VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
Vol. 7, No. 1, November 2026-Januari 2027
e-ISSN : 2774-6283 | p-ISSN : 2775-0019
Online Journal System : https://jurnalp4i.com/index.php/vocational

MODIFIKASI ALAT KENDALI SUHU DAN MONITORING ENERGI AC SPLIT BERBASIS IOT BERLANDASKAN TRI HITA KARANA

Edy Agus Juny Artha[1], Trifalah Nurhuda[2], Jhony Langgeng Baruna Wirawan[3], Nyoman Arya Wigraha[4]
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Pendidikan Ganesha[1,2,3,4]
e-mail: juny.artha@undiksha.ac.id, trifalah@undiksha.ac.id, baruna.wirawan@undiksha.ac.id, arya.wigraha@undiksha.ac.id

Diterima: *6/11/2026*; Direvisi: *18/11/2026*; Diterbitkan: *24/11/2026*

ABSTRAK

Penggunaan *AC split* di Laboratorium Pendidikan Teknik Mesin (PTM) Universitas Pendidikan Ganesha menghadapi permasalahan berupa potensi pemborosan energi akibat unit tetap beroperasi ketika ruangan tidak digunakan, pengendalian suhu yang belum adaptif, serta belum tersedianya pemantauan parameter listrik secara terintegrasi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe modifikasi alat kendali suhu dan *monitoring* energi *AC split* berbasis *Internet of Things* (*IoT*) dengan landasan filosofi *Tri Hita Karana*. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (*R&D*) dengan model 4D yang meliputi *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*. Sistem mengintegrasikan ESP32, sensor PIR untuk mendeteksi keberadaan pengguna, DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan, PZEM-004T untuk mengukur parameter kelistrikan, *relay* untuk mengendalikan beban, serta *dashboard IoT* untuk menampilkan data, kemudian divalidasi oleh dua orang ahli yang terdiri atas ahli sistem kontrol/*IoT* dan ahli refrigerasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PIR merespons kondisi keberadaan pengguna sesuai skenario dengan kondisi *AC ON* ketika pengguna terdeteksi serta *AC OFF* ketika ruangan kosong, sementara DHT22 mencatat selisih pembacaan 0,7–0,9 °C (eror 2,8–3,4%) dan PZEM-004T berada dalam batas toleransi terhadap alat pembanding. Validasi ahli menghasilkan skor rata-rata 95,83% sehingga prototipe layak dijadikan media pembelajaran serta sarana kendali fasilitas yang selaras dengan konsep *Palemahan*, *Pawongan*, dan *Parhyangan*, meskipun efektivitas penghematan energi masih memerlukan pengujian lanjutan.

Kata kunci: *AC split*, ESP32, *Internet of Things*, *monitoring* energi, *Tri Hita Karana*

ABSTRACT

The use of split air conditioners in the Mechanical Engineering Education (PTM) Laboratory at Universitas Pendidikan Ganesha presents potential energy waste when units remain operating in unoccupied rooms, non-adaptive temperature control, and the absence of integrated electrical-parameter monitoring. This study aims to develop a modified IoT-based temperature-control and energy-monitoring prototype for split air conditioners, guided by the Tri Hita Karana philosophy. The study applies a Research and Development (R&D) approach using the 4D model comprising Define, Design, Develop, and Disseminate. The system integrates an ESP32 microcontroller, a PIR sensor to detect room occupancy, a DHT22 sensor to read temperature and humidity, a PZEM-004T module to measure electrical parameters, a relay to control the load, and an IoT dashboard to display data, which was validated by two experts specializing in control systems/IoT and refrigeration. Test results indicate that the PIR sensor responded accurately to occupancy scenarios by switching the AC ON when users were detected and OFF when unoccupied, while the DHT22 recorded reading differences of 0.7–0.9

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923

VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
Vol. 7, No. 1, November 2026-Januari 2027
e-ISSN : 2774-6283 | p-ISSN : 2775-0019
Online Journal System : https://jurnalp4i.com/index.php/vocational

°C (2.8–3.4% error) and the PZEM-004T remained within tolerance against the reference instruments. Expert validation yielded an average score of 95.83%, confirming the prototype's feasibility as an instructional medium and responsible facility control system aligned with Palemahan, Pawongan, and Parhyangan, though quantitative energy-saving effectiveness requires further testing.
Keywords: *energy monitoring*, *ESP32*, *Internet of Things*, *split air conditioner*, *Tri Hita Karana*

PENDAHULUAN

Implementasi teknologi di lingkungan Universitas Pendidikan Ganesha perlu memperhatikan fungsi teknis sekaligus tanggung jawab terhadap kelestarian lingkungan dan kenyamanan pengguna. Di Laboratorium Pendidikan Teknik Mesin (PTM), *AC split* berperan penting dalam menjaga kenyamanan termal selama kegiatan pembelajaran berlangsung. Namun, pengoperasian unit yang tidak terkendali, seperti *AC* tetap menyala ketika ruangan kosong dan pengaturan suhu yang belum otomatis, berpotensi meningkatkan pemborosan konsumsi energi serta mempercepat beban pemeliharaan perangkat. Kajian mengenai penggunaan energi pendingin ruangan menunjukkan pentingnya pengelolaan beban pendingin secara efisien (Alkausar et al., 2023), sedangkan pengembangan *trainer AC split* telah banyak dimanfaatkan sebagai media pembelajaran vokasional di lingkungan pendidikan teknik (Hartanto et al., 2023).

