

---

## RANCANGAN SIMULATOR PERBAIKAN FAKTOR DAYA MENGUNAKAN KAPASITOR BANK BERBASIS IOT DI POLITEKNIK PENERBANGAN MEDAN

Bagas Anugrah Ramadhan<sup>1</sup>, Wahyu Kurniawan<sup>2</sup>, Eriansyah Saputra Hasibuan<sup>3</sup>

Politeknik Penerbangan Medan, Medan

e-mail: <sup>1</sup>bagasanugrah25@gmail.com, <sup>2</sup>w\_curug@yahoo.com,

<sup>3</sup>eriansyah.saputra21@gmail.com

**Abstract:** Power factor is the most important parameter in an electrical system AC electrical systems because it affects the efficiency of energy transmission and operational costs. Understanding power factor correction should be taught not only theoretically but also through practice so that students can directly understand its application. To support this learning, a power factor correction system was designed using a capacitor bank with an automatic switching mechanism. This study used a descriptive quantitative method to describe the process of designing and testing the system. The system employs a PZEM-004T sensor to read electrical parameters, then automatically calculates the required power factor correction and activates capacitor combinations through a 4-channel relay module. The measurement results are displayed on an LCD and can be monitored through the Blynk application based on the Internet of Things. Testing showed that the system successfully increased the power factor from an initial value below 0.75 to above 0.84. With automatic switching and IoT-based monitoring features, this tool is expected to be effective as an interactive learning simulator to understand the principles of power factor correction.

**Keywords:** Power Factor Correction, Capacitor Bank, Internet of Things

**Abstrak:** Faktor daya merupakan parameter terpenting yang ada pada sistem kelistrikan AC karena memengaruhi efisiensi penyaluran energi dan biaya operasional. Pemahaman mengenai koreksi faktor daya perlu diajarkan tidak hanya secara teoritis, tetapi juga melalui praktik agar mahasiswa dapat memahami penerapannya secara langsung. Untuk mendukung pembelajaran tersebut, dirancang sebuah sistem perbaikan faktor daya berbasis kapasitor bank dengan mekanisme *switching* otomatis. Penelitian ini akan menggunakan metode deskriptif kuantitatif untuk menggambarkan proses perancangan dan pengujian sistem. Sistem menggunakan sensor PZEM-004T untuk membaca parameter kelistrikan, kemudian sistem secara otomatis menghitung kebutuhan perbaikan faktor daya dan mengaktifkan kombinasi kapasitor melalui modul relay 4 *channel*. Hasil pembacaan parameter kelistrikan ditampilkan pada LCD serta dapat dipantau melalui aplikasi Blynk berbasis *Internet of Things*. Pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil meningkatkan faktor daya dari nilai awal di bawah 0,75 menjadi di atas 0,84. Dengan fitur *switching* otomatis dan *monitoring* berbasis IoT, alat ini diharapkan efektif digunakan sebagai simulator pembelajaran yang interaktif untuk memahami prinsip koreksi faktor daya.

**Kata kunci:** Perbaikan Faktor Daya, Kapasitor Bank, *Internet of Things*

### PENDAHULUAN

Dalam sistem kelistrikan AC, daya terbagi menjadi tiga komponen utama, yaitu: daya aktif (W) yakni energi yang

digunakan untuk melakukan kerja nyata, daya reaktif (VAR) yakni energi yang tidak dapat digunakan untuk melakukan kerja nyata tetapi mengalir pada jaringan listrik karena pembentukan medan magnet

pada beban induktif, dan daya semu (VA) yakni kombinasi dari keduanya. Rasio antara daya aktif dan daya semu disebut sebagai faktor daya ( $\cos \phi$ ). Daya menjadi besaran energi yang berubah dalam suatu rangkaian listrik berdasarkan nilai tegangan dan arus setiap satuan waktu. Faktor daya memegang peran penting dalam menentukan efisiensi penggunaan listrik dalam suatu sistem kelistrikan (Sartika et al., 2025). Faktor daya yang rendah menandakan peningkatan penggunaan daya reaktif pada sistem kelistrikan, sehingga penggunaan listrik tidak dimanfaatkan secara optimal dan menyebabkan efisiensi energi listrik menurun (Heryanto et al., 2023).

