JREEC
JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY, ELECTRONICS AND CONTROL
homepage URL : https://ejurnal.itats.ac.id/jreec

RANCANG BANGUN *SMART CLASSROOM* UNTUK *MONITORING* KONSUMSI LISTRIK BERBASIS IoT

Fadlur Rohman Isnaini[1], dan Alfi Zuhriya Khoirunnisaa[2].
Universitas Muhammadiyah Gresik [1,2,3]

INFORMASI ARTIKEL

Jurnal JREEC – Volume 06
Nomer 02, Oktober 2026

Halaman:
57 – 73
Tanggal Terbit :
30 Oktober 2026

DOI:
10.36321/j.JREEC.2017.v21i2.91

EMAIL

fadlurisnaini073@gmail.com[1]
alfi.zuhria@gmail.com[2]

PENERBIT

Jurusan Teknik Elektro-ITATS
Alamat:
Jl. Arief Rachman Hakim No.100,Surabaya 60117,
Telp/Fax: 031-5997244

Jurnal JREEC by Department of Elecreical Engineering is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

ABSTRACT

Electrical energy waste in educational institutions often occurs because lights and air conditioners remain on when classrooms are empty, due to control systems that still rely on manual intervention. This research aims to design and build an ESP32-based Smart Classroom system that integrates user presence detection, energy consumption monitoring, and automatic control of electrical devices within a single IoT platform, while also testing its effectiveness in reducing energy waste. The system uses ESP32 as the processing center, connected to a PIR HC-SR501 sensor for presence detection, a PZEM-004T sensor to measure energy consumption, and a DHT22 sensor to monitor temperature and humidity. Load control is carried out through a *Relay* for lighting, an IR Blaster for the air conditioner, and a DC fan for air circulation after shutdown, with an automatic 15-minute delay when the room is empty. Data is displayed in real time via a PHP–MySQL web server. Testing was conducted in classroom E3.08 over five working days, comparing energy consumption before and after system implementation. Results showed the PIR sensor consistently detected presence at an effective range of 3–7 meters, the DHT22 had an average error of 0.98% (temperature) and 2.46% (humidity), while the PZEM-004T showed an average error of 4.09%, all within technical tolerance limits. Energy consumption dropped from 122.87 kWh (Rp136,963) to 84.34 kWh (Rp94,015), with daily savings ranging from 1.6–19.3%, averaging Rp3,687/day, equivalent to Rp110,610/month and Rp1,345,755/year. The system proved effective in reducing electrical energy waste while delivering significant economic benefits to the educational institution.

Kata kunci: *smart classroom*, ESP32, PIR sensor, PZEM 004T, web server PHP–MySQL

ABSTRAK

Pemborosan energi listrik di institusi pendidikan sering terjadi karena lampu dan AC tetap menyala saat ruang kelas kosong, akibat sistem kendali yang masih bergantung pada intervensi manual. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem Smart Classroom berbasis ESP32 yang mengintegrasikan deteksi keberadaan pengguna, monitoring konsumsi energi, dan pengendalian otomatis perangkat listrik dalam satu platform IoT, sekaligus menguji efektivitasnya dalam menurunkan pemborosan energi. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat pemrosesan, terhubung dengan sensor PIR HC-SR501 untuk deteksi keberadaan, sensor PZEM-004T untuk mengukur konsumsi energi, serta sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembaban. Pengendalian beban dilakukan melalui *Relay* untuk lampu, IR Blaster untuk AC, dan kipas DC sebagai sirkulasi udara pasca pemadaman, dengan penundaan otomatis 15 menit saat ruangan kosong. Data ditampilkan secara real time melalui web server PHP–MySQL Pengujian dilakukan di ruang kelas E3.08 selama lima hari kerja dengan membandingkan konsumsi energi sebelum dan sesudah penerapan sistem. Hasil menunjukkan sensor PIR konsisten mendeteksi keberadaan pada jarak 3–7 meter, DHT22 memiliki rata-rata error 0,98% (suhu) dan 2,46% (kelembaban), sedangkan PZEM-004T menunjukkan error rata-rata 4,09%, seluruhnya dalam batas toleransi. Konsumsi energi turun dari 122,87 kWh (Rp136.963) menjadi 84,34 kWh (Rp94.015), dengan penghematan harian 1,6–19,3%, rata-rata Rp3.687/hari, setara Rp110.610/bulan dan Rp1.345.755/tahun. Sistem terbukti efektif menurunkan pemborosan energi sekaligus memberi dampak ekonomis signifikan bagi institusi pendidikan.

Kata kunci: *smart classroom*, ESP32, sensor PIR, PZEM 004T, web server PHP–MySQL

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan vital yang menopang aktivitas manusia, termasuk operasional institusi pendidikan. Pemantauan dan pengendalian energi yang tidak terstruktur serta minimnya pencatatan konsumsi yang akurat menyebabkan pemborosan berlangsung terus-menerus dan inefisiensi sulit diidentifikasi [1], [2]. Oleh karena itu, penghematan energi yang sistematis dan berbasis data semakin mendesak diterapkan, termasuk di sektor pendidikan.

Universitas merupakan konsumen listrik yang besar karena padatnya kegiatan dan banyaknya ruangan yang beroperasi setiap hari. Pemborosan sebagian besar bersumber dari lampu dan AC yang tetap menyala saat ruangan kosong akibat pengendalian manual [3], dan ketiadaan otomasi menyebabkan energi terbuang di sela sesi pembelajaran [4]. Diperlukan solusi teknologi yang mendeteksi keberadaan pengguna dan menyesuaikan operasional perangkat secara otomatis.

Internet of Things (IoT) membuka peluang untuk menjawab masalah ini. Konsep smart building berbasis sensor dan kendali otomatis terbukti menekan konsumsi energi karena perangkat hanya beroperasi saat dibutuhkan [5]. Prinsip ini melahirkan *smart classroom*, yaitu sistem terintegrasi untuk deteksi pengguna, pemantauan lingkungan, dan kendali perangkat listrik [4]. Sistem berbasis IoT terbukti bermanfaat bagi efisiensi energi dan andal dalam komunikasi data secara real time [6], [7].

Dalam ekosistem IoT, ESP32 dipilih sebagai mikrokontroler karena memiliki Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi serta mampu membaca banyak sensor secara simultan untuk monitoring real time [8]–[11].