Sejumlah penelitian terdahulu telah membahas pemantauan energi *AC* berbasis *Internet of Things* (*IoT*), pengendalian perangkat jarak jauh, serta pemantauan suhu maupun konsumsi daya listrik secara *real-time* (Ariawan et al., 2023; Rahman & Handaya, 2021; Sugiartha et al., 2024). Penelitian lain juga mengembangkan sistem otomatisasi pendingin ruangan berbasis *IoT* untuk mengatur kestabilan suhu ruangan secara optimal (Prasetyo et al., 2025; Qornain et al., 2026). Meskipun berbagai inovasi tersebut telah dikembangkan, masih diperlukan integrasi menyeluruh yang menggabungkan deteksi okupansi ruangan, pembacaan kondisi termal, kendali beban otomatis, dan pemantauan parameter kelistrikan dalam satu prototipe terpadu yang diterapkan langsung pada fasilitas *trainer* di Laboratorium PTM.

Kebaruan pengembangan yang dilaporkan pada artikel ini terletak pada modifikasi terintegrasi *trainer AC split* menjadi sistem berbasis mikrokontroler ESP32 yang menggabungkan sensor *Passive Infrared* (PIR), DHT22, dan PZEM-004T. Sistem dirancang untuk memanfaatkan informasi keberadaan pengguna sebagai masukan logika kendali, membaca fluktuasi suhu serta kelembapan ruangan, dan menyajikan data parameter listrik melalui antarmuka *IoT*. Landasan filosofi *Tri Hita Karana* diintegrasikan sebagai kerangka nilai pengembangan, di mana aspek *Palemahan* berkaitan dengan tanggung jawab menjaga kelestarian lingkungan melalui efisiensi energi, *Pawongan* berfokus pada kenyamanan termal dan keselamatan pengguna, serta *Parhyangan* mencerminkan wujud syukur dan tanggung jawab moral dalam merawat sarana pendidikan.

Berdasarkan latar belakang dan urgensi tersebut, artikel ini bertujuan untuk mendeskripsikan rancangan pengembangan prototipe serta menganalisis hasil pengujian fungsional sistem kendali dan pemantauan energi *AC split* berbasis *IoT*. Fokus kajian mencakup evaluasi respons deteksi sensor PIR, tingkat akurasi pembacaan suhu sensor DHT22, ketepatan pengukuran parameter listrik modul PZEM-004T, keandalan logika kendali *relay* terhadap operasi *AC*, serta tingkat kelayakan produk berdasarkan penilaian validator ahli.

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923

VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
Vol. 7, No. 1, November 2026-Januari 2027
e-ISSN : 2774-6283 | p-ISSN : 2775-0019
Online Journal System : https://jurnalp4i.com/index.php/vocational

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (*R&D*) dengan model pengembangan 4D yang mencakup tahapan *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*. Kegiatan penelitian dan perakitan prototipe dilaksanakan di Laboratorium Pendidikan Teknik Mesin Universitas Pendidikan Ganesha selama periode empat bulan, yakni mulai bulan Juli hingga Oktober 2025. Pada tahap *Define*, dilakukan identifikasi permasalahan pemborosan energi *AC* dan analisis kebutuhan sistem kendali di laboratorium. Tahap *Design* meliputi perancangan arsitektur perangkat keras, skema pengkabelan, dan antarmuka perangkat lunak, yang kemudian dilanjutkan ke tahap *Develop* berupa perakitan modul, pemrograman ESP32, pengujian fungsional, serta validasi kelayakan produk oleh dua orang ahli yang terdiri atas satu orang ahli bidang sistem kontrol/*IoT* dan satu orang ahli bidang teknik refrigerasi dan tata udara, sebelum akhirnya direncanakan menuju tahap *Disseminate* sebagai modul praktikum.

Komponen perangkat keras yang diintegrasikan pada prototipe meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama, sensor PIR HC-SR501 untuk mendeteksi keberadaan pengguna, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, modul PZEM-004T untuk membaca parameter kelistrikan, modul *relay* 1-kanal 5 V sebagai sakelar pemutus dan penghubung beban, serta koneksi *Wi-Fi* yang terhubung dengan *dashboard IoT*. Pengumpulan data dilakukan melalui pengujian fungsionalitas setiap subsistem serta penilaian instrumen angket validasi ahli. Seluruh data hasil pengujian selanjutnya dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan respons logika sistem, selisih pembacaan sensor terhadap instrumen ukur standar, serta persentase skor kelayakan dari validator ahli.

Prosedur pengujian akurasi sensor dilakukan dengan membandingkan keluaran prototipe terhadap alat ukur pembanding (*benchmark meter*) yang telah terkalibrasi. Pada pengujian sensor PIR, kondisi aktual pergerakan manusia di dalam ruangan dibandingkan secara langsung dengan status logika deteksi sensor dan respons kerja *AC*. Pada pengujian sensor suhu DHT22, hasil pembacaan temperatur dibandingkan dengan termometer digital standar merek *Fluke* tipe 51 II (*digital thermometer* dengan akurasi $\pm 0{,}05\% + 0{,}3\ ^{\circ}\mathrm{C}$), sedangkan pengujian modul PZEM-004T dibandingkan dengan *digital clamp meter* dan *power quality analyzer* merek *Kyoritsu* tipe KEW 2055 untuk parameter tegangan, arus, daya, dan energi. Sementara itu, instrumen validasi ahli menilai enam aspek utama yang mencakup kesesuaian rancangan perangkat keras, keandalan fungsi sensor, ketepatan logika sistem kendali, kinerja *monitoring IoT*, standar keselamatan penggunaan listrik, serta kelayakan alat sebagai *trainer* pembelajaran.

