TRANSMISI: JURNAL ILMIAH TEKNIK ELEKTRO, 28, (4), OKTOBER 2026
p-ISSN 1411-0814 e-ISSN 2407-6422

PENGEMBANGAN PERANGKAT IoT UNTUK PENGENDALIAN DAN PEMANTAUAN KONDISI AC DENGAN ANALISIS KONSUMSI DAYA SEBAGAI UPAYA EFISIENSI ENERGI

Mhd. Idham Khalif[1*)] dan Abdul Muis[2]

[1]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Trisakti, Jakarta Barat, Indonesia
[2]Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

[*)]*Penulis korespondensi, E-mail:idham.khalif@trisakti.ac.id*

Abstrak

Air conditioner (AC) umumnya dioperasikan menggunakan *remote control* karena unit biasanya dipasang 2–3 meter di atas permukaan tanah. Penelitian ini mengembangkan perangkat berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan dan pengoperasian AC yang dapat menggantikan fungsi *remote* konvensional. Perangkat dilengkapi sensor suhu untuk pemantauan kondisi ruangan, pemancar dan penerima inframerah untuk kompatibilitas universal, serta konektivitas IoT yang terintegrasi dengan aplikasi Android guna memungkinkan pemantauan *real-time* dan kendali jarak jauh. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi teknologi IoT dengan aplikasi *mobile* serta analisis komprehensif konsumsi daya berdasarkan variasi periode *sampling*. Hasil pengujian menunjukkan konsumsi daya rata-rata menurun sebesar 25,56% dari 85,36 mA, menjadi 62,69 mA ketika periode *sampling* diperpanjang dari 10 detik menjadi 10 menit dan memperpanjang *life time* sebesar 12,17 jam. Pendekatan ini memberikan solusi yang hemat energi, memperpanjang masa pakai baterai, serta mendukung pengembangan sistem AC cerdas yang efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: efisiensi energi, pengendali kondisi AC, otomasi AC, internet of things

Abstract

Air conditioners (AC) are generally operated using remote controls because the units are usually installed 2–3 meters above the ground. This study develops an Internet of Things (IoT)-based device for monitoring and operating AC units, designed to replace the function of conventional remotes. The device is equipped with a temperature sensor for monitoring indoor conditions, an infrared transmitter and receiver for universal compatibility, and IoT connectivity integrated with an Android application to enable real-time monitoring and remote control. The novelty of this research lies in the integration of IoT technology with a mobile application, as well as a comprehensive analysis of power consumption based on variations in sampling periods. The test results show that the average power consumption decreased by 25.56% from 85.36 mA to 62.69 mA when the sampling period was extended from 10 seconds to 10 minutes and extended the life time by 12.17 hours. This approach provides an energy-efficient solution, extends battery life, and supports the development of intelligent, efficient, and sustainable AC control systems.

Keywords: energy efficiency, AC control, AC automation, internet of things

1. Pendahuluan

Air Conditioning atau yang biasa disebut AC, merupakan sebuah alat elektronik yang dapat digunakan untuk mendinginkan atau menurunkan suhu, khususnya di dalam ruangan agar orang yang beraktivitas di ruangan yang ber-AC tetap nyaman dan fokus dalam beraktivitas. AC banyak digunakan dalam berbagai kondisi, seperti pada sektor industri, pendidikan, dan rumah tangga. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2017, sebanyak 10,90% rumah tangga sering menggunakan AC dengan suhu dibawah 25^{o}C, bahkan pada tahun 2013 mencapai 36,78% rumah tangga yang sering menggunakan AC dengan suhu dibawah 25^{o}C [1]. Karena terbukti efisien dalam menciptakan kondisi nyaman beraktivitas bagi penggunanya. IEA (*International Energy Agency*) juga memperkirakan pada tahun 2050, jumlah unit AC akan mencapai 5,6 miliar yang berarti sekitar dua pertiga rumah tangga di dunia akan menggunakan AC, dan angka tersebut diprediksi akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah unit AC. pembangunan perumahan, apartemen dan gedung perkantoran. Maka penggunaan AC pada saat ini sangat diperlukan agar penggunanya tetap nyaman dalam beraktivitas.

Indonesia merupakan negara yang mempunyai iklim tropis. Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Indonesia memiliki suhu rata-rata

26,8ºC pada bulan Maret periode 1990 – 2020 [2]. Oleh sebab itu dengan adanya perangkat AC ini, dapat digunakan untuk menstabilkan suhu sekitar agar tetap nyaman dalam beraktivitas. Peningkatan suhu rata-rata global akibat perubahan iklim, pertumbuhan ekonomi, dan urbanisasi diperkirakan menyebabkan peningkatan permintaan sistem pendingin [3].

AC merupakan suatu teknologi yang berfungsi untuk mengatur suhu dan kualitas udara dalam suatu ruangan, termasuk kelembaban dan aliran udara [4]. Pada dasarnya AC merupakan suatu alat elektronik yang mempunyai daya berupa energi listrik sehingga dapat berfungsi sesuai kebutuhannya. Pada umumnya perangkat AC dipasang di tempat yang jauh dari jangkauan manusia. Pasang AC pada ketinggian kurang lebih 250 cm dari lantai atau 30 cm lebih tinggi dari tinggi badan Anda [5]. Jadi untuk mengoperasikan perangkat AC kita memerlukan sebuah *remote control* untuk mengoperasikan perangkat AC tersebut. Mirip dengan perangkat AC, remote AC juga merupakan perangkat elektronik yang membutuhkan daya untuk beroperasi. Perbedaan daya yang digunakan pada perangkat AC adalah menggunakan daya berupa arus AC, sedangkan daya yang digunakan pada remote AC merupakan daya berupa arus DC yang bersumber dari baterai.

Namun jika menggunakan *remote control* konvensional tentunya akan pengendalian AC akan dilakukan secara manual oleh pengguna dan pengguna akan berinteraksi dengan AC untuk mengendalikan atau memberikan perintah kepada AC sesuai dengan fungsinya. Perancangan *remote* adaptif dapat digunakan untuk efisiensi penggunaan AC, tentunya juga dengan mempertimbangkan pengelolaan penggunaan daya pada *remote* dengan tujuan meminimalkan interaksi pengguna, penggunaan daya baterai yang awet dan menghemat konsumsi daya baterai. Jika setiap pelanggan rumah tangga mengurangi konsumsi listriknya sebesar 10%, maka sekitar 6.382 watt per minggu atau setara dengan 331.864 watt per tahun dapat dihemat. Upaya ini tentunya akan membantu pemerintah dalam menjamin pemerataan distribusi listrik ke seluruh rumah tangga di seluruh Indonesia [6].

Dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, telah berhasil membangun perangkat pengendali AC jarak jauh berbasis IoT dengan menggunakan komunikasi infra merah antara perangkat pengendali jarak jauh dengan perangkat AC. Namun pada penelitian ini pengendalian masih dilakukan secara manual dan manajemen daya baterai belum dilakukan pada perangkat kendali jarak jauh [7]. Penelitian lebih lanjut yang dilakukan pada tahun 2021 telah berhasil membangun sebuah perangkat kendali AC otomatis, dengan memodifikasi remote AC bawaan, perangkat kendali ini mampu mengendalikan AC secara otomatis dengan memberikan rentang nilai suhu sehingga AC dapat menghasilkan suhu sesuai rentang nilai yang telah ditetapkan [8]. Pada penelitian ini pengendalian AC otomatis masih menggunakan rentang nilai yang diatur secara manual dan belum ada mekanisme pengaturan penggunaan daya oleh *remote control*. Penelitian lain terkait manajemen daya telah dilakukan pada tahun 2014, penelitian ini mampu merancang manajemen daya baterai, salah satu metode yang digunakan untuk mengatur penggunaan baterai pada suatu perangkat elektronik dengan memperpanjang waktu sampling yang diproses oleh perangkat tersebut [9]. Namun pada penelitian ini komponen yang digunakan hanya satu sensor saja tanpa terhubung dengan jaringan lain seperti *Wi-Fi*. Tentu saja faktor lain akan mempengaruhi konsumsi daya yang digunakan, seperti jumlah sensor yang digunakan, komunikasi atau sinyal yang dikirimkan oleh perangkat.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang berjudul "*Fuzzy Logic Optimization to Control Air Conditioner (AC) Conditions using Rule-Based Algorithm*" [10] oleh Khalif dan Muis (2025). Pada penelitian tersebut telah diterapkan optimasi logika *fuzzy* menggunakan algoritma *rule-based* untuk mengoreksi pengendalian kondisi AC dengan periode sampling 10 detik dan 10 menit. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut, ketika logika *fuzzy* dioptimalkan menggunakan algoritma *rule-based*, rata-rata *error* kendali adalah 0,81% untuk waktu kontrol 10 detik dan 0,32% untuk waktu kontrol 10 menit. Temuan ini menunjukkan bahwa mengintegrasikan algoritma *rule-based* dengan kontrol logika *fuzzy* secara signifikan meningkatkan akurasi pengaturan suhu dalam sistem AC. Dengan mengurangi margin kesalahan, pendekatan optimal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga meminimalkan konsumsi daya dalam jangka panjang.

Penerapan sistem pemantauan dan pengendalian berbasis IoT telah banyak diakui sebagai tahap awal yang efektif dalam implementasi sistem cerdas, karena mampu menyediakan lingkungan *prototyping* yang cepat serta mendukung pemantauan *real-time* untuk penyesuaian otomatis terhadap kondisi operasional [11] [12]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, diperlukan perancangan dan penerapan sistem IoT yang tidak hanya mampu melakukan pengendalian, tetapi juga mengevaluasi efektivitas penggunaan daya secara menyeluruh.

Penelitian terdahulu telah berhasil mengoptimalkan sistem pengendalian suhu AC menggunakan kombinasi logika *fuzzy* dan algoritma *rule-based* dengan tingkat kesalahan pengendalian yang rendah. Namun demikian, aspek penting lain yang belum banyak dikaji adalah efisiensi konsumsi daya perangkat ketika periode sampling diperpanjang, serta integrasi sistem ke dalam platform IoT dan aplikasi pengguna. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis konsumsi daya berdasarkan variasi periode sampling, serta penerapan

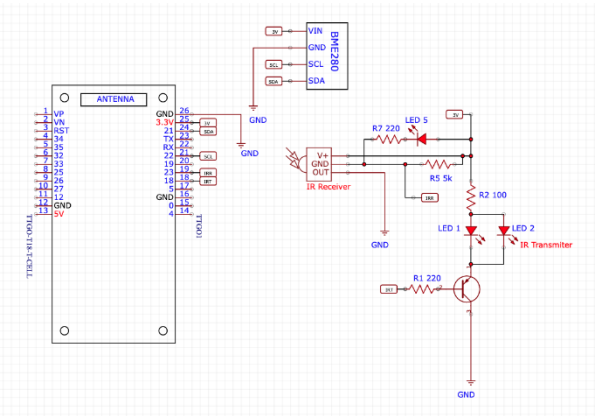
sistem IoT dan aplikasi Android untuk meningkatkan mobilitas dan kemudahan penggunaan perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC. Dengan pendekatan ini, perangkat yang dikembangkan diharapkan mampu membentuk sistem pemantauan dan pengendalian AC yang terintegrasi secara penuh berbasis IoT, sekaligus mengimplementasikan algoritma koreksi pengendalian di dalamnya.

2. Metode

Dalam penelitian ini diterapkan beberapa metode untuk mendukung proses implementasi sistem. Tahapan perancangan meliputi pembuatan diagram blok dan skematik rangkaian untuk menggambarkan struktur kerja perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC. Selain itu, juga dilakukan perancangan diagram arsitektur sistem IoT serta pengembangan aplikasi antarmuka yang berfungsi sebagai media pemantauan dan pengoperasian perangkat secara *real-time*.

