

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN KONSUMSI SUMBER DAYA RUMAH TANGGA BERBASIS IOT DI WILAYAH PLN RAYON SIGLI

Nur Afdhalia¹, Mukhsin Nuzula², Muhammad Ichsan³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Universitas Jabal Ghafur, Gle Gapui-Sigli

nurafdhalia5@gmail.com¹, mukhsinnuzula54@gmail.com², ichsanezbet@gmail.com³

Abstract - Electric energy is a vital resource for household activities and must be managed efficiently and safely. The increasing use of electrical appliances in residential environments often leads to uncontrolled electricity consumption and potential risks such as overcurrent conditions and electrical fires. Most households still rely on conventional protection devices, such as Miniature Circuit Breakers (MCB), which operate reactively and do not provide real-time information to users. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring and controlling household electrical current consumption. The proposed system utilizes an ESP32 microcontroller, a ZMCT103C current sensor, a relay module, and the Blynk application as a remote monitoring interface. The system is designed to monitor electrical current in real time, display consumption data through a mobile application, and automatically disconnect the electrical load when the current exceeds a predefined threshold. The research method involves system design, implementation, and functional testing using a prototype-scale household load. The results show that the system is capable of monitoring electrical current accurately, transmitting data in real time, and performing automatic protection during overcurrent conditions. Additionally, users are able to manually control the electrical load remotely through the application. This system is expected to enhance electrical safety, improve energy awareness, and support efficient electricity usage in household environments, particularly within the service area of PLN Rayon Sigli.

Keywords: Internet of Things, ESP32, Electrical Current Monitoring, Overcurrent Protection, Smart Home

Abstrak - Energi listrik merupakan sumber daya penting dalam kehidupan rumah tangga yang harus dikelola secara efisien dan aman. Peningkatan penggunaan peralatan listrik di lingkungan rumah tangga sering kali menyebabkan konsumsi listrik yang tidak terkontrol serta menimbulkan risiko seperti arus lebih dan potensi kebakaran. Sebagian besar rumah tangga masih mengandalkan sistem pengaman konvensional seperti *Miniature Circuit Breaker* (MCB) yang bersifat reaktif dan tidak memberikan informasi kondisi arus secara *real-time* kepada pengguna. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian konsumsi arus listrik rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor arus ZMCT103C, modul relay, serta aplikasi Blynk sebagai antarmuka pemantauan jarak jauh. Sistem ini dirancang untuk memantau arus listrik secara *real-time*, menampilkan data konsumsi melalui aplikasi, serta melakukan pemutusan beban secara otomatis apabila arus melebihi nilai ambang batas yang telah ditentukan. Metode penelitian meliputi tahap perancangan, implementasi sistem, serta pengujian fungsional pada skala *prototype* dengan beban listrik rumah tangga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memantau arus listrik secara akurat, mengirimkan data secara *real-time*, serta memberikan proteksi otomatis ketika terjadi kondisi arus berlebih. Selain itu, pengguna dapat melakukan pengendalian beban secara manual melalui aplikasi. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan instalasi listrik, kesadaran penggunaan energi, serta efisiensi konsumsi listrik rumah tangga, khususnya di wilayah pelayanan PLN Rayon Sigli.

Kata Kunci: Internet of Things, ESP32, Pemantauan Arus Listrik, Proteksi Arus Lebih, Rumah Pintar

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan mendasar dalam kehidupan rumah tangga modern yang berperan penting dalam menunjang berbagai aktivitas sehari-hari. Peningkatan jumlah dan variasi peralatan listrik rumah tangga menyebabkan konsumsi energi listrik terus meningkat dari waktu ke waktu. Kondisi ini menuntut adanya sistem pengelolaan energi yang tidak hanya berorientasi pada pemenuhan kebutuhan listrik, tetapi juga pada aspek keamanan dan efisiensi penggunaan energi.