Mengacu pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 20 Tahun 2020, faktor daya pada titik sambung antara pengguna dan sistem tenaga listrik ditetapkan berada pada kisaran rata-rata 0,9. Pengguna jaringan listrik, khususnya pada instalasi tegangan menengah dan tinggi diwajibkan untuk memenuhi ketentuan tersebut agar tidak dikenakan denda. Selain itu, faktor daya yang rendah juga dapat mengakibatkan daya aktif yang dapat dimanfaatkan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan total daya yang terpasang (Ramadhan et al., 2021).

Faktor daya yang rendah umumnya terjadi akibat penggunaan beban induktif seperti motor listrik, pompa air, dan AC (*Air Conditioner*). Pengoperasian beban induktif secara bersamaan dapat menyebabkan faktor daya menjadi *lagging* dan meningkatkan konsumsi daya reaktif, sehingga menurunkan nilai faktor daya dan mengakibatkan pemanfaatan daya listrik menjadi tidak optimal. Pemakaian kapasitor bank merupakan cara yang sering dilakukan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Penelitian oleh Hajar & Julianti (2021) menunjukkan bahwa penggunaan kapasitor bank mampu meningkatkan faktor daya menjadi mendekati satu, sehingga konsumsi daya listrik menjadi lebih efisien.

Di Politeknik Penerbangan Medan tersedia alat *power factor regulator* yang

berfungsi untuk mengoreksi faktor daya listrik secara otomatis pada sistem tiga fasa. Namun, penggunaannya masih kurang optimal untuk simulasi pembelajaran perbaikan faktor daya. Hal ini disebabkan oleh penggunaan alat yang lebih ditujukan untuk skala industri, dengan kapasitor bank berkapasitas besar yang membutuhkan beban berdaya besar juga agar kinerja kapasitornya dapat terlihat dengan optimal.

Oleh karena itu, diperlukan simulator pembelajaran yang lebih sederhana, fleksibel, dan aplikatif dengan berbasis sistem listrik satu fasa, yang memungkinkan penggunaan beban induktif yang lebih mudah ditemukan dan divariasikan. Alat yang dirancang tidak hanya menyalurkan daya kapasitif ke beban, tetapi juga dilengkapi dengan mekanisme *switching* otomatis untuk menyesuaikan jumlah kapasitor yang aktif sesuai dengan kondisi beban. Sebagai bentuk pendekatan pembelajaran yang lebih interaktif, alat ini juga dapat diintegrasikan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Dengan adanya sistem ini, proses *monitoring* dan kontrol berbagai perangkat dapat dilakukan secara efisien tanpa memerlukan kontrol langsung dari pengguna (Erwin et al., 2023). Melalui integrasi ini, mahasiswa/i dapat memantau kondisi parameter kelistrikan pada alat tersebut melalui *smartphone* (Rifa et al., 2024).

## METODE

Pelaksanaan penelitian ini mengacu pada metode deskriptif kuantitatif. Menurut Sugiyono (2019), metode deskriptif digunakan untuk menjelaskan suatu gejala atau proses tanpa menghubungkannya dengan variabel lain atau menguji hipotesis tertentu. Metode ini diterapkan untuk mendeskripsikan seluruh proses perancangan dan pengujian sistem.

Tahapan penelitian meliputi perancangan alat yang mencakup desain sistem, cara kerja, serta integrasi

komponen utama meliputi sensor PZEM-004T, mikrokontroler ESP32, modul relay 4 channel, kapasitor, LCD, dan aplikasi Blynk. Selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui kinerja sistem, yang difokuskan pada dua aspek utama, yaitu perbaikan faktor daya menggunakan mekanisme *switching* otomatis dan *monitoring* berbasis (*Internet of Things*) IoT untuk menampilkan parameter kelistrikan pada aplikasi Blynk.