3.1. Desain Sistem Pengendali dan Pemantau Kondisi AC

Pada bagian ini dijelaskan proses perancangan perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC berbasis IoT, yang meliputi penyusunan diagram blok dan skematik rangkaian. Skematik berfungsi untuk memvisualisasikan ide konseptual menjadi elemen desain yang konkret, dengan tujuan mempermudah pemahaman serta memberikan gambaran sistem secara lebih jelas sebelum tahap implementasi [13]. Perancangan ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menjelaskan fungsi dari setiap komponen yang digunakan dalam sistem, seperti sensor suhu, mikrokontroler, modul komunikasi, dan komponen pendukung lainnya. Desain perangkat keras yang dihasilkan menjadi dasar dalam pengembangan sistem berbasis IoT untuk pengendali dan pemantau kondisi AC secara *real-time*. Skematik diagram dari perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC yang telah dirancang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Skematik Sistem Pengendali AC

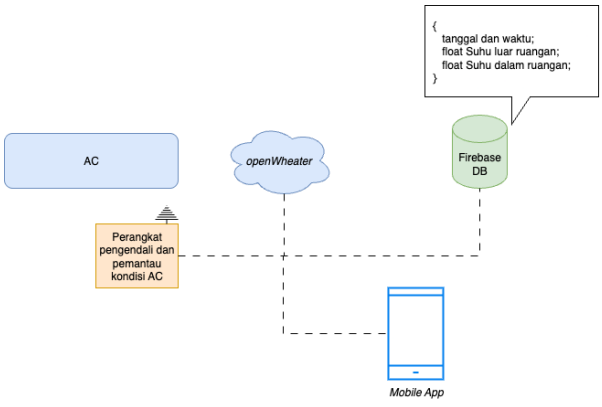
Gambar 1 menunjukkan skematik rangkaian sistem pemantauan dan operasional AC berbasis IoT yang dirancang pada penelitian ini. Setiap blok dalam diagram memiliki fungsi yang saling terhubung untuk membentuk sistem secara utuh. Komponen utama dalam sistem ini adalah mikrokontroler *T-Beam TTGO*, yang berperan sebagai pusat pemrosesan data. Mikrokontroler bertugas untuk membaca data suhu dari sensor BME280, menerima data suhu luar ruangan secara *real-time* dari platform *OpenWeather* melalui koneksi Wi-Fi, serta mengolah informasi tersebut untuk menentukan kondisi operasional perangkat. Selain itu, mikrokontroler juga menangani komunikasi dua arah dengan antarmuka aplikasi Android melalui jaringan IoT, sehingga pengguna dapat memantau kondisi ruangan dan mengirimkan perintah secara jarak jauh.

Sensor BME280 terhubung ke mikrokontroler melalui antarmuka I²C (pin 21 sebagai SDA dan pin 22 sebagai SCL) untuk mengukur suhu dalam ruangan secara berkala. Hasil pengukuran kemudian dikombinasikan dengan data dari *OpenWeathe*r untuk keperluan pengendalian dan pemantauan. Sinyal kendali yang dihasilkan mikrokontroler dikirimkan ke unit AC melalui pemancar inframerah (*IR transmitter*) yang terhubung ke pin 18. Sementara itu, penerima inframerah (*IR receiver)* yang terhubung ke pin 23 digunakan untuk menangkap sinyal asli dari *remote control*, yang kemudian direkam dan disimpan oleh mikrokontroler sebagai data referensi.

Keseluruhan proses ini memastikan sistem dapat bekerja secara terintegrasi, mulai dari pengambilan data sensor, pemrosesan dan pengambilan keputusan oleh mikrokontroler, hingga pengiriman sinyal kontrol ke AC.

Penjelasan ini menunjukkan hubungan langsung antara setiap komponen dalam Gambar 1 dan fungsi keseluruhan perangkat, sehingga gambar rangkaian bukan hanya ilustrasi, tetapi merepresentasikan alur kerja sistem secara menyeluruh.

3.2. Arsitektur Penerapan Sistem IoT



Gambar 2. Diagram Arsitektur Penerapan Sistem IoT

Arsitektur sistem IoT pada penelitian ini dirancang untuk mengintegrasikan perangkat keras, jaringan komunikasi, layanan *cloud*, dan aplikasi pengguna dalam satu sistem yang saling terhubung. Sistem terdiri atas tiga lapisan utama, yaitu lapisan perangkat (*device layer*), lapisan jaringan (*network layer*), dan lapisan aplikasi (*application layer*). Pada lapisan perangkat, mikrokontroler T-Beam TTGO berperan sebagai pusat kendali yang mengumpulkan data suhu dari sensor BME280 dan menangkap sinyal inframerah dari remote AC melalui modul penerima IR. Mikrokontroler juga bertugas mengirimkan sinyal inframerah ke unit AC melalui modul pemancar IR sebagai bentuk perintah operasional.

Gambar 2 menunjukkan arsitektur penerapan sistem IoT yang dirancang untuk mendukung proses pengendalian dan pemantau kondisi AC. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama yang saling terintegrasi, yaitu perangkat pengendali kondisi AC, layanan *OpenWheater,* layanan *cloud database* (*Firebase Database),* dan aplikasi *mobile* sebagai antarmuka pengguna.

Pada sisi perangkat (*device layer*), sistem menggunakan perangkat pengendali kondisi AC yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data. Perangkat ini dilengkapi dengan sensor suhu untuk mendeteksi kondisi ruangan secara real-time serta modul pemancar dan penerima inframerah (IR) yang memungkinkan komunikasi dua arah dengan unit AC. Perangkat ini mengumpulkan data lingkungan dan status perangkat, lalu mengirimkannya ke lapisan selanjutnya melalui koneksi jaringan nirkabel.

Data yang diperoleh dari perangkat dikirim ke *Firebase Database* pada *network layer*. Layanan cloud ini berperan sebagai pusat pertukaran data antara perangkat IoT dan aplikasi. Selain menyimpan data sensor, *Firebase* juga menerima perintah dari aplikasi untuk kemudian diteruskan kembali ke perangkat pengendali. Pada Gambar 2 dapat dilihat pada bagian *firebase DB* terdapat 3 nilai yang akan disimpan, yaitu tanggal dan waktu, nilai suhu luar ruangan yang diambil dari data *OpenWheater* dan data suhu dalam ruangan yang diambil dari data sensor, yang natinya akan ditampilkan dalam aplikasi berbasis Android.