Pada umumnya, sistem kelistrikan rumah tangga masih mengandalkan perangkat pengaman konvensional seperti *Miniature Circuit Breaker* (MCB) sebagai proteksi utama terhadap gangguan arus lebih dan hubungan singkat. Meskipun MCB mampu memutus aliran listrik saat terjadi gangguan, perangkat ini bersifat reaktif dan tidak memberikan informasi kondisi arus listrik secara *real-time* kepada pengguna. Akibatnya, pengguna tidak memiliki kendali maupun pemahaman yang cukup terhadap pola konsumsi listrik sebelum terjadinya gangguan pada instalasi listrik.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang besar dalam pengembangan sistem pemantauan energi listrik yang lebih cerdas. IoT memungkinkan perangkat fisik seperti sensor dan mikrokontroler untuk terhubung dengan jaringan internet sehingga data dapat dipantau dan dikendalikan secara jarak jauh. Dalam konteks kelistrikan rumah tangga, penerapan IoT memungkinkan pengguna untuk mengetahui kondisi arus listrik secara *real-time*, mendeteksi adanya anomali beban, serta melakukan pengendalian terhadap perangkat listrik melalui aplikasi berbasis *mobile*.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji penerapan IoT dalam sistem pemantauan energi listrik rumah tangga. Farhan dkk. mengembangkan sistem proteksi beban listrik berbasis mikrokontroler yang mampu memantau arus listrik dan menampilkan informasi konsumsi energi secara *real-time*. Namun, sistem tersebut masih berfokus pada fungsi *monitoring* dan belum dilengkapi dengan mekanisme pengendalian jarak jauh yang fleksibel bagi pengguna [1]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Alexcandra dkk. merancang sistem *monitoring* penggunaan energi listrik rumah tangga berbasis IoT dengan tampilan data pada perangkat *mobile*. Meskipun mampu memberikan informasi konsumsi listrik secara *real-time*, sistem tersebut belum menyediakan fitur proteksi otomatis terhadap kondisi arus berlebih [2].

Selanjutnya, Suryana dkk. mengembangkan sistem *monitoring* daya listrik rumah tangga berbasis ESP32 yang berfokus pada pengukuran dan pengiriman data arus listrik secara *real-time*. Sistem ini memberikan kontribusi dalam hal akurasi pemantauan, namun masih bersifat pasif karena tidak dilengkapi dengan fungsi pengendalian atau pemutusan beban secara otomatis ketika terjadi kondisi *overload* [3].

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar sistem yang dikembangkan masih berorientasi pada pemantauan konsumsi energi tanpa disertai mekanisme pengendalian dan proteksi aktif. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem yang tidak hanya mampu memantau arus listrik secara *real-time*, tetapi juga dilengkapi dengan fitur pengendalian dan pemutusan beban secara otomatis untuk meningkatkan keamanan instalasi listrik rumah tangga.

Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem pemantauan dan pengendalian konsumsi arus listrik rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32, sensor arus ZMCT103C, dan aplikasi Blynk sebagai antarmuka pemantauan jarak jauh. Sistem yang dikembangkan tidak hanya memberikan informasi kondisi arus listrik secara *real-time*, tetapi juga mampu melakukan proteksi otomatis ketika arus melebihi nilai ambang batas yang telah ditentukan. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan penggunaan energi listrik, mencegah terjadinya kelebihan

beban, serta meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pengelolaan energi listrik yang aman dan efisien, khususnya di wilayah pelayanan PLN Rayon Sigli.

II. SIGNIFIKANSI STUDI

Bagian signifikansi studi menjelaskan posisi penelitian dalam konteks pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya pada bidang sistem keamanan berbasis *Internet of Things* (IoT). Pada bagian ini dipaparkan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, serta penjelasan mengenai bahan dan metode yang digunakan dalam penelitian. Pembahasan signifikansi studi bertujuan untuk menunjukkan kontribusi penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sekaligus menjelaskan pendekatan yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian.

A. Studi Literatur

Penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem pemantauan energi listrik rumah tangga telah banyak diteliti sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi dan transparansi penggunaan energi. Sistem berbasis IoT memungkinkan pengambilan data arus listrik secara *real-time* dengan memanfaatkan sensor dan mikrokontroler, sehingga pengguna dapat memantau kondisi konsumsi listrik secara langsung melalui perangkat *mobile*.

