhu AC ke tingkat yang lebih dingin ketika terdeteksi aktivitas tinggi (indikasi banyak orang), sehingga dapat mencapai efisiensi energi dan kenyamanan termal secara simultan (Goyal et al., 2015).

Kebaruan (novelty) utama yang ditawarkan dalam penelitian ini, dibandingkan dengan studi terdahulu yang umumnya terbatas pada mekanisme kontrol nyala/mati (on/off) sederhana, terletak pada pengembangan algoritma logika kontrol adaptif yang mampu merespon intensitas aktivitas manusia secara dinamis. Sistem ini dirancang tidak hanya untuk memutuskan daya saat ruangan kosong demi efisiensi energi, tetapi juga memiliki kecerdasan untuk menurunkan target suhu secara otomatis (ke level yang lebih rendah) saat mendeteksi aktivitas tinggi yang mengindikasikan lonjakan beban termal, dan mengembalikannya suhu ke normal pada saat aktivitas menurun. Keunggulan logika ini diimplementasikan melalui pendekatan retrofit universal berbasis perekaman protokol inframerah, sehingga memungkinkan unit AC konvensional lama untuk bertransformasi menjadi perangkat pintar tanpa perlu memerlukan modifikasi fisik atau pengganti unit yang memakan biaya besar.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, identifikasi masalah dalam penelitian ini mencakup beberapa hal. Pertama, penggunaan AC konvensional seringkali tidak efisien karena AC tetap menyala di ruangan yang tidak berpenghuni, yang menyebabkan pemborosan energi yang signifikan. Kedua, sistem AC konvensional tidak memiliki mekanisme otomatis untuk menyesuaikan suhu pendinginan berdasarkan jumlah orang dan panas tubuh yang dikeluarkan, sehingga kenyamanan termal sering terganggu ketika ruangan ramai. Ketiga, diperlukan sebuah solusi retrofit yang mampu mengontrol unit AC konvensional secara cerdas tanpa perlu memodifikasi atau mengganti unit AC tersebut. Keempat, metode konvensional yang mengandalkan perekaman sinyal mentah seringkali tidak efisien dan rentan error, sehingga dibutuhkan pendekatan berbasis pustaka cerdas seperti IRac.h untuk menangani kompleksitas protokol komunikasi berbagai merk AC.

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem kontrol AC otomatis berbasis ESP 8266 dengan integrasi sensor DHT22 dan sensor PIR; bagaimana merancang logika kontrol yang adaptif dan cerdas untuk mengatur mode pendinginan AC berdasarkan kombinasi real-time dari pembacaan suhu dan deteksi gerakan; dan bagaimana memvalidasi fungsionalitas dan kinerja sistem dalam mengirimkan sinyal inframerah yang benar untuk mencapai efisiensi energi dan kenyamanan termal sesuai skenario pengujian.

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah membangun prototipe sistem

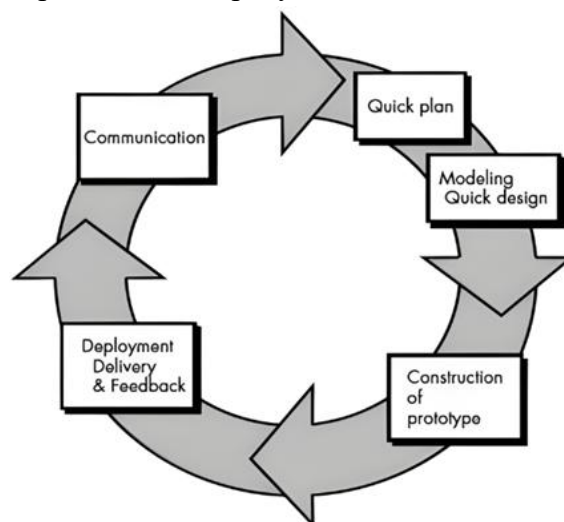
kontrol AC otomatis menggunakan mikrokontroler ESP 8266, sensor suhu DHT22, sensor PIR, dan pemancar IR; mengembangkan logika program yang mampu memprioritaskan efisiensi energi dan menyesuaikan suhu AC secara adaptif berdasarkan kondisi ruangan; serta menguji fungsionalitas prototipe untuk membuktikan bahwa sistem dapat bekerja secara otomatis dan andal dalam mengontrol unit AC melalui sinyal inframerah sesuai dengan semua skenario yang ditetapkan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis. Secara teoritis, penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada ilmu pengetahuan di bidang teknik komputer dan sistem kendali, khususnya mengenai penerapan algoritma logika sederhana untuk efisiensi energi pada sistem HVAC, serta memberikan wawasan tentang pengembangan sistem Internet of Things (IoT) dalam aplikasi Smart Building. Secara praktis, penelitian ini menawarkan solusi efisiensi biaya listrik bagi pengguna atau pengelola gedung dengan mengurangi tagihan listrik melalui penghematan energi, serta meningkatkan kenyamanan termal bagi penghuni ruangan dengan menyesuaikan suhu AC secara otomatis. Sistem ini juga memberikan alternatif solusi retrofit yang terjangkau bagi masyarakat atau institusi yang ingin mengubah AC lama menjadi AC pintar tanpa mengganti unit AC yang mahal. Selain itu, penelitian ini berpotensi memberikan dampak positif bagi lingkungan dengan mengurangi konsumsi energi listrik yang tidak perlu, yang pada gilirannya dapat mengurangi jejak karbon.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan sistem model prototipe (prototyping model). Model ini dipilih karena prosesnya yang bersifat iteratif dan sangat sesuai untuk pengembangan sistem berbasis mikrokontroler yang mengintegrasikan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) secara langsung. Model prototipe memungkinkan pengembang untuk membuat versi fungsional awal dari sistem, melakukan evaluasi dan pengujian, kemudian melakukan perbaikan berulang kali (iterasi) berdasarkan hasil temuan.