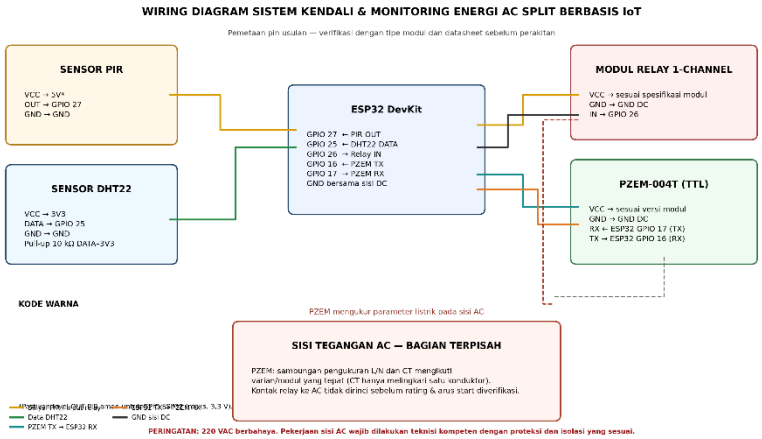
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Rancangan Alat Modifikasi Kendali Suhu dan Monitoring Energi AC Split

Sistem kendali suhu dan monitoring energi AC split berbasis IoT dirancang dengan mengintegrasikan beberapa komponen utama yang terdiri atas mikrokontroler ESP32, sensor PIR, sensor DHT22, modul PZEM-004T, dan relay. Sensor PIR digunakan untuk mendeteksi keberadaan pengguna di dalam ruangan, sedangkan sensor DHT22 berfungsi membaca kondisi suhu dan kelembapan udara. Modul PZEM-004T digunakan untuk memperoleh parameter kelistrikan yang meliputi tegangan, arus, daya, dan energi listrik. Seluruh data diproses oleh ESP32, kemudian dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju dashboard IoT. Sementara itu, relay digunakan sebagai aktuator untuk mengendalikan operasional AC berdasarkan logika deteksi keberadaan pengguna. Arsitektur integrasi sistem ditunjukkan pada Gambar 1.

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923

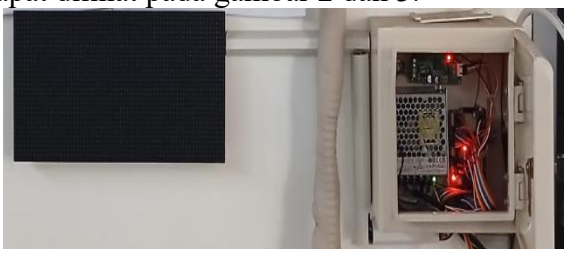
VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
Vol. 7, No. 1, November 2026-Januari 2027
e-ISSN : 2774-6283 | p-ISSN : 2775-0019
Online Journal System : https://jurnalp4i.com/index.php/vocational



Gambar 1. Diagram Sistem Alat Modifikasi Kendali Suhu dan Monitoring Energi AC Split

Implementasi Perangkat Keras Pada Trainer AC Split

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan memasang seluruh komponen sistem kendali dan monitoring pada trainer AC split di Laboratorium Pendidikan Teknik Mesin Universitas Pendidikan Ganesha. Mikrokontroler ESP32 ditempatkan pada bagian panel kontrol dan dihubungkan dengan sensor serta modul pengukuran kelistrikan. Modul relay digunakan sebagai aktuator pengendali operasional AC, sedangkan sensor PIR dan DHT22 ditempatkan pada posisi yang memungkinkan proses pembacaan kondisi ruangan. Bentuk fisik hasil modifikasi perangkat dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Prototype Modifikasi Alat Kendali Suhu dan Monitoring Energi AC Split Berbasis IoT



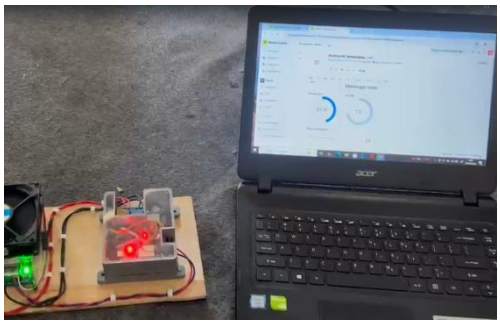
Gambar 3. Tampilan Monitoring Energi dan Suhu Terintegrasi denga Alat Kendali Suhu dan Monitoring Energi AC Split Berbasis IoT

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923

VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
Vol. 7, No. 1, November 2026-Januari 2027
e-ISSN : 2774-6283 | p-ISSN : 2775-0019
Online Journal System : https://jurnalp4i.com/index.php/vocational