Farhan et al. mengembangkan sistem proteksi beban listrik berbasis mikrokontroler yang mampu memantau arus listrik dan menampilkan data konsumsi secara *real-time*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemantauan arus listrik berbasis sensor dapat membantu pengguna memahami kondisi beban listrik, namun sistem yang dikembangkan masih berfokus pada fungsi *monitoring* dan belum menyediakan kendali jarak jauh yang fleksibel bagi pengguna [1].

Penelitian lain dilakukan oleh Alexcandra et al. yang merancang sistem *monitoring* penggunaan energi listrik rumah tangga berbasis IoT dengan tampilan data pada perangkat *mobile*. Sistem ini mampu memberikan informasi konsumsi listrik secara *real-time* dan meningkatkan kesadaran pengguna terhadap pola penggunaan energi. Namun, penelitian tersebut belum dilengkapi dengan mekanisme proteksi otomatis untuk memutus beban ketika terjadi kondisi arus berlebih [2].

Selanjutnya, Suryana et al. mengembangkan sistem *monitoring* daya listrik rumah tangga berbasis ESP32 dengan fokus pada pengukuran dan pengiriman data arus listrik secara *real-time*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ESP32 memiliki kinerja yang baik sebagai pusat kendali sistem IoT. Meskipun demikian, sistem yang dikembangkan masih bersifat pasif karena tidak memiliki fungsi pengendalian atau pemutusan beban secara otomatis saat terjadi *overload* [3].

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar sistem yang dikembangkan masih menitikberatkan pada pemantauan konsumsi energi tanpa disertai proteksi aktif. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki signifikansi dalam menggabungkan fungsi pemantauan arus listrik *real-time* dan pengendalian beban otomatis dalam satu sistem berbasis IoT. Integrasi kedua fungsi ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan instalasi listrik rumah tangga serta memberikan nilai tambah dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya.

B. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem ini meliputi perangkat keras, perangkat lunak, serta objek penelitian. Perangkat keras terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem, sensor arus ZMCT103C sebagai alat pengukur arus listrik,

modul relay sebagai aktuator pemutus beban, serta beban listrik rumah tangga skala kecil sebagai objek pengujian.

Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE sebagai lingkungan pemrograman mikrokontroler dan aplikasi Blynk sebagai antarmuka pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Data penelitian berupa nilai arus listrik yang dibaca oleh sensor kemudian dikirimkan secara *real-time* ke aplikasi untuk dianalisis dan ditampilkan kepada pengguna.

Lokasi penelitian dilakukan pada lingkungan rumah tangga dengan pendekatan *prototype*, yang merepresentasikan kondisi penggunaan listrik rumah tangga di wilayah pelayanan PLN Rayon Sigli.

C. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini bersifat eksperimental dengan pendekatan perancangan dan implementasi sistem. Tahapan penelitian diawali dengan analisis kebutuhan sistem berdasarkan permasalahan penggunaan listrik rumah tangga dan keterbatasan sistem proteksi konvensional. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem yang mencakup perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, serta penentuan nilai ambang batas (*threshold*) arus listrik.

Tahap implementasi dilakukan dengan merakit perangkat keras sesuai perancangan dan mengembangkan program pada mikrokontroler ESP32 untuk membaca data sensor, membandingkan nilai arus dengan *threshold*, serta mengendalikan relay secara otomatis. Sistem kemudian diintegrasikan dengan aplikasi Blynk untuk menampilkan data arus listrik dan memberikan kontrol manual kepada pengguna.