Untuk sensor dan aktuator, sensor PIR HC-SR501 mendeteksi pergerakan manusia dengan konsumsi daya rendah [12] dan telah menghasilkan penghematan energi terukur pada otomasi ruang kelas dengan memutus suplai listrik saat ruangan kosong [13], [14]. Modul PZEM-004T mengukur tegangan, arus, daya aktif, dan energi listrik arus bolak-balik dengan akurasi tinggi [15], [16], sedangkan sensor DHT22 akurat dalam mengukur suhu dan kelembaban [16]–[18]. Modul *Relay* memungkinkan mikrokontroler bertegangan rendah mengendalikan beban AC secara aman [19], [20], sementara IR Blaster mengendalikan AC tanpa memodifikasi instalasi listrik karena meniru sinyal remote asli [21], [22].

Data sensor disimpan dan ditampilkan melalui kombinasi PHP dan MySQL yang andal untuk data *logging* dan visualisasi *real time* [23], [24], dengan antarmuka web yang efektif menjembatani pengguna dan sistem kendali [14]. Basis data terstruktur ini memungkinkan rekam jejak konsumsi energi dievaluasi kembali untuk kebijakan efisiensi berbasis bukti.

Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan otomasi atau monitoring energi ruang kelas, sebagian besar hanya berfokus pada satu aspek, seperti kendali lampu [13], [14], kualitas udara [6], atau suhu dan kelembaban [24], tanpa mengintegrasikan kendali AC, pengukuran konsumsi energi, dan logging terpusat dalam satu platform. Kesenjangan ini melandasi penelitian yang bertujuan membangun sistem Smart Classroom berbasis ESP32 dengan sensor PIR untuk deteksi pengguna, PZEM-004T untuk monitoring energi, DHT22 untuk kondisi termal, *Relay* untuk kendali lampu, IR Blaster untuk kendali AC, dan kipas DC untuk sirkulasi udara pasca pemadaman, yang terhubung ke web server PHP dan MySQL sebagai platform *monitoring* terpadu [4], [11]. Sistem ini diharapkan mengeliminasi pemborosan akibat perangkat yang menyala saat ruangan kosong sekaligus menyediakan data historis untuk evaluasi efisiensi berkelanjutan [1], [2].

TINJAUAN PUSTAKA

Milrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem tertanam (embedded system) dan aplikasi berbasis *Internet of Things (IoT)* Perangkat ini telah dilengkapi dengan modul komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi dan Bluetooth, sehingga memungkinkan pengiriman data tanpa menggunakan modul tambahan. ESP32 memiliki sejumlah

pin *input*/output digital dan analog yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai jenis sensor dan perangkat keluaran [11].

Oleh karna itu, penerapan ESP32 digunakan sebagai pusat pengendali sistem otomasi ruang kelas. ESP32 bertugas membaca data dari sensor PIR untuk mendeteksi keberadaan manusia, sensor arus untuk memantau konsumsi daya listrik, serta sensor suhu dan kelembaban untuk mengetahui kondisi lingkungan ruangan. Selain itu, ESP32 mengendalikan *Relay* untuk memutus dan menyambung aliran listrik pada lampu dan kipas DC, serta mengontrol rangkaian IR *Blaster* untuk mengirim perintah ke AC. Data dari seluruh sensor dikirimkan ke platform IoT untuk keperluan monitoring dan pencatatan secara *real time*

Sensor PIR (HC-SR501)

Sensor PIR tipe HC-SR501 merupakan jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi perubahan radiasi infra merah di lingkungan sekitarnya. Sensor ini bekerja dengan cara menangkap radiasi panas yang dipancarkan oleh tubuh manusia atau objek lain yang memiliki suhu berbeda dari lingkungan [25].

Sensor PIR HC-SR501 diterapkan dalam penelitian ini sebagai elemen utama deteksi keberadaan manusia di dalam ruang kelas. Data dari sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 untuk menentukan apakah ruangan sedang digunakan atau dalam kondisi kosong. Apabila tidak terdeteksi adanya pergerakan dalam rentang waktu tertentu, sistem akan menjalankan perintah untuk mematikan lampu dan AC secara otomatis. Dengan cara ini, sensor PIR menjadi salah satu komponen penting dalam pengambilan keputusan pada sistem otomasi ruang kelas.

Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T adalah modul sensor pengukur parameter listrik yang dirancang khusus untuk mengukur tegangan RMS (Root Mean Square), arus RMS, daya aktif, frekuensi, faktor daya, dan energi aktif pada sistem arus bolak-balik (AC). Sensor ini dikembangkan menjadi salah satu modul sensor yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi monitoring energi listrik berbasis IoT karena kemudahan penggunaannya dan tingkat akurasi yang baik [15].

Sensor Suhu dan Kelembapan

Sensor suhu dan kelembaban DHT22 merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur kondisi lingkungan berupa temperatur dan tingkat kelembaban udara [26]. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan suhu dan kadar uap air di udara, kemudian mengubahnya menjadi sinyal digital atau analog yang dapat diproses oleh sistem kendali. Penggunaan sensor ini umum ditemukan pada sistem pemantauan lingkungan untuk menjaga kenyamanan dan kestabilan kondisi ruangan [27].

Mengingat kemampuan tersebut, sensor DHT22 diterapkan dalam penelitian ini untuk memantau kondisi lingkungan ruang kelas secara akurat. Sensor ini mengukur dua parameter penting, yaitu suhu udara dan persentase kelembaban relatif, yang kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses.

Relay

Relay merupakan komponen elektromekanis yang berfungsi sebagai saklar yang dikendalikan secara elektrik. *Relay* memungkinkan rangkaian bertegangan rendah untuk mengendalikan rangkaian bertegangan lebih tinggi dengan aman [28].

Untuk itu, *Relay* digunakan sebagai penghubung antara ESP32 dengan beban lampu dan kipas DC, sehingga kedua perangkat tersebut dapat dinyalakan atau dimatikan secara otomatis berdasarkan pembacaan sensor PIR, suhu, dan kelembaban. *Relay* berfungsi memberikan isolasi antara rangkaian kendali bertegangan rendah dan beban AC 220V agar sistem bekerja dengan aman. Sementara itu, AC tidak dikendalikan melalui *Relay*, melainkan menggunakan IR Blaster berbasis IR LED dan transistor yang mengirimkan sinyal inframerah seperti remote AC, sehingga keseluruhan proses otomasi tetap terintegrasi tanpa mengganggu sistem kontrol utama

IR Blaster

IR Blaster modul transmitor + IR LED merupakan perangkat pemancar sinyal inframerah yang berfungsi untuk mengirimkan perintah ke perangkat elektronik yang menggunakan sistem kendali jarak jauh berbasis infrared, seperti AC, televisi, dan perangkat multimedia lainnya [22].