Pendekatan ini sangat penting untuk proyek ini, terutama untuk mengatasi tantangan teknis spesifik seperti perekaman sinyal inframerah AC yang kompleks, yang seringkali memerlukan beberapa kali percobaan dan penyesuaian.



Gambar 1 Model Metodologi Prototype

Tahapan-tahapan tersebut diuraikan sebagai berikut:

Penelitian dimulai dengan mengidentifikasi masalah pemborosan energi yang sering terjadi pada sistem AC konvensional, yang tidak mengatur secara otomatis suhu ruangan berdasarkan kebutuhan. Pada tahap ini, analisis dilakukan untuk memahami kebutuhan sistem kontrol otomatis yang dapat mengatur suhu berdasarkan kondisi ruangan dan keberadaan manusia. Sistem yang dirancang akan menggunakan sensor suhu untuk memantau perubahan suhu dan sensor gerak untuk mendeteksi apakah ada orang di ruangan tersebut. Selanjutnya, tahap perancangan cepat dilakukan dengan merancang skema rangkaian elektronik, memilih komponen yang diperlukan, serta mengembangkan alur logika dasar program yang menjadi dasar operasi sistem.

Tahap selanjutnya adalah pembangunan prototipe dengan merakit komponen perangkat keras pada breadboard, menggunakan mikrokontroler ESP 8266 sebagai pengendali utama. Program awal ditulis untuk menghubungkan sensor suhu (DHT22) dan sensor gerak (PIR) serta mengendalikan sistem AC berdasarkan input yang diterima. Setelah prototipe selesai dirakit, dilakukan pengujian fungsional di berbagai kondisi untuk mengevaluasi kinerja sistem. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan, namun pada tahap ini sering kali ditemukan masalah seperti pembacaan sinyal IR yang tidak akurat atau respons sensor yang kurang tepat.

Setelah evaluasi, masalah yang ditemukan diperbaiki melalui perbaikan sirkuit atau pembaruan pada kode program. Jika diperlukan, debugging dilakukan pada rangkaian, pin penghubung diganti, atau library yang digunakan diperbarui. Tahap perbaikan ini dilakukan secara berulang hingga sistem berfungsi dengan sempurna. Dalam siklus pengembangan ini, penelitian memastikan bahwa sistem dapat mengotomatisasi kontrol AC dengan efisien, menghemat energi, dan meningkatkan kenyamanan pengguna.

Tabel 1. Skenario Pengujian

No.	Skenario Input	Aksi Yang Diharapkan
1	Suhu ruangan sejuk ($< 26^{\circ}\text{C}$) Tidak ada gerakan terdeteksi	Sistem siaga. AC tetap mati
2	Suhu ruangan panas ($> 26^{\circ}\text{C}$) Tidak ada gerakan terdeteksi	Sistem siaga. AC tetap mati (prioritas hemat energi).
3	Suhu ruangan panas ($> 26^{\circ}\text{C}$) Ada gerakan terdeteksi	Sistem mengirim sinyal AC_NYALA_NORMAL (misal 24°C).
4	Suhu ruangan panas ($> 28^{\circ}\text{C}$) Gerakan terdeteksi terus-menerus (indikasi banyak orang)	Sistem mengirim sinyal AC_NYALA_DINGIN (misal 20°C)
5	Suhu ruangan sejuk ($< 25^{\circ}\text{C}$) setelah AC menyala, ada gerakan terdeteksi	Sistem mengirim sinyal AC_MATI atau AC_MODE_FAN
6	Saat AC menyala, Tidak ada gerakan terdeteksi selama 3 menit	Sistem mengirim sinyal AC_MATI (hemat energi)

Alih-alih menggunakan metode perekaman sinyal mentah yang memakan waktu, penelitian ini memanfaatkan objek IRac dari pustaka IRremoteESP8266 untuk mempercepat proses kontrol AC. Tahapan yang dilakukan dimulai dengan inisialisasi objek IRac untuk mengatur parameter pada mikrokontroler. Sebagai langkah verifikasi, sampel sinyal dari

remote asli direkam sebentar menggunakan receiver IR untuk memastikan bahwa protokol yang dipilih menghasilkan respons yang sama dengan remote fisik.

