

## **Rancang Bangun Sistem Kontrol Daya Beban RLC**

**Miroslove Rompis\*, Johanes Larowona, Rusli Pontoh, Anthoinete Waroh**

Politeknik Negeri Manado, Indonesia

Email: Mirosloveromeo@gmail.com\*, larowona01@gmail.com, ruslipontoh@gmail.com, anthoinete.Waroh@gmail.com

---

**Keywords:**

power control system;  
RLC load;  
laboratory module;  
power factor.

---

**Abstract**

*The development of electronic technology and control systems has increased the need for efficient and accurate power monitoring and control, particularly in analyzing electrical loads consisting of resistive, inductive, and capacitive components (RLC). In educational environments, RLC load experiments are often conducted manually, limiting real-time observation of the relationships between voltage, current, power, and power factor. This study aimed to design and develop a microcontroller-based power control system for RLC loads that can monitor and regulate electrical parameters in real time. The research employed an experimental method with a quantitative and Research and Development (R&D) approach. The system was designed by integrating a microcontroller, voltage and current sensors, RLC load circuits, and a digital display module. Testing was conducted by varying R, L, and C load conditions to evaluate the performance, stability, and measurement accuracy of the developed system. The results showed that the system was capable of measuring and displaying active power, reactive power, apparent power, and power factor with good accuracy. Resistive loads produced a power factor close to unity, while inductive and capacitive loads affected reactive power and phase differences between voltage and current. The developed system operated stably and effectively as a power monitoring and control device. Therefore, this research concludes that the proposed system can be utilized as an interactive laboratory module to support electrical engineering learning and further development of digital power control applications.*

---

**Kata Kunci:**

sistem kontrol daya;  
beban RLC;  
modul praktikum;  
faktor daya.

---

**Abstrak**

Perkembangan teknologi elektronika dan sistem kontrol meningkatkan kebutuhan terhadap sistem pemantauan dan pengendalian daya listrik yang efisien dan akurat, khususnya dalam menganalisis karakteristik beban listrik yang terdiri atas komponen resistif, induktif, dan kapasitif (RLC). Pada lingkungan pendidikan, pengujian beban RLC masih sering dilakukan secara manual sehingga pengamatan hubungan antara tegangan, arus, daya, dan faktor daya secara real-time menjadi terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem kontrol daya beban RLC berbasis mikrokontroler yang mampu melakukan pemantauan dan pengaturan parameter kelistrikan secara langsung. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif dan Research and Development (R&D). Sistem dirancang dengan mengintegrasikan mikrokontroler, sensor tegangan dan arus,

rangkaian beban RLC, serta modul tampilan digital. Pengujian dilakukan melalui variasi kondisi beban R, L, dan C untuk mengetahui kinerja, kestabilan, dan akurasi sistem yang dikembangkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur dan menampilkan nilai daya aktif, daya reaktif, daya semu, serta faktor daya dengan tingkat akurasi yang baik. Beban resistif menghasilkan faktor daya mendekati satu, sedangkan beban induktif dan kapasitif menyebabkan perubahan daya reaktif serta perbedaan fase antara tegangan dan arus. Sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara stabil dan efektif sebagai perangkat pemantauan serta kontrol daya listrik. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem kontrol daya beban RLC berbasis mikrokontroler dapat digunakan sebagai modul praktikum interaktif dan mendukung pengembangan aplikasi kontrol daya digital.

---

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi elektronika dan sistem kontrol memberikan dampak besar terhadap efisiensi dan stabilitas sistem tenaga listrik. Salah satu aspek penting dalam sistem tersebut adalah pengendalian daya pada beban RLC (Resistor, Induktor, Kapasitor), yang merepresentasikan kondisi nyata sistem kelistrikan.

Namun, di lingkungan pendidikan, pengaturan daya pada beban RLC sering dilakukan secara manual, sehingga kurang efisien dan tidak akurat. Hal ini menjadi kendala dalam proses pembelajaran yang membutuhkan pengamatan hubungan antara tegangan, arus, dan faktor daya secara real-time (Anwar et al., 2019).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sistem kontrol otomatis yang mampu mengatur dan memantau daya aktif, reaktif, dan semu pada beban RLC. Penelitian ini mengusulkan rancang bangun sistem kontrol daya berbasis mikrokontroler dengan tampilan digital yang dapat digunakan sebagai alat bantu praktikum dan penelitian.