IR Blaster modul transmitor + IR LED digunakan untuk mengendalikan AC secara otomatis tanpa memodifikasi rangkaian internal AC. ESP32 mengirimkan pola sinyal tertentu melalui transistor dan IR LED agar AC dapat menerima perintah seperti menyalakan, mematikan, atau mengatur mode kerja.

Kipas DC

Kipas DC merupakan perangkat aktuator yang digunakan untuk menghasilkan aliran udara dengan memanfaatkan sumber tegangan searah.

kipas DC diterapkan dalam penelitian ini sebagai komponen ventilasi otomatis ruang kelas. Kipas diaktifkan selama durasi tertentu untuk membantu mengurangi kelembapan dan mempercepat pertukaran udara di dalam ruang kelas. Pengendalian kipas dilakukan oleh ESP32 melalui modul *Relay* atau *driver*, sehingga waktu aktif kipas dapat diatur sesuai kebutuhan sistem otomasi yang dirancang.

Arduino IDE

Arduino Integrated Development Environment (Arduino IDE) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke berbagai jenis mikrokontroler berbasis platform Arduino maupun mikrokontroler lain yang kompatibel seperti ESP32.

Arduino IDE dipilih sebagai alat utama pemrograman ESP32 dalam penelitian ini. Melalui Arduino IDE, berbagai sensor seperti PIR, PZEM004T, dan DHT22 dapat diprogram untuk membaca data secara *real time*, sementara perangkat aktuator seperti *Relay*, IR Blaster, dan kipas DC dapat dikendalikan sesuai logika sistem. Arduino IDE juga memfasilitasi integrasi dengan web server PHP dan MySQL melalui *library* bawaan, sehingga data konsumsi energi, suhu, dan kelembapan dapat dipantau secara jarak jauh.

WEB Server

Web server merupakan sistem yang berfungsi untuk menerima, memproses, dan menyajikan data melalui jaringan komputer dengan menggunakan protokol HTTP.

MySQL merupakan sistem manajemen basis data relasional yang digunakan untuk menyimpan, mengelola, dan menampilkan data secara terstruktur [30]

web server berbasis PHP dan MySQL dapat dimanfaatkan sebagai media penerima dan penyimpan data hasil pembacaan sensor yang dikirimkan oleh mikrokontroler melalui jaringan. Data berupa arus listrik, suhu, dan kelembaban disimpan ke dalam database MySQL sebagai data logging yang dapat diakses kembali untuk keperluan pemantauan maupun analisis

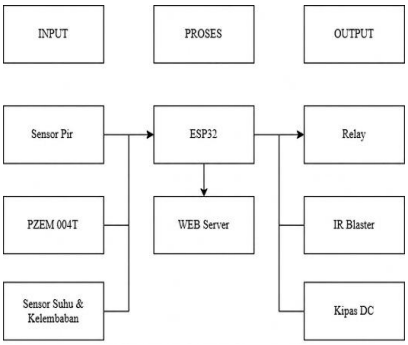
METODE

Studi Literatur

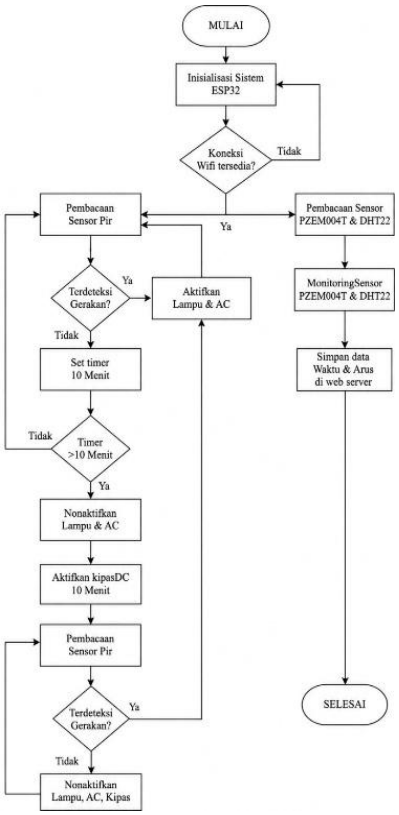
Metodologi penelitian ini diawali dengan mempelajari tentang studi literatur yang berasal dari jurnal/artikel ilmiah, buku, internet, dan sumber yang valid tentang komponen atau bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini. Sumber langsung diperoleh dari hasil diskusi atau konsultasi dengan pakar yang ahli pada bidang terkait. Adapun beberapa literatur yang dipelajari antara lain mencakup :

1. Mikrokontroler ESP32
2. Sensor Pir HC-SR501
3. Sensor Arus PZEM-004T
4. Sensor Suhu dan Kelembaban DHT22

5. *Relay*
6. IR Blaster :modul transmitor + IR LED
7. Kipas DC
8. Arduino IDE
9. Platfom Iot WEB *Server PHP* dan MySQL



Gambar 1. Diagram Blok



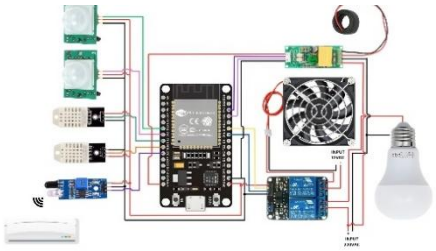
Gambar 2. Flowchart

Perancangan Sistem

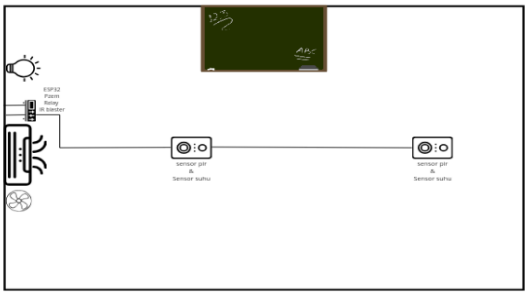
Diagram blok menunjukkan alur kerja sistem otomasi ruangan berbasis ESP32 yang terdiri dari *input*, proses, dan output. *Input* berasal dari sensor PIR, PZEM-004T, serta sensor suhu dan kelembaban. Data tersebut diproses ESP32 untuk menentukan kendali perangkat dan dikirim ke web server untuk pemantauan. Output berupa *Relay*, IR blaster, dan kipas DC yang bekerja sesuai kondisi dan logika sistem.sistem kerja alat dapa dilihat pada gambar dibawah imi

Flowchart menggambarkan alur kerja sistem otomasi ruangan berbasis ESP32 yang diawali dengan inisialisasi dan koneksi WiFi. Setelah terhubung, ESP32 membaca sensor PIR untuk mendeteksi gerakan. Jika terdeteksi, lampu dan AC aktif, sedangkan data arus, suhu, dan kelembaban dari sensor PZEM-004T dan DHT22 dikirim ke web server. Jika tidak ada gerakan selama 10 menit, lampu dan AC dimatikan, kemudian kipas DC diaktifkan selama 10 menit. Sistem selanjutnya membaca kembali sensor PIR; apabila terdeteksi gerakan, siklus berulang, sedangkan jika tidak ada gerakan seluruh aktuator dimatikan.

