

Desain dan Implementasi Kapasitor Bank Otomatis Berbasis Mikrokontroler untuk Koreksi Faktor Daya

Ibrohim^{1*}, Subuh Isnur Haryudo², Endryansyah³, Hafidz Nindhom Zen⁴

^{1,2,3,4}Proram Studi S1-Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya; Gedung A5 Kampus Ketintang, Surabaya 60231, Indonesia; s1-elektro@unesa.ac.id

Received: 17-10-2025

Accepted: 14-01-2025

Keywords:

Automatic Capacitor Bank System;

Power factor ($\cos \phi$);

Energy efficiency;

Household installation;

Adaptive automation;

Correspondent Email:

ibrohim@unesa.ac.id

Abstrak. Efisiensi energi listrik pada instalasi rumah tangga menjadi permasalahan penting akibat rendahnya nilai faktor daya ($\cos \phi$), yang umumnya disebabkan oleh penggunaan peralatan induktif seperti pendingin udara, lemari es, dan pompa air. Kondisi ini menimbulkan pemborosan energi serta meningkatkan beban pada sistem distribusi listrik. Penelitian ini merancang sistem kapasitor bank otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Nano untuk mengoreksi faktor daya secara dinamis. Sistem dilengkapi dengan sensor PZEM-004T yang memantau tegangan, arus, dan faktor daya secara real-time. Berdasarkan hasil pengukuran, mikrokontroler mengatur relay untuk menghubungkan kapasitor dengan nilai kapasitansi paling sesuai dengan kondisi beban. Inovasi utama sistem ini terletak pada mekanisme otomasi adaptif yang mampu merespons fluktuasi beban secara cepat dan efisien. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan nilai faktor daya hingga mendekati 1,0, sehingga dapat mengurangi energi reaktif, menekan biaya tagihan listrik, dan meningkatkan efisiensi serta stabilitas sistem kelistrikan rumah tangga secara keseluruhan.

Abstract. Electrical energy efficiency in household installations is a critical issue, primarily due to the low power factor ($\cos \phi$) caused by the dominant use of inductive appliances such as air conditioners, refrigerators, and water pumps. This condition results in significant energy losses and increases the load on residential electrical networks. This study designs an automatic capacitor bank system based on an Arduino Nano microcontroller to dynamically correct the power factor. The system is equipped with a PZEM-004T sensor to monitor voltage, current, and power factor in real time. Based on the measured data, the microcontroller automatically controls relay modules to connect capacitors with the most suitable capacitance according to load variations. The main innovation of this system lies in its adaptive automation mechanism, which enables a rapid and efficient response to electrical load fluctuations. Implementation results show that the system can improve the power factor to nearly 1.0, effectively reducing reactive energy consumption, lowering electricity costs, and enhancing the overall efficiency and stability of household electrical systems.

1. PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik pada sektor rumah tangga, khususnya bagi pelanggan dengan daya 2200 VA, sering kali menjadi isu penting yang kurang mendapat perhatian. Salah satu parameter utama dalam menilai kualitas daya

listrik adalah nilai faktor daya ($\cos \phi$) [1]. Sebagian besar peralatan rumah tangga modern seperti pendingin udara, pompa air, dan lemari es memiliki karakteristik beban induktif yang menyebabkan nilai faktor daya menjadi rendah, bahkan sering berada di bawah standar PLN

sebesar 0,85. Kondisi ini menunjukkan tingginya konsumsi daya reaktif—energi yang tidak menghasilkan kerja nyata, namun tetap memberikan beban pada jaringan listrik dan meningkatkan biaya konsumsi Listrik [2]. Akibatnya, terjadi penurunan kualitas daya, ketidakefisienan energi, serta pemborosan biaya Listrik [3].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, solusi teknis yang paling efektif adalah dengan memasang kapasitor bank, yang berfungsi sebagai pemasok daya reaktif lokal untuk menyeimbangkan beban induktif [4]. Dengan demikian, jaringan listrik tidak perlu lagi memasok daya reaktif dalam jumlah besar, sehingga arus total berkurang, rugi daya dapat ditekan, dan kualitas daya meningkat melalui perbaikan nilai faktor daya mendekati angka ideal ($\cos \phi \approx 1$) [5]. Meskipun penggunaan kapasitor bank bukanlah hal baru, sebagian besar sistem yang ada masih bersifat manual. Pengguna harus mengaktifkan kapasitor secara statis, yang kurang efektif untuk lingkungan rumah tangga dengan karakteristik beban listrik yang dinamis dan bervariasi sepanjang hari. Keterbatasan inilah yang menjadi celah untuk inovasi [6].