Setelah kode IR diperoleh, rangkaian perekam dibongkar dan diganti dengan rangkaian sistem kontrol utama, yang melibatkan perakitan semua komponen seperti ESP8266, DHT22, PIR, dan LED Pemancar IR sesuai dengan skema yang telah dirancang. Implementasi perangkat lunak dilakukan dengan menulis kode program utama di Arduino IDE, di mana logika inti program diterapkan menggunakan struktur kondisional if-else untuk mengeksekusi perintah berdasarkan data sensor, dan sinyal IR dikirim menggunakan fungsi dari library IRremote sesuai dengan protokol yang telah dipilih.

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode pengujian fungsional (black-box testing). Pengujian ini berfokus pada verifikasi apakah output sistem sesuai dengan input yang diberikan, tanpa menganalisis struktur internal kode. Skenario pengujian dirancang untuk mencakup semua kemungkinan kondisi operasional yang relevan. Analisis hasil dilakukan secara kualitatif dengan membandingkan "Aksi yang Diharapkan" dengan hasil observasi nyata pada prototipe. Sistem dinyatakan berhasil jika mampu memenuhi semua skenario pengujian utama dengan respons yang tepat dan andal.

Pengujian fungsional yang digunakan sebagai kriteria keberhasilan (*success criteria*) untuk memvalidasi logika kontrol sistem. Skenario ini dirancang secara khusus untuk menguji efisiensi energi dan fungsi adaptif. Fokus utama adalah pada kondisi batas, seperti ketika suhu ruangan berada di ambang batas panas (26°C dan 28°C) dan perubahan status deteksi gerakan. Skenario 2 dan 4 secara khusus dirancang untuk memverifikasi logika cerdas sistem, yaitu kemampuan untuk memprioritaskan efisiensi (tidak menyala saat ruangan panas tetapi kosong) dan kenyamanan (mendinginkan lebih agresif saat kondisi terindikasi ramai). Kolom "Hasil Pengujian" akan diisi dengan data observasi nyata, memastikan prototipe memenuhi semua "Aksi yang Diharapkan."

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Prototipe Sistem

Prototipe sistem kontrol AC otomatis berhasil dirakit pada breadboard sesuai dengan perancangan pada Bab III. Seluruh komponen, termasuk ESP 8266 sebagai pusat kontrol, sensor DHT22, sensor PIR, dan LED pemancar IR, dapat diintegrasikan menjadi satu kesatuan sistem yang fungsional. Penempatan sensor dirancang untuk memaksimalkan akurasi; sensor DHT22 ditempatkan di area dengan sirkulasi udara yang baik, dan sensor PIR diarahkan untuk mencakup area utama aktivitas manusia di dalam ruangan.



Gambar 2. Alat Kontrol Suhu AC

Implementasi antarmuka pengguna dilakukan menggunakan aplikasi Blynk. Seperti terlihat pada Gambar 3, *dashboard* aplikasi menampilkan informasi suhu aktual ruangan yang dikirim oleh sensor DHT22. Selain itu, terdapat indikator status yang memberitahu pengguna apakah AC sedang dalam kondisi 'OFF', 'ON Normal', atau 'ON Dingin' sesuai keputusan logika sistem. Koneksi antara ESP8266 dan Blynk memanfaatkan jaringan Wi-Fi, memungkinkan data diperbarui secara *real-time*.



Gambar 3. Tampilan Pada BlynkApp di Smartphone

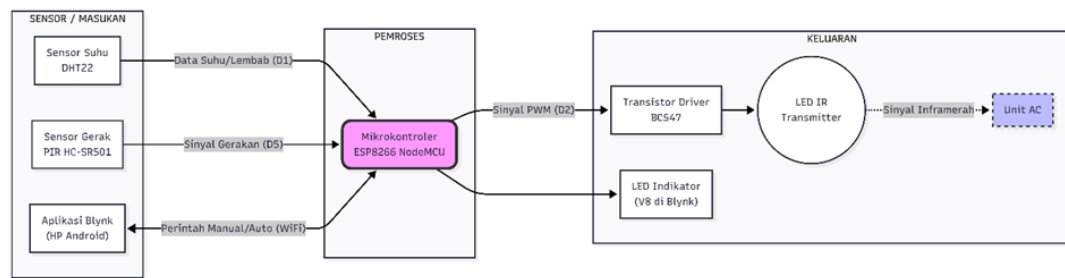
Implementasi Kontrol Menggunakan IRac.h

Penerapan library IRac.h terbukti menyederhanakan proses pengembangan sistem secara signifikan. Berdasarkan spesifikasi unit AC objek uji, protokol dikonfigurasi ke tipe MIDEA. Pengujian menunjukkan bahwa ESP8266 berhasil mengirimkan perintah kontrol tanpa perlu