Perancangan Haredware



Gambar 3.Desain Hardware



Gambar 4. Desain Layout

Desain *hardware* menempatkan ESP32 sebagai pusat pengendali yang mengintegrasikan sensor dan aktuator dalam satu rangkaian. Bagian *input* terdiri atas sensor PIR untuk mendeteksi gerakan, PZEM-004T untuk mengukur arus, dan DHT22 untuk memantau suhu serta kelembaban. Data sensor diproses oleh ESP32 untuk mengendalikan perangkat *output*.

Pada bagian *output*, ESP32 mengendalikan *Relay* untuk lampu dan kipas DC, serta IR blaster untuk mengontrol AC melalui sinyal inframerah. Rangkaian tegangan rendah dipisahkan dari jalur 220 V melalui *Relay* sehingga sistem dapat bekerja secara terintegrasi dan lebih aman.

Perancangan *Software*

Perancangan perangkat lunak bertujuan mengimplementasikan monitoring dan pengendalian beban listrik berbasis ESP32 menggunakan C/C++ pada Arduino IDE. Sistem menggunakan WiFi, pembacaan sensor, web server PHP–MySQL, serta timer untuk mengatur proses secara otomatis.

1. Inisialisasi: ESP32 melakukan konfigurasi pin sensor dan aktuator, kemudian terhubung ke WiFi dan *web server*.
2. Pembacaan PIR: ESP32 membaca sensor PIR untuk menentukan kondisi ruangan, yaitu HIGH saat terdeteksi gerakan dan LOW saat tidak ada gerakan.
3. Gerakan terdeteksi: Lampu dan AC diaktifkan, kemudian PZEM-004T membaca arus dan DHT22 membaca suhu serta kelembaban.
4. Monitoring: Data sensor diberi cap waktu dan dikirim melalui WiFi ke *web server* PHP–MySQL untuk disimpan dan ditampilkan.
5. Tidak ada gerakan: Jika PIR LOW, sistem menjalankan timer 10 menit dan tetap memantau perubahan gerakan.
6. Setelah 10 menit: Jika tidak ada gerakan, lampu dan AC dimatikan untuk mengurangi konsumsi energi.
7. Kipas DC: Setelah lampu dan AC OFF, kipas DC diaktifkan selama 10 menit untuk membantu sirkulasi udara.
8. Pemeriksaan ulang: Setelah timer selesai, kipas dimatikan dan PIR dibaca kembali. Jika tidak ada gerakan, seluruh aktuator tetap OFF dan siklus selesai.
9. Siklus berulang: Jika gerakan terdeteksi kembali, sistem mengaktifkan lampu dan AC, memperbarui pembacaan sensor, serta mengirim data terbaru ke *web server*. Proses berlangsung secara berulang sesuai kondisi ruangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Sensor PIR

Pengujian sensor Passive Infrared (PIR) HC-SR501 dilakukan untuk mengetahui performa sensor dalam mendeteksi keberadaan pengguna di ruangan berdasarkan perubahan radiasi inframerah dari lingkungan sekitar. Sensor PIR merupakan komponen sistem otomasi yang berfungsi sebagai

pendeteksi perintah untuk mematikan lampu dan AC secara otomatis. Pengujian ini di lakukan 5 hari pada minggu ke dua dimulai pada tanggal 9 juni.

Pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor pada posisi strategis di dalam ruang kelas berukuran 10 m x 6 m, dengan sudut deteksi sensor diarahkan untuk mencakup seluruh area ruangan. Hasil pengujian sensor PIRditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian sensor PIR

Waktu (WIB)	**Kondisi Ruangan**	**Jarak Deteksi (m)**	**Waktu respon (s)**	**Output Sensor PIR**	**Kondisi Sistem**		**Keterangan**
07.00–07.45	Kosong OFF	0	0	LOW	*Relay* (Lampu) OFF, IR Blaster (AC) LOW	Lampu & AC Off	Tidak terdeteksi adanya gerakan sehingga lampu dan AC tetap mati.
08.00–11.00	KBM	3–7	2	HIGH	*Relay* (Lampu) ON, IR Blaster (AC) HIGH	Lampu & AC On	Sensor mendeteksi gerakan penghuni, sehingga lampu dan AC menyala otomatis.
11.15–11.25	Kosong ON	0	2	LOW	SET Timer 10 menit	Lampu & AC masih ON	Tidak ada gerakan yang terdeteksi. Sistem menunggu selama 10 menit sebelum mematikan *Relay* dan mengaktifkan IR blaster.
11.25-13.00	Kosong OFF	0	0	LOW	*Relay* (Lampu) OFF, IR Blaster (AC) LOW	Lampu & AC Off	Counter Timer 10 menit selesai. sistem mematikan *Relay* dan mengaktifkan IR blaster.
13.00–17.00	KBM	3–7	2	HIGH	*Relay* (Lampu) ON, IR Blaster (AC) HIGH	Lampu & AC On	Sensor kembali mendeteksi gerakan sehingga lampu dan AC menyala otomatis.
17.00–17.10	Kosong ON	0	2	LOW	SET Timer 10 menit	Lampu & AC masih ON	Tidak ada gerakan yang terdeteksi. Sistem menunggu selama 10 menit sebelum mematikan

Waktu (WIB)	Kondisi Ruangan	Jarak Deteksi (m)	Waktu respon (s)	Output Sensor PIR	Kondisi Sistem		Keterangan
							Relay dan mengaktifkan IR blaster.
17.10-21.00	Kosong OFF	0	0	LOW	*Relay* (Lampu) OFF, IR Blaster (AC) LOW	Lampu & AC Off	Counter Timer 10 menit selesai. sistem mematikan *Relay* dan mengaktifkan IR blaster.