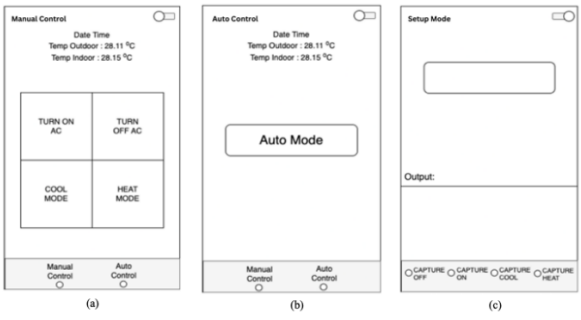
Selanjutnya, pada *application layer*, aplikasi Android berfungsi sebagai antarmuka pengguna yang memungkinkan proses pemantauan kondisi suhu dan status perangkat secara *real-time*. Pengguna juga dapat mengirimkan perintah pengendalian AC dari jarak jauh melalui aplikasi, seperti menghidupkan atau mematikan perangkat serta mengubah pengaturan suhu.

Melalui arsitektur ini, sistem IoT mampu bekerja secara terintegrasi mulai dari pengumpulan data sensor, penyimpanan dan distribusi data melalui cloud, hingga pemantauan dan pengendalian perangkat secara jarak jauh melalui aplikasi. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kemudahan dalam pengelolaan perangkat AC, tetapi juga mendukung efisiensi energi melalui optimasi konsumsi daya yang dikendalikan secara adaptif berdasarkan kondisi lingkungan.

Sistem tetap mempertahankan mekanisme pengendalian dasar berbasis logika *fuzzy* yang dikoreksi oleh algoritma *rule-based* dari penelitian sebelumnya sebagai logika pengambilan keputusan suhu, sehingga pada penerapan periode sampling 10 detik dan 10 menit tidak ada informasi dan pengendalian yang hilang. Fungsi ini terintegrasi dengan sistem IoT yang dikembangkan, sehingga pengendalian dapat dilakukan secara otomatis maupun melalui aplikasi *mobile*.

3.3. Desain Aplikasi Antarmuka Perangkat Pengendali dan Pemantau

Pada bagian ini akan menjelaskan dan menampilkan rancangan aplikasi yang digunakan sebagai antarmuka yang digunakan untuk mengontrol, memantau dan berinteraksi dengan perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC, yang tujuannya adalah untuk memudahkan pengguna dalam mengontrol dan memantau nilai suhu dalam dan luar ruangan. Aplikasi mobile perlu dirancang sejak awal agar konfigurasi dan fitur sistem dapat dikontrol dan dipantau dengan baik [14]. Selain itu, penelitian tentang Residential Energy Management menekankan bahwa desain awal UI/UX dalam kerangka user-centered sangat mempengaruhi pengalaman pengguna dan kinerja aplikasi keseluruhan [15]. Gambar 3 merupakan bentuk perancangan antarmuka aplikasi berbasis Android.



Gambar 3. Desain antarmuka aplikasi monitoring: (a). Menu manual *control,* (b). Menu *auto control,* (c). Menu *setup*

Gambar 3 adalaha tiga rancangan utama *userinterface* (UI) aplikasi berbasis *mobile* yang berfungsi sebagai sarana interaksi antara pengguna (*user*) dengan sistem pengendali dan pemantau kondisi AC. Aplikasi ini dirancang untuk diimplementasikan pada perangkat *mobile smartphone* berbasis Android, memberikan fleksibilitas dalam pengawasan dan pengendalian sistem.

Antarmuka pada Gambar 3(a) merepresentasikan menu Kontrol Manual (*Manual Control*). Bagian atas antarmuka menyajikan data monitoring terkini, meliputi Date Time pencatatan data terakhir, serta nilai numerik suhu luar ruangan (*Temp Outdoor*) yang diambil dari data openWeather dan suhu dalam ruangan (*Temp Indoor*) yang diambil dari data sensor suhu. Fitur utama dari menu ini terletak pada penyediaan empat tombol diskret yang memungkinkan pengguna untuk melakukan aktivasi dan deaktivasi AC secara eksplisit (*Turn On AC dan Turn Off AC*), serta pemilihan mode operasional spesifik (*Cool Mode dan Heat Mode*). Menu ini mendukung pengendalian AC secara langsung atau manual oleh pengguna.

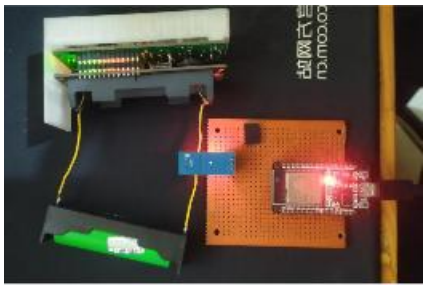
Antarmuka pada Gambar 3(b) menampilkan menu Kontrol Otomatis. (*Auto Control*). Fungsi utama dari menu ini adalah untuk mengaktifkan fitur pengendalian AC kepada perangkat pengontrol agar beroperasi secara otonom berdasarkan parameter atau algoritma yang telah diprogram. Sama halnya dengan menu Manual Kontrol, informasi *Date Time, Temp Outdoor, dan Temp Indoor* tetap disajikan sebagai konteks lingkungan. Kontrol operasional hanya disediakan melalui satu tombol sentral: *Auto Mode*. Aktivasi tombol ini akan menginisiasi perangkat pengendali untuk mengambil alih tugas pengendalian AC dan pemantauan kondisi secara adaptif dan otonom.

Antarmuka pada Gambar 3(c) merujuk pada menu Pengaturan atau *Setup Mode*. Menu ini dirancang khusus untuk tujuan konfigurasi sistem pengendali kondisi AC. Fungsi esensialnya adalah untuk mencatat data mentah (kode heksadesimal atau raw data) yang dikirimkan oleh *remote* AC konvensional dan ditangkap serta direkam oleh perangkat pengendali kondisi AC. Bagian atas disediakan untuk *input* data, dan bagian *output*: berfungsi untuk memverifikasi data yang telah berhasil diterima oleh IR *receiver*. Terdapat serangkaian tombol Capture spesifik (*Capture Off, Capture On, Capture Cool, Capture Heat*) yang digunakan untuk merekam dan memvalidasi kode - kode perintah fundamental dari *remote* AC, memastikan integritas dan akurasi data yang direkam pada *remote* konvensional.

