

Perancangan User *Interface* pada Sistem *Smart Building* Berbasis *Internet of Things*

A. Jagad Miftahul Rizqy¹, I Nyoman Satya Kumara², I Made Arsa Suyadnya³, I Wayan Sukerayasa⁴

¹⁻⁴Universitas Udayana, Indonesia

*Penulis Korespondensi: jagad.miftahul056@student.unud.ac.id

Abstract. *The DH Building of the Electrical Engineering Study Program at Udayana University faces significant challenges in energy efficiency, as it still relies on conventional electrical systems. User negligence, such as forgetting to switch off lights and air conditioners (AC) after use, often results in unnecessary energy waste and increased operational costs. This issue highlights the urgent need for smart solutions capable of automating energy management, reducing waste caused by human error, and supporting the creation of a more efficient and sustainable campus environment. To address this problem, this study designs and implements a smart building system based on the Internet of Things (IoT). The system employs a NodeMCU ESP32 microcontroller as the main processing unit, integrated with a series of sensors including a DHT22 sensor for monitoring temperature and humidity, an MQ2 sensor for smoke detection, a PIR sensor for motion detection, and a PZEM-004T sensor for monitoring energy consumption. Control of electronic devices such as lights and AC units is carried out both automatically and manually through relay modules connected to the system. All sensor data and control functions are accessed via a web interface developed using the Laravel framework and a MySQL database. The testing results indicate that the designed system was successfully implemented and functions as expected. Sensor testing demonstrated high accuracy compared to standard measuring instruments, while the electronic device control system achieved an average response time of approximately 3.6 seconds, proving its reliability. Overall, the system provides a comprehensive solution for energy consumption monitoring and control, while also enhancing comfort and safety in the DH Building, in line with the goals of energy efficiency and facility modernization.*

Keywords: *Energy Efficiency; Internet of Things (IoT); Laravel; Monitoring and Control; NodeMCU ESP32; Smart Building.*

Abstrak. Gedung DH Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana menghadapi tantangan signifikan dalam efisiensi energi karena masih mengandalkan sistem kelistrikan konvensional. Kelalaian pengguna, seperti lupa mematikan lampu dan pendingin ruangan (AC) setelah digunakan, sering kali menyebabkan pemborosan energi yang tidak perlu dan meningkatkan biaya operasional. Permasalahan ini menyoroti kebutuhan mendesak akan solusi cerdas yang dapat mengotomatisasi pengelolaan energi, mengurangi pemborosan akibat kelalaian manusia, serta mendukung terwujudnya lingkungan kampus yang lebih efisien dan berkelanjutan. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem *smart building* berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 sebagai unit pemrosesan utama yang terintegrasi dengan serangkaian sensor, meliputi sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan, sensor MQ2 untuk deteksi asap, sensor PIR untuk deteksi gerak, dan sensor PZEM-004T untuk *monitoring* konsumsi energi. Pengendalian perangkat elektronik seperti lampu dan AC dilakukan secara otomatis dan manual melalui modul *relay* yang terhubung ke sistem. Seluruh data sensor dan fungsi kontrol diakses melalui antarmuka web yang dikembangkan menggunakan *framework* Laravel dan basis data MySQL. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang berhasil diimplementasikan dan berfungsi sesuai harapan. Pengujian sensor menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi bila dibandingkan dengan alat ukur standar, sementara sistem kontrol perangkat elektronik memiliki waktu respons rata-rata sekitar 3,6 detik, yang membuktikan keandalannya. Secara keseluruhan, sistem ini berhasil menyediakan solusi komprehensif untuk pemantauan dan pengendalian konsumsi energi, serta meningkatkan kenyamanan dan keamanan di Gedung DH, sejalan dengan tujuan efisiensi energi dan modernisasi fasilitas gedung.

Kata Kunci: Efisiensi Energi; Gedung Pintar; *Internet of Things* (IoT); Laravel; Monitoring dan Kendali; NodeMCU ESP32.

1. LATAR BELAKANG

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2023 tentang Konservasi Energi, bangunan gedung dengan konsumsi energi setara 500 ton minyak per tahun wajib melaksanakan manajemen energi melalui penunjukan manajer energi, audit energi berkala, serta penerapan rekomendasi hasil audit. Regulasi ini juga diperkuat oleh Pergub Bali No. 45 Tahun 2019 tentang Bali Energi Bersih dan Permen PUPR No. 21 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Bangunan Gedung Hijau, yang sejalan dengan konsep *smart building* dalam meningkatkan efisiensi energi, pemanfaatan energi terbarukan, dan pengurangan emisi demi tercapainya pembangunan berkelanjutan.

Energi listrik menjadi kebutuhan vital dalam kehidupan sehari-hari, khususnya pada gedung-gedung besar seperti kantor, pabrik, hotel, maupun universitas. Di Universitas Udayana, Gedung DH Program Studi Teknik Elektro masih menggunakan sistem konvensional dalam pengoperasian listrik, sehingga sering terjadi pemborosan akibat peralatan yang dibiarkan menyala setelah kegiatan berakhir. Kondisi ini meningkatkan biaya listrik dan menurunkan efisiensi energi, sehingga diperlukan sistem semi otomatis yang dapat membantu meminimalisir *human error* dan mendukung pengendalian listrik yang lebih efektif.

Pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) menjadi solusi tepat untuk mengatasi masalah tersebut. Dengan menghubungkan perangkat ke internet, data konsumsi energi listrik dapat dipantau dan dikendalikan secara real-time melalui sistem informasi berbasis website atau aplikasi, sehingga pengguna dapat melakukan monitoring sekaligus mengendalikan perangkat dari jarak jauh. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga mendukung kemudahan pengelolaan gedung secara praktis.

Gedung DH sendiri terdiri dari dua lantai dengan beberapa ruang kelas, lobby, dan ruang himpunan, namun belum menerapkan sistem IoT maupun *smart building*. Hal ini membuat pengawasan masih bergantung pada tenaga manusia, yang rawan kesalahan dan kurang efisien. Dengan penerapan *smart building*, pengelolaan energi dapat dilakukan lebih cerdas, mulai dari pengendalian AC, lampu, hingga stop kontak secara otomatis, sekaligus memberikan sistem monitoring yang lebih andal.

Konsep *smart building* di Gedung DH dirancang dengan integrasi berbagai sensor, seperti DHT22 untuk suhu dan kelembapan, MQ2 untuk pendeteksi asap, PIR untuk gerakan, serta PZEM004T untuk parameter kelistrikan. Seluruh sensor terhubung dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang mendukung konektivitas nirkabel, lalu dikendalikan melalui modul relay. Sistem ini akan terhubung dengan website berbasis IoT untuk monitoring

dan kontrol, sehingga keandalan pengelolaan energi, keamanan, dan kenyamanan pengguna gedung dapat tercapai, sekaligus mendukung implementasi bangunan hijau yang ramah energi.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dilaksanakan di Gedung DH Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, pada periode September 2024 hingga Juni 2025. Penelitian menggunakan dua jenis data, yaitu data primer yang diperoleh melalui pengujian langsung pada prototipe sistem smart building, serta data sekunder yang diperoleh dari literatur seperti jurnal, artikel, dan buku yang relevan. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi terhadap kinerja sistem yang dirancang serta studi kepustakaan untuk memperkuat landasan teoritis penelitian (Sugiyono, 2019).

Rancangan penelitian dilakukan dengan pendekatan rancang bangun (engineering design) yang disusun secara sistematis mulai dari analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, hingga pengujian. Sistem smart building berbasis Internet of Things (IoT) ini dirancang untuk mengintegrasikan berbagai sensor, meliputi DHT22 (suhu & kelembapan), MQ2 (asap), PIR (gerak), dan PZEM004T (monitoring daya listrik), yang terhubung pada NodeMCU ESP32. Data hasil pembacaan sensor dikirim ke database melalui jaringan Wi-Fi dan ditampilkan pada antarmuka web yang memungkinkan pengguna untuk melakukan monitoring maupun controlling terhadap perangkat gedung, seperti lampu dan AC (Priyambodo & Sari, 2021).