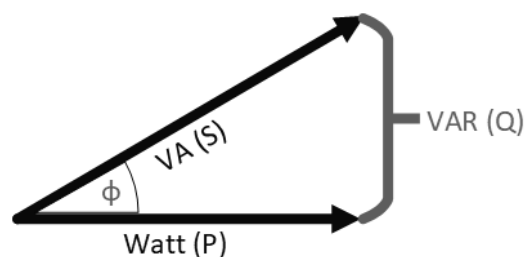
Penelitian ini merancang sistem kapasitor bank otomatis berbasis Arduino sebagai solusi adaptif untuk meningkatkan kualitas daya pada skala rumah tangga. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino Nano sebagai unit pemroses utama yang terintegrasi dengan sensor PZEM-004T untuk memantau parameter listrik seperti tegangan, arus, dan faktor daya secara real-time. Berdasarkan data pengukuran tersebut, sistem secara cerdas mengaktifkan relay untuk menghubungkan kapasitor dengan nilai kapasitansi yang paling sesuai dengan kebutuhan beban saat itu.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk merancang, mengimplementasikan, dan menganalisis kinerja sistem kapasitor bank otomatis dalam meningkatkan kualitas daya, khususnya faktor daya, pada instalasi listrik pelanggan 2200 VA. Efektivitas sistem dievaluasi melalui perbandingan kondisi kelistrikan sebelum dan sesudah pemasangan, serta analisis dampak ekonominya dalam bentuk potensi penghematan biaya listrik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan bukti teknis terhadap solusi penghematan

energi yang praktis, otomatis, dan terjangkau bagi masyarakat luas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Faktor daya ($\cos \phi$) merupakan perbandingan antara daya aktif (P) dan daya semu (S) dalam suatu sistem tenaga listrik [7]. Hubungan antara ketiga komponen daya daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S) dapat digambarkan dalam bentuk segitiga daya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Segitiga Daya

Faktor daya menggambarkan tingkat efisiensi penggunaan energi listrik oleh suatu beban. Secara matematis, faktor daya dirumuskan sebagai [8]:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Keterangan :

$\cos \phi$ = Faktor Daya

P = Daya aktif

S = Daya semu

Dalam sistem tenaga listrik, nilai faktor daya yang rendah umumnya disebabkan oleh adanya daya reaktif (Q) yang muncul akibat penggunaan beban induktif, seperti motor listrik, transformator, dan berbagai peralatan elektronik lainnya [9]. Kondisi ini menyebabkan peningkatan arus listrik, yang berimplikasi pada meningkatnya rugi-rugi daya serta berkurangnya kapasitas penghantar. Oleh karena itu, peningkatan faktor daya menjadi aspek penting dalam upaya meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan [10].

PT PLN (Persero) menetapkan batas minimal nilai faktor daya sebesar 0,85 sebagai standar efisiensi penggunaan energi listrik. Faktor daya sendiri merepresentasikan seberapa besar porsi energi listrik yang digunakan secara efektif untuk menghasilkan kerja nyata dibandingkan dengan total daya yang disuplai

[11]. Nilai faktor daya yang rendah menandakan bahwa sebagian besar daya yang dikonsumsi berupa daya reaktif, yang tidak menghasilkan kerja mekanis, namun tetap membebani jaringan distribusi [12].

Apabila pelanggan memiliki faktor daya di bawah standar tersebut, hal ini menunjukkan adanya dominasi beban induktif seperti pendingin udara, pompa air, atau motor listrik, yang menyebabkan arus dalam jaringan meningkat dan menimbulkan rugi-rugi daya [13]. Peningkatan arus juga berdampak pada naiknya suhu penghantar serta menurunkan kestabilan dan efisiensi sistem distribusi listrik [14].