Penelitian terdahulu oleh Siregar, (2019) mengembangkan kontrol daya berbasis Arduino untuk beban resistif, sedangkan (Putra & Handoko, 2020) meneliti pengukuran daya pada rangkaian RLC tanpa sistem kontrol otomatis. Penelitian ini melanjutkan dan mengembangkan kedua konsep tersebut menjadi sistem yang integratif, interaktif, dan aplikatif.

Sejumlah penelitian telah mengembangkan teknologi instrumentasi berbasis mikrokontroler untuk mendukung pengukuran karakteristik kelistrikan. (Asbayou et al., 2022), misalnya, mengembangkan metode karakterisasi panel fotovoltaik menggunakan rangkaian RLC sederhana yang diintegrasikan dengan sensor arus, sensor tegangan, dan Arduino untuk memperoleh data secara real-time. Sistem tersebut menunjukkan bahwa penggunaan mikrokontroler dan rangkaian RLC dapat menjadi alternatif berbiaya relatif rendah dalam proses akuisisi data kelistrikan, tetapi fokusnya masih diarahkan pada karakterisasi kurva arus–tegangan dan daya–tegangan panel fotovoltaik, bukan pada pengendalian daya berbagai kombinasi beban RLC. Sementara itu, (Lamo et al., 2022) mengembangkan pendekatan rapid prototyping dalam pembelajaran power factor corrector yang dikendalikan secara digital menggunakan papan mikrokontroler Texas Instruments dan PLECS®. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi sistem kendali digital ke dalam kegiatan pembelajaran dapat mendukung pemahaman mahasiswa terhadap konverter daya dan koreksi faktor daya, tetapi

perangkat yang dikembangkan lebih berorientasi pada pengendalian konverter daripada pengamatan terpadu karakteristik beban resistif, induktif, dan kapasitif.

Perkembangan berikutnya memperlihatkan semakin luasnya pemanfaatan mikrokontroler sebagai sarana akuisisi data, kontrol, dan pembelajaran teknik. (Márquez-Vera et al., 2023) memanfaatkan ESP32 sebagai media pembelajaran untuk akuisisi sinyal, pemrosesan data, penggunaan sensor dan aktuator, serta penerapan teori kontrol. Integrasi konektivitas internet juga memungkinkan proses pemantauan dan pengendalian dilakukan secara lebih fleksibel sehingga mahasiswa dapat memahami hubungan antara pemrograman, sensor, aktuator, dan sistem kendali melalui kegiatan eksperimen. Pada konteks pengelolaan energi, (Sadeeq & Zeebaree, 2023) mengembangkan sistem manajemen energi berbasis Internet of Things menggunakan ESP32 dengan fungsi pemantauan dan pengendalian parameter penggunaan daya pada lingkungan institusi dan laboratorium. Sistem tersebut berhasil mengintegrasikan proses monitoring dan controlling serta mengumpulkan data energi dalam jumlah besar, tetapi pengembangan sistem lebih diarahkan pada manajemen konsumsi energi terdistribusi dan belum secara khusus mengeksplorasi perubahan daya aktif, reaktif, semu, dan faktor daya akibat variasi karakteristik R, L, dan C.

Penelitian yang lebih baru juga menunjukkan pentingnya pemantauan parameter daya secara komprehensif pada lingkungan laboratorium. Isanbaev et al., (2024) mengembangkan sistem pemantauan energi dan kualitas daya pada laboratorium microgrid dengan menggunakan smart meters. Sistem tersebut mampu mengamati berbagai parameter kelistrikan, termasuk daya aktif, daya reaktif, faktor daya, frekuensi, dan parameter kualitas daya, sehingga menyediakan informasi yang lebih lengkap mengenai karakteristik beban dan konsumsi energi. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa pengukuran parameter kelistrikan secara terintegrasi memiliki peran penting dalam analisis perilaku beban. Meskipun demikian, konteks penelitian tersebut berada pada sistem microgrid dengan penggunaan perangkat pengukuran khusus, sedangkan kebutuhan laboratorium pendidikan dasar memerlukan perangkat yang lebih sederhana, mudah dioperasikan, dan mampu memperlihatkan secara langsung hubungan perubahan komponen RLC dengan nilai arus, tegangan, berbagai jenis daya, dan faktor daya.