Pada tahap implementasi, penelitian difokuskan pada penggunaan maket representatif Gedung DH yang mencakup ruang DH101 dan lobby. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan teknis untuk mewakili kebutuhan utama smart building, seperti otomatisasi, monitoring, serta kontrol energi dan keamanan. Pengujian sistem melalui maket bertujuan agar evaluasi dapat dilakukan secara lebih terfokus, efisien, dan menjadi dasar pengembangan lebih lanjut. Dengan desain database yang terintegrasi serta rancangan antarmuka yang interaktif, sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi energi, kenyamanan, dan keamanan pengguna gedung (Nasution, 2020).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Perancangan Sistem *Smart Building*

Pengujian dan pembahasan sistem *smart building* mencakup evaluasi kinerja dalam pembacaan data, pengiriman ke database, serta monitoring dan kontrol perangkat melalui *local web server*. Tujuan utamanya adalah memvalidasi keandalan sistem monitoring sensor serta kontrol perangkat melalui *virtual switch* dan relay. Fokus pengujian meliputi validasi fungsi input sensor, otomatisasi output, serta monitoring dan kontrol melalui *web server*. Selain itu, dilakukan perhitungan selisih dan akurasi antara pembacaan sensor dengan alat ukur menggunakan rumus yang telah ditetapkan.

Pengujian Fungsi *Input Sensor* dan Otomatisasi *Output Perangkat*

Pada tahap pengujian fungsi input sensor dan otomatisasi output perangkat, dilakukan pengujian pembacaan analog read dari sensor DHT22, MQ2, dan PZEM004T serta digital read dari sensor PIR, yang kemudian diintegrasikan dengan otomatisasi perangkat seperti buzzer (berdasarkan nilai sensor MQ2) dan lampu (berdasarkan output sensor PIR). Pengujian sensor PIR dilakukan dengan variasi sudut elevasi dan jarak subjek terhadap sensor, dimana perubahan value dari 0 (LOW) menjadi 1 (HIGH) menandakan adanya pergerakan yang otomatis menyalakan lampu, sedangkan kondisi sebaliknya membuat lampu tetap mati. Hasil uji sensor PIR dan lampu sebagai output ditampilkan dalam tabel 1 (ruang DH101) dan tabel 2 (lobby lantai 1), dengan simbol (v) menunjukkan kondisi HIGH dan (x) menunjukkan kondisi LOW.

Tabel 1. Pengujian kepekaan sensor PIR terhadap sudut pada mikrokontroler ruang DH101.

Jarak (M)	Nilai Sudut						
	-60°	-45°	-30°	0°	30°	45°	60°
0,5	v	v	v	v	v	v	v
1	v	v	v	v	v	v	v
1,5	v	v	v	v	v	v	v
2	v	v	v	v	v	v	v
2,5	x	v	v	v	v	v	x
3	x	x	v	v	v	x	x
3,5	x	x	x	v	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x	x

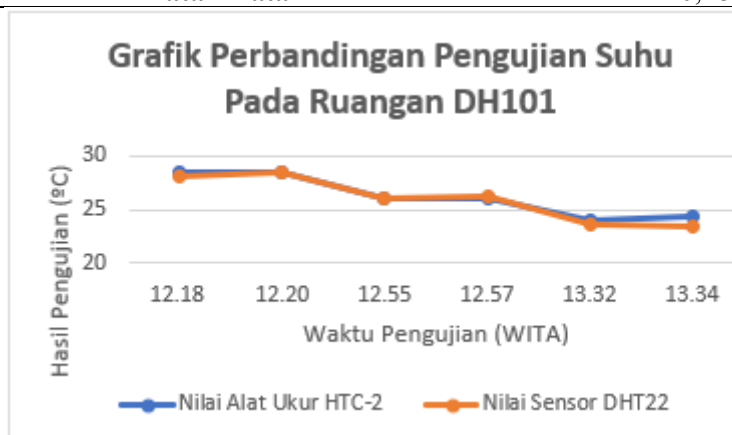
Tabel 2. Pengujian kepekaan sensor PIR terhadap sudut pada mikrokontroler lobby lantai 1.

Jarak (M)	Nilai Sudut						
	-60°	-45°	-30°	0°	30°	45°	60°
0,5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1,5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2,5	x	✓	✓	✓	✓	✓	x
3	x	x	✓	✓	✓	x	x
3,5	x	x	x	✓	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x	x

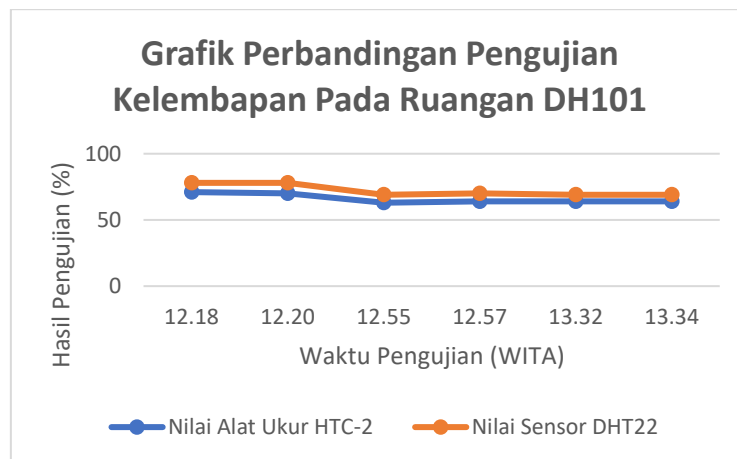
Pengujian sensor PIR menunjukkan bahwa pada sudut 0° pergerakan dapat terdeteksi hingga 3,5 meter, pada sudut $\pm 30^\circ$ hingga 3 meter, pada sudut $\pm 45^\circ$ hingga 2,5 meter, dan pada sudut $\pm 60^\circ$ hanya hingga 2 meter, yang menandakan semakin lebar sudut maka semakin kecil jarak deteksinya. Hasil ini berlaku pada kedua rangkaian mikrokontroler di ruang DH101 dan lobby lantai 1. Sementara itu, pengujian sensor DHT22 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan alat HTC-2 Digital Thermometer Hygrometer pada dua lokasi, dengan kondisi suhu AC berbeda (16 °C, 22 °C, dan 28 °C) serta jeda pengambilan data tertentu, yang hasilnya ditampilkan dalam tabel 3, tabel 4, dan grafik pada gambar 1 serta gambar 2.

Tabel 3. Hasil pengujian sensor DHT22 pada ruangan DH101 (suhu).

Waktu (WITA)	Kondisi AC (°C)	Nilai Suhu DHT22 (°C)	Nilai Suhu HTC-2 (°C)	Selisih (°C)	Akurasi (%)
12.18	28 °C	28,40	28,10	0,3	98,93
12.20	28°C	28,40	28,50	0,1	99,64
12.55	22 °C	26,0	26,0	0	100
12.57	22 °C	26,1	26,2	0,1	99,61
13.32	16 °C	24,0	23,62	0,4	98,30
13.34	16 °C	24,3	23,5	0,8	96,59
Rata - Rata				0,283	98,73%

**Gambar 1.** Grafik perbandingan pengujian suhu pada ruangan DH101.**Tabel 4.** Hasil pengujian sensor DHT22 pada ruangan DH101 (kelembapan).

Waktu (WITA)	Kondisi AC (°C)	Nilai Kelembapan DHT22 (%)	Nilai Kelembapan HTC-2 (%)	Selisih (%)	Akurasi (%)
12.18	28 °C	78	71	7	90,14%
12.20	28°C	78	70	8	88,73%
12.55	22 °C	69	63	6	90,47%
12.57	22 °C	70	64	6	90,62%
13.32	16 °C	69	64	5	92,18%
13.34	16 °C	69	64	5	93,18%
Rata - Rata				6,166	90,88%



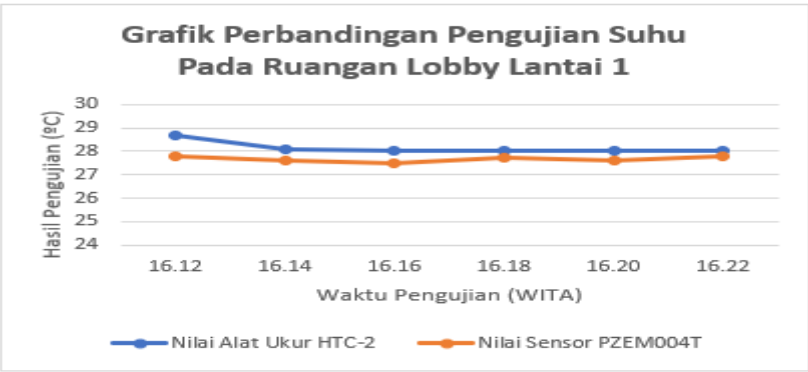
Gambar 2. Grafik perbandingan pengujian kelembapan pada ruangan DH101.

Setelah melakukan pengujian, peneliti mendapatkan bahwa nilai selisih dari hasil pengukuran sensor DHT22 dengan alat ukur HTC-2 memiliki rata-rata selisih hasil pengukuran yang cukup kecil sehingga memiliki nilai rata-rata akurasi yang besar. Sehingga hal ini dapat memvalidasi bahwa sensor pengukuran suhu dan kelembapan yang digunakan pada sistem ini memiliki keandalan yang sangat bagus.