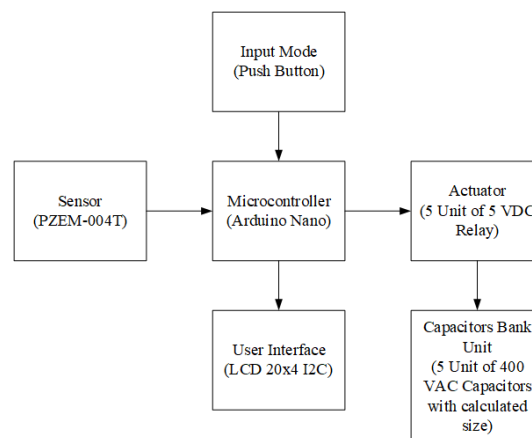
Sebagai langkah pengendalian, PLN mewajibkan agar nilai faktor daya minimal berada pada angka 0,85. Pelanggan yang memiliki nilai di bawah batas tersebut dianggap menyumbang daya reaktif yang berlebih ke jaringan, sehingga menyebabkan peningkatan arus dan menurunkan efisiensi distribusi. Salah satu solusi teknis yang umum diterapkan untuk mengatasi hal ini adalah pemasangan kapasitor bank, yang berfungsi mengompensasi daya reaktif dan meningkatkan faktor daya mendekati 1,0 [15].

Melalui kebijakan ini, PLN berupaya menjaga kestabilan dan efisiensi jaringan listrik nasional. Di sisi lain, pelanggan diharapkan memiliki kesadaran terhadap pentingnya efisiensi energi dengan menerapkan teknologi pendukung, seperti sistem kapasitor bank otomatis berbasis mikrokontroler Arduino. Sistem ini dapat mengatur faktor daya secara dinamis, sehingga sangat relevan untuk membantu pelanggan rumah tangga (R1) dalam memenuhi standar efisiensi energi listrik yang ditetapkan oleh PLN.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Desain Arsitektur Sistem Otomatis

Sistem ini dirancang dengan arsitektur yang membagi fungsi kerja menjadi tiga bagian utama yang saling terhubung, yaitu modul sensor, unit kendali utama, dan perangkat aktuator. Pendekatan ini memisahkan fungsi secara logis sehingga mempermudah proses perancangan dan pengujian sistem pada instalasi rumah tangga dengan daya 2200 VA.



Gambar 2. Desain Arsitektur Sistem Otomatis

3.1.1. Sensor dan Input

Modul sensor berfungsi sebagai subsistem yang bertugas mengukur parameter kelistrikan pada jaringan rumah secara langsung. Data pengukuran yang akurat menjadi masukan utama bagi algoritma kendali otomatis. Penelitian ini menggunakan sensor PZEM-004T, karena mampu mengukur tegangan, arus, daya aktif, energi, dan faktor daya secara simultan. Sensor ini memiliki akurasi tinggi, andal, serta mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler. Data yang diperoleh dikirim ke unit kendali utama untuk diproses. Selain sensor, sistem juga dilengkapi dengan tombol tekan (push button) sebagai input tambahan untuk memilih mode operasi.

3.1.2. Unit Kendali Utama (Mikrokontroler)

Unit kendali utama berfungsi sebagai pusat pemrosesan data dan pengambilan keputusan. Komponen ini memungkinkan sistem bekerja secara otomatis dan adaptif. Mikrokontroler Arduino Nano digunakan sebagai unit utama untuk mengeksekusi algoritma yang telah diprogram sebelumnya. Mikrokontroler ini menganalisis data dari sensor dan menentukan tindakan koreksi yang diperlukan. Pemilihan Arduino Nano didasarkan pada ukurannya yang ringkas, konsumsi daya rendah, serta kompatibilitas luas terhadap berbagai modul tambahan.

3.1.3. Perangkat Aktuator

Perangkat aktuator merupakan komponen yang melakukan tindakan fisik untuk memperbaiki faktor daya berdasarkan

perintah dari unit kendali. Sistem ini menggunakan rangkaian lima relay DC yang dihubungkan dengan bank kapasitor bernilai kapasitansi berbeda sesuai hasil perhitungan perencanaan. Relay berfungsi sebagai sakelar elektronik yang menghubungkan kapasitor paling sesuai ke jaringan listrik berdasarkan analisis data sensor xoleh Arduino Nano. Proses ini bertujuan mengompensasi daya reaktif beban dan meningkatkan nilai faktor daya mendekati kondisi ideal.

3.1.4. Antarmuka Pengguna

Untuk memudahkan pemantauan kinerja sistem, ditambahkan antarmuka visual berupa LCD I2C 20x4. Layar ini menampilkan informasi penting secara real-time, seperti tegangan, arus, daya, faktor daya, serta status relay yang aktif. Dengan demikian, pengguna dapat memantau efektivitas peningkatan kualitas daya secara langsung.