3.4. Strategi Pengujian Konsumsi Daya

Strategi pengujian konsumsi daya pada penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi efisiensi energi dari perangkat IoT pengendali dan pemantau kondisi AC yang telah dikembangkan. Tujuan utama pengujian adalah untuk mengetahui bagaimana variasi periode sampling memengaruhi penggunaan daya perangkat secara keseluruhan serta dampaknya terhadap masa pakai baterai. Pengukuran arus umumnya dilakukan dengan menyisipkan sensor secara seri pada jalur rangkaian untuk memperoleh nilai arus aktual [16] [17]. Pendekatan lain menggunakan resistor shunt berimpedansi rendah dan penguat operasional untuk meningkatkan sensitivitas pengukuran [18].

Pengukuran arus dilakukan secara *real-time* menggunakan sensor arus ACS712, yang terintegrasi langsung dengan rangkaian catu daya perangkat. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip efek *Hall* untuk mendeteksi arus listrik yang mengalir melalui rangkaian dan mengonversinya menjadi tegangan analog yang kemudian dibaca oleh mikrokontroler. Data hasil pengukuran dikirim dan direkam secara berkala untuk dianalisis.



Gambar 4. Strategi pengukuran arus yang dilakukan

Gambar 4 menunjukkan konfigurasi sistem pengukuran arus yang digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis konsumsi daya perangkat IoT pengendali dan pemantau kondisi AC berbasis mikrokontroler ESP32. Pengukuran arus dilakukan menggunakan sensor arus ACS712, yang dipasang secara seri antara sumber daya baterai dan rangkaian utama perangkat. Sensor ACS712 bekerja berdasarkan prinsip efek Hall, yaitu menghasilkan tegangan keluaran analog yang proporsional terhadap besar arus yang mengalir melalui rangkaian. Tegangan ini kemudian dibaca oleh pin ADC (*Analog-to-Digital Converter*) pada modul ESP32 untuk dikonversi menjadi data arus secara *real-time.*

Pengujian dilakukan dalam dua skenario utama berdasarkan variasi periode sampling: 10 detik dan 10 menit. Periode sampling 10 detik digunakan untuk mensimulasikan sistem dengan frekuensi pengambilan data yang tinggi dan responsif terhadap perubahan suhu ruangan, sedangkan periode 10 menit dipilih untuk merepresentasikan strategi hemat energi dengan pengambilan data yang lebih jarang. Kedua skenario dijalankan dalam kondisi dan durasi yang sama untuk memastikan hasil perbandingan yang objektif.

Strategi ini memungkinkan proses pengukuran konsumsi daya dilakukan secara kontinu dan akurat selama perangkat beroperasi. Selain itu, pendekatan ini juga memudahkan analisis pengaruh variasi periode sampling terhadap penggunaan daya, sehingga hasil pengujian dapat digunakan untuk menentukan konfigurasi sistem yang paling efisien dalam konteks penghematan energi dan optimasi masa pakai baterai.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini merupakan gambaran hasil dan penerapan dari penelitian yang dilakukan sehingga, nantinya digunakan untuk menganalisis fenomena penggunaan daya sistem yang telah dibangun dan dikembangkan.

3.1. Implementasi Perangkat Pengendali dan Pemantau

Sesi ini akan memaparkan dan menjelaskan bentuk prototipe alat pengontrol dan pemantau kondisi sistem pendingin udara (AC), yang dirancang untuk berfungsi sebagai media pengatur suhu yang dihasilkan serta dipancarkan oleh perangkat AC, sekaligus melakukan pemantauan suhu secara *real-time* pada lingkungan ruangan. Alat ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengoperasian AC dengan memastikan suhu tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan, serta memberikan umpan balik yang akurat terkait kondisi suhu di dalam ruangan.



Gambar 5. Perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC (a). Tampak depan, (b). Tampak samping, (c). Penerapan padasaat pengendalian

Gambar 5 menyajikan visualisasi lengkap mengenai prototipe perangkat pengendali dan pemantau kondisi sistem pendingin udara (AC) yang dikembangkan dalam penelitian ini, meliputi desain fisik dan penerapannya di lingkungan nyata.

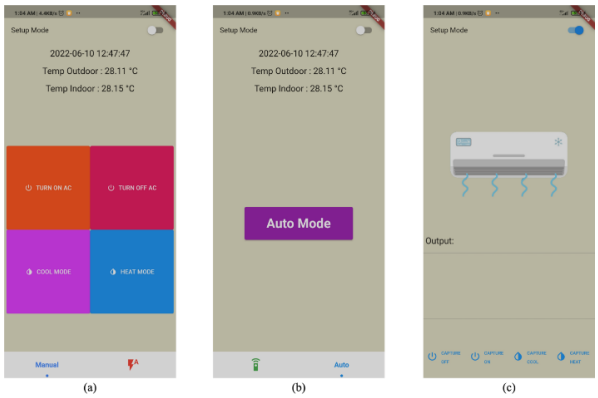
Gambar 5(a) menampilkan tampak depan dari wadah prototipe (enclosure), yang kemungkinan besar dibuat menggunakan teknik 3D printing. Desainnya menunjukkan penempatan strategis untuk berbagai modul input data. Lubang-lubang yang terlihat dirancang untuk mengintegrasikan potensi sensor lingkungan seperti sensor suhu, sensor PIR (Passive Infrared) untuk mendeteksi gerakan, sensor suara, sensor intensitas cahaya, serta komponen komunikasi yaitu pemancar (Transmitter) dan penerima (Receiver) IR. Penting untuk dicatat bahwa meskipun perangkat dirancang untuk multi-sensor, dalam lingkup penelitian ini, hanya sensor suhu yang diaktifkan dan digunakan untuk tujuan pemantauan kondisi.

Gambar 5(b) menyajikan pandangan tampak samping prototipe, memperlihatkan susunan internal perangkat. Foto ini menyoroti integrasi papan sirkuit elektronik dan baterai yang terpasang di bagian bawah. Keberadaan baterai ini memastikan perangkat dapat beroperasi secara stand-alone (nirkabel), memungkinkan penempatan yang fleksibel di dalam ruangan tanpa ketergantungan pada sumber listrik AC. Baterai berfungsi sebagai sumber daya utama untuk menjalankan mikrokontroler, modul sensor, dan komponen pemancar/penerima IR.