Komunikasi serial berlangsung melalui pin TX dan RX, di mana pin TX sensor terhubung ke GPIO 16 ESP32 dan pin RX sensor ke GPIO 17 ESP32 untuk pertukaran data kelistrikan.

3. Rangkaian LCD 20X4



**Gambar 3 Rangkaian LCD 20X4**

Suplai tegangan 5V untuk LCD diberikan melalui sambungan pin VCC dengan pin VIN pada ESP32, serta penyamaan ground dilakukan dengan menghubungkan pin GND LCD ke pin GND ESP32. Pin SDA LCD dihubungkan ke GPIO 21 ESP32 untuk fungsi pengiriman data, sedangkan pin SCL LCD disambungkan ke GPIO 22 ESP32 guna melakukan sinkronisasi data.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perancangan Perangkat Keras**

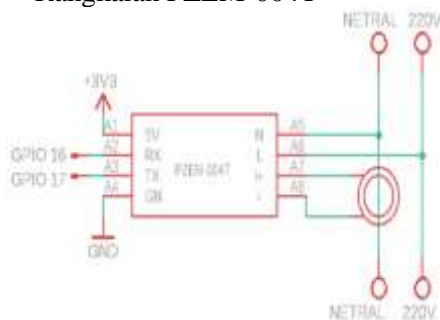
1. Rangkaian *Power Supply*



**Gambar 1 Rangkaian Power Supply**

Pada modul LM2596, pin +OUT dihubungkan ke pin VIN ESP32 sebagai jalur utama suplai 5V, sedangkan pin –OUT dihubungkan ke pin GND ESP32 sebagai ground sistem. Rangkaian ini memastikan semua komponen memiliki referensi tegangan dan ground yang sama agar data dapat terbaca dengan benar.

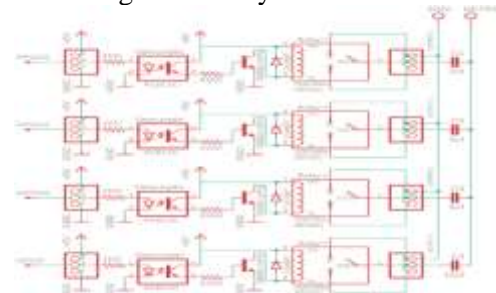
2. Rangkaian PZEM-004T



**Gambar 2 Rangkaian PZEM-004T**

Suplai tegangan pada sensor PZEM-004T diberikan melalui sambungan pin 5V dengan pin VIN pada ESP32, serta penyamaan ground dilakukan dengan menghubungkan pin GND sensor ke pin GND ESP32.

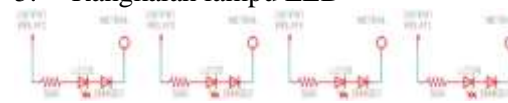
4. Rangkaian Relay 4 Channel



**Gambar 4 Rangkaian Kapasitor Bank**

Pin VCC pada relay dihubungkan ke pin VIN ESP32 sebagai sumber daya, sedangkan pin GND relay dikoneksikan ke pin GND ESP32 agar ground keduanya sama. Pin IN1 pada relay dihubungkan ke pin GPIO 23 untuk mengendalikan relay 1, pin IN2 ke GPIO 19 untuk mengendalikan relay 2, pin IN3 ke GPIO 18 untuk mengendalikan relay 3, dan pin IN4 ke GPIO 5 pada ESP32 untuk mengendalikan relay 4.

5. Rangkaian lampu LED



**Gambar 5 Rangkaian Lampu LED**

Relay 1 mengaktifkan LED 1, relay 2 mengaktifkan LED 2, relay 3 mengaktifkan LED 3, dan relay 4 mengaktifkan LED 4. Pada setiap rangkaian LED, dihubungkan komponen resistor 56K yang berfungsi untuk membatasi arus, dan diode 1N4007 yang berfungsi untuk melindungi LED dari tegangan balik saat siklus negatif pada arus AC.