Selanjutnya untuk mikrokontroler pada ruang lobby lantai 1 pengujian suhu dan kelembapan akan dilakukan dengan pendekatan yang berbeda. Dikarenakan pada lobby tidak terdapat AC (*Air Conditioning*) sehingga pengujian seperti pada ruang DH101 tidak dapat dilakukan. Pengujian pada lobby lantai 1 akan dilakukan dengan suhu tetap atau alami tanpa adanya perubahan suhu yang disengaja. Pengambilan data akan dilakukan 6 kali setiap 2 menit. Hasil pengukuran sensor juga akan dibandingkan dengan hasil dari alat ukur HTC-2. Dengan hasil untuk pengujian nilai suhu dapat dilihat pada tabel 5 dan hasil pengujian kelembapan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 5. Hasil pengujian sensor DHT22 pada ruangan lobby lantai 1 (suhu).

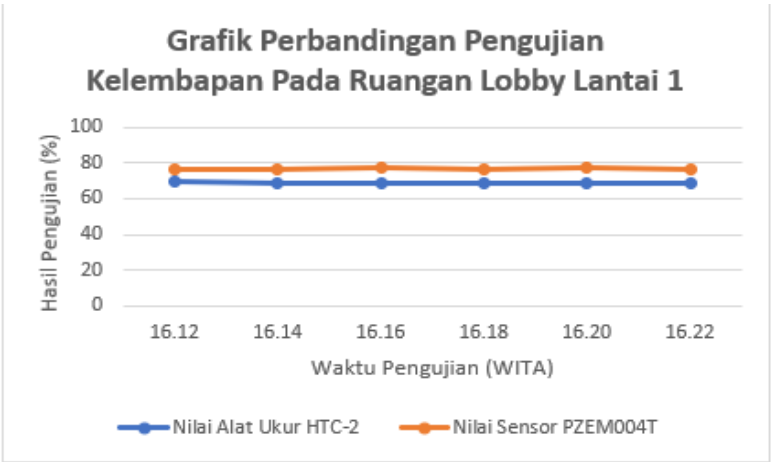
Waktu	Nilai Suhu DHT22 (°C)	Nilai Suhu HTC-2 (°C)	Selisih (°C)	Akurasi (%)
16.12	27,8	28,7	0,9	96,86
16.14	27,6	28,1	0,5	98,22
16.16	27,5	28,0	0,5	98,21
16.18	27,7	28,0	0,3	98,92
16.20	27,6	28,0	0,4	98,57
16.22	27,8	28,0	0,2	99,28
Rata - Rata			0,46	98,34



Gambar 3. Grafik perbandingan pengujian suhu pada ruangan lobby lantai 1.

Tabel 6. Hasil pengujian sensor DHT22 pada ruangan lobby lantai 1 (kelembapan).

Waktu	Nilai Kelembapan DHT22 (%)	Nilai Kelembapan HTC-2 (%)	Selisih (%)	Akurasi (%)
16.12	76	70	6	91,42
16.14	76	69	7	89,85
16.16	77	69	8	88,40
16.18	76	69	7	89,85
16.20	77	69	8	88,40
16.22	76	69	7	89,85
Rata - Rata			7,16	89,62



Gambar 4. Grafik perbandingan pengujian kelembapan pada ruangan lobby lantai 1.

Setelah melakukan pengujian, sama seperti pengujian pada mikrokontroler ruang DH101 sebelumnya. Peneliti mendapatkan bahwa nilai selisih dari hasil pengukuran sensor DHT22 dengan alat ukur HTC-2 memiliki rata-rata selisih hasil pengukuran yang cukup kecil sehingga memiliki nilai rata-rata akurasi yang besar. Sehingga hal ini dapat memvalidasi bahwa sensor pengukuran suhu dan kelembapan yang digunakan pada sistem ini memiliki keandalan yang tinggi.

Pengujian *Input* Sensor PZEM004T

Pengujian input sensor PZEM004T dilakukan dengan metode perbandingan hasil ukur sensor terhadap Multimeter, serupa dengan pengujian DHT22, pada dua lokasi yaitu ruang DH101 dan lobby lantai 1 sesuai integrasi mikrokontroler ESP32. Sensor ini mampu mengukur tegangan, arus, daya aktif, frekuensi, faktor daya, dan energi listrik, dengan pengujian dibagi menjadi dua tahap: pertama membandingkan hasil pengukuran sensor dengan alat ukur (arus, tegangan, dan frekuensi), dan kedua membandingkan faktor daya sensor dengan perhitungan manual. Faktor daya dihitung menggunakan rumus $\cos \phi$, sementara energi listrik dihitung dengan rumus $kW \times t$. Pada ruang DH101, pengujian parameter kelistrikan dilakukan dengan tiga kondisi beban: tanpa beban, menggunakan lampu 7W, serta kombinasi lampu 7W, cooling fan 21W, dan charger laptop 170W.

Tabel 7. Hasil pengujian parameter kelistrikan pada sensor PZEM004T untuk ruangan DH101.

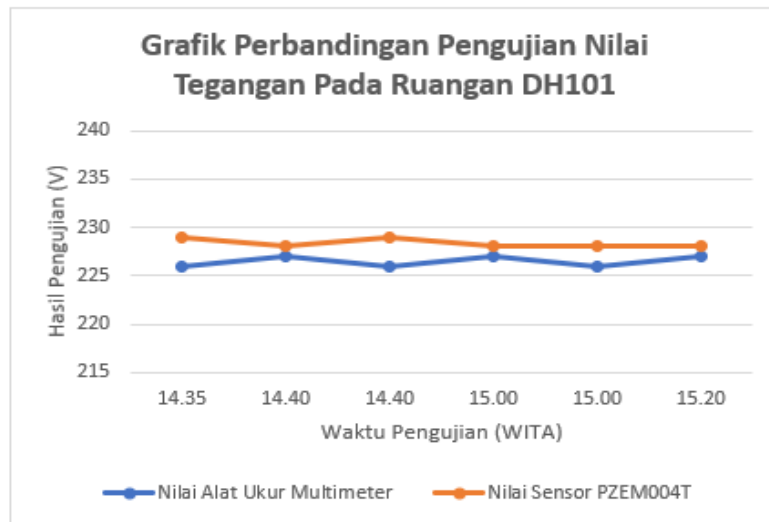
Waktu	Kondisi Beban	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Daya (W)	Faktor Daya	Akumulasi Energi (KWH)
14.35	Tanpa Beban	229	0	50	0	0	0
14.40	Tanpa Beban	228	0	50	0	0	0
14.40	Lampu LED 7W	229	0,05	50	7,8	0,68	0
15.00	Lampu LED 7W	228	0,05	50	7,8	0,68	0,0026
15.00	Lampu LED 7W, Cooling Fan 21W, Charger Laptop 170W	228	0,92	50	193	0,92	0,0026
15.20	Lampu LED 7W, Cooling Fan 21W, Charger Laptop 170W	228	0,92	50	193	0,92	0,0669

Setelah melakukan pengujian parameter kelistrikan dengan membaca hasil sensor PZEM004T pada ruang DH101 dengan hasil yang dapat dilihat pada tabel 7. Langkah selanjutnya adalah melakukan perbandingan hasil sensor PZEM004T dengan hasil aktual dari multimeter untuk pengukuran tegangan arus dan tegangan. Yang dilanjutkan dengan