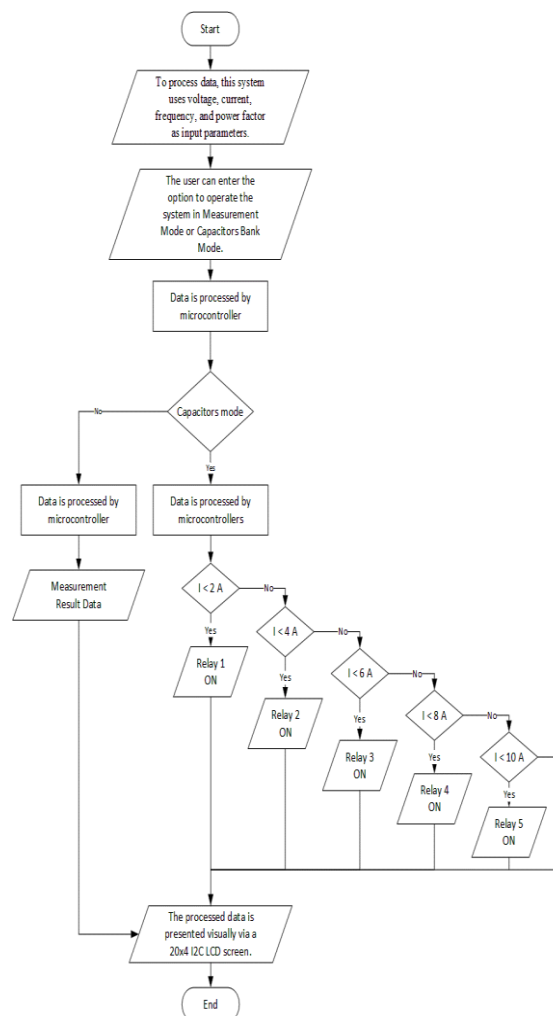
3.2. Logika Operasional Sistem

Logika operasional sistem, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, disusun berdasarkan alur kerja berurutan. Pada tahap awal, sensor PZEM-004T mengukur parameter kelistrikan secara real-time, meliputi tegangan, arus, frekuensi, dan faktor daya. Data ini kemudian dikirim ke mikrokontroler untuk diproses.

Pengguna memberikan input sekunder melalui tombol mode, untuk memilih antara mode pengukuran pasif dan mode aktif kapasitor bank. Kedua sinyal tersebut diteruskan ke Arduino Nano yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Dalam mode kapasitor bank, Arduino menjalankan algoritma kendali otomatis yang mengaktifkan kapasitor berdasarkan perubahan arus beban secara bertahap, yaitu setiap kenaikan 2 ampere. Sebaliknya, pada mode pengukuran, sistem hanya menampilkan data tanpa melakukan tindakan koreksi otomatis.

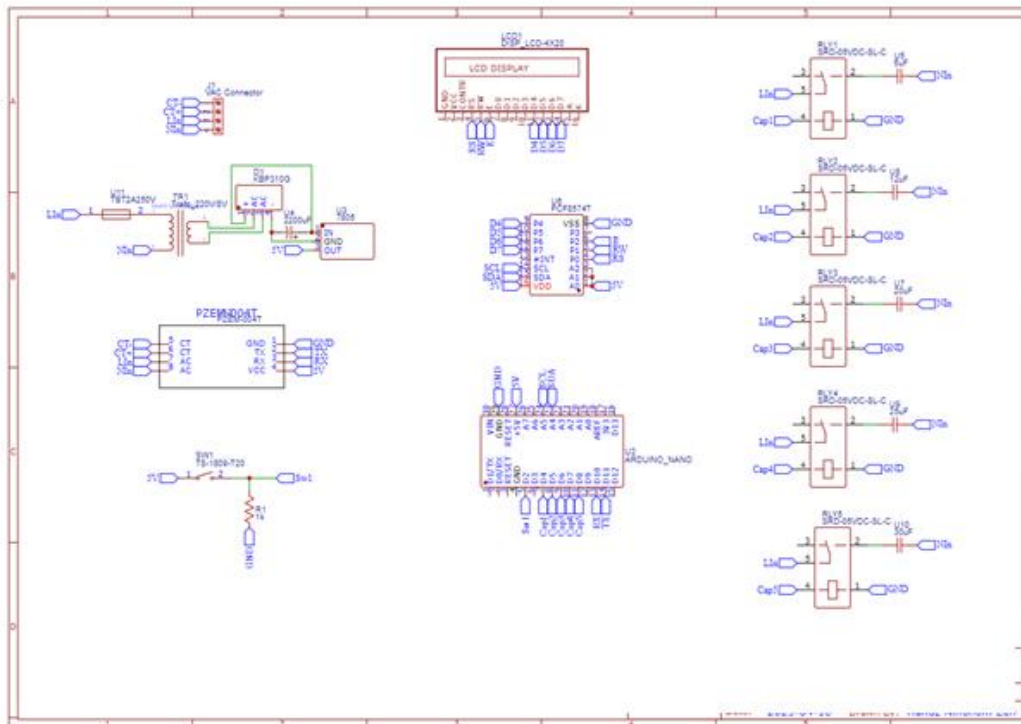
Pada mode aktif, Arduino mengirimkan sinyal digital ke pin output untuk mengendalikan relay, yang secara dinamis menghubungkan kapasitor dengan nilai tertentu ke jaringan rumah tangga berdaya 2200 VA. Hasil proses tersebut ditampilkan secara bersamaan pada LCD I2C 20x4. Sedangkan