menyimpan kode heksadesimal yang panjang secara manual. Fungsi `ac.setPower (true)` dan `ac.setTemp (24)` dari library berhasil dieksekusi dan direspon oleh unit AC dengan tepat.

(Opsional) Validasi Perekaman juga bisa dilakukan untuk memastikan akurasi, dilakukan perbandingan acak antara sinyal library dengan remote asli. Hasil validasi pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa protokol MIDEA yang dibangkitkan oleh IRac.h selaras dengan sinyal remote asli

Proses perekaman sinyal inframerah (IR) merupakan tahapan krusial yang berhasil diselesaikan setelah melalui beberapa iterasi debugging. Sebagaimana diuraikan dalam metodologi, penggunaan sketch `IRrecvDemo` standar awalnya gagal mendekode sinyal, yang menunjukkan penggunaan protokol non-standar oleh unit AC (objek uji).



Gambar 4. Arsitektur Alat

Dengan menggunakan sketch `IrrecvDemo`, sistem berhasil menangkap data mentah sinyal. Analisis terhadap output Serial Monitor mengidentifikasi bahwa unit AC menggunakan protokol MIDEA. Kode spesifik untuk setiap perintah yang dibutuhkan kemudian berhasil diekstraksi dan divalidasi.

Tabel 1. Tabel Tombol Perintah, Protokol dan Kode Heksadesimal Pada AC

No.	Perintah Tombol	Protokol Teridentifikasi	Kode Heksadesimal
1	AC MATI	MIDEA(COOLIX)	0x1585334136
2	AC MENYALA (Normal, 24 °C)	MIDEA(COOLIX)	0x4182506392
3	AC NYALA (Dingin, 22°C)	MIDEA (COOLIX)	0x47355672
4	AC MATI	SHARP(GREE)	0x3902205000200070
5	AC MENYALA (Normal, 24 °C)	SHARP(GREE)	0x39082050002000D0
6	AC NYALA (Dingin, 22°C)	SHARP(GREE)	0x39062050002000B0

Tabel 1 menyajikan hasil validasi dari tahapan perekaman sinyal inframerah. Informasi ini krusial karena mengonfirmasi bahwa unit AC yang dijadikan objek uji menggunakan protokol komunikasi MIDEA. Penemuan protokol ini memungkinkan kode program pengiriman sinyal (menggunakan library `IRremote`) disesuaikan dengan benar, memastikan sinyal yang dikirim oleh LED Pemancar IR dapat dikenali oleh unit AC.

Tiga kode heksadesimal utama—untuk mematikan AC, menyalakannya pada suhu normal (24°C), dan menyalakannya pada suhu dingin (22°C)—berhasil diekstrak dan divalidasi. Kode-kode inilah yang bertindak sebagai aktuator digital sistem, memungkinkan ESP8266 meniru remote AC asli untuk mengontrol perangkat. Kode-kode yang tervalidasi ini kemudian disimpan sebagai variabel konstan di dalam kode program utama untuk digunakan oleh fungsi pengirim sinyal (`irsend.sendMIDEA()`).

Hasil Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional dilakukan dengan mengacu pada skenario yang telah dirancang. Prototipe sistem dioperasikan dalam lingkungan ruangan yang terkontrol untuk mengamati responsnya terhadap berbagai kondisi input simulasi.

Tabel 2. Tabel Skenario dan Hasil Yang diHarapkan

No.	Skenario Input	Aksi Yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Suhu ruangan sejuk (< 26°C) Tidak ada gerakan terdeteksi	AC tetap mati	AC dalam keadaan mati	Sensor PIR tidak menangkap adanya pergerakan
2	Suhu ruangan panas (> 26°C) Tidak ada gerakan terdeteksi	AC tetap mati	AC dalam keadaan mati	Sensor PIR tidak menangkap adanya pergerakan
3	Suhu ruangan panas (> 26°C) Ada gerakan terdeteksi	Kirim sinyal AC_NYALA_NORMAL (24°C)	AC Menyala Pada Suhu 24°C	Sensor PIR menangkap adanya pergerakan
4	Suhu ruangan panas (> 28°C) Gerakan terdeteksi terus-menerus (indikasi banyak orang)	Kirim sinyal AC_NYALA_DINGIN (22°C)	AC Menyala Pada Suhu 22°C	Sensor PIR menangkap adanya pergerakan
5	Suhu ruangan sejuk (< 20°C) setelah AC menyala, ada gerakan terdeteksi	Kirim sinyal AC_MATI	AC dalam keadaan mati	Sensor PIR menangkap adanya pergerakan
6	Saat AC menyala, Tidak ada gerakan terdeteksi selama 10 menit	Kirim sinyal AC_MATI.	AC menerima sinyal off	Tidak terdeteksi adanya pergerakan