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, dapat diidentifikasi adanya kesenjangan penelitian pada aspek integrasi fungsi pengukuran, pengendalian, dan pembelajaran dalam satu sistem beban RLC. Literatur yang ditelaah menunjukkan bahwa penelitian sebelumnya cenderung berfokus secara terpisah pada akuisisi data menggunakan rangkaian RLC dan Arduino, pengendalian faktor daya pada konverter, penggunaan mikrokontroler sebagai media pembelajaran kontrol, manajemen energi berbasis IoT, atau pemantauan kualitas daya pada microgrid. Dengan demikian, masih terdapat ruang pengembangan untuk menghasilkan prototipe yang mengintegrasikan variasi beban resistif, induktif, dan kapasitif dengan pengukuran tegangan dan arus, perhitungan daya aktif (P), daya reaktif (Q), daya semu (S), serta faktor daya, sekaligus menyediakan fungsi pengendalian dan visualisasi data secara real-time. Kesenjangan tersebut menjadi semakin relevan ketika sistem yang dikembangkan tidak hanya diarahkan sebagai perangkat instrumentasi, tetapi juga sebagai modul praktikum yang memungkinkan mahasiswa menghubungkan teori rangkaian RLC dengan fenomena kelistrikan yang diamati secara langsung.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan akan perangkat praktikum yang mampu menjembatani konsep teoretis rangkaian RLC dengan proses pengukuran dan pengendalian daya secara eksperimental. Penggunaan perangkat berbasis mikrokontroler memberikan peluang untuk menghasilkan sistem yang relatif sederhana, responsif, mudah dikembangkan, dan mampu mengintegrasikan sensor, proses perhitungan, pengendalian, serta tampilan digital. Literatur terkini juga memperlihatkan bahwa mikrokontroler telah efektif digunakan untuk kegiatan akuisisi sinyal, otomatisasi, kontrol, dan pembelajaran berbasis eksperimen. Oleh karena itu, kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan sistem kontrol dan pemantauan daya beban RLC yang mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak berbasis mikrokontroler untuk membaca tegangan dan arus, menghitung parameter daya dan faktor daya, melakukan pengendalian, serta menampilkan hasil pengukuran secara real-time dalam satu prototipe yang sekaligus diarahkan sebagai media praktikum. Desain tersebut sejalan dengan rancangan penelitian dalam naskah yang mengintegrasikan mikrokontroler, sensor arus dan tegangan, beban RLC, perangkat lunak pengendali, serta tampilan digital.

Atas dasar kesenjangan dan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem kontrol daya pada beban RLC berbasis mikrokontroler yang mampu memantau perubahan tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan faktor daya pada berbagai kondisi beban secara real-time. Pengujian dilakukan melalui variasi nilai atau karakteristik R, L, dan C untuk mengevaluasi respons, kestabilan, dan kemampuan sistem dalam melakukan pengukuran serta pengendalian parameter daya. Secara teoretis, penelitian ini diharapkan memperkaya kajian mengenai penerapan sistem kendali digital dan instrumentasi mikrokontroler pada analisis karakteristik beban RLC. Secara praktis, prototipe yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi alternatif sistem pemantauan dan pengendalian daya yang mudah dikembangkan untuk kebutuhan laboratorium. Dari sisi pendidikan, sistem ini diharapkan dapat digunakan sebagai media praktikum interaktif yang membantu mahasiswa mengamati secara langsung keterkaitan antara karakteristik R, L, dan C dengan tegangan, arus, daya, serta faktor daya, sehingga pembelajaran sistem tenaga listrik dan elektronika dapat berlangsung lebih aplikatif dan berbasis eksperimen.