Implementasi Antarmuka Dashboard Monitoring Energi

Antarmuka dashboard IoT ini dikembangkan sebagai media visualisasi data hasil pembacaan sensor dan parameter kelistrikan AC split. Dashboard menampilkan informasi suhu dan kelembapan ruangan yang diperoleh dari sensor DHT22, serta parameter tegangan, arus, daya, dan energi listrik dari modul PZEM-004T. Selain itu, status operasional AC dapat dipantau melalui informasi kondisi ON/OFF sistem. Data tersebut dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan Wi-Fi sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi sistem secara real-time. Tampilan antarmuka dashboard monitoring dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Implementasi Antarmuka Dashboard Monitoring Energi

Hasil Pengujian Sensor PIR

Pengujian fungsional sensor PIR dilakukan untuk memastikan keandalan sistem dalam mengidentifikasi keberadaan orang di dalam ruang laboratorium melalui lima skenario simulasi pergerakan. Evaluasi dilakukan dengan mengamati kesesuaian antara kondisi fisik aktual ruangan, status pembacaan logika sensor PIR, dan status hunian yang terbaca oleh sistem kendali. Ringkasan hasil pengujian respons sensor PIR disajikan secara lengkap pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor PIR

No.	Kondisi Aktual	Deteksi PIR	Respons Sistem	Keterangan
1	Ada orang masuk ruangan	Terdeteksi	Sedang digunakan	Sesuai
2	Orang di dalam ruangan	Terdeteksi	Sedang digunakan	Sesuai
3	Orang keluar ruangan	Tidak terdeteksi	Tidak digunakan	Sesuai
4	Tidak ada orang di ruangan	Tidak terdeteksi	Tidak digunakan	Sesuai
5	Orang masuk ruangan lagi	Terdeteksi	Sedang digunakan	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian yang tercantum pada Tabel 1, sensor PIR mampu membedakan status ruangan yang sedang digunakan maupun yang tidak digunakan dengan tingkat kesesuaian 100% pada seluruh skenario uji. Ketika terdapat individu yang memasuki atau berada di dalam ruangan, sensor segera mengirimkan sinyal logika tinggi sehingga sistem menetapkan status ruangan sedang digunakan. Sebaliknya, saat ruangan ditinggalkan dalam keadaan kosong, sensor tidak mendeteksi radiasi inframerah manusia dan sistem mengubah status ruangan menjadi tidak digunakan sebagai masukan utama bagi logika kendali otomatis.

Hasil Pengujian Sensor DHT22

Pengujian sensor DHT22 bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi pembacaan temperatur udara ruangan dibandingkan dengan termometer digital standar merek *Fluke* tipe 51 II sebagai alat pembanding. Pengambilan data dilakukan pada lima titik variasi kondisi suhu ruangan untuk menghitung selisih pembacaan dan persentase tingkat kesalahan (*error*). Hasil perbandingan pengukuran antara alat ukur pembanding dan sensor DHT22 ditampilkan pada Tabel 2 berikut ini.

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923

VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
Vol. 7, No. 1, November 2026-Januari 2027
e-ISSN : 2774-6283 | p-ISSN : 2775-0019
Online Journal System : https://jurnalp4i.com/index.php/vocational

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor DHT22

No.	Kondisi	Alat Pembanding (°C)	DHT22 (°C)	Selisih (°C)	Eror (%)
1	Pengujian 1	28,6	29,4	0,8	2,8
2	Pengujian 2	26,4	27,3	0,9	3,4
3	Pengujian 3	24,5	25,2	0,7	2,8
4	Pengujian 4	23,2	24,1	0,9	3,4
5	Pengujian 5	22,2	23,1	0,9	3,4

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pembacaan temperatur oleh sensor DHT22 memiliki selisih sebesar 0,7–0,9 °C dibandingkan dengan termometer digital *Fluke* 51 II, dengan persentase eror berkisar antara 2,8% hingga 3,4%. Tingkat akurasi yang dicapai berada pada rentang 96,6–97,2%, sehingga telah melampaui indikator target keberhasilan pengembangan minimal sebesar 95%. Meskipun demikian, pengujian lanjutan dengan variasi rentang kelembapan dan jumlah sampel waktu pengukuran yang lebih panjang tetap diperlukan guna memastikan kestabilan performa sensor dalam jangka panjang.

Hasil Pengujian Modul PZEM-004T

Pengujian modul PZEM-004T dilakukan untuk memverifikasi ketepatan pengukuran parameter kelistrikan *AC split* yang meliputi tegangan, arus, daya aktif, dan konsumsi energi listrik. Nilai keluaran yang terbaca pada modul PZEM-004T dibandingkan secara langsung dengan alat ukur standar *Kyoritsu* KEW 2055 pada kondisi operasi beban kompresor *AC* yang stabil. Hasil perbandingan pengukuran parameter kelistrikan tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Modul PZEM-004T

No.	Parameter	Alat Pembanding	PZEM-004T	Selisih	Keterangan
1	Tegangan (V)	222	224	2	Masuk toleransi
2	Arus (A)	1,65	1,70	0,05	Masuk toleransi
3	Daya (W)	366,3	380,8	14,5	Masuk toleransi
4	Energi (kWh)	0,3663	0,3808	0,0145	Masuk toleransi

Merujuk pada data hasil pengukuran di Tabel 3, seluruh parameter kelistrikan yang dibaca oleh modul PZEM-004T menunjukkan selisih yang relatif kecil terhadap instrumen pembanding *Kyoritsu* KEW 2055 dan dinyatakan masuk dalam batas toleransi pengukuran alat. Data tegangan, arus, daya, dan energi tersebut berhasil diakuisisi oleh mikrokontroler ESP32 untuk kemudian ditampilkan secara berkelanjutan pada antarmuka *dashboard IoT*. Hasil ini membuktikan kesiapan fungsi pemantauan parameter listrik secara *real-time*, meskipun belum merepresentasikan bukti kuantitatif penghematan energi karena pengujian komparatif konsumsi daya sebelum dan sesudah penerapan sistem belum dilaksanakan secara menyeluruh.

