



SISTEM PROTEKSI DAN MONITORING UNSTABLE VOLTAGE PADA INSTALASI LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS INTERNET OF THINGS

Inosensius Theo Aristo^{1*}, Muhammad Fadly¹, Peprizal¹, Titin Indriati¹

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*Corresponding Author: inosensius.theo222@gmail.com

ABSTRAK

Ketidakstabilan tegangan pada instalasi listrik rumah tangga dapat menyebabkan kerusakan peralatan elektronik serta menurunkan keandalan sistem kelistrikan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem proteksi dan monitoring unstable voltage berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 DevKit V1, tiga sensor PZEM-004T, modul relay 4 channel, LCD 16×2 berbasis I2C, dan aplikasi Blynk. Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) yang meliputi perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian kinerja sistem. Pengujian dilakukan terhadap akurasi sensor, fungsi proteksi overvoltage dan undervoltage, proteksi selektif, monitoring berbasis IoT, serta waktu respons sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat kesalahan pembacaan tegangan sebesar 0,23%–1,20% dan frekuensi sebesar 0,02%–0,20%. Sistem mampu mendeteksi kondisi tegangan tidak normal, memutuskan hanya jalur beban yang mengalami gangguan melalui mekanisme proteksi selektif, serta mempertahankan suplai listrik pada jalur lainnya. Waktu respons sistem berada pada rentang 841–870 ms dengan proses penyambungan kembali beban secara otomatis setelah kondisi tegangan normal selama 15 detik. Selain itu, aplikasi Blynk berhasil menampilkan parameter kelistrikan dan mengirimkan notifikasi secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan keandalan proteksi instalasi listrik rumah tangga melalui integrasi monitoring real-time dan proteksi selektif berbasis IoT.

Kata Kunci: Internet of Things (IoT), ESP32 DevKit V1, PZEM-004T, Unstable Voltage, Proteksi Selektif

ABSTRACT

Unstable voltage in residential electrical installations can cause damage to electrical appliances and reduce the reliability of electrical systems. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based unstable voltage protection and monitoring system using an ESP32 DevKit V1, three PZEM-004T sensors, a 4-channel relay module, a 16×2 I2C LCD, and the Blynk application. The study employed the Research and Development (R&D) method, which consisted of system design, hardware and software implementation, and system

performance testing. The evaluation included sensor accuracy, overvoltage and undervoltage protection, selective protection, IoT-based monitoring, and system response time. The test results showed that the PZEM-004T sensors achieved voltage measurement errors ranging from 0.23% to 1.20% and frequency measurement errors ranging from 0.02% to 0.20%. The proposed system successfully detected abnormal voltage conditions, selectively disconnected only the affected load circuit, and maintained power supply to the remaining normal load circuits. The system response time ranged from 841 ms to 870 ms, while the affected load was automatically reconnected after the voltage had remained within the normal operating range for 15 seconds. In addition, the Blynk application successfully displayed electrical parameters and delivered real-time notifications of abnormal voltage conditions. The results demonstrate that the proposed system enhances the reliability of residential electrical protection by integrating real-time monitoring with IoT-based selective protection.

Keywords: Internet of Things (IoT), ESP32 DevKit V1, PZEM-004T, Unstable Voltage, Selective Protection

1. PENDAHULUAN

Kestabilan tegangan listrik merupakan salah satu faktor penting yang menentukan keandalan sistem kelistrikan rumah tangga sekaligus umur pakai peralatan elektronik. Fluktuasi tegangan berupa overvoltage maupun undervoltage yang berlangsung dalam durasi panjang dapat mempercepat penurunan kinerja hingga kerusakan pada perangkat listrik. Permasalahan ini semakin kompleks seiring meningkatnya penggunaan beban nonlinier pada instalasi rumah tangga, seperti pendingin ruangan, komputer, televisi, dan mesin cuci, yang memicu distorsi harmonisa dan menurunkan kualitas daya listrik secara umum (Lubis, et al 2022; Michalec, et al., 2021).