Evaluasi sistem dilakukan melalui pengujian fungsional menggunakan metode *black box testing*. Pengujian difokuskan pada kemampuan sistem dalam membaca arus listrik, mengirimkan data secara *real-time*, serta melakukan pemutusan beban secara otomatis ketika nilai arus melebihi ambang batas. Hasil pengujian dianalisis untuk menilai kinerja sistem dan kesesuaianya dengan tujuan penelitian, yaitu meningkatkan keamanan dan efisiensi penggunaan energi listrik rumah tangga.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

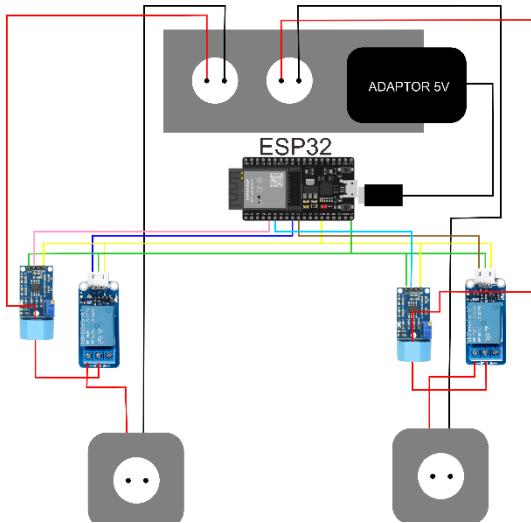
Bagian ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian dari sistem pengunci pintu otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dikembangkan, serta pembahasan terhadap kinerja sistem berdasarkan hasil yang diperoleh. Pembahasan difokuskan pada kemampuan sistem dalam membaca arus, melalkukan proteksi otomatis serta integrasi sistem dengan aplikasi *mobile*. Hasil yang diperoleh dianalisis untuk menilai kesesuaian sistem dengan tujuan penelitian dan permasalahan yang telah dirumuskan pada bagian pendahuluan.

A. Hasil Implementasi Sistem

Implementasi sistem pemantauan dan pengendalian konsumsi arus listrik rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT) dilakukan dengan menerapkan dua jalur pemantauan beban yang terpisah. Setiap jalur beban dipantau oleh satu sensor arus dan dikendalikan oleh satu relay secara independen. Pendekatan ini digunakan untuk merepresentasikan kondisi instalasi listrik rumah tangga yang memiliki lebih dari satu kelompok beban aktif secara bersamaan.

Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, dua sensor arus ZMCT103C sebagai perangkat input, dua modul relay sebagai aktuator pemutus arus, serta aplikasi Blynk sebagai antarmuka pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Masing-masing sensor bertugas membaca arus pada beban yang terhubung secara langsung, tanpa dipengaruhi oleh beban pada jalur lainnya.

Berbeda dengan sistem pemantauan tunggal, sistem ini menerapkan mekanisme proteksi global, di mana keputusan pemutusan arus tidak hanya didasarkan pada satu sensor, tetapi pada nilai total arus yang merupakan hasil penjumlahan arus dari Sensor A dan Sensor B. Apabila nilai arus total melebihi ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan, maka sistem akan memutus seluruh relay secara bersamaan sebagai bentuk proteksi menyeluruh terhadap instalasi listrik.



Gambar 1. Arsitektur Sistem

B. Implementasi Perangkat Keras

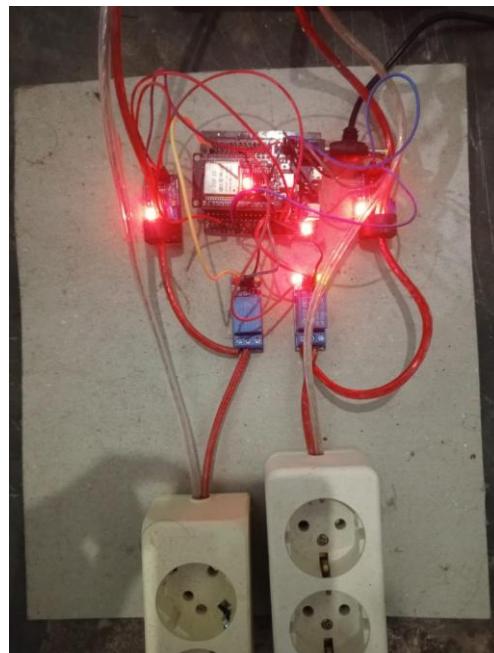
Implementasi perangkat keras dilakukan dengan membagi sistem menjadi dua jalur beban, yaitu Jalur Beban A dan Jalur Beban B. Masing-masing jalur dilengkapi dengan satu sensor arus ZMCT103C yang dipasang pada jalur fasa beban. Sensor A hanya membaca arus yang mengalir menuju Beban A, sedangkan Sensor B hanya membaca arus menuju Beban B. Dengan konfigurasi ini, pembacaan arus pada masing-masing beban bersifat independen dan tidak saling memengaruhi.