Gambar 5(c) menggambarkan skenario penerapan di lapangan ketika perangkat berinteraksi dengan unit AC. Prototipe diletakkan pada penyangga (tripod) untuk memastikan posisi yang stabil dan optimal dalam jangkauan pandang unit AC yang terpasang di dinding. Penempatan ini krusial untuk melaksanakan dua fungsi utama: pemantauan kondisi lingkungan secara akurat dan pengendalian AC (misalnya, mengirimkan perintah perubahan set point suhu atau status ON/OFF) melalui komunikasi IR. Dalam penelitian ini, jarak operasional yang ditetapkan antara perangkat pengendali/pemantau dengan unit AC adalah sejauh 2 meter, yang merupakan jarak representatif untuk skenario pemantauan dan pengendalian cerdas di dalam ruangan.

3.2. Penerapan Aplikasi Antarmuka Perangkat Pengendali dan Pemantau

Berikut ini akan dipaparkan dan dijelaskan antarmuka aplikasi yang telah diimplementasikan, digunakan, dan dikembangkan untuk berinteraksi dengan perangkat pengontrol AC serta pemantauan kondisi.



Gambar 6. Implementasi antarmuka aplikasi perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC: (a). Menu manual *control,* (b). Menu *auto control,* (c). Menu *setup*

Dalam penelitian ini, aplikasi yang dikembangkan diuji pada sistem operasi Android sebagai platform utama. Gambar 6 menunjukkan tiga tampilan utama antarmuka pengguna dari aplikasi pengendali dan pemantau kondisi AC berbasis IoT.

Gambar 6(a) menunjukkan tampilan menu kendali manual (*manual control menu*), yang memungkinkan pengguna untuk mengoperasikan unit AC secara langsung melalui

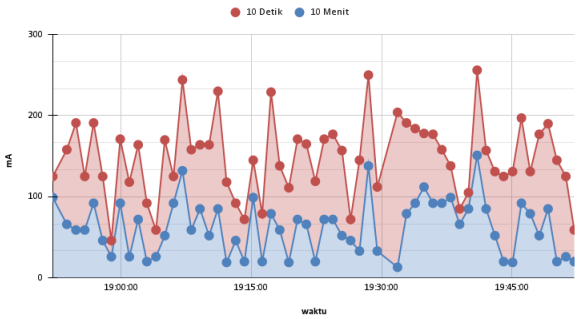
empat tombol utama, yaitu *Turn On AC*, *Turn Off AC*, *Cool Mode*, dan *Heat Mode*. Melalui halaman ini, pengguna dapat menyalakan, mematikan, atau mengubah mode pendinginan dan pemanasan sesuai kebutuhan. Selain fungsi kendali, halaman ini juga menampilkan data suhu ruangan (*indoor temperature*) dan suhu lingkungan luar (*outdoor temperature*) secara *real-time* untuk memberikan umpan balik kondisi terkini kepada pengguna.

Gambar 6(b) memperlihatkan halaman kontrol otomatis (Auto Mode). Pada mode ini, sistem bekerja secara mandiri tanpa intervensi pengguna. Ketika tombol "*Auto Mode*" ditekan, perangkat akan secara otomatis menyesuaikan suhu ruangan berdasarkan perbandingan antara suhu dalam dan luar ruangan yang diperoleh dari sensor BME280 serta data cuaca dari platform *OpenWeather*. Mode ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan pengguna melalui pengaturan suhu yang adaptif.

Gambar 6(c) menampilkan halaman *Setup Mode*, yang berfungsi untuk melakukan proses pencatatan (*recording*) dan penyimpanan sinyal inframerah dari remote AC asli. Proses ini penting untuk memastikan kompatibilitas antara perangkat pengendali dan pemantauan kondisi AC berbasis IoT, dengan berbagai merek AC yang berdasarkan komunikasi inframerah. Sinyal yang telah direkam disimpan di mikrokontroler dan digunakan kembali oleh sistem untuk mengirimkan perintah kendali yang sesuai ke unit AC melalui pemancar inframerah.

3.3. Hasil Konsumsi Daya Perangkat Pengendalian dan Pemantauan Kondisi AC

Pada bagian ini, akan dipaparkan hasil uji konsumsi daya yang digunakan oleh perangkat pengontrol dan pemantau kondisi AC, untuk memberikan gambaran mengenai efisiensi energi yang dicapai selama proses pengendalian kondisi AC dan pemantauan suhu ruangan. Pengukuran konsumsi daya dilakukan pada dua periode waktu yang berbeda, yaitu waktu periode *sampling* 10 detik dan waktu periode *sampling* 10 menit. Perbandingan antara kedua periode tersebut bertujuan untuk menganalisis pengaruh durasi waktu terhadap penggunaan daya perangkat yang terlibat. Pada waktu periode *sampling* 10 detik, perangkat pengontrol dan pemantau beroperasi dalam interval waktu yang lebih singkat, sementara pada waktu periode *sampling* 10 menit, perangkat beroperasi dalam durasi yang lebih lama, dengan kemungkinan terjadinya fluktuasi suhu atau kelembapan yang lebih signifikan. Dengan membandingkan kedua periode ini, diharapkan dapat diketahui apakah konsumsi daya lebih efisien pada durasi waktu yang lebih singkat atau lebih lama, serta apakah terdapat perbedaan yang signifikan dalam konsumsi daya terkait pengaturan suhu dan kelembapan ruangan. Hasil percobaan ini akan memberikan wawasan mengenai kinerja dan efisiensi energi perangkat dalam menjalankan fungsinya, serta membantu dalam menentukan durasi waktu yang paling optimal untuk penggunaan perangkat dalam mengontrol suhu ruangan.



Gambar 10. Hasil perbandingan konsumsi daya perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC dengan waktu periode *sampling* 10 detik dan 10 menit

Gambar 10 menunjukkan grafik pengukuran konsumsi daya pada perangkat pengontrol AC dengan perbandingan waktu periode *sampling* 10 detik dan 10 menit. Hasil pengukuran menunjukkan fluktuasi dan variasi konsumsi daya yang signifikan. Pada waktu periode *sampling* 10 detik, konsumsi daya maksimum perangkat pengontrol mencapai 191 mA, sementara pada waktu periode *sampling* 10 menit, konsumsi daya maksimum tercatat sebesar 151 mA. Konsumsi daya ini sesuai dengan karakteristik penggunaan mikrokontroler, yang umumnya berada dalam kisaran 160–220 mA [19] [20], terutama ketika beberapa fitur atau komunikasi, seperti Wi-Fi, Bluetooth, dan pembacaan memori internal, diaktifkan dan dijalankan.