Perangkat proteksi konvensional seperti Miniature Circuit Breaker (MCB) hingga saat ini masih menjadi sistem pengaman utama pada instalasi listrik rumah tangga. Meskipun efektif melindungi instalasi dari gangguan arus lebih (overcurrent) dan hubung singkat (short circuit), MCB belum mampu mendeteksi gangguan tegangan secara real-time maupun memberikan informasi kondisi kelistrikan kepada pengguna. Selain itu, mekanisme kerja MCB memutuskan seluruh suplai listrik ketika terjadi gangguan, sehingga seluruh beban kehilangan sumber daya meskipun gangguan hanya terjadi pada salah satu jalur beban (Hidayat et al, 2021).

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan pembangunan sistem monitoring dan proteksi kelistrikan yang lebih cerdas. Mikrokontroler ESP32 banyak dimanfaatkan sebagai pusat kendali karena memiliki kemampuan pemrosesan data yang baik serta modul Wi-Fi terintegrasi untuk komunikasi data secara nirkabel (El Khonzondar, et al, 2024). Sensor PZEM-004T juga umum digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, energi, faktor daya, dan frekuensi secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik (Joha et al, 2022; Nasution et al, 2024), sedangkan platform Blynk dimanfaatkan sebagai media monitoring jarak jauh melalui smartphone (Fadhilah et al, 2023). Namun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih

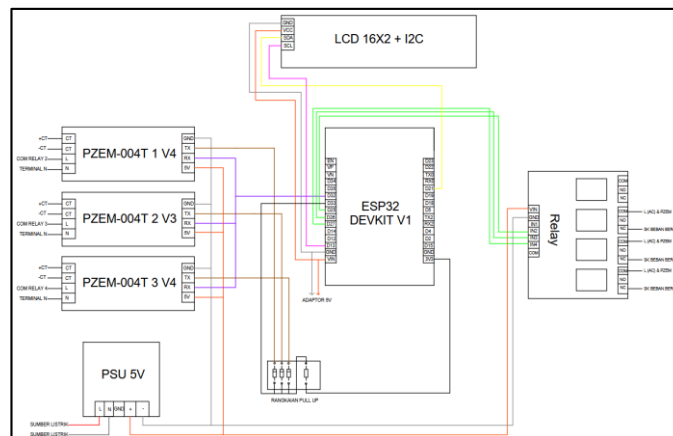
menerapkan konsep pemutusan daya secara menyeluruh (blackout) ketika terjadi gangguan tegangan, sehingga seluruh instalasi rumah ikut terputus tanpa mempertimbangkan kondisi masing-masing jalur beban (Islam et al, 2025).

Oleh karena itu, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan Sistem Proteksi dan Monitoring Unstable Voltage pada Listrik Rumah Berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit V1, tiga sensor PZEM-004T, modul relay empat kanal, LCD 16×2 berbasis I2C, dan aplikasi Blynk sebagai media monitoring.

2. METODE

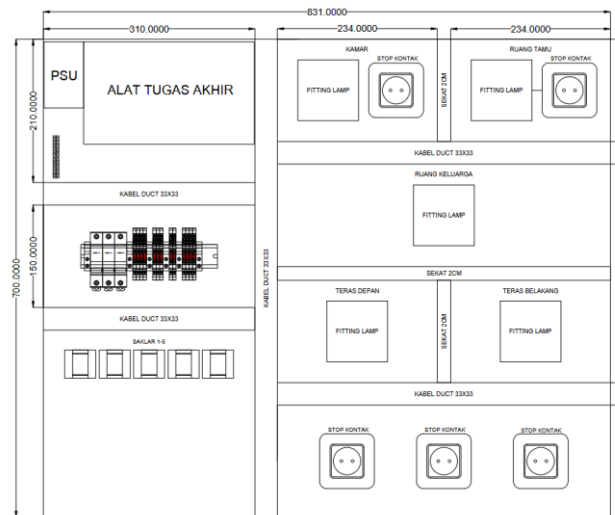
Penelitian mengenai sistem proteksi dan monitoring kelistrikan berbasis Internet of Things (IoT) telah banyak dilakukan sebagai upaya meningkatkan keamanan dan keandalan instalasi listrik. Lubis et al (2022) mengembangkan sistem proteksi dan monitoring listrik rumah berbasis ESP32 dan sensor PZEM-004T yang mampu melakukan pemantauan parameter listrik secara real-time melalui Firebase. Sistem tersebut memiliki akurasi pengukuran tegangan sebesar 99,6%, arus 97,5%, dan daya 97,8%. Namun, mekanisme proteksi masih memutus seluruh suplai listrik ketika terjadi kondisi overvoltage maupun undervoltage sehingga seluruh instalasi mengalami blackout. Hidayat et al (2021) merancang sistem proteksi overvoltage dan undervoltage berbasis ESP32 dan sensor PZEM-004T untuk instalasi bangunan sederhana. Sistem mampu memberikan peringatan dini (warning) serta memutus suplai listrik secara otomatis ketika tegangan berada di luar batas toleransi. Meskipun demikian, sistem belum menerapkan mekanisme proteksi selektif pada masing-masing jalur beban.