Hasil Pengujian Sensor DHT22

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DHT22 memiliki tingkat akurasi yang baik, dengan nilai rata-rata error pengukuran suhu sebesar 0,98% dan error pengukuran kelembaban (RH) sebesar 2,46%. Nilai tersebut tergolong baik karena berada jauh di bawah ambang batas error 10% yang menunjukkan ketelitian alat ukur sangat mendekati nilai referensi [17]. Hasil ini juga sejalan dengan acuan datasheet sensor DHT22 yang mensyaratkan toleransi error pengukuran suhu sebesar ±5°C dan kelembaban 2–5% agar akurasi dapat dikategorikan baik dan dapat diterima[16]. Hasil kalibrasi sensor DHT22 ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 2. Hasil kalibrasi sensor DHT22

No	Suhu Referensi	Suhu DHT22	Suhu Eror (%)	RH Referensi (%RH)	RH DHT22 (%RH)	Eror RH (%)
1.	25,0	25,3	1,20	65,0	66,5	2,31
2.	26,5	26,7	0,75	68,0	70,1	3,09
3.	28,0	28,3	1,07	72,0	73,5	2,08
4.	27,5	27,8	1,09	70,0	71,8	2,57
5.	26,0	26,2	0,77	67,0	68,5	2,24
	Rata - Rata		0,98			2,46

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai error kalibrasi sensor DHT22 adalah sebagai berikut:

$$Eror\ (\%) = \frac{Nilai\ sensor - Nilai\ Referensi}{Nilai\ Referensi} \times 100\% \quad (1)$$

Hasil Pengujian Sensor PZEM-004T

Pengujian dilakukan pada variasi beban yang berbeda yaitu AC, Lampu dan Kipas di ruang kelas E3.08. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul PZEM-004T memiliki akurasi pengukuran yang baik, dengan nilai rata-rata *error* keseluruhan sebesar 4,09%. Nilai ini menunjukkan tingkat akurasi yang baik dan dapat diandalkan, mengingat penelitian sejenis melaporkan bahwa sensor PZEM-004T umumnya memiliki akurasi pengukuran tegangan dan arus di atas 99%, serta *error*

pengukuran yang masih dikategorikan baik apabila berada pada kisaran di bawah 10% [15]. Hasil kalibrasi modul PZEM-004T ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 3. Hasil kalibrasi modul PZEM-004T

No	Parameter	Nilai Referensi	Nilai PZEM-004T	Eror (%)
1.	Tegangan AC (V)	235.9	238.3	1.02%
2.	Tegangan Lampu (V)	237.5	236.1	0.59%
3.	Tegangan Kipas (V)	238.2	235.6	1.09%
4.	Arus AC (A)	8.87	9.03	1.80%
5.	Arus Lampu (A)	0.43	0.51	6.98%
6.	Arus Kipas (A)	0.31	0.37	6.45%
.7.	Daya AC (W)	1900	1931	1.63%
8.	Daya Lampu (W)	100	110	10%
9.	Daya Kipas (W)	55	63	7,27%
	Rata-rata			4.09%

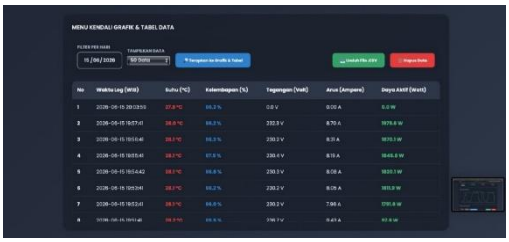
Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *error* kalibrasi modul PZEM-004T adalah sebagai berikut:

$$Eror\ (\%) = \frac{Nilai\ PZEM - 004T - Nilai\ Referensi}{Nilai\ Referensi} \times 100\% \qquad (2)$$

Tampilan dan Fitur WEB



Gambar 5. Tampilan Dasboard



Gambar 6. Menu Kendali Grafik



Gambar7. Grafik Tren Kelistrikan

Web *monitoring smart classroom* dirancang untuk memudahkan pemantauan kondisi ruangan secara *real-time* dan dapat diakses melalui *browser* pada komputer maupun *smartphone* yang terhubung ke jaringan lokal. *Dashboard* dirancang sederhana namun

informatif, dengan bagian atas berisi identitas sistem dan tombol navigasi berupa indikator status koneksi, pengaturan keamanan akun, tombol *Override* untuk pengambilalihan kendali manual, serta tombol untuk mengakhiri sesi. Bagian utama terbagi menjadi dua kelompok panel berbentuk kartu: kelompok pertama menampilkan data sensor secara langsung, yaitu suhu ruangan, kelembapan udara, tegangan AC, dan arus listrik, sedangkan kelompok kedua menampilkan konsumsi daya aktif serta status operasional AC, lampu, dan kipas beserta mode kendali yang aktif. Desain berbasis kartu ini memudahkan pengguna memahami kondisi ruangan secara menyeluruh dalam satu tampilan, sehingga sistem berfungsi sebagai alat pemantauan sekaligus pusat kendali perangkat ruang kelas yang terintegrasi dan mudah dioperasikan.

Hasil Monitoring Energi Sebelum Penerapan

Monitoring energi sebelum penerapan sistem *smart classroom* dilakukan selama lima hari kerja, yaitu pada 9-15 Juni 2026. Modul PZEM-004T merekam konsumsi listrik secara otomatis setiap 15 menit, mulai pukul 07.00 sampai 20.45. Data dapat diunduh dari web dan ditampilkan pada Lampiran 1. Pada kondisi ini, lampu dan AC masih dikendalikan manual oleh pengguna, sehingga pemborosan energi kerap terjadi ketika ruangan kosong dan peralatan tidak segera dimatikan.

Data monitoring mencatat tiga status ruangan: KBM (ada kegiatan belajar mengajar), Kosong ON (tidak ada kegiatan, peralatan masih menyala), dan Kosong OFF (tidak ada kegiatan, peralatan sudah mati). Biaya dihitung berdasarkan tarif listrik golongan sosial S-2 PLN sebesar Rp 1.114,74/kWh dengan rumus berikut:

$$Asumsi\ biaya = kWh\ Interval \times Tarif\ Tenaga\ Listrik\ (TTL) \quad (3)$$

Hasil monitoring energi sebelum penerapan sistemdisajikan pada Tabel Berikut:

Tabel 4. Hasil monitoring energi sebelum penerapan sistem

Kondisi	**Pukul**	**Daya Rata-rata (Watt)**	**kWh Interval**	**kWh Kumulatif**	**Asumsi Harga (Rp)**
Selasa, 9 Juni 2026					
Kosong OFF	07:00 – 08:45	0	0	0	Rp 0
KBM	08:45 – 11:30	2133.4	5.8669	5.8669	Rp 6.540
Kosong ON	11:30 – 13:00	2056.0	3.0840	8.9509	Rp 3.438
KBM	13:00 – 15:00	1981.9	3.9638	12.9147	Rp 4.419
Kosong ON	15:00 – 16:30	1988.3	2.9824	15.8971	Rp 3.325
KBM	16:30 – 17:45	2212.4	2.7655	18.6626	Rp 3.083
Kosong ON	17:45 – 18:45	2064.1	2.0640	20.7266	Rp 2.301