Table 1. Perbandingan hasil penggunaan konsumsi daya perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC

Parameter	10 Detik Periode *Sampling*	10 Menit Periode *Sampling*
Maksimum konsumsi daya (mA)	191	151
Minimum konsumsi daya (mA)	19	13
Rata – rata konsumsi daya dalam 1 jam (mA)	85,36	62,69
Life time (jam)	47,85	35, 14

Tabel 1 menunjukkan perbandingan konsumsi daya pada perangkat pengontrol dan pemantau kondisi AC dengan waktu periode *sampling* 10 detik dan 10 menit. Pada waktu periode *sampling* 10 menit, rata-rata konsumsi daya yang digunakan oleh perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC adalah sebesar 62,69 mA, yang lebih kecil dibandingkan dengan waktu periode *sampling* 10 detik, yaitu sebesar 85,36 mA. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa pada waktu periode *sampling* 10 menit, intensitas kinerja komputasi perangkat

pengendali dan pemantau kondisi AC lebih rendah, sehingga komponen-komponen perangkat tidak beroperasi secara intensif selama periode tersebut. Sebaliknya, pada waktu periode *sampling* 10 detik, intensitas kinerja komputasi lebih tinggi, mengakibatkan perangkat pengendali dan pemantau kondisi AC dan komponen-komponennya beroperasi lebih sering dalam waktu yang lebih singkat. Sehingga *life time* perangkat yang memiliki periode *sampling* 10 menit lebih lama sebesar 12,71 jam, dibandingangan periode *sampling* 10 detik. Sehingga dari data pada Tabel 1, dapat dihitung persentase penurunan konsumsi daya pada Persamaan 1 dan 2.

$$P_{drop} = \frac{P_{10\ detik} - P_{10\ menit}}{P_{10\ detik}}\ x\ 100\% \quad (1)$$

$$P_{drop} = \frac{85{,}36 - 62{,}69}{85{,}36} x\ 100 = \frac{22{,}67}{85{,}36}\ x\ 100 = 26{,}56\% \quad (2)$$

Berdasarkan hasil pengujian, terjadi penurunan konsumsi daya ketika periode *sampling* diperpanjang dari 10 detik menjadi 10 menit. Persentase penurunan konsumsi daya dihitung menggunakan Persamaan 1. Dalam persamaan tersebut, P_{drop} menyatakan persentase penurunan konsumsi daya yang dihasilkan, dinyatakan dalam satuan persen (%). Nilai $P_{10detik}$ merupakan konsumsi daya pada periode *sampling* 10 detik, diukur dalam miliampere (mA), sedangkan $P_{10menit}$ menunjukkan konsumsi daya pada periode *sampling* 10 menit, juga dalam satuan miliampere (mA). Sehinnga hasil yang didapat pada Persamaan 2 jika periode *sampling* dari 10 detik dinaikan menjadi 10 menit konsumsi daya lebih hemat sebesar 26,56%. Hal ini sesuai dengan sejumlah penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa memperpanjang periode *sampling* secara signifikan dapat mengurangi konsumsi daya perangkat IoT. Misalnya, studi pada *Atmospheric Chemistry and Physics* (2025) melaporkan bahwa peningkatan interval sampling dari 15 detik ke 60 menit mampu menurunkan konsumsi arus hingga 98,6 % dalam sistem berbasis ESP32 dan sensor partikel [21]. Selain itu, metode *adaptive sampling* pada studi *Sensors* (2022) berhasil menghemat konsumsi arus sekitar 11 % dibandingkan dengan pendekatan sampling tetap, sambil mempertahankan akurasi pemantauan data [22].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, perangkat IoT yang telah dirancang berhasil menjalankan fungsi pemantauan dan operasional AC secara efektif melalui integrasi sensor suhu, konektivitas jaringan, serta komunikasi berbasis *cloud*. Sistem ini mampu memantau kondisi lingkungan secara *real-time* sekaligus mengirimkan perintah operasional ke unit AC, sehingga pengaturan suhu ruangan dapat dilakukan secara adaptif dan terukur. Analisis konsumsi daya menunjukkan bahwa pengaturan periode sampling memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi energi. Pada periode *sampling* 10 detik, rata-rata konsumsi daya tercatat sebesar 85,36 mA, sedangkan pada periode *sampling* 10 menit konsumsi daya menurun menjadi 62,69 mA. Hasil tersebut membuktikan bahwa peningkatan interval *sampling* dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi dengan pengehematan sebesar 26,56% dan memperpanjang masa pakai baterai sebesar 12,71 jam. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa perangkat IoT yang dikembangkan tidak hanya mendukung fungsi pemantauan dan operasional AC secara cerdas, tetapi juga berkontribusi terhadap penghematan energi dan peningkatan kenyamanan lingkungan secara berkelanjutan. Saran pengembangan selanjutnya, sistem dapat ditingkatkan dengan menerapkan mode tidur (*sleep mode*) pada mikrokontroler untuk menekan konsumsi daya saat perangkat berada dalam kondisi siaga atau tidak melakukan proses komunikasi. Selain itu, integrasi dengan sensor tambahan seperti kelembapan atau kualitas udara dapat memperluas cakupan pemantauan dan meningkatkan kenyamanan ruangan secara menyeluruh. Pengembangan pada sisi antarmuka aplikasi, seperti visualisasi data konsumsi energi dan rekomendasi pengaturan AC secara otomatis, juga dapat menjadi arah penelitian lanjutan yang potensial.

Referensi

[1]. Admin, "Anomali Suhu Udara Rata-Rata Bulan Februari 2022," *BMKG*, Mar. 22, 2024. [Online]. Available: https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=ekstrem-perubahan-iklim#:~:text=Berdasarkan%20data%20dari%2089%20stasiun, adalah%20sebesar%2027.0%20oC. [diakses: 7 Feb 2025].

[2]. Admin, Persentase Rumah Tangga yang Memiliki AC Menurut Provinsi dan Perilaku Menyalakan AC Dibawah 25 ºC, 2013 dan 2017"," *BPS*, May 24, 2024. [Online]. Available: https://www.bps.go.id/statictable/2019/03/24/2053/persentase-rumah-tangga-yang-memiliki-ac-menurut-provinsi-dan-perilaku-menyalakan-ac-dibawah-25-c-2013-dan-2017. [diakses: 7 Feb 2025].