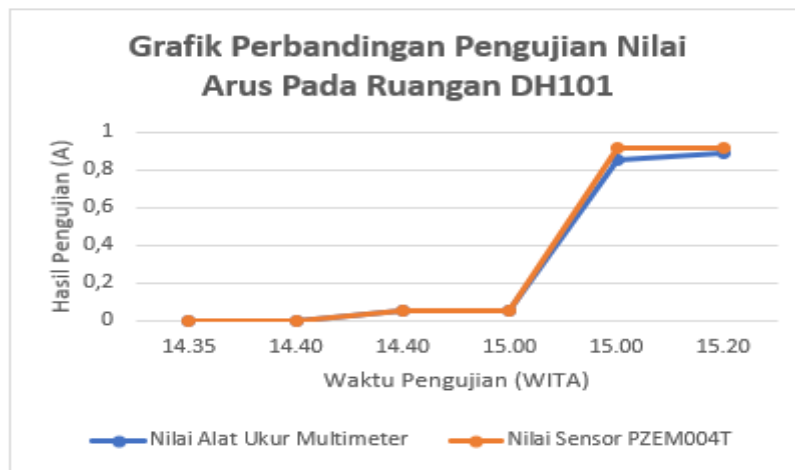
melakukan perbandingan hasil pengukuran sensor dan perhitungan manual untuk nilai hasil daya, faktor daya, dan energi. Pada percobaan ini peneliti tidak melakukan perbandingan untuk hasil nilai frekuensi yang dibaca sensor karena keterbatasannya alat ukur untuk frekuensi. Perbandingan tegangan dan arus yang mengalir yang diukur oleh sensor dengan multimeter dapat dilihat pada tabel 8 dan untuk perbandingan daya, faktor daya yang diukur oleh sensor dengan perhitungan manual dapat dilihat pada tabel 9 dan untuk perbandingan penggunaan energi yang diukur oleh sensor dengan perhitungan manual pada tabel 10. Untuk perhitungan manual faktor daya akan menggunakan persamaan 4.8 dan untuk penggunaan energi akan menggunakan persamaan 5, dengan nilai yang digunakan dalam persamaan adalah nilai yang didapat dari alat ukur multimeter dan perhitungan manual lainnya dan tidak menggunakan nilai dari hasil pengukuran sensor. Pertama akan dilakukan perbandingan hasil ukur tegangan dan arus oleh sensor PZEM004T dengan alat ukur multimeter untuk ruangan DH101 yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 8 dan grafik perbandingannya dapat dilihat pada gambar 5 untuk tegangan dan gambar 6 untuk arus.

Tabel 8. Perbandingan hasil ukur tegangan dan arus oleh sensor PZEM004T dengan alat ukur multimeter untuk ruangan DH101.

Waktu	Kondisi Beban	Sensor (V)	Tegangan		Sensor (A)	Arus	
			Alat Ukur (V)	Akurasi pengukuran tegangan (%)		Alat Ukur (A)	Akurasi pengukuran arus (%)
14.35	Tanpa Beban	229	226	98,67	0	0	100
14.40	Tanpa Beban	228	227	99,55	0	0	100
14.40	Lampu LED 7W	229	226	98,67	0,05	0,05	100
15.00	Lampu LED 7W	228	227	99,55	0,05	0,05	100
15.00	Lampu LED 7W, <i>Cooling Fan</i> 21W, Charger Laptop 170W	228	226	99,11	0,92	0,85	91,76
15.20	Lampu LED 7W, <i>Cooling Fan</i> 21W, Charger Laptop 170W	228	227	99,55	0,92	0,89	96,66
Rata-rata				99,18%	Rata-rata		99,07%



Gambar 5. Grafik perbandingan pengujian nilai tegangan pada ruangan DH101.



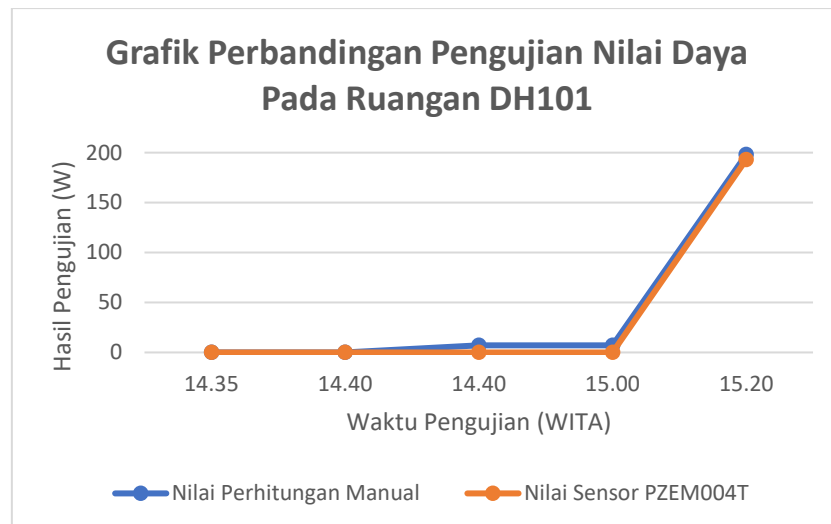
Gambar 6. Grafik perbandingan pengujian nilai arus pada ruangan DH101.

Perbandingan hasil ukur tegangan dan arus oleh sensor dengan multimeter memiliki rata-rata akurasi yang cukup besar yaitu diangka 99% akurasi. Yang menandakan keandalan sensor PZEM004T dalam mengukur khususnya tegangan dan arus dalam sistem sangat baik. Selanjutnya akan dilakukan perbandingan hasil ukur daya dan faktor daya dengan perhitungan manual, yang dapat dilihat pada tabel 9.

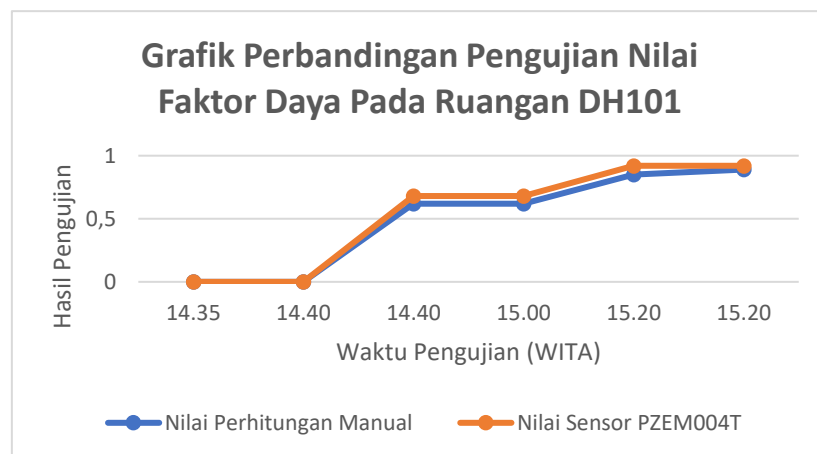
Selanjutnya adalah hasil dari perbandingan yang dilakukan untuk nilai daya dan faktor daya yang telah diukur oleh sensor dengan perhitungan manual yang telah dilakukan. Yang dapat dilihat pada tabel 9 dan untuk grafik perbandingannya dapat dilihat pada gambar 7 untuk daya dan gambar 8 untuk faktor daya.

Tabel 9. Perbandingan hasil ukur daya dan faktor daya oleh sensor PZEM004T dengan perhitungan manual untuk ruangan DH101.

Waktu	Kondisi Beban	Sensor (W)	Daya		Sensor	Faktor Daya	
			Perhitungan Manual (W)	Akurasi pengukuran daya (%)		Perhitungan Manual	Akurasi pengukuran factor daya (%)
14.35	Tanpa Beban	0	0	100	0	0	100
14.40	Tanpa Beban	0	0	100	0	0	100
14.40	Lampu LED 7W	7,8	7	88,57	0,68	0,62	90,32
15.00	Lampu LED 7W	7,8	7	88,57	0,68	0,62	90,32
15.20	Lampu LED 7W, Cooling Fan 21W, Charger Laptop 170W	193	198	97,47	0,92	0,85	91,76
15.20	Lampu LED 7W, Cooling Fan 21W, Charger Laptop 170W	193	198	97,47	0,92	0,89	96,66
Rata-rata				99,18%	Rata-rata		94,84%



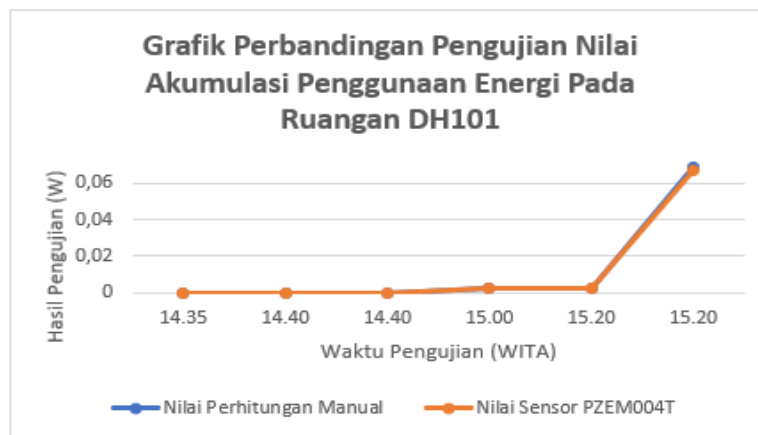
Gambar 7. Grafik perbandingan pengujian nilai daya pada ruangan DH101.



Gambar 8. Grafik perbandingan pengujian nilai faktor daya pada ruangan DH101.

Tabel 10. Perbandingan hasil ukur akumulasi penggunaan energi oleh sensor PZEM004T dengan perhitungan manual untuk ruangan DH101.