Kondisi	Pukul	Daya Rata-rata (Watt)	kWh Interval	kWh Kumulatif	Asumsi Harga (Rp)
KBM	18:45 – 20:30	1984.9	3.4735	24.2001	Rp 3.872
Kosong ON	20:30 – 21:00	2195.0	1.0975	25.2976	Rp 1.223
Kosong OFF	21:00	0	0	25.2976	Rp 0
Rabu, 10 Juni 2026					
Kosong OFF	07:00 – 07:15	0	0	0	Rp 0
KBM	07:15 – 11:15	2082.6	8.3306	8.3306	Rp 9.286
Kosong ON	11:15 – 13:00	1974.1	3.4548	11.7854	Rp 3.851
KBM	13:00 – 18:00	2072.3	10.3617	22.1471	Rp 11.551
Kosong ON	18:00 – 19:00	1975.3	1.9753	24.1224	Rp 2.202
KBM	19:00 – 21:15	2178.6	5.4466	29.5690	Rp 6.072
Kamis, 11 Juni 2026					
Kosong OFF	07:00 – 07:15	0	0	0	Rp 0
KBM	07:15 – 11:15	1979.8	7.9193	7.9193	Rp 8.828
Kosong ON	11:15 – 13:00	2011.3	3.5199	11.4392	Rp 3.924
KBM	13:00 – 18:00	2101.2	10.5060	21.9452	Rp 11.711
Kosong ON	18:00 – 19:00	1914.3	1.9142	23.8594	Rp 2.134
KBM	19:00 – 21:15	2049.8	5.1245	28.9839	Rp 5.712
Jumat, 12 Juni 2026					
Kosong OFF	07:00 – 13:45	0	0	0	Rp 0
KBM	13:45 – 21:15	2005.8	15.5449	15.5449	Rp 17.329

Kondisi	Pukul	Daya Rata-rata (Watt)	kWh Interval	kWh Kumulatif	Asumsi Harga (Rp)
Senin, 15 Juni 2026					
Kosong OFF	07:00 – 09:45	0	0	0	Rp 0
KBM	09:45 – 11:15	2025.2	3.0377	3.0377	Rp 3.386
Kosong ON	11:15 – 13:00	1961.1	3.4318	6.4695	Rp 3.826
KBM	13:00 – 18:00	1978.6	9.8931	16.3626	Rp 11.028
Kosong ON	18:00 – 19:00	2047.4	2.0474	18.4100	Rp 2.282
KBM	19:00 – 21:15	2024.2	5.0604	23.4704	Rp 5.641

Hasil Monitoring Energi Sesudah Penerapan

Setelah sistem smart classroom berbasis ESP32 diterapkan, monitoring energi kembali dilakukan selama lima hari kerja yang sama 16-22 Juni 2026 untuk memungkinkan perbandingan yang setara. Pada kondisi ini, pengendalian lampu dan AC dilakukan secara otomatis oleh sistem berdasarkan deteksi sensor PIR. Ketika ruangan tidak terdeteksi ada pengguna selama lebih dari 10 menit, sistem secara otomatis mematikan lampu dan AC melalui *Relay* dan IR *blaster auto-off*, lalu mengaktifkan kipas DC selama 10 menit untuk sirkulasi udara sebelum sepenuhnya standby

Pada kondisi sesudah penerapan, tidak ditemukan lagi kategori kosong nyala. Kondisi yang sebelumnya menghasilkan pemborosan energi besar kini berubah menjadi kondisi auto-off di mana daya yang terpakai hanya berkisar 9-11 Watt setara dengan daya standby perangkat tanpa beban utama. Hasil *monitoring* energi sesudah penerapan sistem disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 5. Hasil monitoring energi sesudah penerapan sistem

Kondisi	Pukul	Daya Rata-rata (Watt)	kWh Interval	kWh Kumulatif	Asumsi Harga (Rp)
Selasa, 16 Juni 2026					
Kosong OFF	07:00 – 21:15	0	0	0	Rp 0
Rabu, 17 Juni 2026					
Kosong OFF	07:00 – 07:15	0	0	0	Rp 0
KBM	07:15 – 11:15	2083.6	8.3341	8.3341	Rp 9.290

Kondisi	Pukul	Daya Rata-rata (Watt)	kWh Interval	kWh Kumulatif	Asumsi Harga (Rp)
Kosong ON	11:15 – 11:30	2327.0	0.5817	8.9162	Rp 648
Kosong OFF	11:30 – 13:00	0	0	8.9162	Rp 0
KBM	13:00 – 18:00	2040.0	10.2000	19.1162	Rp 11.370
Kosong ON	18:00 – 18:15	2276.9	0.5692	19.6854	Rp 635
Kosong OFF	18:15 – 19:00	0	0	19.6854	Rp 0
KBM	19:00 – 21:15	2097.1	5.2428	24.9282	Rp 5.844
Kamis, 18 Juni 2026					
Kosong OFF	07:00 – 07:15	0	0	0	Rp 0
KBM	07:15 – 11:15	2101.3	8.4053	8.4053	Rp 9.370
Kosong ON	11:15 – 11:30	2017.9	0.5045	8.9098	Rp 562
Kosong OFF	11:30 – 13:00	0	0	8.9098	Rp 0
KBM	13:00 – 18:00	2135.8	10.6788	19.5886	Rp 11.904
Kosong ON	18:00 – 18:15	2394.6	0.5987	20.1873	Rp 667
Kosong OFF	18:15 – 19:00	0	0	20.1873	Rp 0
KBM	19:00 – 21:15	1989.7	4.9742	25.1615	Rp 5.545
Jumat, 19 Juni 2026					
Kosong OFF	07:00 – 13:45	0	0	0	Rp 0
KBM	13:45 – 21:15	1974.5	15.3020	15.3020	Rp 17.058
Senin, 22 Juni 2026					

Kondisi	Pukul	Daya Rata-rata (Watt)	kWh Interval	kWh Kumulatif	Asumsi Harga (Rp)
Kosong OFF	07:00 – 09:45	0	0	0	Rp 0
KBM	09:45 – 11:15	2163.4	3.2452	3.2452	Rp 3.618
Kosong ON	11:15 – 11:30	1887.8	0.4719	3.7171	Rp 526
Kosong OFF	11:30 – 13:00	0	0	3.7171	Rp 0
KBM	13:00 – 17:45	2009.2	9.5439	13.261	Rp 10.639
Kosong ON	17:45 – 18:00	2313.2	0.5783	13.8393	Rp 645
Kosong OFF	18:00 – 19:00	0	0	13.8393	Rp 0
KBM	19:00 – 21:15	2043.3	5.1083	18.9476	Rp 5.694