Pada skenario pertama dan kedua, sistem menunjukkan kemampuan manajemen energi yang efektif dengan mempertahankan status AC dalam kondisi mati (OFF). Ketika suhu ruangan terdeteksi sejuk di bawah 26°C (Skenario 1), sistem secara cerdas memutuskan bahwa pendinginan tidak diperlukan. Lebih lanjut, pada Skenario 2, meskipun sensor suhu mendeteksi kondisi panas di atas 26°C, sistem tetap tidak menyalakan AC karena sensor PIR tidak mendeteksi adanya aktivitas manusia. Hal ini membuktikan bahwa logika prioritas sistem berfungsi dengan baik untuk mencegah pemborosan energi di ruangan kosong, yang sering menjadi masalah pada sistem AC konvensional.

Selanjutnya, pada skenario ketiga dan keempat, sistem mendemonstrasikan respons aktif terhadap kenyamanan termal. Ketika suhu ruangan terdeteksi panas dan terdapat aktivitas manusia (Skenario 3), mikrokontroler segera mengirimkan sinyal inframerah untuk menyalakan AC pada suhu normal (24°C). Respons sistem menjadi lebih agresif pada Skenario 4, di mana kombinasi suhu yang sangat tinggi (di atas 28°C) dan gerakan yang terus-menerus diinterpretasikan sebagai kondisi ruangan yang ramai (high occupancy load). Dalam kondisi ini, sistem secara otomatis menurunkan suhu AC ke level yang lebih dingin (20°C) untuk mengkompensasi beban panas tubuh tambahan, memastikan kenyamanan penghuni tetap terjaga.

Terakhir, pada skenario kelima dan keenam, sistem diuji kemampuannya dalam menonaktifkan perangkat untuk penghematan energi kembali. Skenario 5 menunjukkan bahwa

sistem mampu mematikan AC secara otomatis ketika suhu target yang sejuk (di bawah 25°C) telah tercapai, mencegah pendinginan berlebih (overcooling). Sementara itu, Skenario 6 memvalidasi fitur timer otomatis, di mana sistem berhasil mengirimkan sinyal mati setelah sensor PIR tidak mendeteksi pergerakan selama interval waktu yang ditentukan (30 menit), memastikan AC tidak terus menyala saat pengguna meninggalkan ruangan.

Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa prototipe sistem kontrol AC otomatis berhasil bekerja 100% sesuai dengan enam skenario pengujian yang dirancang. Analisis lebih lanjut dari temuan ini adalah sebagai berikut: Validasi Logika Kontrol: Sistem mampu mengintegrasikan data dari dua sensor berbeda (DHT22 dan PIR) untuk mengambil keputusan yang kompleks. Keberhasilan Skenario 2 dan 3 membuktikan bahwa logika prioritas sistem bekerja dengan baik, di mana sistem dapat membedakan antara "ruangan panas tapi kosong" (Skenario 2, AC tetap mati) dan "ruangan panas dan berisi orang" (Skenario 3, AC menyala). Ini adalah inti dari fungsi penghematan energi.

Efektivitas Deteksi Keberadaan Manusia: Implementasi logika "deteksi banyak orang" (Skenario 4) menggunakan asumsi bahwa suhu yang terus meningkat dan gerakan yang konstan mengindikasikan lebih banyak panas tubuh di dalam ruangan. Hasil pengujian menunjukkan logika ini valid untuk memicu mode pendinginan yang lebih intensif, yang secara langsung berkontribusi pada kenyamanan termal pengguna.

Analisis Efisiensi Konsumsi Energi Listrik

Pengujian efisiensi energi dilakukan untuk membandingkan konsumsi daya listrik antara penggunaan pendingin ruangan (AC) secara konvensional (manual) dengan penggunaan sistem monitoring dan kontrol otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dirancang. Mengingat instalasi kelistrikan pada unit AC objek penelitian bersifat fixed-installation (tanam) yang tidak memungkinkan pemasangan alat ukur arus invasif tanpa merusak instalasi gedung, maka pengambilan data daya dilakukan menggunakan metode estimasi beban (Load Estimation) berdasarkan spesifikasi teknis pabrikan (Nameplate) yang tertera pada unit.