Waktu	Kondisi Beban	Penggunaan Energi		
		Akumulasi sensor (kWh)	Akumulasi perhitungan manual (kWh)	Akurasi perhitungan penggunaan energi (%)
14.35	Tanpa Beban	0	0	100
14.40	Tanpa Beban	0	0	100
14.40	Lampu LED 7W	0	0	100
15.00	Lampu LED 7W	0,0026	0,0023	86,95
15.20	Lampu LED 7W, Cooling Fan 21W, Charger Laptop 170W	0,0026	0,0023	86,95
	Lampu LED 7W, Cooling Fan 21W, Charger Laptop 170W	0,0669	0,0683	97,47
Rata-rata				95,22%



Gambar 9. Grafik perbandingan pengujian nilai akumulasi penggunaan energi pada ruangan dh101.

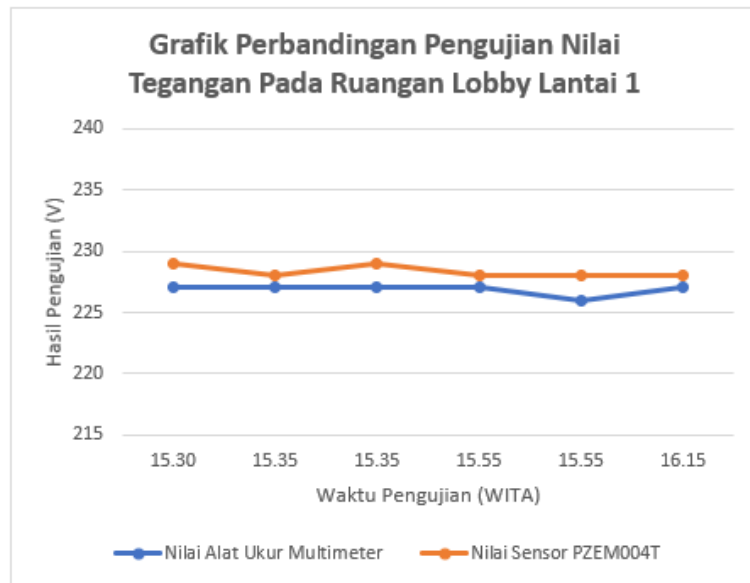
Pada ruang DH101, hasil perbandingan penggunaan energi ditunjukkan pada tabel 10 dengan rata-rata akurasi di atas 95%, meskipun beberapa pengukuran daya dan faktor daya memiliki akurasi di bawah 90% akibat perbedaan nilai antara sensor dan perhitungan manual, namun perbedaannya tidak signifikan sehingga masih dapat diandalkan. Untuk ruang lobby lantai 1, pengujian dilakukan dengan tiga kondisi beban, yaitu tanpa beban, menggunakan lampu 7W, serta kombinasi lampu 7W dan charger laptop 170W. Perbedaan beban dengan ruang DH101 terjadi karena lobby lantai 1 tidak memiliki AC sehingga perangkat cooling fan tidak disertakan dalam pengujian maupun maket. Sama seperti di DH101, tahap pertama pengujian melibatkan pengukuran parameter kelistrikan menggunakan sensor PZEM004T dengan hasil ditampilkan pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil pengujian parameter kelistrikan pada sensor PZEM004T untuk lobby lantai 1.

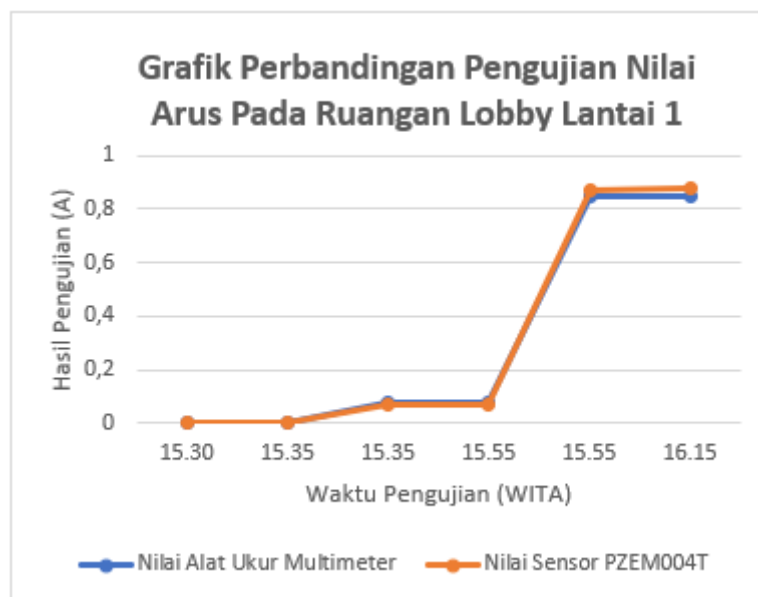
Waktu	Kondisi Beban	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Daya (W)	Faktor Daya	Akumulasi Energi (KWH)
15.30	Tanpa Beban	229	0	50	0	0	0
15.35	Tanpa Beban	228	0	50	0	0	0
15.35	Lampu LED 7W	229	0,07	50	6,6	0,41	0
15.55	Lampu LED 7W	228	0,07	50	6,6	0,41	0,0026
15.55	Lampu LED 7W, Charger Laptop 170W	228	0,87	50	177	0,89	0,0026
16.15	Lampu LED 7W, Charger Laptop 170W	228	0,88	50	177	0,89	0,0612

Tabel 12. Perbandingan hasil ukur tegangan dan arus oleh sensor PZEM004T dengan alat ukur multimeter untuk lobby lantai 1.

Waktu	Kondisi Beban	Tegangan			Arus		
		Sensor (V)	Alat Ukur (V)	Akurasi pengukuran tegangan (%)	Sensor (A)	Alat Ukur (A)	Akurasi pengukuran arus (%)
15.30	Tanpa Beban	229	227	99,12	0	0	100
15.35	Tanpa Beban	228	227	99,56	0	0	100
15.35	Lampu LED 7W	229	227	99,12	0,07	0,08	87,5
15.55	Lampu LED 7W	228	227	99,56	0,07	0,08	87,5
15.55	Lampu LED 7W, Charger Laptop 170W	228	226	99,12	0,87	0,85	97,65
16.15	Lampu LED 7W, Charger Laptop 170W	228	227	99,56	0,88	0,85	96,47
	Rata-rata			99,34%		Rata-rata	94,85%



Gambar 10. Grafik perbandingan pengujian nilai tegangan pada ruangan lobby lantai 1.



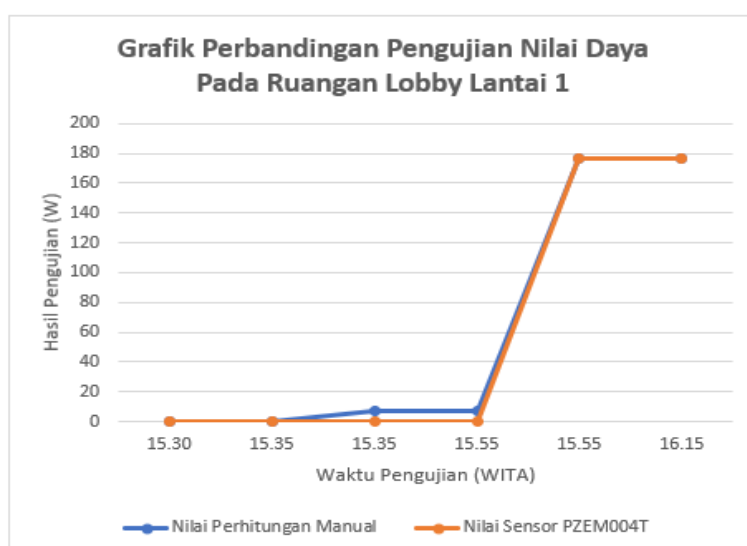
Gambar 11. Grafik perbandingan pengujian nilai arus pada ruangan lobby lantai 1.

Perbandingan hasil ukur tegangan dan arus pada tabel 12, memiliki hasil yang sangat baik. Akurasi dari perbandingan pengukuran tegangan dan arus dari sensor dengan alat ukur multimeter memiliki rata-rata 99,34% untuk nilai akurasi tegangan dan untuk arus memiliki rata-rata 94,85%, yang dapat dikatakan merupakan nilai yang cukup besar. Sama seperti pada ruangan DH101 keandalan dari sensor PZEM004T dalam mengukur parameter kelistrikan pada lobby lantai 1 memiliki keandalan yang cukup tinggi.