### Perancangan Perangkat Lunak

#### 1. Pemrograman Perbaikan Faktor Daya Menggunakan *Switching* Otomatis Kapasitor Bank

Pemrograman perbaikan faktor daya menggunakan aplikasi Arduino IDE untuk mengatur komponen utama sistem agar berfungsi secara terintegrasi dan menjalankan logika *switching* otomatis kapasitor bank. Uraian proses pemrograman adalah sebagai berikut:

1. Seluruh *library* diinstal melalui menu *Manage Libraries* sebelum penulisan program utama pada Arduino IDE.
2. Sensor PZEM-004T berperan dalam mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan (V), arus (I), dan faktor daya (PF), yang selanjutnya dijadikan dasar perhitungan kebutuhan kapasitansi.
3. Perhitungan daya aktif (P), daya semu (S), dan daya reaktif (Q) dilakukan oleh sistem saat ini ( $Q_{now}$ ) berdasarkan data sensor. Perhitungan ini dijalankan ketika faktor daya berada di bawah 0,75, kemudian hasilnya dibandingkan dengan daya reaktif target ( $Q_{target}$ ) pada faktor daya 0,95. Selisih keduanya menghasilkan kompensasi daya reaktif ( $Q_c$ ) yang selanjutnya dikonversi menjadi nilai kapasitansi dalam mikروفarad.
4. Program pemilihan kapasitor digunakan untuk menentukan kombinasi kapasitor yang paling mendekati nilai kebutuhan. Seluruh kombinasi kapasitor dibandingkan, dan kombinasi dengan selisih terkecil dipilih sebagai hasil terbaik untuk

diaktifkan melalui modul relay 4 *channel*.

5. Sistem menampilkan seluruh parameter kelistrikan, serta memberikan informasi mengenai kapasitor yang sedang aktif pada LCD 20×4.
6. Jika faktor daya setelah perbaikan kembali turun di bawah 0,75 akibat perubahan beban, sistem akan memutus seluruh kapasitor aktif dan melakukan perhitungan ulang.
7. Seluruh kapasitor dinonaktifkan secara otomatis ketika sistem mendeteksi kondisi tanpa beban, yang ditandai dengan daya aktif kurang dari 5 watt.

#### 2. Pemrograman *Monitoring* Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Perancangan sistem *monitoring* berbasis IoT menggunakan dua aplikasi utama, yaitu Blynk untuk pengaturan virtual pin dan *dashboard*, serta Arduino IDE digunakan untuk membuat dan mengunggah program ke ESP32 sehingga data sensor dapat dikirimkan ke Blynk. Uraian proses pemrograman *monitoring* adalah sebagai berikut:

1. Parameter kelistrikan dihubungkan ke virtual pin Blynk, yaitu V0 untuk tegangan, V1 untuk arus, V2 untuk faktor daya, V3 untuk daya semu, V4 untuk daya reaktif, V5 untuk daya aktif, dan V6 untuk kondisi kapasitor yang digunakan.
2. Konfigurasi *dashboard* dilakukan pada aplikasi Blynk dengan menambahkan *widget* yang terhubung ke masing-masing virtual pin sehingga parameter kelistrikan dapat ditampilkan secara visual.
3. ESP32 diprogram melalui Arduino IDE dengan memasukkan ID *template*, nama *template*, dan token autentikasi agar dapat terhubung ke server Blynk melalui Wi-Fi.
4. Data sensor dikirim menggunakan perintah Blynk.virtualWrite() dan ditampilkan pada *dashboard* Blynk.

### Pengujian Alat Secara Keseluruhan

### 1. Pengujian Perbaikan Faktor Daya Menggunakan *Switching* Otomatis Kapasitor Bank

Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi beban lampu TL, baik secara tunggal maupun kombinasi. Identifikasi beban ditunjukkan pada Tabel 1.

Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu tanpa sistem perbaikan faktor daya dan dengan sistem perbaikan

faktor daya menggunakan *switching* otomatis. Parameter yang diukur meliputi tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, serta faktor daya, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Untuk menegaskan hasil perbandingan, Gambar 6 menyajikan grafik perbandingan faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan, yang menunjukkan peningkatan dari nilai awal di bawah 0,75 menjadi 0,84–0,95.

**Tabel 1 Identifikasi Beban**

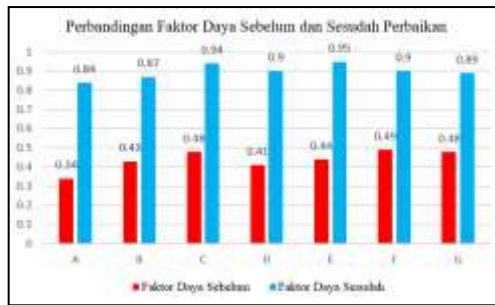
| Kode Beban | Beban  |
|------------|--|
| A          | Lampu TL 10 Watt                                       |
| B          | Lampu TL 18 Watt                                       |
| C          | Lampu TL 36 Watt                                       |
| D          | Lampu TL 10 Watt +<br>Lampu TL 18 Watt                 |
| E          | Lampu TL 10 Watt +<br>Lampu TL 36 Watt                 |
| F          | Lampu TL 18 Watt +<br>Lampu TL 36 Watt                 |
| G          | Lampu TL 10 Watt + Lampu TL 18 Watt + Lampu TL 36 Watt |

**Tabel 2 Pengujian Beban Sebelum Perbaikan Faktor Daya**

| Kode Beban | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya Semu (VA) | Daya Aktif (W) | Daya Reaktif (VAR) | Faktor Daya |
|------------|--------------|----------|----------------|----------------|--------------------|-------------|
| A          | 228.6        | 0.20     | 46.18          | 15.70          | 43.43              | 0.34        |
| B          | 228.4        | 0.31     | 69.89          | 30.05          | 63.10              | 0.43        |
| C          | 228.3        | 0.33     | 75.11          | 36.80          | 65.48              | 0.49        |
| D          | 228.6        | 0.50     | 114.53         | 44.67          | 105.46             | 0.39        |
| E          | 228.5        | 0.52     | 118.82         | 52.28          | 106.70             | 0.44        |
| F          | 228.3        | 0.61     | 139.72         | 67.07          | 122.57             | 0.48        |
| G          | 228.1        | 0.81     | 184.53         | 81.19          | 165.71             | 0.44        |

**Tabel 3 Pengujian Beban Sesudah Perbaikan Faktor Daya**

| Kode Beban | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya Semu (VA) | Daya Aktif (W) | Daya Reaktif (VAR) | Faktor Daya | C ( $\mu$ F) |
|------------|--------------|----------|----------------|----------------|--------------------|-------------|--------------|
| A          | 228.6        | 0.09     | 19.43          | 16.32          | 10.54              | 0.84        | 2            |
| B          | 228.4        | 0.15     | 34.95          | 30.40          | 17.23              | 0.87        | 4            |
| C          | 228.3        | 0.17     | 39.95          | 37.56          | 13.63              | 0.94        | 4            |
| D          | 228.7        | 0.22     | 51.00          | 45.90          | 22.23              | 0.90        | 6            |
| E          | 228.6        | 0.25     | 56.46          | 53.64          | 17.63              | 0.95        | 6            |
| F          | 228.3        | 0.33     | 74.88          | 67.39          | 32.64              | 0.90        | 6            |
| G          | 228.1        | 0.41     | 92.61          | 82.42          | 42.23              | 0.89        | 8            |



Gambar 6 Grafik Perbandingan

## 2. Pengujian *Monitoring* Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Pengujian *monitoring* dilakukan untuk memastikan bahwa data parameter kelistrikan yang ditampilkan pada LCD sesuai dengan data yang dikirim dan ditampilkan melalui aplikasi Blynk pada *smartphone*.