Setiap jalur beban juga dilengkapi dengan satu modul relay yang dipasang pada jalur suplai listrik menuju stop kontak. Relay A mengendalikan Beban A dan Relay B mengendalikan Beban B. Relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang dapat diputus atau dihubungkan berdasarkan perintah dari ESP32.

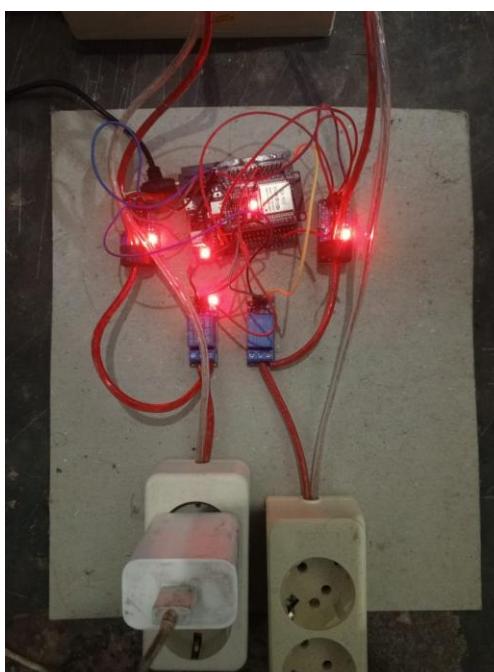
Meskipun pembacaan arus dilakukan secara terpisah, sistem proteksi dirancang secara terpusat. ESP32 akan menjumlahkan nilai arus yang dibaca oleh Sensor A dan Sensor B untuk memperoleh nilai arus total sistem. Nilai arus total inilah yang dibandingkan dengan nilai *threshold*. Jika arus total melebihi batas aman, maka ESP32 akan memutus seluruh relay, baik Relay A maupun Relay B, secara bersamaan.

TABEL I
PEMETAAN PIN ESP32

No	Komponen	Pin ESP32	Fungsi
1	Sensor Arus A (ZMCT103C)	GPIO 34	Pembacaan arus Beban A
2	Sensor Arus B (ZMCT103C)	GPIO 35	Pembacaan arus Beban B
3	Relay A	GPIO 18	Pemutus Beban A
4	Relay B	GPIO 19	Pemutus Beban B
5	WiFi ESP32	Internal	Koneksi ke Blynk



Gambar 2. Implementasi Perangkat Keras Beban $< Treshold$ (proteksi off)



Gambar 3. Implementasi Perangkat Keras beban $> threshold$ (Proteksi On)

C. Implementasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan memanfaatkan *library* pendukung seperti *library WiFi* dan *Blynk*. Program pada ESP32 dirancang untuk membaca data arus dari Sensor A dan Sensor B secara periodik. Nilai arus dari masing-masing sensor dihitung secara terpisah untuk merepresentasikan kondisi masing-masing beban.