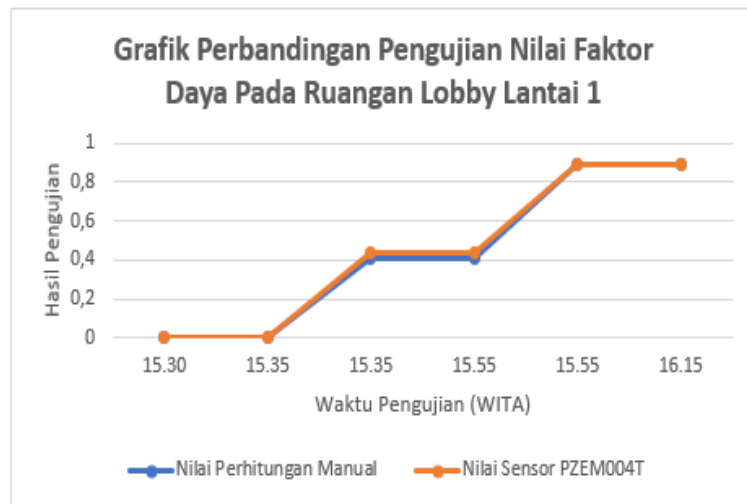
Selanjutnya adalah melakukan perbandingan nilai daya, dan faktor daya dengan perhitungan manual. Masih menggunakan persamaan yang sama yaitu, persamaan 4.8 untuk perhitungan manual faktor daya. Adapun hasil yang didapat dapat dilihat pada tabel 13 dengan grafik perbandingan pada gambar 12 untuk daya dan gambar 13 untuk faktor daya.

Tabel 13. Perbandingan hasil ukur daya dan faktor daya oleh sensor PZEM004T dengan perhitungan manual untuk lobby lantai 1.

Waktu	Kondisi Beban	Daya			Faktor Daya		
		Sen sor (W)	Perhitu ngan Manual (W)	Akurasi pengukur an tegangan (%)	Senso r	Perhitu ngan Manual	Akurasi pengukuran factor daya (%)
15.30	Tanpa Beban	0	0	100	0	0	100
15.35	Tanpa Beban	0	0	100	0	0	100
15.35	Lampu LED 7W	6,6	7	88,57	0,44	0,41	94,29
15.55	Lampu LED 7W	6,6	7	88,57	0,44	0,41	94,29
15.55	Lampu LED 7W, Charger Laptop 170W	177	177	97,47	0,89	0,89	100
16.15	Lampu LED 7W, Charger Laptop 170W	177	177	97,47	0,89	0,89	100
Rata-rata				99,18%	Rata-rata		98,10%



Gambar 12. Grafik perbandingan pengujian nilai daya pada ruangan lobby lantai 1.



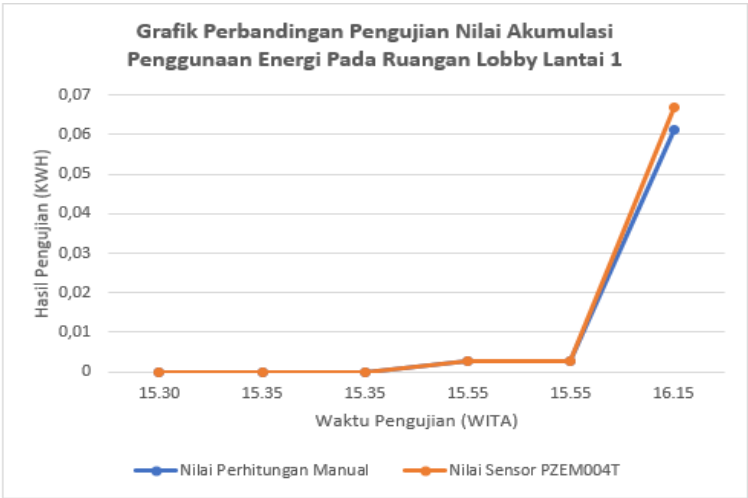
Gambar 13. Grafik perbandingan pengujian nilai faktor daya pada ruangan lobby lantai 1.

Akurasi rata-rata untuk perbandingan daya dan faktor daya yang diukur oleh sensor dengan PZEM004T pada lobby lantai 1 memiliki keakuratan atau rata rata yang besar yaitu tidak kurang dari 98%. Hasil ini sangat baik dan membuktikan bahwa hasil pengukuran sensor memiliki keakuratan yang cukup tinggi dalam mengukur penggunaan daya dan faktor daya khususnya pada pengujian lobby lantai 1 yang telah dilakukan. Namun perlu diingat bahwa, hasil ini tidak selalu konstan dan dapat berubah karena berbagai faktor seperti kalibrasi sensor, kondisi perangkat beban, dan *noise*.

Pengujian terakhir yang akan dilakukan adalah, pengujian untuk mengetahui perbandingan akumulasi penggunaan energi yang telah diukur sensor PZEM004T dengan akumulasi penggunaan energi dengan perhitungan manual. Masih menggunakan metode yang sama dengan pengujian dan perbandingan pada ruang DH101, perhitungan manual akan menggunakan nilai yang didapat dari alat ukur multimeter dan perhitungan manual lainnya dan tidak menggunakan nilai yang diukur oleh sensor. Pengujian dan perhitungan akumulasi juga akan dilakukan secara berkala dengan total durasi pengujian 45 menit dengan 3 beban yang berbeda Adapun hasil yang didapat, dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Perbandingan hasil ukur akumulasi penggunaan energi oleh sensor PZEM004T dengan perhitungan manual untuk lobby lantai 1.

		Penggunaan Energi		
Waktu	Kondisi Beban	Akumulasi sensor (kWH)	Akumulasi perhitungan manual (kWH)	Akurasi perhitungan penggunaan energi (%)
15.30	Tanpa Beban	0	0	100
15.35	Tanpa Beban	0	0	100
15.35	Lampu LED 7W	0	0	100
15.55	Lampu LED 7W	0,0026	0,0023	86,96
15.55	Lampu LED 7W, Charger Laptop	0,0026	0,0023	86,96
	170W			
	Lampu LED 7W, Charger Laptop			
16.15	170W	0,0612	0,0613	99,84
Rata-rata				95,63%



Gambar 14. Grafik perbandingan pengujian nilai akumulasi penggunaan energi pada ruangan lobby lantai 1.

Pengujian akumulasi penggunaan energi pada kedua ruangan menunjukkan akurasi tinggi mencapai 95,63%, membuktikan keandalan sensor PZEM004T dalam memonitoring listrik pada sistem smart building. Hasil ini menegaskan bahwa sensor tersebut layak dijadikan alat pemantau energi yang akurat dan konsisten. Selanjutnya, pengujian sensor MQ2 dilakukan dengan mendeteksi asap dupa dan mengaktifkan buzzer secara otomatis ketika konsentrasi asap

melebihi ambang batas 3500 ppm, dengan hasil pengujian ditampilkan pada tabel 15 (DH101) dan tabel 16 (lobby lantai 1).

Tabel 15. Hasil pengujian *input* sensor MQ2 dan otomatisasi *buzzer* pada ruang DH101.

Percobaan 1		
Waktu	MQ2 Value (ppm)	Buzzer State (ppm)
2025-06-08 18:39:40	2176	0 (LOW)
2025-06-08 18:39:45	3360	0 (LOW)
2025-06-08 18:39:50	4095	1 (HIGH)
2025-06-08 18:39:55	3769	1 (HIGH)
2025-06-08 18:39:59	3511	1 (HIGH)
2025-06-08 18:40:05	2976	0 (LOW)
Percobaan 2		
Waktu	MQ2 Value (ppm)	Buzzer State (ppm)
2025-06-08 18:41:30	2378	0 (LOW)
2025-06-08 18:41:35	3413	0 (LOW)
2025-06-08 18:41:39	3923	1 (HIGH)
2025-06-08 18:41:45	3509	1 (HIGH)
2025-06-08 18:41:50	2979	0 (LOW)
2025-06-08 18:40:05	2838	0 (LOW)
2025-06-08 18:41:30	2378	0 (LOW)

Selanjutnya adalah hasil pengujian pada ruang lobby lantai 1, dapat dilihat pada tabel 16.

Tabel 16. Hasil pengujian *input* sensor MQ2 dan otomatisasi *buzzer* pada ruang lobby lantai 1.