pada mode pengukuran, data hasil olahan hanya ditampilkan pada layar tanpa aktivasi relay. Berdasarkan logika operasional ini, dibentuklah diagram alir (flowchart) sistem yang menggambarkan urutan kerja secara menyeluruh.



Gambar 3. Diagram Alir Logika Operasional Sistem

Gambar 3 menampilkan diagram alir logika operasional dan cara kerja sistem secara teknis yang dirancang untuk mengoptimalkan proses perancangan serta pengoperasian sistem kapasitor bank berbasis Mikrokontroler Arduino Nano. Selanjutnya, untuk merealisasikan sistem yang telah dirancang, dibuatlah gambar skematik yang disajikan pada Gambar 4. Gambar tersebut menampilkan diagram skematik sistem otomatis yang dirancang untuk mempermudah proses pengoperasian kapasitor bank.



Gambar 4. Skematik sistem otomasi

Diagram ini menggambarkan hubungan elektronik (*Wiring Diagram*) antar komponen utama sistem, yang meliputi sensor PZEM-004T, mikrokontroler Arduino Nano, rangkaian relay, bank kapasitor, serta modul tampilan LCD I2C 20×4.

Rancangan skematik memperlihatkan alur kerja sistem secara menyeluruh, mulai dari proses akuisisi data oleh sensor, pengolahan dan eksekusi oleh mikrokontroler, hingga pelaksanaan aksi korektif oleh relay yang menghubungkan kapasitor sesuai kebutuhan beban. Integrasi antar komponen dirancang dengan memperhatikan efisiensi, kemudahan instalasi, serta kestabilan operasi pada sistem listrik rumah tangga berdaya 2200 VA. Dengan adanya skematik ini, dapat dipahami bahwa mekanisme otomasi sistem berfokus pada pengendalian dinamis faktor daya, di mana kapasitor diaktifkan atau dinonaktifkan secara adaptif untuk menjaga performa kelistrikan tetap optimal.

3.3. Perhitungan Nilai Kapasitor yang Diperlukan

Dalam penelitian ini, nilai kapasitas kapasitor yang akan dipasang pada instalasi listrik rumah tangga berdaya 2200 VA harus dihitung secara

cermat. Hal ini penting untuk mencegah terjadinya kompensasi berlebih (*over-compensation*) yang dapat menyebabkan kapasitor justru menjadi beban kapasitif tersendiri. Proses perhitungannya dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut [8]:

1. Klasifikasi Beban

Beban dikategorikan ke dalam beberapa kelompok daya berdasarkan nilai arus, dengan kenaikan 2 ampere sebagai titik acuan untuk klasifikasi ini.