Setelah nilai arus pada masing-masing jalur diperoleh, sistem melakukan proses penjumlahan untuk mendapatkan nilai arus total. Nilai arus total ini kemudian dibandingkan

dengan nilai ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan sebelumnya. Logika proteksi sistem dirancang sebagai berikut:

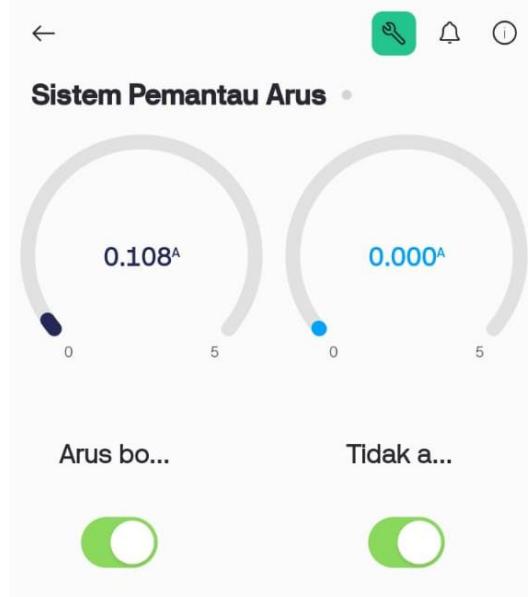
1. Sensor A hanya membaca arus Beban A
2. Sensor B hanya membaca arus Beban B
3. Sistem menghitung arus total = Arus A + Arus B
4. Jika arus total \leq *threshold*, relay tetap aktif
5. Jika arus total $>$ *threshold*, seluruh relay dimatikan

Pendekatan ini diterapkan untuk memberikan perlindungan menyeluruh terhadap instalasi listrik rumah tangga. Dengan memutus seluruh jalur beban ketika arus total melebihi batas aman, sistem dapat mencegah terjadinya *overload* yang berpotensi merusak peralatan listrik atau menyebabkan gangguan kelistrikan.

D. Implementasi Blynk

Aplikasi Blynk digunakan sebagai antarmuka utama bagi pengguna untuk memantau kondisi sistem secara *real-time*. Pada tampilan aplikasi, nilai arus dari Sensor A dan Sensor B ditampilkan secara terpisah sehingga pengguna dapat mengetahui konsumsi arus pada masing-masing beban. Selain itu, aplikasi juga menampilkan status relay dan indikator kondisi sistem.

Ketika nilai arus total melebihi *threshold*, aplikasi Blynk akan menampilkan perubahan status relay menjadi *OFF* pada seluruh jalur. Hal ini memberikan informasi visual kepada pengguna bahwa sistem telah melakukan proteksi otomatis. Pengguna juga dapat melakukan pengendalian manual relay melalui aplikasi apabila kondisi sistem telah kembali normal.



Gambar 4. Implementasi Blynk

E. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan memberikan variasi beban pada masing-masing jalur secara terpisah maupun bersamaan. Pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa sensor membaca arus secara independen dan proteksi bekerja berdasarkan arus total.

TABEL II
HASIL PENGUJIAN SENSOR ARUS

No	Jalur	Jenis Beban	Daya (Watt)	Arus Multimeter (A)	Arus Sensor (A) (Batas Bawah – Batas Atas)	Error (%)
1	A	Lampu 18 W	18	0.075	0.069 – 0.073	-6.7 %
2	A	Kipas Angin	60	0.250	0.230 – 0.240	-6.7 %
3	A	Setrika	300	1.250	1.165 – 1.190	-6.7 %
4	B	Dispenser	220	0.917	0.855 – 0.880	-6.7 %
5	B	Rice Cooker	400	1.667	1.555 – 1.585	-6.7 %
6	B	Blender	200	0.833	0.775 – 0.805	-6.7 %

TABEL III
HASIL PENGUJIAN PTOTEKSI SISTEM

No	Total Arus (A)	Status Relay A	Status Relay B
1	0,35	ON	ON
2	0,48	ON	ON
3	0,60	OFF	OFF

F. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca arus pada masing-masing beban secara independen dan akurat. Sensor A hanya merespons perubahan arus pada Beban A, sedangkan Sensor B hanya merespons Beban B. Hal ini membuktikan bahwa sistem pemantauan tidak saling memengaruhi antar jalur beban.