[3]. Attar, Muhammad. Hamzah, Baharuddin. and Rahim, M. Ramli. Kenyamanan Termal Ruang Kuliah dengan Pengkondisian Udara, Universitas Hasanuddin Makassar. Program Pascasarjana UNHAS. 2014.

[4]. Danang, Danang and Toyib, Mat., "ANALISA TROUBLE SHOOTING AIR CONDITIONER NIPPON DENSO PADA UNIT SCANIA P380 MENGGUNAKAN MICROCONTROLER", jupti, vol. 1, no. 1, pp. 34–44, Nov. 2021. DOI: https://doi.org/10.55606/jupti.v1i1.93

[5]. Admin, "Memahami Posisi AC yang Tepat untuk Kamar Tidur," *BPS*, May 24, 2024. [Online]. Available: https://www.bps.go.id/statictable/2019/03/24/2053/persentase-rumah-tangga-yang-memiliki-ac-menurut-provinsi-dan-perilaku-menyalakan-ac-dibawah-25-c-2013-dan-2017. [dikses: 7 Feb 2025].

[6]. Purba, A., Khoiri, M., Tharo, Z., Taqwim, A., Maulana, A., and Pane, S., "Study Analisis Penghematan Daya Listrik dan Pengaruhnya Terhadap Pemakaian Beban Rumah Tangga," *Journal of Telecommunication and Electrical Scientific*, vol. 1, no. 2, pp. 74-83, Jul. 2024. Available: https://doi.org/10.24010/jtels.v1i02.937.

[7]. O. Pribadi, "Sistem Kendali Jarak Jauh Air Conditioner (AC) Berbasis IoT", JTM, vol. 9, no. 1, pp. 1–8, Jun. 2020.

[8]. A. Widodo, A. N. Afika, N. Kholis, and L. Anifah, "Smart AC Remote : Pengontrol Suhu Air Conditioner Otomatis Berbasis Internet of Thing Berdasarkan Suhu Aktual Ruangan", JTE, vol. 10, no. 3, pp. 681–688, Aug. 2021. DOI: https://doi.org/10.26740/jte.v10n3.p681-688

[9]. S. Feizi, G. Angelopoulos, V. K. Goyal and M. Médard, "Backward Adaptation for Power Efficient Sampling," in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 62, no. 16, pp. 4327-4338, Aug.15, 2014, doi: https://doi.org/10.1109/TSP.2014.2332445

[10]. Khalif, M. I, & Muis, A., "Fuzzy Logic Optimization to Control Air Conditioner (AC) Conditions using Rule-Based Algorithm," *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 38–45, 2025, doi: https://doi.org/10.26418/elkha.v17i1.80613.

[11]. E. E. K. Senoo, E. Akansah, I. Mendonça, and M. Aritsugi, "Monitoring and control framework for IoT, implemented for smart agriculture," *Sensors*, vol. 23, no. 5, p. 2714, 2023. doi: https://doi.org/10.3390/s23052714

[12]. K. D. Sithole, M. C. Lehloka, and B. B. Monchusi, "Employing Internet of Things (IoT) devices for monitoring and controlling energy management systems – A review," *Journal of Electrical Systems*, vol. 20, no. 3, 2024. [Online]. Available: https://journal.esrgroups.org/jes/article/view/7488

[13]. S. M. A. Abdullah, N. M. F. Toulan, and A. A. H. Amen, "Effective schematic design phase in design process," *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 34, pp. 2005–2039, 2024. doi: https://doi.org/10.1007/s10798-024-09890-w.

[14]. T. Todorov and V. Tonkov, "Design and implementation of a mobile application for IoT-based autoclave management," *Engineering Proceedings*, vol. 104, no. 1, p. 57, 2025. doi: https://doi.org/10.3390/engproc2025104057

[15]. I. Nuñez, E. E. Cano, E. Cruz, D. Concepción, N. Navarro, and C. Rovetto, "Improving usability in mobile apps for residential energy management: A hybrid approach using fuzzy logic," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 5, p. 1751, 2024. doi: https://doi.org/10.3390/app14051751

[16]. N. Ratnawati and S. Sunardi, "Load Characteristics with Current Detection Using an Arduino Based ACS712 Sensor", *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 83–90, Aug. 2020.

[17]. A. Wibowo, I. G. B. Jayendra, D. Y. Utari, M. Rasyiid, and R. A. Aprilianto, "Design of ACS712-based current sensing monitoring evaluation for PWM solar charge controller," Sainteknol: Jurnal Sains dan Teknologi, vol. 22, no. 2, Article ID 20604, Dec. 2024. doi: https://doi.org/10.15294/sainteknol.v22i2.20604

[18]. H. Ningsih M. Nur, P. A. Topan, T. Andriani, and A. Jaya, "Design of A Micro Valued Current Measurement Using A Shunt Resistor And Ad620 Op-Amp Module", ALT, vol. 2, no. 01, pp. 46-53, Feb. 2023. doi: https://doi.org/10.51401/altron.v2i01.1756

[19]. Khalif, M. I, D. Syauqy, and R. Maulana, "Pengembangan Sistem Penghitung Langkah Kaki Hemat Daya Berbasis Wemos D1 Mini", J-PTIIK, vol. 2, no. 6, hlm. 2211–2220, Sep 2017.

[20]. Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet," Version 3.9, Espressif Systems, Copyright © 2022.

[21]. G. Kumar, P. K. D., S. Raj, J. Dhariwal, and S. Srirangarajan, "Impact of sampling frequency on low-cost PM sensor performance including short-term temporal events in high PM environments," Aerosol Research, vol. 3, pp. 429–439, Jul. 2025. doi: https://doi.org/10.5194/ar-3-429-2025

[22]. C. Rodriguez-Pabon, G. Riva, C. Zerbini, J. Ruiz-Rosero, G. Ramirez-Gonzalez, and J. C. Corrales, "An adaptive sampling period approach for management of IoT energy consumption: Case study approach," *Sensors*, vol. 22, no. 4, p. 1472, 2022. doi: https://doi.org/10.3390/s22041472