2. Menghitung Nilai Tangen Sudut Faktor Daya ($\tan \phi$)

Untuk menghitung nilai tangen sudut faktor daya ($\tan \phi$), terlebih dahulu diperlukan nilai faktor daya ($\cos \phi$). Hubungan keduanya diperoleh dari segitiga daya, yaitu segitiga siku-siku di mana faktor daya merupakan kosinus dari sudut ϕ . Hal tersebut dapat dihitung dengan rumus (2):

$$\tan(\cos^{-1} \phi) \quad (2)$$

Deskripsi:

\tan = Nilai Tan

$\cos^{-1} \phi$ = Sudut Faktor Daya

3. Menghitung Daya Reaktif
Perhitungan daya reaktif dapat dilakukan menggunakan rumus (3):

$$Q = P \times \tan \phi \quad (3)$$

Deskripsi:

Q = Daya Reaktif (VAR)

P = Daya Aktif (Watt)

$\tan \phi$ = Nilai tangen dari sudut faktor daya

4. Menghitung Daya Kompensasi

Data daya reaktif digunakan untuk menentukan besar kompensasi yang diperlukan. Rasio kompensasi daya reaktif dapat dihitung dengan rumus (4):

$$Q_c = Q_0 - Q_1 \quad (4)$$

Deskripsi:

Q_c = Kompensasi Daya Reaktif (VAR)

Q_0 = Daya Reaktif Pra-Intervensi (VAR)

Q_1 = Daya Reaktif Pasca-Intervensi (VAR)

5. Menghitung Arus yang Mengalir Melalui Kapasitor

Arus yang mengalir pada kapasitor (I_c) dapat dihitung menggunakan rumus (5):

$$I_c = \frac{Q_c}{V} \quad (5)$$

Deskripsi:

I_c = Arus yang melewati kapasitor (A)

Q_c = Kompensasi Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan Nominal Sistem (Volt)

6. Menghitung Reaktansi Kapasitif

Nilai reaktansi kapasitif (X_c) diperlukan untuk menentukan ukuran kapasitor yang dibutuhkan dalam memperbaiki faktor daya. Hal tersebut bisa dihitung dengan menggunakan rumus (6):

$$X_c = \frac{V}{I_c} \quad (6)$$

Deskripsi :

X_c = Reaktansi Kapasitansi (Ω)

V = Tegangan Nominal Sistem (Volt)

I_c = Arus yang melewati kapasitor (A)

7. Menghitung Nilai Kapasitor yang Diperlukan

Setelah nilai reaktansi kapasitif diperoleh, proses perhitungan dapat dilanjutkan untuk menentukan nilai kapasitor yang diperlukan. Langkah ini penting karena kapasitor berfungsi sebagai komponen utama dalam mengompensasi daya reaktif pada sistem listrik. Perhitungan nilai kapasitor dilakukan menggunakan rumus (7) yang menghubungkan antara reaktansi kapasitif, frekuensi, dan kapasitas kapasitornya. Dengan menggunakan rumus tersebut, dapat diperoleh nilai kapasitor yang sesuai untuk mencapai faktor daya yang diinginkan.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (7)$$

Deskripsi :

X_c = Reaktansi Kapasitansi (Ω)

f = Frekuensi (Hz)

C = Nilai Kapasitor (F)

8. Mengonversi Nilai Kapasitor

Nilai kapasitor perlu dikonversi karena di pasaran Indonesia, satuan kapasitor umumnya dinyatakan dalam mikrofarad (μF). Konversinya menggunakan rumus (8):

$$C(\mu F) = C(F) \times 10^{-6} \quad (8)$$

Deskripsi :

C (μF) = Nilai Kapasitor (μF)

C (F) = Nilai Kapasitor (F)

10^6 = Faktor Pengali

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan rumus (2) hingga (8) dan tegangan nominal 220 Volt, hasil perhitungan disajikan pada tabel 1. Berdasarkan hasil perhitungan nilai kapasitor di atas, perangkat dirancang sesuai dengan metode kerja yang dijelaskan pada subbab metodologi, dengan jumlah kapasitor yang dipasang disesuaikan berdasarkan rating kapasitor pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Ukuran Kapasitor yang Diperlukan

Arus (A)	Cos ϕ Pra Intervensi	Tan ϕ Pra Intervensi	Cos ϕ Pasca Intervensi	Tan ϕ Pasca Intervensi	Daya Reaktif Pra Intervensi (VAR)	Daya Reaktif Pasca Intervensi (VAR)	Kompensasi Daya Reaktif (VAR)	Arus yang Melewati Kapasitor (I_C (Ampere))	Reaktansi Kapasitif (Ω)	Nilai Kapasitor (μF)
2	0,85	0,62	0,95	0,33	231,78	137,39	94,39	0,43	512,74	6,2
4	0,85	0,62	0,95	0,33	463,57	274,78	188,79	0,86	256,37	12,4
6	0,85	0,62	0,95	0,33	695,35	412,17	283,18	1,29	170,91	18,6
8	0,85	0,62	0,95	0,33	927,14	549,5598	377,578	1,72	128,19	24,85
10	0,85	0,62	0,95	0,33	1158,922	689,9498	471,9721	2,145	102,55	31,06