Skema rangkaian elektrik dirancang menggunakan perangkat lunak Fritzing. Ketiga sensor PZEM-004T dihubungkan ke ESP32 melalui komunikasi UART, dengan rangkaian pull-up berupa tiga dioda 1N4148 dan satu resistor 4,7 k Ω untuk menggabungkan jalur komunikasi serial sehingga konflik data antar sensor dapat dihindari selama proses pembacaan bergantian. Modul relay dihubungkan pada pin digital ESP32, dengan tiga dari empat kanal digunakan untuk mengendalikan tiga jalur stopkontak beban berat, sedangkan satu kanal disediakan sebagai cadangan pengembangan. LCD 16×2 dihubungkan melalui pin SDA dan SCL untuk mengurangi jumlah pin yang digunakan. Seluruh komponen disuplai dari power supply switching 5 VDC terpusat agar pembacaan sensor dan komunikasi data berlangsung stabil.



Gambar 1. Skema Rangkaian Elektrik

Sebagai media pengujian, dirancang trainer simulasi instalasi listrik rumah sederhana yang terdiri atas panel kontrol (tempat ESP32, sensor, relay, power supply, LCD, dan MCB) dan area simulasi instalasi (jalur penerangan dan tiga stopkontak beban berat). Jalur penerangan dipisahkan dari jalur stopkontak yang diproteksi, sehingga gangguan pada salah satu stopkontak tidak memutus jalur lampu maupun stopkontak lain. Distribusi daya pada trainer mengikuti single line diagram: sumber AC masuk melalui MCB utama, kemudian didistribusikan ke jalur penerangan dan tiga jalur stopkontak yang masing-masing dilengkapi satu sensor PZEM-004T (dengan current transformer pada kabel fasa) dan satu kanal relay.



Gambar 2. Media Trainer Simulasi

Pengujian dilakukan secara bertahap meliputi pengujian sensor PZEM-004T, pengujian komunikasi data dengan aplikasi Blynk, pengujian sistem proteksi undervoltage dan overvoltage, serta pengujian keseluruhan sistem pada media simulasi. Setiap pengujian diulang beberapa kali untuk memastikan konsistensi kinerja sistem. Data yang dikumpulkan meliputi hasil pengukuran tegangan, arus, daya, energi, faktor daya, dan frekuensi dari sensor PZEM-004T; waktu respons sistem saat mendeteksi undervoltage maupun overvoltage; keberhasilan pengiriman data monitoring ke aplikasi Blynk; serta tingkat kesalahan (error) hasil pembacaan sensor dibandingkan alat ukur referensi (multimeter digital). Analisis data dilakukan terhadap tingkat akurasi sensor, waktu respons sistem, keberhasilan komunikasi data, dan kemampuan sistem melakukan proteksi selektif pada tiga jalur beban.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor PZEM-004T terhadap alat ukur referensi (multimeter digital). Parameter yang diuji meliputi tegangan, frekuensi dan arus pada masing-masing jalur beban.