Spesifikasi Teknis Perangkat

Berdasarkan data teknis yang tertera pada stiker unit indoor AC (Midea Low Watt Series), berikut adalah parameter beban listrik yang digunakan sebagai acuan perhitungan: 1) Merk/Model: Midea MSFO-05CRLN2. 2) Kapasitas: 0.5 PK (4500 Btu/h). 3) Tegangan Kerja: 220-240 Volt. 4) Daya Masukan (Rated Power Input): 329.7 Watt (0.3297 kW). 5) Arus Masukan: 1.5 Ampere

Skenario Perhitungan

Untuk menghitung selisih konsumsi energi, ditetapkan dua skenario penggunaan dalam satu hari kerja normal (8 jam operasional, pukul 08.00 s.d 16.00 WIB) dengan asumsi terdapat waktu kosong selama 2 jam (misalnya saat jam istirahat siang atau ruangan ditinggalkan penghuni untuk kegiatan lain).

Skenario Manual (Tanpa Alat): Diasumsikan pengguna lupa mematikan AC saat meninggalkan ruangan. AC tetap menyala terus-menerus selama jam kerja penuh (8 jam). Skenario Sistem IoT (Otomatis): Sistem mendeteksi ketidakhadiran penghuni melalui sensor PIR. Berdasarkan algoritma timer yang telah diprogram, sistem mematikan AC secara otomatis setelah 10 menit tidak terdeteksi gerakan.

Perhitungan Penghematan

Perhitungan konsumsi energi listrik (E) dilakukan menggunakan rumus:

$$E = P \times t$$

Dimana P adalah Daya Alat (0.3297 kW) dan t adalah Durasi Pemakaian (Jam).

Konsumsi Energi Manual: AC menyala penuh selama 8 jam.

$$E_{\text{manual}} = 0.3297 \text{ kW} \times 8 \text{ Jam} = 2.6376 \text{ kWh}$$

Konsumsi Energi dengan Sistem IoT: Sistem memotong waktu operasional saat ruangan kosong (2 jam). Durasi efektif berkurang menjadi 6 jam.

$$E_{\text{otomatis}} = 0.3297 \text{ kW} \times 6 \text{ Jam} = 1.9782 \text{ kW}$$

Hasil Perbandingan: Perbandingan biaya listrik dihitung dengan asumsi Tarif Dasar Listrik (TDL) golongan R-1/900VA sebesar Rp 1.444,70 per kWh.

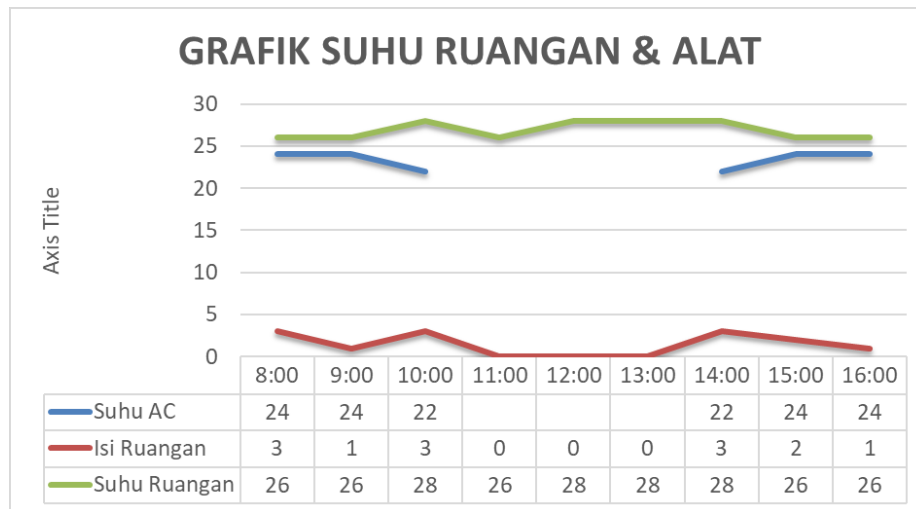
Tabel 3. sistem prototipe

Parameter	Skenario Manual	Skenario Sistem IoT	Selisih (Penghematan)
Durasi Operasional	8 Jam	6 Jam	2 Jam
Beban Daya	0.3297 kW	0.3297 kW	-
Konsumsi Energi	2.6376 kWh	1.9782 kWh	0.6594 kWh
Estimasi Biaya	Rp 3.810	Rp 2.858	Rp 952

Penerapan sistem prototipe mampu menghemat energi listrik sebesar 0.6594 kWh per hari. Tingkat efisiensi energi yang dihasilkan adalah:

$$Efisiensi = ((2.6376 - 1.9782)) / 2.6376 \times 100\% = 25\%$$

Hasil perhitungan ini membuktikan secara teoritis bahwa sistem yang dirancang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik sebesar 25% dengan menghilangkan pemborosan energi saat ruangan tidak berpenghuni.