Proses pengambilan data dilakukan dengan mengintegrasikan sistem koreksi faktor daya (power factor correction) ke dalam instalasi rumah tangga pelanggan, kemudian dilakukan pengukuran parameter listrik secara real-time. Sensor PZEM-004T digunakan sebagai alat utama untuk merekam nilai tegangan, arus, dan faktor daya. Data yang terkumpul dikirim ke Arduino Nano, diproses, dan ditampilkan melalui LCD 20x4. Pengukuran dilakukan selama dua bulan sebelum pemasangan kapasitor bank dan dua bulan setelah pemasangan, untuk memperoleh data perbandingan. Pengambilan data dilakukan secara acak setiap minggu selama periode tersebut. Data pengukuran faktor daya sebelum dan sesudah intervensi ditunjukkan pada tabel 3 berikut:

Tabel 2. Hasil Pengukuran Faktor Daya

Minggu	Pelanggan dengan Daya 2200 VA			
	Pra Intervensi		Pasca Intervensi	
	Arus (A)	Faktor Daya	Arus (A)	Faktor Daya
Pertama	4,23	0,81	3,5	0,98
Kedua	5,64	0,8	4,7	0,96
Ketiga	6,15	0,82	5,1	0,99
Keempat	2,88	0,8	2,4	0,96
Kelima	9,61	0,8	8,1	0,95
Keenam	9,28	0,8	7,9	0,94
Ketujuh	7,42	0,81	6,2	0,97
Kedelapan	8,63	0,79	7,5	0,91

Untuk pelanggan ini, penerapan kapasitor bank juga memengaruhi jumlah energi listrik yang dikonsumsi. Data penggunaan energi listrik sebelum dan sesudah intervensi ditunjukkan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil pengukuran penggunaan energi listrik yang dipakai pelanggan skala mingguan

Minggu	Pelanggan dengan Daya 2200 VA	
	Pra Intervensi (kWh)	Pasca Intervensi (kWh)
Pertama	97	72
Kedua	96	73
Ketiga	99	86
Keempat	87	88
Kelima	86	74
Keenam	95	80
Ketujuh	92	70
Kedelapan	85	62
Jumlah kWh	737	605

Berdasarkan hasil perhitungan dengan tegangan nominal 220 V, diperoleh ukuran kapasitor yang diperlukan untuk mengompensasi daya reaktif pada berbagai kondisi arus beban. Misalnya, arus 2 A membutuhkan kapasitor 6,2 μF , sedangkan pada arus 10 A diperlukan kapasitor 31,06 μF . Nilai ini menunjukkan bahwa semakin besar arus beban, maka semakin besar kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya. Hal ini sesuai dengan teori kompensasi daya reaktif, di mana peningkatan arus beban meningkatkan kebutuhan daya reaktif yang harus disuplai oleh kapasitor.

Sebelum intervensi, faktor daya pelanggan tergolong rendah, yaitu antara 0,79–0,82, dengan arus beban yang relatif tinggi. Setelah pemasangan kapasitor bank, faktor daya meningkat signifikan menjadi 0,91–0,99, mendekati nilai ideal (1,0). Dampak langsung dari peningkatan faktor daya ini terlihat dari penurunan arus beban, misalnya pada minggu pertama arus turun dari 4,23 A menjadi 3,5 A, dan pada minggu kelima dari 9,61 A menjadi 8,1 A.

Penurunan arus ini menunjukkan bahwa sistem menjadi lebih efisien karena daya reaktif yang sebelumnya disuplai dari jaringan kini ditangani oleh kapasitor. Analisis konsumsi energi menunjukkan bahwa terjadi penurunan pemakaian energi listrik setelah intervensi. Selama periode dua bulan, total konsumsi energi turun dari 737 kWh menjadi 605 kWh, atau penghematan sebesar 132 kWh (sekitar 17,9%). Penghematan ini membuktikan bahwa perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank tidak hanya meningkatkan efisiensi sistem listrik, tetapi juga memberikan dampak ekonomi nyata bagi pelanggan.