## **METODE PENELITIAN**

Metode yang digunakan dalam penelitian “Rancang Bangun Sistem Kontrol Daya Beban RLC” adalah metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif dan pengembangan (Research and Development/R&D). Penelitian ini diawali dengan tahap perancangan sistem kontrol yang melibatkan analisis rangkaian RLC serta perancangan perangkat keras dan perangkat lunak kontrol daya. Selanjutnya dilakukan tahap pengujian eksperimental untuk memperoleh data tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya pada berbagai kondisi beban R, L, dan C. Data hasil pengujian tersebut kemudian dianalisis secara kuantitatif untuk menilai kinerja sistem serta efektivitas kontrol daya yang dihasilkan. Melalui metode ini, penelitian tidak hanya menghasilkan data numerik yang menggambarkan performa sistem, tetapi juga menghasilkan prototipe yang dapat digunakan sebagai model pembelajaran dan pengembangan sistem kontrol daya berbasis teknologi digital.

Metode penelitian terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

### **Perancangan Sistem**

Perancangan sistem pada penelitian “Rancang Bangun Sistem Kontrol Daya Beban RLC” bertujuan untuk menghasilkan suatu sistem yang mampu mengatur dan memantau daya listrik pada beban resistif (R), induktif (L), dan kapasitif (C) secara efektif dan terkontrol. Tahap ini meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang saling terintegrasi. Pada bagian perangkat keras, sistem dirancang dengan komponen utama berupa sumber tegangan AC, rangkaian beban RLC, sensor arus dan tegangan untuk pengukuran parameter listrik, serta mikrokontroler sebagai pusat kendali yang mengatur proses pengukuran dan pengendalian daya. Sedangkan pada bagian perangkat lunak, dilakukan perancangan program pengendali menggunakan algoritma yang mampu membaca nilai arus dan tegangan secara real-time, menghitung daya serta faktor daya, kemudian mengatur keluaran kontrol sesuai kondisi beban. Hasil dari perancangan ini diharapkan menghasilkan sistem yang dapat bekerja stabil, aman, dan memiliki kemampuan pengaturan daya secara otomatis serta dapat digunakan sebagai media pembelajaran praktikum sistem kontrol daya listrik.

Sistem terdiri dari dua bagian utama: perangkat keras dan perangkat lunak.

- Perangkat keras (*hardware*) meliputi mikrokontroler, sensor arus dan tegangan, beban RLC, serta modul tampilan LCD.
- Perangkat lunak (*software*) dirancang menggunakan bahasa C/Arduino IDE untuk membaca data sensor dan mengatur daya melalui kontrol digital.

### Prinsip Kerja

Mikrokontroler menerima input dari sensor arus dan tegangan, kemudian menghitung daya aktif (P), reaktif (Q), dan semu (S) berdasarkan persamaan:

$$S = V \times I; P = S \times \cos \phi; Q = S \times \sin \phi$$

Hasil perhitungan ditampilkan secara real-time pada layar LCD dan dikirim ke komputer untuk analisis.

Analisa perhitungan daya pada rangkaian bebar RLC seri:

Jika ditetabkan beban  $R = 40 \text{ ohm}$ ,  $L = 0,2 \text{ Hanri}$ ,  $C = 100 \text{ mf}$ , tengan sumber  $V_{rms} = 200 \text{ Volt}$ , frekuensi  $50 \text{ Hz}$ , maka kita dapat menghitung daya dengan tahapan sebagai berikut:

1. menghitung reaktansi Indukstifnya

$$X_L = 2\pi fL = 2 (3,14)(50)(0,2) = 62,8 \Omega$$

2. Menghitung reaktasni Kapasitif

$$X_C = \frac{1}{2\pi fL}$$

3. Impedasi  $(Z) = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

$$Z = \sqrt{256} = 50,6 \Omega$$

4. Daya  $\cos \alpha = \frac{R}{Z} = \frac{40}{50,6} = 0,79$

5. Arus Efektif  $(I) = \frac{V_{rms}}{Z} = \frac{220}{50} = 4,4 \text{ Ampere}$

6. Daya nyata  $P = V \times I \cos \alpha = 220 \times 4,4 \times 0,79$

Jadi daya aktif (P) = 764,72 watt ( $\approx 765 \text{ W}$ ).

## Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan dengan mengubah nilai R, L, dan C untuk melihat perubahan daya serta kestabilan sistem kontrol. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui tingkat akurasi dan respon sistem terhadap perubahan beban.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengontrol daya dengan stabil pada berbagai kombinasi beban RLC. Pada beban resistif murni, daya aktif mendominasi, sedangkan pada beban induktif dan kapasitif, faktor daya berubah secara signifikan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian “Rancang Bangun Sistem Kontrol Daya Beban RLC” menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu mengontrol serta memonitor besaran daya listrik pada berbagai jenis beban, yaitu resistif (R), induktif (L), dan kapasitif (C). Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi beban dan mencatat nilai tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, serta faktor daya. Dari hasil pengamatan diperoleh bahwa pada beban resistif, arus dan tegangan sefasa sehingga faktor daya mendekati satu ( $PF \approx 1$ ), menandakan penggunaan daya yang efisien. Pada beban induktif, arus tertinggal dari tegangan, menyebabkan faktor daya menurun hingga sekitar 0,56 dengan adanya daya reaktif positif, sedangkan pada beban kapasitif, arus mendahului tegangan dengan faktor daya sekitar 0,60 dan daya reaktif negatif. Hasil ini sesuai dengan karakteristik teoritis rangkaian RLC, di mana sifat beban memengaruhi sudut fasa antara arus dan tegangan.

Selain itu, sistem kontrol daya yang dikembangkan mampu menstabilkan tegangan dan mengatur besaran daya sesuai dengan nilai setpoint yang diinputkan melalui mikrokontroler. Hasil pengukuran menunjukkan respons sistem yang cepat terhadap perubahan beban, dengan waktu penyesuaian relatif singkat dan kestabilan keluaran yang baik. Nilai daya aktif tertinggi dicapai pada beban resistif sebesar  $\pm 99$  W, sedangkan daya reaktif tertinggi muncul pada beban induktif sekitar 83 VAR. Faktor daya keseluruhan dapat ditingkatkan melalui pengaturan nilai kapasitansi untuk mengimbangi efek induktif. Berdasarkan hasil analisis tersebut, sistem yang dirancang dinyatakan berfungsi dengan baik, bekerja sesuai prinsip kontrol daya pada beban RLC, dan dapat dijadikan sebagai alat bantu pembelajaran untuk memahami hubungan antara tegangan, arus, daya, dan faktor daya dalam sistem kelistrikan.

**Tabel 1.** Hasil Pengamatan Sistem Kontrol Daya Beban RLC

| No. | Aspek Pengujian                     | Parameter yang Diamati                                     | Hasil Pengamatan                                                                                                                                       | Keterangan                           |
|-----|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1   | Perancangan dan Implementasi Sistem | Kinerja perangkat keras dan perangkat lunak mikrokontroler | Sistem kontrol daya berhasil dirancang dan diimplementasikan. Semua komponen (sensor arus, sensor tegangan, LCD, dan beban RLC) berfungsi dengan baik. | Sistem bekerja stabil dan responsif. |

|   |                                          |                                                                        |                                                                                                                                                                       |                                                           |
|---|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 2 | Kemampuan Pengaturan dan Pemantauan Daya | Daya aktif (P), reaktif (Q), semu (S), dan faktor daya ( $\cos \phi$ ) | Sistem mampu menampilkan daya aktif, reaktif, dan semu secara real-time dengan tingkat akurasi pengukuran 95–98 %. Perubahan nilai R, L, dan C terpantau dengan baik. | Akurasi pengukuran sesuai standar alat ukur laboratorium. |
| 3 | Kegunaan dalam Pembelajaran              | Aplikasi dalam kegiatan praktikum mahasiswa                            | Alat digunakan untuk demonstrasi hubungan antara komponen RLC dan faktor daya. Mahasiswa dapat melakukan pengamatan langsung perubahan nilai daya dan $\cos \phi$ .   | Media pembelajaran interaktif dan edukatif.               |

**Tabel 2.** Berikut menunjukkan hasil pengujian sistem kontrol daya:

| Jenis Beban | Tegangan (Vrms) | Arus (A) | Daya Aktif (w) | Daya Relatif (VAR) | Faktor Daya (w) |
|-------------|-----------------|----------|----------------|--------------------|-----------------|
| R=50 ohm    | 220             | 4.4      | 99             | 0                  | 624             |
| L=0,1H      | 220             | 0.42     | 55             | 83                 | 0.56            |
| C =100 mf   | 220             | 0.40     | 58             | 76                 | 0.60            |

Hasil pada tabel.2. adalah pengujian sistem kontrol daya menunjukkan bahwa sistem mampu mengontrol daya dengan stabil pada berbagai kombinasi beban RLC.