Hasil Pengujian Fungsi Kendali *AC*

Pengujian fungsi kendali bertujuan untuk memverifikasi kerja aktuator *relay* dalam mengaktifkan atau memutus operasional *AC split* berdasarkan sinyal masukan dari sensor PIR. Skenario pengujian dirancang untuk mensimulasikan perubahan status okupansi ruangan secara berurutan guna mengamati ketepatan respons pensaklaran unit pendingin. Hasil pengujian sistem kendali otomatis *AC split* ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Fungsi Kendali *AC*

No.	Kondisi Ruangan	Input PIR	Kondisi Sistem	Respons AC
1	Ada orang masuk ruangan	Terdeteksi	Sedang digunakan	*AC ON*
2	Orang di dalam ruangan	Terdeteksi	Sedang digunakan	*AC ON*
3	Orang keluar ruangan	Tidak terdeteksi	Tidak digunakan	*AC OFF*

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923

VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
Vol. 7, No. 1, November 2026-Januari 2027
e-ISSN : 2774-6283 | p-ISSN : 2775-0019
Online Journal System : https://jurnalp4i.com/index.php/vocational

4	Tidak ada orang di ruangan	Tidak terdeteksi	Tidak digunakan	*AC OFF*
5	Orang masuk ruangan lagi	Terdeteksi	Sedang digunakan	*AC ON*

Berdasarkan Tabel 4 di atas, dapat diamati bahwa respons kerja unit *AC split* mengikuti perubahan status deteksi sensor PIR secara konsisten pada kelima tahapan pengujian. Ketika sensor PIR mendeteksi keberadaan pengguna di dalam ruangan, sistem mengaktifkan *relay* sehingga unit pendingin berada pada kondisi *AC ON*, sedangkan ketika ruangan terdeteksi kosong, sistem memutus beban sehingga unit beralih ke kondisi *AC OFF*. Temuan ini membuktikan bahwa logika otomatisasi kendali berbasis okupansi ruangan telah berjalan sesuai dengan algoritma yang dirancang.

Hasil Validasi Ahli

Uji kelayakan prototipe dilakukan melalui evaluasi oleh dua orang validator ahli yang memiliki kompetensi di bidang sistem kontrol/*IoT* dan bidang teknik refrigerasi. Penilaian mencakup enam indikator utama yang mencerminkan kualitas teknis perangkat keras, keandalan perangkat lunak, aspek keselamatan kelistrikan, serta potensi pemanfaatannya dalam proses pembelajaran. Rekapitulasi skor hasil penilaian validator ahli disajikan pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Hasil Validasi Ahli

No.	Aspek yang Dinilai	Skor Maksimal	Skor Diperoleh	Persentase (%)
1	Kesesuaian perangkat keras	15	14	93,33
2	Fungsi sensor	15	15	100,00
3	Sistem kendali	15	14	93,33
4	*Monitoring IoT*	15	14	93,33
5	Keselamatan penggunaan	20	20	100,00
6	Kelayakan sebagai *trainer*	20	19	95,00
	Rata-rata			**95,83**

Berdasarkan data pada Tabel 5, prototipe modifikasi alat kendali suhu dan *monitoring* energi *AC split* berbasis *IoT* memperoleh skor rata-rata kelayakan sebesar 95,83% yang termasuk dalam kategori sangat layak. Aspek fungsi sensor dan keselamatan penggunaan meraih skor maksimal 100%, sementara aspek kesesuaian perangkat keras, sistem kendali, dan *monitoring IoT* masing-masing memperoleh nilai 93,33%. Catatan saran dari kedua validator ahli selanjutnya dijadikan acuan penyempurnaan tata letak kabel panel, penyesuaian waktu tunda pensaklaran, serta peningkatan stabilitas tampilan antarmuka *dashboard*.

Pembahasan

Integrasi Sistem Kendali dan Monitoring Berbasis IoT

Integrasi ESP32 dengan PIR, DHT22, dan PZEM-004T menggabungkan masukan okupansi, kondisi termal, serta parameter kelistrikan dalam satu rancangan sistem. PIR berperan sebagai input keberadaan pengguna, DHT22 memberikan data temperatur dan kelembapan, sementara PZEM-004T menyediakan informasi tegangan, arus, daya, dan energi. Arsitektur ini memperluas fungsi trainer dari perangkat pembelajaran AC menjadi prototipe yang memadukan pengendalian dan monitoring. Pengembangan monitoring energi AC berbasis IoT telah dilaporkan oleh Rahman dan Handaya (2021), sedangkan Sugiartha et al. (2024) membahas monitoring suhu dan konsumsi energi AC split berbasis Blynk. Dalam konteks penelitian ini, kontribusi yang ditekankan adalah integrasi fungsi-fungsi tersebut dengan kendali berbasis keberadaan pengguna pada fasilitas Laboratorium PTM.