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan cara membandingkan sejumlah parameter, yaitu tegangan, arus, faktor daya, daya aktif, daya semu, daya reaktif, dan kondisi kapasitor pada kedua media. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Pengujian *Monitoring* IoT

| No. | Parameter         | LCD      | Blynk |
|-----|-------------------|----------|-------|
| 1.  | Tegangan          | V: 238.4 | 238.4 |
| 2.  | Arus              | I: 0.69  | 0.69  |
| 3.  | Faktor Daya       | PF: 0.83 | 0.84  |
| 4.  | Daya Aktif        | P: 16.84 | 16.84 |
| 5.  | Daya Semu         | S: 19.81 | 19.81 |
| 6.  | Daya Reaktif      | Q: 11.18 | 11.18 |
| 7.  | Kondisi Kapasitor | C: 2uF   | 2.000 |

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* mampu menampilkan data pada aplikasi Blynk sesuai dengan tampilan pada LCD.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem, maka penulis menyimpulkan bahwa telah dirancang simulator pembelajaran yang dapat menyimulasikan perbaikan faktor daya pada sistem kelistrikan satu fasa.. Alat ini dilengkapi dengan *switching* otomatis kapasitor bank yang memungkinkan mahasiswa memahami konsep perbaikan faktor daya yang lebih praktis.

Sistem ini dapat memperbaiki nilai faktor daya secara efektif melalui sistem *switching* otomatis yang dapat mengaktifkan kombinasi kapasitor sesuai kebutuhan. Dengan mekanisme tersebut, faktor daya yang sebelumnya berada di bawah 0,75 berhasil diperbaiki hingga mencapai nilai di atas 0,84.

Selain itu, sistem ini juga mampu memantau parameter kelistrikan menggunakan *handphone* melalui aplikasi Blynk berbasis *Internet of Things* (IoT).

## DAFTAR PUSTAKA

- Permen ESDM]. (2020). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2020 Tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik*. 1–1019.
- Erwin, E., Datya, I. A., Nurohim, N., Sepriano, S., Waryono, W., Adhicandra, I., Budihartono, E., & Purnawati, N. W. (2023). *PENGANTAR DAN PENERAPAN INTERNET OF THINGS: Konsep dasar & Penerapan IoT di berbagai Sektor* (Issue March 2024). [www.buku.sonpedia.com](http://www.buku.sonpedia.com)

- Hajar, I., & Julianti, S. N. (2021). Kapasitas Kapasitor Koreksi Faktor Daya Pada Pelanggan Rumah Tangga 6600 VA. *Sutet*, 11(2), 94–104.  
<https://doi.org/10.33322/sutet.v11i2.1576>
- Heryanto, P. A., Mulyono, N., & Septiyanto, D. (2023). Rancang Bangun Alat Kalibrasi PFC Berbasis Variabel Arus dan Beda Fasa. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 14(1), 378–386.  
<https://doi.org/10.35313/irwns.v14i1.5415>
- Prof. Dr. Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Issue Septembfile:///C:/Users/asus/Downloads/29-64-1-SM.pdf)file:///C:/Users/asus/Downloads/29-64-1-SM.pdf
- ds/29-64-1-SM.pdf 2016).
- Ramadhan, R., Saputra, Z., & Surojo. (2021). Rancang Bangun Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Berbasis Mikrokontroler Untuk Beban Rumah Tangga Dengan Daya Maksimal 900 W. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 287–293.
- Rifa, Risky Sandiari, Joni Eka Candra, & Zainul Munir. (2024). Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis Internet of Things Menggunakan Aplikasi Blynk. *Jurnal Quacom: Quantum Computer Jurnal*, 2(1), 30–34.  
<https://doi.org/10.62375/jqc.v2i1.329>
- Sartika, L., Prasetia, A. M., Riyanto, S., & Aswan, M. (2025). *KOREKTOR FAKTOR DAYA OTOMATIS PADA LISTRIK RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN KOMBINASI KAPASITOR SECARA SERI PARALEL*. 11(1), 25–31.