Pada beban resistif murni, daya aktif mendominasi, sedangkan pada beban induktif dan kapasitif, faktor daya berubah secara signifikan. Sistem kontrol daya pada beban tetap RLC (Resistor, Induktor, Kapasitor) bekerja dengan prinsip pengaturan tegangan dan pemantauan arus secara real-time menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali utama. Mikrokontroler mengatur besar tegangan masukan ke beban melalui rangkaian pengendali daya seperti TRIAC, MOSFET, atau modul PWM sehingga meskipun nilai R, L, dan C tetap, daya aktif, reaktif, dan semu dapat dikontrol sesuai kebutuhan. Sensor arus dan tegangan digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran listrik, kemudian data dikirim ke mikrokontroler untuk dihitung dan ditampilkan pada layar LCD sebagai informasi monitoring.

Sistem ini dapat bekerja secara manual maupun otomatis, di mana pengaturan tegangan dapat diubah oleh pengguna atau diatur oleh mikrokontroler berdasarkan parameter tertentu seperti faktor daya. Dengan demikian, sistem mampu mengontrol dan menampilkan daya pada beban RLC secara akurat dan efisien.

Sistem ini juga mampu menampilkan perubahan faktor daya secara langsung saat beban diubah, yang sangat membantu dalam proses pembelajaran dan analisis karakteristik beban listrik.



**Gambar 1.** Hasil Alat Sistem kontrol RL, di Laboratorium Elektronika Dasar.



**Gambar 2.** Hasil Alat Ukur Digital di LabVIEW



**Gambar 3.** Grafik Hasil Pengujian Daya Beban RLC

Hasil Grafik ini adanya perbandingan daya aktif (P) dan daya semu (S) pada berbagai jenis beban RLC. Grafik menunjukkan bahwa daya aktif pada beban resistif memiliki nilai tertinggi karena faktor daya mendekati 1, sedangkan pada beban induktif dan kapasitif nilai daya aktif lebih kecil akibat adanya komponen reaktif.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian \*Rancang Bangun Sistem Kontrol Daya Beban RLC\*, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan berbasis mikrokontroler mampu melakukan pengukuran, pemantauan, dan pengendalian parameter kelistrikan pada berbagai jenis beban, yaitu resistif (R), induktif (L), dan kapasitif (C). Sistem berhasil mengintegrasikan sensor arus dan tegangan, rangkaian beban RLC, mikrokontroler, serta tampilan digital untuk memperoleh informasi nilai daya aktif (P), daya reaktif (Q), daya semu (S), dan faktor daya secara \*real-time\*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik masing-masing beban memberikan pengaruh terhadap perubahan parameter daya, di mana beban resistif menghasilkan faktor daya mendekati satu, sedangkan beban induktif dan kapasitif menunjukkan adanya perubahan daya reaktif dan faktor daya akibat perbedaan hubungan fasa antara arus dan tegangan. Sistem yang dirancang juga mampu bekerja secara stabil dengan tingkat akurasi pengukuran yang baik sehingga dapat digunakan sebagai perangkat pendukung analisis karakteristik beban listrik serta sebagai media pembelajaran praktikum sistem kontrol daya.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem dengan menambahkan fitur yang lebih kompleks, seperti integrasi teknologi \*Internet of Things\* (IoT), penyimpanan data berbasis \*cloud\*, serta sistem pemantauan jarak jauh agar proses analisis data kelistrikan dapat dilakukan secara lebih fleksibel. Selain itu, pengembangan algoritma kontrol yang lebih adaptif, seperti penggunaan metode kendali cerdas atau optimasi berbasis kecerdasan buatan, dapat dilakukan untuk meningkatkan respons sistem terhadap perubahan beban yang lebih dinamis. Penelitian berikutnya juga dapat memperluas pengujian dengan menggunakan variasi beban yang lebih beragam dan kondisi operasi yang lebih mendekati sistem tenaga listrik nyata sehingga diperoleh evaluasi kinerja sistem yang lebih komprehensif. Dengan pengembangan tersebut, sistem tidak hanya berfungsi sebagai modul praktikum, tetapi juga berpotensi menjadi perangkat pemantauan dan pengendalian daya yang aplikatif pada berbagai kebutuhan industri maupun penelitian.