Percobaan 1		
Waktu	MQ2 Value (ppm)	Buzzer State (ppm)
2025-06-08 18:56:51	2647	0 (LOW)
2025-06-08 18:56:55	3398	0 (LOW)
2025-06-08 18:57:00	3883	1 (HIGH)
2025-06-08 18:57:05	4095	1 (HIGH)
2025-06-08 18:57:09	3698	1 (HIGH)
2025-06-08 18:57:15	3023	0 (LOW)
Percobaan 2		
Waktu	MQ2 Value (ppm)	Buzzer State(ppm)
2025-06-08 18:59:02	2209	0 (LOW)
2025-06-08 18:59:05	2337	0 (LOW)
2025-06-08 18:59:10	2653	0 (LOW)
2025-06-08 18:59:15	3523	1 (HIGH)
2025-06-08 18:59:19	3785	1 (HIGH)
2025-06-08 18:59:25	3465	0 (LOW)
2025-06-08 18:59:30	2932	0 (LOW)

Setelah melakukan pengujian didapatkan bahwa fungsi *input* sensor MQ2, dan otomatisasi *buzzer* berdasarkan *value* MQ > 3500 berjalan dengan lancar. Seperti yang terlihat pada tabel 15 dan 16 bahwa ketika *value* MQ2 melebihi angka 3500, *buzzer* akan hidup secara otomatis untuk memberi peringatan kepada pengguna bahwa *value* MQ2 sudah melebihi batas dan sistem mendeteksi adanya asap atau gas, yang berlaku kepada kedua ruangan yaitu ruangan DH101 dan ruang lobby lantai 1.

Pengujian Fungsi *Output Relay* Soket dan *Cooling Fan* (AC)

Pengujian fungsi *output relay* soket dan *cooling fan* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa lama *delay* waktu yang dibutuhkan sistem untuk membaca perintah yang dikirimkan dari *local web server* melalui *virtual switch* pada *dashboard*. Perhitungan *delay* akan menggunakan perhitungan rata-rata waktu *delay* yang dibutuhkan dalam 5 kali percobaan pengiriman perintah ON-OFF pada sistem. Pengujian akan dilakukan secara terpisah untuk setiap perangkat dan ruangan, yang dimana pada pengujian ini akan dilakukan 3 pengujian yang berbeda yaitu untuk, relay soket pada ruang lobby lantai 1, relay soket pada ruang DH101, relay *cooling fan* pada ruang DH101.

Tabel 17. Hasil pengujian *output relay* soket pada ruangan lobby lantai 1.

<i>State</i>	Waktu Saat <i>Button</i> Ditekan (WITA)	Waktu Saat Relay Ter-switch (WITA)	<i>Delay</i> (Detik)
Mati – Nyala	19:33:02	19:33:06	4
Nyala – Mati	19:33:36	19:33:39	3
Mati – Nyala	19:33:56	19:33:59	3
Nyala – Mati	19:34:11	19:34:15	4
Mati – Nyala	19:34:25	19:34:30	5
Rata – rata <i>delay</i>			3,8

Tabel 18. Hasil pengujian *output relay* soket pada ruangan DH101.

<i>State</i>	Waktu Saat <i>Button</i> Ditekan (WITA)	Waktu Saat Relay Ter-switch (WITA)	<i>Delay</i> (Detik)
Mati – Nyala	19:35:24	19:35:27	3
Nyala – Mati	19:35:43	19:35:44	1
Mati – Nyala	19:35:53	19:35:59	6
Nyala – Mati	19:36:08	19:36:13	5
Mati – Nyala	19:36:21	19:36:24	3
Rata – rata <i>delay</i>			3,6

Tabel 19. Hasil pengujian *output relay cooling fan* pada ruangan DH101.

<i>State</i>	Waktu Saat <i>Button</i> Ditekan (WITA)	Waktu Saat Relay Ter-switch (WITA)	<i>Delay</i> (Detik)
Mati – Nyala	19:36:48	19:36:52	4
Nyala – Mati	19:37:02	19:37:04	2
Mati – Nyala	19:37:29	19:37:33	4
Nyala – Mati	19:37:42	19:37:44	2
Mati – Nyala	19:37:52	19:37:58	6
Rata – rata <i>delay</i>			3,6

Setelah melakukan 3 pengujian di atas dengan tabel 17 untuk pengujian *delay* relay soket pada ruang lobby lantai 1, tabel 18 untuk pengujian *delay* relay soket pada ruang DH101, dan tabel 19 untuk pengujian *delay cooling fan* pada ruang DH101. Didapatkan bahwa rata-rata *delay respon* relay pada setiap perangkat memiliki nilai yang cukup kecil yaitu dengan rata-rata *delay* dari ketiga perangkat tersebut adalah 3,6 detik. Nilai rata-rata *delay* yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa sistem kontrol yang diterapkan di setiap ruangan memiliki tingkat keandalan yang cukup baik dalam merespons perintah karena tidak mengganggu dalam pengalaman pengguna (*user experience*). Meskipun *respon* sistem belum sepenuhnya memenuhi kriteria *real-time* dalam arti sesungguhnya, Delay ini dianggap normal dan sesuai dengan ekspektasi untuk arsitektur berbasis HTTP Polling dengan interval pengecekan 5 detik. Secara fungsional, sistem bekerja dengan andal karena setiap perintah berhasil dieksekusi.. Dengan demikian, hasil pengujian ini memberikan gambaran bahwa sistem kontrol yang dibangun mampu bekerja dengan cukup responsif dan stabil dalam kondisi nyata.

Pengujian Website Menggunakan Metode *Black box Testing*

Pengujian Halaman Login

Tabel 20. Skenario pengujian pada halaman *login*.

No.	Skenario Pengujian	Data Masukan	Langkah Pengujian	Hasil Yang diharapkan	Status
1	Login dengan data yang valid	Email: komang.bagus062@student.unud.ac.id Password: 12345678	Klik tombol Masuk ke Akun	Pengguna berhasil login dan diarahkan ke dashboard	Valid
2	Email salah, password benar	Email: salah@gmail.com Password: 12345678	Klik tombol Masuk ke Akun	Muncul pesan kesalahan bahwa kredensial tidak cocok	Valid
3	Email benar, password salah	Email: komang.bagus062@student.unud.ac.id Password: 87654321	Klik tombol Masuk ke Akun	Muncul pesan kesalahan bahwa kredensial tidak cocok	Valid
4	Form kosong	Email: (kosong) Password: (kosong)	Klik tombol Masuk ke Akun	Muncul pesan bahwa kolom email dan password wajib diisi	Valid
5	Klik tautan "Lupa Password"	-	Klik tautan "Lupa Password"	Dialihkan ke halaman reset password	
6	Cek fitur "Ingat Saya"	Email & Password valid, centang "Ingat saya"	Login dan tutup browser	Saat dibuka kembali, sesi tetap login (jika aktif)	Valid

Pengujian Halaman Dashboard

Pengujian pada halaman *dashboard* juga dilakukan menggunakan metode Black Box Testing, yaitu pengujian yang berfokus pada fungsi sistem tanpa mengetahui struktur internal atau kode program. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa fitur *dashboard* bekerja sebagaimana mestinya sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Tabel 21 merangkum hasil pengujian halaman *dashboard*.

Tabel 21. Pengujian *black box* pada halaman *dashboard*.

No .	Skenario Pengujian	Data Masukan/Aksi	Langkah Pengujian	Hasil Yang diharapkan	Status
1	Akses dashboard setelah login	-	Login sebagai admin, sistem akan diarahkan ke dashboard	Halaman dashboard berhasil ditampilkan	Valid
2	Menampilkan identitas pengguna	-	Lihat bagian kanan atas (dropdown user/Admin DH)	Nama pengguna saat ini muncul dengan benar	Valid
3	Navigasi ke submenu ruang di Lantai 1	Klik "Lantai 1" → Pilih "Ruang Kelas DH101"	Pilih salah satu ruangan di sidebar kiri	Detail dan status ruangan berhasil ditampilkan	Valid
4	Akses menu "Manajemen Pengguna"	Klik menu "Manajemen Pengguna" di sidebar	Klik dan pastikan diarahkan ke halaman manajemen pengguna	Halaman user management muncul dengan benar	Valid

Pengujian Halaman Monitoring dan Controlling

Halaman *Monitoring* dan *Controlling* pada sistem *Smart Building* berfungsi untuk menampilkan informasi terbaru dari berbagai sensor yang terpasang serta memberikan akses kontrol terhadap perangkat-perangkat yang terintegrasi dalam sistem, seperti lampu, soket, dan sistem pendingin ruangan. Halaman ini menjadi antarmuka utama bagi pengguna untuk memantau kondisi ruangan dan mengatur perangkat secara langsung. Untuk memastikan bahwa semua fitur di halaman ini bekerja sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi sistem, dilakukan pengujian menggunakan metode Black Box Testing. Hasil dari pengujian ini kemudian dirangkum dalam Tabel 22, yang berisi data mengenai keberhasilan setiap fungsi yang diuji.

Tabel 22. Pengujian *black box* pada halaman *monitoring* dan *controlling*.