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923

VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
Vol. 7, No. 1, November 2026-Januari 2027
e-ISSN : 2774-6283 | p-ISSN : 2775-0019
Online Journal System : https://jurnalp4i.com/index.php/vocational

Kendali Berdasarkan Keberadaan Pengguna

Hasil uji fungsi menunjukkan hubungan antara status deteksi PIR dan respons AC sesuai hasil yang diuji. Kendali berdasarkan okupansi ditujukan untuk mengurangi kemungkinan AC beroperasi ketika ruangan tidak digunakan. Namun, respons sensor PIR perlu dievaluasi pada kondisi penggunaan riil, termasuk kemungkinan jeda deteksi ketika pengguna tidak banyak bergerak, pengaturan waktu tunda sebelum AC dimatikan, serta aspek keselamatan rangkaian relay (Aswandi et al., 2025; Chong et al., 2024; Harahap et al., 2025; Saputra & Suratun, 2024; Sembiring et al., 2020). Karena secara menyeluruh artikel ini belum memuat pengukuran energi sebelum dan sesudah penerapan, potensi penghematan harus dipahami sebagai tujuan dan manfaat yang diharapkan, bukan hasil penghematan yang sudah terukur. Oleh karena itu, rancangan sistem pada penelitian ini perlu diuji lebih lanjut dengan pengukuran konsumsi daya pada periode operasi yang panjang agar kontribusinya terhadap efisiensi energi dapat dibuktikan secara kuantitatif.

Pembacaan Suhu dan Monitoring Parameter Listrik

Pembacaan DHT22 dibandingkan dengan alat ukur pembanding menghasilkan selisih 0,7–0,9 °C pada lima kondisi pengujian. Persentase eror yang tercantum pada laporan adalah 2,8–3,4%, sehingga hasil awal ini dapat digunakan untuk mendukung pengembangan fungsi pembacaan temperatur. Meski demikian, pengujian lanjutan dengan lebih banyak titik ukur dan kondisi lingkungan diperlukan untuk menilai kestabilan pembacaan. PZEM-004T menunjukkan nilai tegangan, arus, daya, dan energi yang dikategorikan masuk toleransi (Hasanah et al., 2025; Muslihi, 2025; Rafsanjani et al., 2024; Sianturi & Putra, 2021; Yadie et al., 2025). Pengujian lanjutan sebaiknya merekam data energi kumulatif dalam periode yang terdefinisi dan membandingkan pengukuran dengan instrumen acuan agar evaluasi konsumsi energi dapat dilakukan secara lebih kuat.

Keterkaitan dengan Tri Hita Karana

Tri Hita Karana menjadi landasan nilai dalam pengembangan sistem. Aspek Palemahan dikaitkan dengan upaya mendorong penggunaan energi secara bertanggung jawab dan mengurangi potensi pemborosan. Pawongan berkaitan dengan dukungan sistem terhadap kenyamanan pengguna dan aktivitas pembelajaran di laboratorium. Parhyangan dipahami dalam laporan sebagai landasan etika untuk bersyukur, merawat, dan mengelola fasilitas pendidikan secara bertanggung jawab. Keterkaitan tersebut merupakan kerangka konseptual penelitian, pembuktian dampak lingkungan maupun besaran penghematan energi masih memerlukan data implementasi dan pengukuran lanjutan (Kasmila et al., 2025; Loviana et al., 2026; Mubarok et al., 2026; Sari, 2026; Zainuri, 2026). Di samping aspek teknis, evaluasi juga dapat menelaah bagaimana umpan balik dan interaksi antarpengguna membentuk kebiasaan operasional bersama, mengingat intervensi interpersonal terbukti dapat mendorong praktik hemat energi di laboratorium (Becerik-Gerber et al., 2022; Bielig et al., 2025; Chalal et al., 2020; Gillis et al., 2022; Johansson et al., 2021; Tran et al., 2026).

Implikasi sebagai Media Pembelajaran dan Batasan Hasil

Prototipe berpotensi dimanfaatkan sebagai media pembelajaran karena memadukan sensor, mikrokontroler, kendali otomatis, IoT, dan monitoring energi. Hal ini berkesinambungan dengan pengembangan modul praktikum trainer AC split untuk mendukung pembelajaran mahasiswa (Hartanto et al., 2023) dan pengembangan media kontrol AC jarak jauh berbasis IoT (Ariawan et al., 2023). Walaupun hasil validasi ahli pada artikel ini menunjukkan nilai rata-rata 95,83%, laporan masih menyatakan tahapan penelitian menuju Disseminate. Dengan demikian, implementasi terbatas, pengukuran kepraktisan pengguna, pengujian akurasi lebih banyak, serta evaluasi konsumsi energi sebelum-sesudah tetap menjadi pekerjaan lanjutan.