Analisis Perbandingan Sebelum dan Sesudah Penerapan

Analisis perbandingan dilakukan untuk mengukur efektivitas penerapan sistem smart classroom dalam mengurangi konsumsi energi listrik di ruang kelas. Perbandingan mencakup total konsumsi energi harian (kWh) dan estimasi biaya listrik sebelum dan sesudah penerapan sistem. Data perbandingan lengkap disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 6. Data perbandingan Sebelum dan Sesudah

Hari	Sebelum (kWh)	Sesudah (kWh)	Selisih (kWh)	Selisih (%)
Rabu	29,5690	24,9278	4,6412	15,7%
Kamis	28,9839	25,1615	3,8224	13,2%
Jumat	15,5449	15,3020	0,2429	1,6%
Senin	23,4704	18,9476	4,5228	19,3%
Rata-Rata	24,3921	21,0847	3,3073	12,45%

Persentase penghematan energi dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\%\ Penghematan = \frac{(E_{\text{sebelum}} - E_{\text{sesudah}})}{E_{\text{sebelum}}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

$\%\ Penghematan$ = $Persentase\ penghematan\ energi$ (%)

$E_{sebelum}$ = $Konsumsi\ energi\ sebelum\ penerapan\ sistem\ (kWh)$

$E_{sesudah}$ = $Konsumsi\ energi\ sesudah\ penerapan\ sistem\ (kWh)$

Estimasi Biaya Penghematan

Tabel 7. Estimasi Biaya Penghematan

Periode	Komsumsi Sebelum (Rp)	Konsumsi Sesudah (Rp)	Penghematan (Rp)
Per Hari	Rp. 27.190	Rp. 23.503	Rp. 3.687
Per Bulan	Rp. 815.700	Rp. 705.090	Rp. 110.610
Per Tahun	Rp. 9.924.350	Rp. 8.578.595	Rp. 1.345.755

Estimasi pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa penerapan sistem *Smart Classroom* mampu menghemat biaya listrik sebesar Rp3.687 per hari, yang apabila diakumulasikan dapat mencapai Rp110.610 per bulan dan Rp1.345.755 per tahun untuk satu ruang kelas. Perhitungan ini menggunakan asumsi 30 hari operasional per bulan dan 365 hari per tahun berdasarkan rata-rata pola konsumsi yang tercatat selama pengujian. Meskipun nilai penghematan pada satu ruang kelas relatif kecil, potensi penghematan akan menjadi signifikan apabila sistem ini diterapkan secara serentak pada seluruh ruang kelas di lingkungan institusi pendidikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem *Smart Classroom* untuk monitoring konsumsi listrik berbasis IoT, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem otomasi ruang kelas berbasis ESP32 dengan sensor PIR HC-SR501 berhasil dirancang dan dibangun secara terintegrasi, mampu mengendalikan lampu melalui modul *Relay*, mengontrol AC melalui rangkaian IR *Blaster,* serta mengaktifkan kipas DC sebagai sistem sirkulasi udara pasca pemadaman, semuanya bekerja otomatis berdasarkan deteksi keberadaan pengguna dengan jarak deteksi efektif 3–7 meter. Mekanisme penundaan (*delay*) selama 15 menit sebelum sistem mematikan perangkat terbukti efektif menghindari pemadaman yang tidak disengaja saat pengguna hanya berpindah posisi sesaat.
2. Seluruh sensor yang digunakan menunjukkan tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan untuk sistem monitoring ini. Sensor DHT22 menghasilkan rata-rata *error* pengukuran suhu sebesar 0,98% dan kelembaban 2,46%, sementara modul PZEM-004T menunjukkan rata-rata error keseluruhan sebesar 4,09% untuk pengukuran tegangan, arus, dan daya, sehingga data konsumsi energi yang dihasilkan dapat diandalkan untuk keperluan analisis.
3. Penerapan sistem *smart classroom* terbukti secara konsisten menurunkan konsumsi energi listrik dibandingkan kondisi pengendalian manual. Sebelum penerapan sistem, total konsumsi energi selama lima hari pengukuran mencapai 122,87 kWh dengan estimasi biaya Rp136.963, di mana 25,57 kWh di antaranya terbuang sia-sia akibat kondisi *Kosong ON*. Setelah sistem diterapkan, total konsumsi turun menjadi 84,34 kWh dengan estimasi biaya Rp94.015. Penghematan energi bervariasi pada setiap harinya, dengan penurunan terbesar terjadi pada hari Senin sebesar 19,3% dan penurunan terkecil pada hari Jumat sebesar 1,6%, dipengaruhi oleh pola dan intensitas penggunaan ruang kelas.
4. Estimasi penghematan biaya listrik menunjukkan bahwa sistem *smart classroom* mampu menghemat rata-rata Rp3.687 per hari, yang apabila diakumulasikan setara dengan Rp110.610 per bulan dan Rp1.345.755 per tahun untuk satu ruang kelas. Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun penghematan pada skala satu ruangan relatif kecil, potensi penghematan biaya akan menjadi signifikan apabila sistem diterapkan secara serentak pada seluruh ruang kelas di lingkungan institusi pendidikan.
5. Sistem monitoring berbasis *web server* PHP dan MySQL berhasil diimplementasikan dan berfungsi dengan baik sebagai pusat pemantauan kondisi ruangan secara *real-time*.

Dashboard web menampilkan data suhu, kelembaban, tegangan, arus, dan daya aktif, sekaligus status operasional masing-masing perangkat (AC, lampu, dan kipas) yang dapat diakses melalui komputer maupun *smartphone* dalam jaringan lokal, sehingga sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat penghematan energi, tetapi juga sebagai pusat kendali ruang kelas yang terintegrasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] F. F. Mubina and G. Firasanto, "PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK" vol. 5, no. 2, 2022, doi: 10.32493/epic.v5i2.28419.

[2] S. L. Zaen, "SISTEM MONITORING PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK RUMAH TANGGA," vol. 01, no. 01, pp. 15–24, 2021.

[3] D. Indriyani and N. Iksan, "Penghematan Konsumsi Energi Listrik Melalui Audit Energi Listrik di SMK Cendekia Lasem," pp. 16–28.

[4] R. Veliyanti, D. Sasmoko, and F. F. Dzuhur, "Desain dan Implementasi Smart Classroom Berbasis Sensor PIR dan DHT22 untuk Efisiensi Energi," pp. 14–24.