No.	Skenario Pengujian	Data Masukan/Aksi	Langkah Pengujian	Hasil Yang diharapkan	Status
1	Menampilkan data suhu ruangan	Data suhu dari sensor DHT	Buka halaman DH101 dan perhatikan nilai suhu	Nilai suhu muncul dan sesuai dengan data dari sensor	Valid
2	Menampilkan data kelembapan udara	Data suhu dari sensor DHT	Lihat nilai kelembapan	Nilai kelembapan tampil dalam format persentase dan akurat	Valid
3	Menampilkan nilai deteksi asap	Data dari sensor MQ2	Lihat bagian "Deteksi Asap"	Nilai numerik asap muncul sesuai pembacaan sensor	Valid
4	Menampilkan status gerakan	Data dari sensor PIR	Amati bagian "Gerakan"	Status "Motion Detected" atau "No Motion" ditampilkan	Valid
5	Menampilkan data kelistrikan (PZEM)	Data tegangan, arus, daya, faktor daya, energi, frekuensi.	Lihat bagian <i>Monitoring</i> Parameter Sistem Kelistrikan	Nilai tampil, atau ditandai "N/A" jika tidak terdeteksi	Valid
6	Mengaktifkan/mematikan stop kontak	Klik tombol "Toggle Socket"	Klik tombol dan pantau status berubah (ON/OFF)	Status soket berganti dan terkirim ke perangkat fisik	Valid
7	Mengaktifkan/mematikan AC	Klik tombol "Toggle AC"	Klik tombol dan amati perubahan status	Status AC berganti status dan perintah diteruskan ke perangkat	Valid
8	Menyalakan Buzzer saat deteksi asap tinggi	Nilai deteksi lebih dari 3500	Uji dengan simulasi nilai asap lebih dari 3500	Buzzer menyala secara otomatis dan notifikasi muncul	Valid

Berdasarkan hasil pengujian *website* dengan metode *Black Box Testing*, dapat disimpulkan bahwa sistem *smart building* berbasis *IoT* pada Gedung DH telah berhasil memenuhi seluruh kebutuhan fungsional yang dirancang. Pengujian mencakup seluruh aspek antarmuka pengguna, mulai dari halaman *login*, *dashboard*, *monitoring*, hingga *controlling*. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu memverifikasi kredensial pengguna dengan benar, termasuk penanganan kasus input yang tidak valid. Fitur *monitoring* seperti pembacaan suhu, kelembapan, deteksi asap, dan penggunaan energi berfungsi dengan baik, menampilkan

data sesuai dengan hasil pengujian sensor. Sementara itu, fitur *controlling* seperti pengendalian soket, AC, dan buzzer juga beroperasi sesuai perintah, baik melalui antarmuka web maupun otomatisasi berbasis sensor.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan proses penelitian dan hasil yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Telah berhasil dirancang dan dianalisis sistem instalasi kelistrikan baru untuk Gedung DH yang lebih efisien, dengan melakukan pengelompokan beban per ruangan dan menentukan kapasitas MCB serta jenis penghantar yang sesuai (NYM 2,5mm² dan 1,5mm²) untuk meningkatkan keamanan dan kemudahan perawatan. (2) Sistem *Smart Building* berbasis *Internet of Things* (IoT) telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dalam bentuk purwarupa (maket) untuk Ruang DH101 dan Lobby. Sistem ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang terintegrasi dengan empat jenis sensor diantaranya, Sensor PIR untuk deteksi gerakan dan otomatisasi lampu, Sensor DHT22 untuk pemantauan suhu dan kelembapan, Sensor MQ2 untuk deteksi asap dengan alarm (*buzzer*), Sensor PZEM-004T untuk *monitoring* konsumsi energi listrik (tegangan, arus, daya, dan energi). (3) Sistem informasi berbasis *website* telah berhasil dibangun menggunakan *framework* Laravel dan *database* MySQL. *Website* ini berfungsi sebagai pusat *monitoring* dan pengendalian, yang mampu menampilkan data dari seluruh sensor dan memberikan kontrol kepada pengguna untuk menyalakan atau mematikan perangkat (lampu, soket, dan kipas) dari jarak jauh melalui antarmuka yang intuitif. (4) Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dibangun memiliki fungsionalitas dan keandalan yang baik. Sensor-sensor menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi saat dibandingkan dengan alat ukur standar dan perhitungan manual. Sistem kontrol perangkat melalui *website* bekerja dengan baik, dengan rata-rata *delay* respons sekitar 3,6 detik, Meskipun respon sistem belum sepenuhnya memenuhi kriteria *real-time* dalam arti sesungguhnya, namun performa yang ditunjukkan masih dalam batas toleransi dan tidak mengganggu pada pengalaman pengguna (*user experience*). Delay ini dianggap normal dan sesuai dengan ekspektasi untuk arsitektur berbasis HTTP Polling dengan interval pengecekan 5 detik. Secara fungsional, sistem bekerja dengan andal karena setiap perintah berhasil dieksekusi.

DAFTAR REFERENSI

- Al Dakheel, J., Del Pero, C., Aste, N., & Leonforte, F. (2020). Smart buildings features and key performance indicators: A review. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102328. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102328>
- Andrianto, H., Susanthi, Y., & Jonathan, V. (2024). Platform sistem pemantauan penggunaan energi listrik berbasis IoT. *Techne Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 23(2), 199–212. <https://doi.org/10.31358/techne.v23i2.422>
- Hakim. (2010). Evaluasi sistem bangunan pintar pada pusat perbelanjaan Senayan City di Jakarta. *Arsitron*, 1(2), 84.
- Hendrawan, A. P. W., & Agustini, N. P. (2022). Simulasi kendali dan monitoring daya listrik peralatan rumah tangga berbasis ESP32. *Alinier Jurnal*, 3(1), 55–68. <https://doi.org/10.36040/aliner.v3i1.4855>
- Inggi, R., & Pangala, J. (2021). Perancangan alat pendeteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-2 berbasis Arduino. *SIMKOM*, 6(1), 12–22. <https://doi.org/10.51717/simkom.v6i1.51>
- Islam, H. I., Nabilah, N., Atsaurry, S. S., Saputra, D. H., Pradipta, G. M., Kurniawan, A., Syafutra, H., Irmansyah, I., & Irzaman, I. (2016). Sistem kendali suhu dan pemantauan kelembaban udara ruangan berbasis Arduino Uno dengan menggunakan sensor DHT22 dan Passive Infrared (PIR). *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*, SNF2016-CIP-119–SNF2016-CIP-124. <https://doi.org/10.21009/0305020123>
- Juliansyah, A., & Nadiani, D. (2021). Sistem pendeteksi gerak menggunakan sensor PIR dan Raspberry Pi (Motion detection system using PIR sensors and Raspberry Pi). *JTIM: Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, 2(4), 199–205. <https://doi.org/10.35746/jtim.v2i4.113>
- Najib, W., Sulisty, S., & Kunci, K. (2020). Tinjauan ancaman dan solusi keamanan pada teknologi Internet of Things (Review on security threat and solution of Internet of Things technology). *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 9(4), 375–384. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v9i4.539>
- Pratama, E. W., & Kiswantono, A. (2023). Electrical analysis using ESP-32 module in real-time. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, 7(2), 1273–1284. <https://doi.org/10.54732/jeeecs.v7i2.21>
- Puriyanto, R. D., & Aditya, R. P. (2021). *Pengukuran besaran listrik* (Budi Ashari, Ed.). UAD Press.
- Rachmadi, T. (2020). *Mengenal apa itu Internet of Things: Cara menghadapi industry 4.0 dimana kita diharuskan serba digital terus mempelajari teknologi baru atau Anda akan tertinggal oleh zaman* (1st ed.). Tiga Ebook.
- Royhan, M. (2020). Pemasangan lampu penerangan di ruang dengan sensor passive infrared receiver (PIR) terintegrasi Arduino. *Journal of Informatics and Communications Technology (JICT)*, 2(2), 8–16. https://doi.org/10.52661/j_ict.v2i2.54
- Susanto, A. T., & Purwoko, H. (2023). Perancangan proyek kantor Mitra Surya dengan pendalaman smart building system. *Kreasi*, 8(2), 16–29. <https://doi.org/10.37715/kreasi.v8i2.4490>
- Zalfin, A. (2021). Studi pengaruh lekukan kabel terhadap arus listrik. *Politeknik Negeri Ujung Pandang*.

Zulkifli, Z., Muhallim, M., & Hasnahwati, H. (2024). Pengembangan sistem alarm dan pemadam kebakaran otomatis menggunakan Internet of Things. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3), 2444–2460. <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4774>