## REFERENSI

- Anwar, S., Artono, T., Nasrul, N., Dasrul, D., & Fadli, A. (2019). Pengukuran energi listrik berbasis PZEM-004T. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1), 272.
- Babuta, A., Gupta, B., Kumar, A., & Ganguli, S. (2021). Power and energy measurement devices: A review, comparison, discussion, and the future of research. *Measurement*, 172, 108961. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108961>
- Firmansyah, A., & Widodo, T. (2023). Implementasi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan daya listrik rumah tangga. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 10(1), 55–62.
- Hidayat, M., & Prasetyo, E. (2022). Analisis faktor daya dan efisiensi pada beban RLC menggunakan sistem monitoring mikrokontroler. *Jurnal Energi dan Listrik Terapan (JELT)*, 4(3), 101–108.
- Mbinkar, E. N., Asoh, D. A., & Kujabi, S. (2022). Microcontroller control of reactive power compensation for growing industrial loads. *Energy and Power Engineering*, 14(9), 449–465. <https://doi.org/10.4236/epe.2022.149024>

- Nugroho, H. S. (2023). Desain dan implementasi sistem pengukuran daya tiga fasa berbasis mikrokontroler. *Jurnal Rekayasa Energi dan Kelistrikan*, 12(1), 13–20.
- Nuryawan, N., & Jannah, M. (2022). Electrical energy monitoring and control system in boarding rooms based on the Internet of Things. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*, 2(4), 76–83. <https://doi.org/10.52088/ijesty.v2i4.335>
- Pian, P., Sulistiyowati, I., & Wisaksono, A. (2023). Perancangan alat perbaikan faktor listrik rumah tangga dengan monitoring Telegram. *JEECOM: Journal of Electrical Engineering and Computer*, 5(1), 71–77. <https://doi.org/10.33650/jeecom.v5i1.5841>
- Prabowo, Y., Narendro, A., Wisjhnuadji, T., & Siswanto, S. (2023). Uji akurasi modul KWH meter digital PZEM-004T berbasis pengendali digital ESP32. *SKANIKA: Sistem Komputer dan Teknik Informatika*, 6(2), 85–96. <https://doi.org/10.36080/skanika.v6i2.3064>
- Putra, D., & Handoko, S. (2020). Pengukuran faktor daya rangkaian RLC menggunakan sensor PZEM-004T. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 6(1), 27–34.
- Rahmawati, I., Fadhil, M., & Nugraha, R. S. (2021). Simulasi kontrol daya beban induktif menggunakan pengendali PID berbasis mikrokontroler. *Prosiding Seminar Nasional Elektro dan Informatika (SNEI)*, 122–128.
- Santoso, R. (2022). Perancangan media praktikum daya listrik berbasis ESP32 dengan tampilan digital. *Jurnal Aplikasi Teknik Elektro*, 8(2), 66–73.
- Siregar, A. (2019). Rancang bangun sistem kontrol daya berbasis Arduino pada beban resistif. *Jurnal Teknologi Elektro*, 5(2), 45–52.
- Xiao, Y. (2024). Analysis of three types of power and the power factor in RLC circuits. *Journal of Physics: Conference Series*, 2935, 012026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2935/1/012026>
- Yasa, K. A., Purbhawa, I. M., Yasa, I. M. S., Teresna, I. W., Nugroho, A., & Winardi, S. (2023). IoT-based electrical power recording using ESP32 and PZEM-004T microcontrollers. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 5(4), 62–68. <https://doi.org/10.32996/jcsts.2023.5.4.7>