[5] M. Falah *et al.*, "Dalam Smart Building Untuk Penghematan," vol. 12, no. 3, 2024.

[6] K. Rosan, F. Wadly, and M. Amin, "Implementasi Sistem IoT Monitoring Kualitas Udara Dalam Kelas Untuk Kenyamanan Pengguna Ruangan," vol. 5, pp. 455–464, 2025.

[7] P. U. Rakhmawati, "Analisis Komunikasi Platform Internet of Things Aplikasi Blynk," vol. 9, no. 2502, pp. 40–46, 2024.

[8] M. H. Musajidhin, S. Rosad, M. Taufiqurrochman, and A. A. Zein, "Sistem Monitoring Kecepatan Angin , Suhu , dan Kelembaban Udara Menggunakan ESP32".

[9] H. Siahaan, M. Anaperta, and A. Rahmi, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembaban menggunakan Arduino IoT Cloud dengan ESP32," vol. 10, no. 1, pp. 27–35, 2025.

[10] B. S. Surani, A. Dharmawan, and C. A. Bakti, "Implementasi mikrokontroler esp32 untuk kontrol berbasis pengenalan suara dan cahaya dalam sistem smart home implementation of esp32 microcontroller for voice and light recognition-based control in smart home system," vol. 8, 2025.

[11] F. Liando, G. Hoendarto, and J. Tjen, "Sistem Kendali Otomatis Ruang Kelas Berbasis ESP32 Pada Universitas Widya Dharma Pontianak," vol. 12, no. 1, pp. 33–41.

[12] S. Teknika, "Perancangan Alat Saving Energy Menggunakan Sensor Pir Hc- Sr501 Pada Ruang Kelas Universitas Riau Kepulauan Program Studi Teknik Elektro , Fakultas Teknik , Universitas Riau Kepulauan Abstrak Kata Kunci : Tehnologi , Otomatisasi , Sensor PIR , Lampu Abstract," vol. 4, no. 1, pp. 127–137, 2021.

[13] J. Renhard, O. Tampubolon, W. Ramadan, J. Buulolo, and P. P. Purba, "Rancang Bangun IoT Otomatis Berbasis Sensor PIR untuk Menghemat Energi Listrik pada saat Ruangan Kosong," vol. 6, pp. 257–263, 2025, doi: 10.30865/json.v6i4.

[14] M. Raihan, P. Latief, H. Farisi, and Z. Abidin, "Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas Berbasis Internet," vol. 9, no. 3, pp. 1–15, 2025.

[15] B. V. Sundawa, F. A. Batubara, T. Adi, and T. Nasution, "Monitoring Arus Tegangan Dan Daya Berbasis Sensor Pzem-004t," vol. 1, pp. 1–8, 2025.

[16] F. Puspasari, T. P. Satya, U. Y. Oktiawati, I. Fahrurrozi, and H. Prisyanti, "Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar," pp. 1–6, 2020.

[17] O. Temperatur and K. Ayam, "Penggunaan Sensor DHT22 pada Rancang Bangun Sistem Monitoring TALENTA Conference Series Penggunaan Sensor DHT22 pada Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Otomatis Temperatur Kandang Ayam," vol. 7, no. 1, 2024, doi: 10.32734/ee.v7i1.2172.

[18] V. No, "Rancang Bangun Sistem Exhaust Fan Otomatis Berbasis Sensor DHT11 dan Mikrokontroler ESP32 untuk Peningkatan Kualitas Udara di Smoking Area," vol. 9, no. 1, pp. 102–112, 2025, doi: 10.30588/jeemm.v9i1.2161.

[19] A. S. Hakiki, M. A. Hamid, and E. Nurcahyo, "Rancang Bangun *Relay* Proteksi Tegangan 220vac Berbasis Arduino".

[20] I. Nasution, J. O. Simanjuntak, D. H. Maha, and T. T. Gultom, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Pengaman Beban Listrik Pada Rumah Berbasis IoT Dengan Notifikasi Dan Pemutusan Daya Otomatis," vol. 08, no. 01, pp. 49–60, 2026.

[21] T. T. Taufik, J. Prasojo, O. Yuliani, and B. G. Pratama, "Rancang Bangun Alat Pengendali Air Conditioner secara Otomatis dengan Sensor Inframerah Berbasis ESP32 di UPT BLK Kulon Progo," vol. 6, no. 2, pp. 181–192, 2024.

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

[23] W. Y. T. Mysql, "No Title," vol. 7, no. 09, pp. 1–10, 2022.

[24] J. Widianti, D. Putri, J. R. Firdaus, L. S. Khaerunnisa, and U. S. Karawang, "Sistem Monitoring Suhu , Kelembapan Dan Gas Berbasis Iot Pada Lab Komputer," vol. 13, no. 3.

[25] J. Totu, E. Susanti, and P. Gunoto, "Perancangan Alat Saving Energy Menggunakan Sensor Pir Hc-Sr501 Pada Ruang Kelas Universitas Riau Kepulauan," *Sigma Tek.*, vol. 4, no. 1, pp. 127–137, 2021, doi: 10.33373/sigmateknika.v4i1.3219.

[26] J. W. D. Putri, J. R. Firdaus, J. R. Firdaus, and S. Sobur, "Sistem Monitoring Suhu , Kelembapan Dan Gas Berbasis Iot Pada Lab Komputer," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, 2025, doi: http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.8175.

[27] H. Siahaan, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembaban menggunakan Arduino IoT Cloud dengan ESP32," *J. Ampere*, vol. 10, no. 1, pp. 27–35, 2025, doi: 10.31851/ampere.v10i1.16511.

[28] S. P. Santosa and R. M. W. Nugroho, "Jurnal Ilmiah Elektrokrisna Vol 9 No 1 Januari 2021 ISSN : 2302-4712 Rancang Bangun Alat Pintu Geser Otomatis Menggunakan Motor Dc 24 V," *J. Ilm. Elektrokrisna*, vol. 9, no. 1, pp. 38–45, 2021.

[29] R. Irfani, A. A. Rahmanto, and M. E. Gazazanata, "Rancang Bangun Sistem Exhaust Fan Otomatis Berbasis Sensor DHT11 dan Mikrokontroler ESP32 untuk Peningkatan Kualitas Udara di Smoking Area," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 9, no. 1, pp. 102–112, 2025, doi: 10.30588/jeemm.v9i1.2161.

[30] Z. A. L, S. Syahrorini, and V. Rahmawati, "Monitoring Aliran Listrik 3 Fasa Berbasis Iot Menggunakan Web-App Yang Terintegrasi Mysql," vol. 7, no. 09, pp. 1–10, 2022.