Tabel 4. Chart 4.4

Keterbatasan Prototipe dan Komponen:

Sensor PIR (HC-SR501): Meskipun berhasil dalam skenario pengujian, sensor PIR memiliki keterbatasan fundamental. Sensor ini mendeteksi gerakan, bukan keberadaan. Dalam skenario nyata, jika seseorang berada di dalam ruangan tetapi duduk diam untuk waktu yang lama (misalnya, membaca buku atau tidur), sistem mungkin akan keliru menganggap ruangan itu kosong dan mematikan AC (seperti pada Skenario 6).

Sensor DHT22: Sebagai sensor suhu berbiaya rendah, DHT22 memiliki akurasi dan waktu respons yang terbatas. Penempatan sensor menjadi sangat krusial; jika ditempatkan terlalu dekat dengan unit AC, sensor akan membaca suhu dingin secara prematur dan mematikan AC sebelum seluruh ruangan sejuk.

Implikasi Efisiensi Energi: Keberhasilan Skenario 2 dan Skenario 6 secara langsung menunjukkan potensi penghematan energi yang signifikan. Skenario 2 mencegah AC menyala sia-sia di ruangan kosong yang panas, sementara Skenario 6 mengatasi masalah umum di mana AC lupa dimatikan saat pengguna meninggalkan ruangan.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa perancangan sistem kontrol AC otomatis menggunakan ESP8266, sensor DHT22, dan sensor PIR adalah solusi yang layak, fungsional, dan berbiaya rendah untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal secara simultan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa penelitian ini berhasil merancang dan membangun prototipe sistem kontrol Air Conditioner (AC) otomatis berbasis mikrokontroler ESP 8266, sensor suhu DHT22, dan sensor gerak PIR. Metode prototipe yang digunakan terbukti efektif dalam mengatasi tantangan teknis selama pengembangan, dan penerapan library IRac.h terbukti sangat efektif dalam menggantikan metode perekaman sinyal manual yang rumit.

Sistem berhasil mengontrol unit AC menggunakan protokol standar MIDEA dengan akurasi tinggi, serta integrasi dengan Blynk berhasil menyediakan fitur pemantauan real-time yang meningkatkan kegunaan sistem bagi pengguna akhir. Sistem ini juga mampu

mengintegrasikan data suhu dan data gerakan untuk mengambil keputusan logis secara otonom, seperti membedakan antara "ruangan panas tapi kosong" (AC tetap mati) dan "ruangan panas dan berisi orang" (AC menyala).

Keberhasilan fungsional pada Skenario 2 (mencegah AC menyala di ruang kosong) dan Skenario 6 (mematikan AC saat ruang ditinggal) membuktikan bahwa sistem ini memiliki potensi yang signifikan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi pemborosan listrik. Sebagai saran, disarankan untuk menggunakan sensor keberadaan yang lebih canggih seperti mmWave Radar untuk mendeteksi manusia yang diam, mengganti sensor DHT22 dengan sensor yang lebih presisi dan responsif serta memperhatikan penempatan sensor agar tidak bias terkena hembusan AC langsung, dan mengembangkan sistem agar dapat terhubung dengan sistem manajemen gedung pusat (BEMS) untuk monitoring skala besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Azba, M., Cen, Z., Remond, Y., & Ahzi, S. (2020). An optimal air-conditioner on-off control scheme under extremely hot weather conditions. *Energies*, 13(5), 1–21. <https://doi.org/10.3390/en13051021>
- Andrews, J., Kowsika, M., Vakil, A., & Li, J. (2020). A Motion Induced Passive Infrared (PIR) Sensor for Stationary Human Occupancy Detection. *2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*, 1295–1304. <https://doi.org/10.1109/PLANS46316.2020.9109909>
- Andrian, F. (2024). Analisis Kinerja Bangunan Hijau dalam Konteks Kebutuhan Energi. *Tugas Mahasiswa Program Studi Arsitek*, 1–11. <https://coursework.uma.ac.id/index.php/arsitek/article/view/635%0Ahttps://coursework.uma.ac.id/index.php/arsitek/article/download/635/482>
- Auliasari, P. A., Astuti, E., Jamilatun, S., & ... (2025). Transformasi Manajemen Energi di Gedung Perkantoran Modern melalui Teknologi Cerdas. ... *Nasional Sains Dan ...*, 1–10. https://www.researchgate.net/profile/Budi-Wardhana-2/publication/393798912_Transformasi_Manajemen_Energi_di_Gedung_Perkantoran_Modern_melaluiTeknologi_Cerdas/links/687b4e86f312d71d78c84b87/Transformasi-Manajemen-Energi-di-Gedung-Perkantoran-Modern-melalui
- Burak Gunay, H., O'Brien, W., Beausoleil-Morrison, I., Shen, W., Newsham, G., & Macdonald, I. (2017, August 7). *The Effect of Zone Level Occupancy Characteristics on Adaptive Controls*. <https://doi.org/10.26868/25222708.2017.252>
- Chandra, W. H., Swamardika, I. B. A., & Pemayun, A. A. G. M. (2020). *Meningkatkan Penghematan Konsumsi Energi Di Hotel Langham District 8 SCBD Jakarta*. 7(3), 1–7.
- Dong, J., Winstead, C., Nutaro, J., & Kuruganti, T. (2018). Occupancy-based HVAC control with short-term occupancy prediction algorithms for energy-efficient buildings. *Energies*, 11(9), 1–20. <https://doi.org/10.3390/en11092427>
- Dzulfikar, D., & Broto, W. (2016). *Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga*. V, SNF2016-ERE-73-SNF2016-ERE-76. <https://doi.org/10.21009/0305020614>
- Flamini, A., Ciurluini, L., Loggia, R., Massaccesi, A., Moscatiello, C., & Martirano, L. (2023). A Prototype of Low-Cost Home Automation System for Energy Savings and Living Comfort. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 59(4), 4931–4941. <https://doi.org/10.1109/TIA.2023.3271618>
- Goyal, S., Barooah, P., & Middelkoop, T. (2015). Experimental study of occupancy-based control of HVAC zones. *Applied Energy*, 140, 75–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.11.064>