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923

VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
Vol. 7, No. 1, November 2026-Januari 2027
e-ISSN : 2774-6283 | p-ISSN : 2775-0019
Online Journal System : https://jurnalp4i.com/index.php/vocational

KESIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan prototipe modifikasi alat kendali suhu dan monitoring energi AC split berbasis IoT yang mengintegrasikan ESP32, PIR, DHT22, PZEM-004T, relay, koneksi IoT, dan dashboard. Pengujian PIR menunjukkan respons sesuai dengan hasil rancangan mendeteksi keberadaan pengguna, dengan AC ON ketika pengguna terdeteksi dan AC OFF ketika ruangan tidak digunakan. Pengujian DHT22 mencatat selisih pembacaan 0,7–0,9 °C dan persentase eror yang dilaporkan sebesar 2,8–3,4%. Pengujian PZEM-004T menghasilkan pembacaan parameter listrik yang dinyatakan masuk toleransi terhadap alat pembanding. Validasi ahli menghasilkan rata-rata 95,83%. Sistem memiliki potensi sebagai media pembelajaran serta mendukung pengelolaan fasilitas yang lebih bertanggung jawab berdasarkan nilai Tri Hita Karana. Namun, efektivitas penghematan energi belum dapat dinyatakan secara kuantitatif karena pengukuran konsumsi energi sebelum dan sesudah implementasi belum dilakukan pada penelitian ini. Tahap berikutnya perlu mencakup penambahan jumlah sampel pengujian sensor, pengujian dalam kondisi operasi AC yang beragam, validasi ahli lanjutan, implementasi terbatas di Laboratorium PTM, penyempurnaan pencatatan data energi, serta penyelesaian dokumentasi dan luaran penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Alkausar, H., Wisesa, I. G. N. A., Sukahir, Setiyo, Martadinata, M. I., & Kurniadi, D. (2023). Perbandingan penggunaan energi AC sentral dan AC split pada bangunan Power House Bandara: Karakteristik, perhitungan konsumsi energi dan perhitungan biaya. *Journal of Engineering and Transportation*, *1*(1), 11–22. https://doi.org/10.33087/jet.v1i1.104

Ariawan, K. N., Ratnaya, I. G., & Pracasitaram, I. G. M. S. B. (2023). Pengembangan media pembelajaran sistem kontrol AC split jarak jauh berbasis IoT pada mata kuliah Sistem Kontrol Otomatis di Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Undiksha. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, *12*(2), 212–221. https://doi.org/10.23887/jpte.v12i2.63584

Aswandi, S., Rizal, R., & Afrillia, Y. (2025). IoT-based adaptive room temperature monitoring and energy optimization system using NodeMCU ESP8266. *Journal of Applied Informatics and Computing*, *9*(5), 2718–2726. https://doi.org/10.30871/jaic.v9i5.10052

Becerik-Gerber, B., Lucas, G., Aryal, A., Awada, M., Bergés, M., Billington, S. L., Borić-Lubecke, O., Ghahramani, A., Heydarian, A., Höelscher, C., Jazizadeh, F., Khan, A., Langevin, J., Liu, R., Marks, F., Mauriello, M. L., Murnane, E. L., Noh, H., Pritoni, M., . . . Zhu, R. (2022). The field of human building interaction for convergent research and innovation for intelligent built environments. *Scientific Reports*, *12*(1), 22092. https://doi.org/10.1038/s41598-022-25047-y

Bielig, M., Malewski, Ł., Bandurski, K., Kutzner, F., Vogel, M., Klingert, S., Górzeński, R., & Kacperski, C. (2025). Heating reduction as collective action: Impact on attitudes, behavior and energy consumption in a Polish field experiment. *Energy and Buildings*, *347*, 116356. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116356

Chalal, M. L., Medjdoub, B., Bull, R. K., Shrahily, R., Bezai, N. E., & Cumberbatch, M. (2020). From discovering to delivering: A critical reflection on eco-feedback, application design, and participatory research in the United Kingdom. *Energy Research & Social Science*, *68*, 101535. https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101535

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923

Chong, P. L., Ismail, D., Ng, P. K., Kong, F. Y., Khan, M. R. B., & Thirugnanam, S. (2024). A TRIZ approach for designing a smart lighting and control system for classrooms based on counter application with dual PIR sensors. *Sensors*, *24*(4), 1177. https://doi.org/10.3390/s24041177

Gillis, A., Cole, J. C., Cohen, M. A., & Vandenbergh, M. P. (2022). Reducing fume hood energy use in US undergraduate classes by leveraging interpersonal efficacy and extrinsic rewards. *Current Research in Ecological and Social Psychology*, *3*, 100063. https://doi.org/10.1016/j.cresp.2022.100063

Harahap, N., Cahyadi, C. I., Syafriwel, S., Legito, L., & Hidayat, J. (2025). Reduction of air conditioner energy consumption through the implementation of a non-invasive sensor based automatic control system. *International Journal of Science and Environment (IJSE)*, *5*(3), 87–94. https://doi.org/10.51601/ijse.v5i3.171

Hartanto, A. T., Artha, E. A. J., Gunawan, K., Yuliawan, K. D., & Sutrisna, K. (2023). Pengembangan modul praktikum pada trainer AC split untuk meningkatkan kemandirian belajar mahasiswa di Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Undiksha. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, *11*(1), 132–140. https://doi.org/10.23887/jptm.v11i1.58921

Hasanah, M., Putri, D. I. H., & Pratama, H. P. (2025). IoT-based smart plug with real-time energy measurement optimization and adaptive current cutoff. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, *25*(1), 46. https://doi.org/10.55981/jet.673

Johansson, M., Gentile, N., & Neij, L. (2021). Energy efficiency behaviour in the built environment—An assessment of current evaluation practices in the Nordic countries. *Energy Efficiency*, *14*(3). https://doi.org/10.1007/s12053-021-09938-z