Mekanisme proteksi berbasis arus total memberikan keunggulan dalam hal keamanan sistem. Dengan memutus seluruh relay ketika arus total melebihi *threshold*, sistem mampu mencegah kondisi *overload* secara menyeluruh, bukan hanya pada satu jalur beban. Pendekatan ini relevan dengan kondisi instalasi rumah tangga, di mana kelebihan beban sering kali disebabkan oleh akumulasi penggunaan beberapa perangkat listrik secara bersamaan.

Integrasi dengan aplikasi Blynk memberikan kemudahan bagi pengguna dalam memantau kondisi arus listrik dan memahami penyebab terjadinya pemutusan beban. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu menggabungkan pemantauan individual dan proteksi global dalam satu sistem berbasis IoT yang efektif dan aplikatif..

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan dan pengendalian konsumsi arus listrik rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil dikembangkan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu memantau arus listrik pada masing-masing beban secara independen menggunakan dua sensor arus, serta menampilkan informasi arus secara *real-time* melalui aplikasi Blynk.

Mekanisme proteksi berbasis akumulasi arus dari seluruh jalur beban terbukti efektif dalam mencegah terjadinya kondisi *overload*. Ketika nilai total arus melebihi ambang batas yang telah ditentukan, sistem secara otomatis memutus seluruh relay sebagai bentuk proteksi menyeluruh terhadap instalasi listrik rumah tangga. Pendekatan ini memberikan tingkat keamanan yang lebih baik dibandingkan sistem pemantauan satu jalur atau sistem proteksi pasif konvensional.

Integrasi aplikasi Blynk sebagai antarmuka pemantauan dan pengendalian jarak jauh memberikan kemudahan bagi pengguna dalam memahami kondisi konsumsi listrik dan melakukan pengendalian beban secara langsung. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat *monitoring*, tetapi juga sebagai sistem proteksi aktif yang

mendukung efisiensi dan keamanan penggunaan energi listrik rumah tangga. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan sistem pemantauan energi yang lebih cerdas dan aplikatif pada skala rumah tangga maupun skala yang lebih luas.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Jabal Ghafur, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Informatika atas dukungan akademik yang diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berarti dalam penyusunan dan penyempurnaan penelitian ini.

VI. REFERENSI

- [1] Farhan, A., Rahman, A., & Hidayat, R., “Rancang Bangun Sistem Proteksi Beban Listrik Menggunakan Sensor Arus Berbasis Mikrokontroler,” *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 7, no. 2, pp. 85–92, 2019.
- [2] Alexcandra, D., Putra, R. A., & Yuniarti, E., “Perancangan Sistem *Monitoring* Penggunaan Energi Listrik Rumah Tangga Berbasis *Internet of Things*,” *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 4, no. 1, pp. 120–127, 2020.
- [3] Suryana, A., Nugroho, S., & Prasetyo, D., “*Internet of Things* untuk *Monitoring* Daya Listrik Rumah Tangga Berbasis ESP32,” *Jurnal Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 2, no. 3, pp. 233–241, 2021.
- [4] Kadir, A., *Dasar Mikrokontroler dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Andi Offset, 2017.
- [5] Pressman, R. S., & Maxim, B. R., *Software Engineering: A Practitioner’s Approach*, 8th ed. New York: McGraw-Hill, 2015.
- [6] Rangkuti, F., *Analisis SWOT: Teknik Membedah Kasus Bisnis*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2018.
- [7] Nugroho, A., & Prasetyo, T., “Implementasi Relay sebagai Proteksi Beban Listrik Berbasis Mikrokontroler,” *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 45–52, 2022.
- [8] Sutopo, A. H., *Analisis dan Perancangan Sistem Informasi*. Yogyakarta: Andi Offset, 2019.
- [9] Suharto, E., “Penerapan Advanced Metering Infrastructure (AMI) pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik,” *Jurnal Energi dan Sumber Daya Mineral*, vol. 12, no. 2, pp. 98–105, 2020.
- [10] Sumanto, A., “Analisis Beban Lebih pada Instalasi Listrik Rumah Tangga,” *Jurnal Teknik Elektro Universitas Negeri*, vol. 9, no. 1, pp. 15–22, 2021.