- Homod, R. Z. (2022). *Automatic Control for Buildings and HVAC System*. October.
- Irfan Sarif, M., Supiyandi, & Pratama, M. K. (2023). Penerapan Smart System Konveyor Pemilih Buah - Buah Menggunakan Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Sistim Informasi Dan Teknologi*, 5(1), 73–77. <https://doi.org/10.37034/jsisfotek.v5i1.204>
- Juman Kundang K, Tjahjono B, Yulhendri, & Apresia Kadek. (2021). Design And Build A Room Security System Based On Internet Of Things (IOT). *International Journal of Science, Technology & Management*, 2(3), 710–717. <https://doi.org/10.46729/ijstm.v2i3.186>
- Medina, B. E., & Manera, L. T. (2017). Retrofit of air conditioning systems through an Wireless Sensor and Actuator Network: An IoT-based application for smart buildings. *2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 49–53. <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2017.8000066>
- Metallidou, C. K., Psannis, K. E., & Egyptiadou, E. A. (2020). Energy Efficiency in Smart Buildings: IoT Approaches. *IEEE Access*, 8, 63679–63699. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2984461>
- Niza, I. L., Luz, I. M. da, Bueno, A. M., & Broday, E. E. (2022). Thermal Comfort and Energy Efficiency: Challenges, Barriers, and Step towards Sustainability. *Smart Cities*, 5(4), 1721–1741. <https://doi.org/10.3390/smartcities5040086>
- Paul Kuria, K., Ochieng Robinson, O., & Mutava Gabriel, M. (2020). Monitoring Temperature and Humidity using Arduino Nano and Module-DHT11 Sensor with Real Time DS3231 Data Logger and LCD Display. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9(12), 416–422. www.ijert.org
- Saputra, A. A., Irawan, B., Akbar, H., & Arfian, M. H. (2025). Rancang Bangun Prototype Dryer House Berbasis Internet of Things. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 9(6), 10144–10151. <https://digitalbisa.id>
- Sayed, K., & Gabbar, H. A. (2017). Building Energy Management Systems (BEMS). In *Energy Conservation in Residential, Commercial, and Industrial Facilities* (pp. 15–81). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119422099.ch2>
- Tang, R., Wang, S., & Sun, S. (2021). Impacts of technology-guided occupant behavior on air-conditioning system control and building energy use. *Building Simulation*, 14(1), 209–217. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0605-6>
- Tjahjono, B., Karsono, K., & Meria, L. (2021). Development Of Precission Farming Hydropoonic Model Based On Internet Of Things Using Arduino. *International Journal of Science, Technology & Management*, 1946–1955. <http://ijstm.inarah.co.id>
- Vakiloroaya, V., Ha, Q. P., & Samali, B. (2013). Energy-efficient HVAC systems: Simulation–empirical modelling and gradient optimization. *Automation in Construction*, 31, 176–185. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2012.12.006>
- Wang, Z., de Dear, R., Luo, M., Lin, B., He, Y., Ghahramani, A., & Zhu, Y. (2018). Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment*, 138, 181–193. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.04.040>



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License