Tabel 1. hasil pengukuran akurasi pembacaan tegangan PZEM-004T dan Multimeter

No	Beban	Parameter	Multimeter Digital	PZEM	Selisih	Error (%)
1	Beban 1 (tanpa beban)	Tegangan (V)	223,1	225,2	-2,1	0,94%
2	Beban 2 (tanpa beban)	Tegangan (V)	222,18	222,7	-0,52	0,23%
3	Beban 3 (tanpa beban)	Tegangan (V)	220,4	221,1	-0,7	0,32%

4	Beban 1 (charger HP)	Tegangan (V)	221,9	224,1	-2,2	0,99%
5	Beban 2 (charger HP)	Tegangan (V)	221,4	222,3	-0,9	0,41%
6	Beban 3 (charger HP)	Tegangan (V)	221,1	223,1	-2	0,90%
7	Beban 1 (microwave)	Tegangan (V)	224,7	227,4	-2,7	1,20%
8	Beban 2 (microwave)	Tegangan (V)	231,5	233,6	-2,1	0,91%
9	Beban 3 (microwave)	Tegangan (V)	230,9	233,2	-2,3	1,00%

Berdasarkan hasil pengujian pada di atas, nilai tegangan yang dibaca sensor memiliki tingkat kesalahan sebesar 0,23%–1,20%. Nilai kesalahan tersebut menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang baik sehingga layak digunakan sebagai sensor monitoring pada sistem proteksi kelistrikan rumah.

Tabel 2. hasil pengukuran akurasi pembacaan frekuensi PZEM-004T dan Multimeter

No	Beban	Parameter	Multimeter Digital	PZEM	Selisih	Error (%)
1	Beban 1 (tanpa beban)	Frekuensi (Hz)	50,12	50,1	0,02	0,04%
2	Beban 2 (tanpa beban)	Frekuensi (Hz)	50,13	50,1	0,03	0,06%
3	Beban 3 (tanpa beban)	Frekuensi (Hz)	50,19	50,1	0,09	0,18%
4	Beban 1 (charger HP)	Frekuensi (Hz)	50,04	50	0,04	0,08%
5	Beban 2 (charger HP)	Frekuensi (Hz)	50,14	50,1	0,04	0,08%
6	Beban 3 (charger HP)	Frekuensi (Hz)	50,11	50,1	0,01	0,02%
7	Beban 1 (microwave)	Frekuensi (Hz)	50,09	50,1	-0,01	0,02%
8	Beban 2 (microwave)	Frekuensi (Hz)	50,1	50	0,1	0,20%
9	Beban 3 (microwave)	Frekuensi (Hz)	50,13	50,1	0,03	0,06%

Berdasarkan hasil pengujian, nilai frekuensi yang terbaca oleh sensor relatif stabil dan mendekati nilai frekuensi standar sistem tenaga listrik, yaitu sekitar 50 Hz [25]. Selisih hasil pengukuran antara sensor dan alat ukur referensi sangat kecil sehingga menunjukkan bahwa sensor memiliki kemampuan pembacaan frekuensi yang baik.

Tabel 3. Tabel hasil pengukuran akurasi pembacaan arus PZEM-004T dan Multimeter

No	Beban	Parameter	Multimeter Digital	PZEM	Selisih	Error (%)
1	Beban 1 (tanpa beban)	Arus (A)	0	0	0	0%
2	Beban 2 (tanpa beban)	Arus (A)	0	0	0	0%
3	Beban 3 (tanpa beban)	Arus (A)	0	0	0	0%
4	Beban 1 (charger HP)	Arus (A)	0.026	0.049	-0.023	88.46%
5	Beban 2 (charger HP)	Arus (A)	0.039	0.075	-0.036	92.31%
6	Beban 3 (charger HP)	Arus (A)	0.026	0.075	-0.049	188.46%
7	Beban 1 (solder)	Arus (A)	0.075	0.079	-0.004	5.33%
8	Beban 2 (solder)	Arus (A)	0.076	0.079	-0.003	3.95%
9	Beban 3 (solder)	Arus (A)	0.076	0.08	-0.004	5.26%

Berdasarkan Tabel di atas, pada kondisi tanpa beban baik sensor PZEM-004T maupun multimeter digital menunjukkan nilai arus sebesar 0 A, sehingga tidak terdapat selisih maupun kesalahan pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi kondisi ketika tidak terdapat arus yang mengalir pada beban. Pengujian sistem proteksi dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi tegangan yang berada di luar batas operasi serta memberikan tindakan proteksi secara otomatis. Pada penelitian ini, pengujian meliputi kondisi undervoltage, overvoltage, trip relay, warning, serta auto reconnect setelah tegangan kembali normal.