Kasmila, A., Annisa, A., Wahyuni, D. T., Mustofa, I., & Fakhri, J. (2025). Paradigma filsafat pendidikan Islam tentang hubungan manusia, alam, dan ilmu pengetahuan: Landasan integrasi sains dan nilai ketuhanan dalam pendidikan modern. *Jurnal Ilmiah Falsafah: Jurnal Kajian Filsafat Teologi dan Humaniora*, *11*(2). https://doi.org/10.37567/jif.v11i2.4623

Loviana, S., Kholid, I., & Kesuma, G. C. (2026). Integration of Islamic educational values and environmental educational values: Perspectives of Hasan Langgulung and David Orr. *International Journal of Post Axial Futuristic Teaching and Learning*, *4*(3), 2608–2618. https://doi.org/10.59944/postaxial.v4i3.1752

Mubarok, W., Zulfa, L. N., & Sidqi, K. Z. T. (2026). Strengthening green culture through the Tahfidz program at the boarding school of MTsN 2 Demak. *International Journal of Post Axial Futuristic Teaching and Learning*, *4*(3), 1587–1601. https://doi.org/10.59944/postaxial.v4i3.1832

Muslihi, M. T. (2025). Pengembangan dan evaluasi sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis IoT dengan sensor PZEM-004T dan ESP8266. *Jurnal Fasilkom*, *15*(1), 77–83. https://doi.org/10.37859/jf.v15i1.8508

Prasetyo, A. A., Arifin, R., & Vidyastri, R. I. (2025). Sistem otomatisasi AC berbasis IoT untuk pengendalian suhu ruangan secara optimal. *Seminar Nasional Fortei Regional 7 (SinarFe7)*, *8*(1), 270–280. https://doi.org/10.33795/sinarfe7.v8i1.4120

Qornain, F. H. M. D., Tjahjono, B., Firmansyah, G., & Arfian, M. H. (2026). Rancang bangun sistem kontrol suhu berbasis Internet of Things (IoT) untuk efisiensi energi pendingin ruangan menggunakan metode prototype. *Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)*, *6*(1), 87–100. https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v6i1.1425

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923

Rafsanjani, M. F., Winjaya, F., Darmawan, A., & Diah, M. (2024). Perancangan prototype pendeteksi kondisi roda gigi serta monitoring arus dan tegangan pada motor wesel T84M. *Berkala Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi*, *2*(1), 232–242. https://doi.org/10.19184/berkalafstpt.v2i1.895

Rahman, H., & Handaya, D. (2021). Prototype sistem monitoring energi listrik untuk AC split berbasis NodeMCU dan Internet of Things. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, *6*(1), 25–30. https://doi.org/10.31544/jtera.v6i1.2021.25-30

Saputra, M. A., & Suratun, S. (2024). Rancang bangun modul AC pengatur suhu otomatis berbasis Arduino Mega 2560. *JuTEkS (Jurnal Teknik Elektro dan Sains)*, *8*(1), 13–18. https://doi.org/10.32832/juteks.v8i1.15883

Sari, N. N. (2026). Green spirituality approach to realizing a smart sustainable campus based on digital transformation in higher education institutions in Jambi Province. *Berkala Ilmiah Pendidikan*, *6*(2), 537–549. https://doi.org/10.51214/bip.v6i2.2338

Sembiring, S., Kaban, H., & Zulfahmi, R. (2020). Perancangan sistem efisiensi penggunaan energi listrik menggunakan sensor gerak dan sensor arus. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, *4*(3), 626–633. https://doi.org/10.30865/mib.v4i3.2134

Sianturi, J., & Putra, I. Z. (2021). Energi monitoring sistem (alat 1Phasa W7). *Journal of Applied Sciences Electrical Engineering and Computer Technology*, *2*(1), 6–14. https://doi.org/10.30871/aseect.v2i1.2937

Sugiartha, N., Okgiarta, I. D. M. G. S., Sugina, I. M., & Putra, I. D. G. A. T. (2024). Monitoring suhu dan konsumsi energi AC split berbasis Blynk IoT. *Journal of Energy, Materials, & Manufacturing Technology (JEMMTEC)*, *3*(1), 10–16. https://doi.org/10.35891/jemmtec.v3i1.4819

Tran, L. A., Loren, A., Lamer, S., Ernst, S. E., Boysen, G., Riley, M. J., Kulhánková, K., Powers, L., Cooney, A. L., Thornell, I. M., & Stapleton, E. M. (2026). Case study of low-cost energy reductions in shared research laboratories at a U.S. public university. *Frontiers in Sustainability*, *7*, 1729128. https://doi.org/10.3389/frsus.2026.1729128

Yadie, E., Putra, M. A., & Aqmal, M. Z. (2025). Multifunction meter 3 fase menggunakan sensor PZEM-004T berbasis NodeMCU ESP8266. *PoliGrid*, *6*(1). https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i1.57

Zainuri, H. (2026). Integrating Islamic values into environmental education: A sustainable eco-pesantren strategy. *Journal of Instructional and Development Researches*, *6*(3), 500–507. https://doi.org/10.53621/jider.v6i3.596

Copyright (c) 2026 VOCATIONAL : Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan
https://doi.org/10.51878/vocational.v7i1.16923