Tabel 4. Tabel hasil pengujian Unstable Voltage

Skenario	Threshold Diubah	Respon Teramati	Sesuai
----------	------------------	-----------------	--------

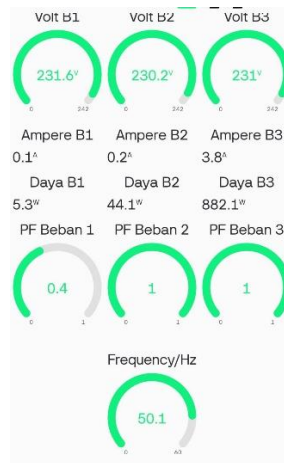
		Tegangan Aktual	Respon diharapkan	LCD	Relay	Bylnk	Delay (ms)	
Undervoltage trip	TRIP_MIN = 235	233 V	Relay trip semua beban	TRIP!	Semua ON (TRIP)	Notif On &Relay ON	868,4	Sesuai
Overvoltage trip	TRIP_MAX = 231	233 V	Relay trip semua beban	TRIP!	Semua ON (TRIP)	Notif On &Relay ON	870	Sesuai
Warning Only	WARN_MIN = 235	233 V	Warning Tanpa Trip	WRN	OFF	Notif On &Relay OFF	841	Sesuai
Auto Reconnect	TRIP dikembalikan Normal	234 V	Relay reconnect ±15s	TRIP! &	ON (TRIP) &Notif ON OFF setelah setelah 15s 15 detik tampil an normal	ketika TRIP	15.36s	Sesuai

Berdasarkan Tabel pengujian di atas, sistem berhasil menjalankan seluruh fungsi proteksi sesuai dengan algoritma yang telah dirancang. Ketika nilai tegangan berada pada kondisi normal, relay tetap berada pada kondisi aktif sehingga beban memperoleh suplai listrik secara normal. Sebaliknya, ketika nilai tegangan melewati batas maksimum (overvoltage) atau berada di bawah batas minimum (undervoltage), ESP32 mendeteksi kondisi tersebut dan mengirimkan perintah kepada relay untuk memutus suplai listrik menuju beban.

Tabel 5. Tabel hasil pengujian Proteksi Selektif

Tegangan Aktual	Skenario	Tegangan (V)			Status B1	Status B2	Status B3
		Beban 1	Beban 2	Beban 3			
232.8V	Trip ketika Tegangan berada diatas 233.5V	234.5	232.8	234	Mati	Nyala	Mati
233V	Trip ketika Tegangan berada diatas 234V	234.1	232.8	233.6	Mati	Nyala	Nyala
220V (Sumber listrik normal)	Trip ketika Tegangan berada diatas 231V (Sistem Asli)	234.1	232.7	233.6	Mati	Mati	Mati

Berdasarkan Tabel di atas, sistem berhasil menerapkan proteksi selektif sesuai kondisi masing-masing jalur beban. Pada batas trip 233,5 V, relay Beban 1 dan Beban 3 terputus, sedangkan Beban 2 tetap aktif. Ketika batas trip dinaikkan menjadi 234 V, hanya relay Beban 1 yang terputus, sementara Beban 2 dan Beban 3 tetap memperoleh suplai listrik. Pada batas trip 231 V sesuai program utama, seluruh relay melakukan pemutusan karena tegangan pada ketiga jalur melebihi batas yang ditentukan. Hasil ini menunjukkan bahwa ESP32 mampu mengendalikan relay secara independen berdasarkan pembacaan masing-masing sensor sehingga kontinuitas suplai listrik pada jalur yang masih normal tetap terjaga.



Gambar 3. Data parameter blynk

Pengujian monitoring dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengirimkan data parameter kelistrikan ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh parameter, yaitu tegangan, arus, daya, energi, faktor daya, dan frekuensi, berhasil ditampilkan pada aplikasi Blynk secara real-time. Selain itu, sistem juga mampu mengirimkan notifikasi ketika terjadi kondisi undervoltage maupun overvoltage, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi instalasi listrik tanpa harus berada di lokasi. Keberhasilan komunikasi antara ESP32 dan aplikasi Blynk menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT dapat berjalan dengan baik selama perangkat terhubung ke jaringan internet yang stabil

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem proteksi dan monitoring unstable voltage berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 DevKit V1, sensor PZEM-004T, modul relay 4 channel, dan aplikasi Blynk. Sistem mampu melakukan monitoring parameter kelistrikan secara real-time, mendeteksi kondisi overvoltage maupun undervoltage, serta menerapkan proteksi selektif dengan memutus hanya jalur beban yang mengalami gangguan sehingga kontinuitas suplai listrik pada jalur lain tetap terjaga. Hasil pengujian menunjukkan sensor PZEM-004T memiliki akurasi yang baik dengan tingkat kesalahan pembacaan tegangan sebesar 0,23%–1,20% dan frekuensi sebesar 0,02%–0,20%. Selain itu, sistem memiliki waktu respons 841–870 ms, mampu melakukan auto reconnect setelah kondisi tegangan kembali normal selama 15 detik, serta berhasil mengirimkan data monitoring dan notifikasi melalui aplikasi Blynk secara real-time. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan keandalan proteksi instalasi listrik rumah tangga dibandingkan sistem proteksi konvensional melalui penerapan monitoring berbasis IoT dan mekanisme proteksi selektif..

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Jurusan Rekayasa Elektro dan Industri Pertanian serta Program Studi DIII Teknik Elektronika Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung atas fasilitas laboratorium dan dukungan akademik yang diberikan selama proses penelitian.

Apresiasi dan penghargaan tinggi juga disampaikan kepada dosen pembimbing Bapak Peprizal, M.Pd.T. dan Ibu Titin Indriati, M.Pd. atas arahan, bimbingan, dan masukan yang konstruktif dalam penyusunan kerangka teoritis dan teknis penelitian Proyek Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- El-Khozondar, H.J. et al. (2024) ‘A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller’, **e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, 9, 100666.
- Fadhilah, R., Kurniawan, A. and Prasetyo, D. (2023) ‘Implementasi sistem monitoring dan notifikasi kelistrikan rumah tangga berbasis ESP32 dan platform Blynk’, **Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)**, 12(2), pp. 98–107.
- Hidayat, A., Tato, S. and Thata, S. (2021) ‘Rancang bangun sistem proteksi undervoltage dan overvoltage pada instalasi bangunan sederhana berbasis Internet of Things’, **Prosiding Sains Nasional dan Teknologi**, 1, pp. 15–22.
- Islam, M.S., Rahman, A. and Hasan, K. (2025) ‘Comprehensive review of smart home energy management systems: Architecture, algorithms, and IoT integration’, **IEEE Access**, 13, pp. 12345–12368.
- Joha, M.I., Islam, M.S. and Ahamed, S. (2022) ‘IoT-based smart control and protection system for home appliances’, in **Proceedings of the 2022 25th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)**, pp. 294–299.
- Lubis, M.M.G., Putri, S.M. and Satria, H. (2022) ‘Design of household electricity protection and monitoring automation with IoT ESP32’, **Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering and Technology**, 2(3), pp. 133–139.
- Michalec, Ł., Jasiński, M., Sikorski, T., Leonowicz, Z. and Suresh, V. (2021) ‘Impact of harmonic currents of nonlinear loads on power quality of a low voltage network—review and case study’, **Energies**, 14(12), 3665.
- Nasution, M.A., Syahputra, R. and Firmansyah, F. (2024) ‘Smart home electrical monitoring using PZEM-004T sensor and Blynk application for real-time energy management’, **International Journal of Electronics and Electrical Engineering Systems**, 7(1), pp. 45–54.
- Rashid, M.H. (2014) **Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications**. 4th edn. Harlow: Pearson.
- Zhang, Y., Zhang, C. and Li, H. (2020) ‘Internet of Things-based smart home energy management and monitoring system’, **IEEE Internet of Things Journal**, 7(6), pp. 5000–5012.