5. KESIMPULAN

Sistem kapasitor bank otomatis berbasis Arduino Nano berhasil meningkatkan faktor daya instalasi rumah tangga 2200 VA dari rata-rata 0,80 menjadi 0,97, disertai penurunan arus beban dan penghematan energi sebesar 18%. Hal ini membuktikan efektivitas sistem dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas daya listrik secara signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih peneliti disampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan jurnal ini. Terima kasih pertama ditujukan kepada Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, yang telah memberikan fasilitas dan bimbingan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada salah satu pelanggan PLN dengan daya 2200 VA yang telah bersedia menjadi objek penelitian dan memberikan kesempatan bagi peneliti untuk melakukan pengambilan data secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. T. Prayogo, O. Zebua, dan K. Hasan, "Optimasi Kapasitas Bank Kapasitor Untuk Mereduksi Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Wortel Menggunakan Metode Grey Wolf Optimizer (Gwo)," *Electrician*, vol. 13, no. 3, hal. 61–68, 2019, doi: 10.23960/elc.v13n3.2125.
- [2] P. Asabere, F. Sekyere, P. Ayambire, dan W. K. Ofosu, "Optimal capacitor bank placement and sizing using particle swarm optimization for power loss minimization in distribution network," *J. Eng. Res.*, vol. 13, no. 2, hal. 1307–1315, 2025, doi: 10.1016/j.jer.2024.03.007.
- [3] H. DİRİK, C. GEZEGİN, dan H. S. DİRİK, "Reactive power compensation with hybrid compensator combining a synchronous motor and switched capacitors," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 216, 2023, doi: 10.1016/j.epsr.2022.109010.
- [4] W. P. Guamán, G. N. Pesántez, M. A. Torres R., S. Falcones, dan J. Urquizo, "Optimal dynamic reactive power compensation in power systems: Case study of Ecuador-Perú interconnection," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 218, no. November 2022, 2023, doi: 10.1016/j.epsr.2023.109191.
- [5] L. D. L. Pereira dkk., "Optimal allocation of distributed generation and capacitor banks using probabilistic generation models with correlations," *Appl. Energy*, vol. 307, no. October 2021, hal. 118097, 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.118097.
- [6] M. A. Fahmi, E. Radwitya, dan H. Hasan, "Rancang Bangun Kapasitor Bank Otomatis Berbasis Internet Of Things (IoT) Pada Rumah Tinggal," *Electr. Netw. Syst. Sources*, vol. 3, no. 2, hal. 6–13, 2024, doi: 10.58466/entries.v3i2.1608.
- [7] R. A. Dedzky dan F. Atabiq, "Perbaikan Faktor Daya Pada Peralatan Listrik Rumah Tangga," *J. Appl. Sci. Electr. Eng. Comput. Technol.*, vol. 1, no. 3, hal. 23–29, 2020, doi: 10.30871/aseect.v1i3.2385.
- [8] A. Uli Ulya, "Analisis Dan Simulasi Pengaruh Pemasangan Capasitor Bank untuk Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Simulink pada Sistem Tenaga Listrik Di PT. Bogowonto Primalaras," *Media Elektr.*, vol. 12, no. 1, 2019, [Daring]. Tersedia pada: <http://jurnal.unimus.ac.id>
- [9] M. T. Mouwafi, R. A. El-Sehiemy, dan A. A. A. El-Ela, "A two-stage method for optimal placement of distributed generation units and capacitors in distribution systems," *Appl. Energy*, vol. 307, no. November 2021, hal. 118188, 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.118188.
- [10] S. A. Adegoke, "Energy Conversion and Management: X Optimal sizing and placement of capacitors using an improved particle swarm optimization to enhance networks reliability and voltage profile in distribution systems," *Energy Convers. Manag. X*, vol. 28, no. June, hal. 101294, 2025, doi: 10.1016/j.ecmx.2025.101294.
- [11] S. Satpathy, N. K. Misra, D. kumar Shukla, V. Goyal, B. K. Bhattacharyya, dan C. S. Yadav, "An in-depth study of the electrical characterization of supercapacitors for recent

- trends in energy storage system,” *J. Energy Storage*, vol. 57, no. June 2022, hal. 106198, 2023, doi: 10.1016/j.est.2022.106198.
- [12] H. Ehteshami, H. Hashemi-Dezaki, dan S. Javadi, “Optimal linearized operation of electric railway system in the presence of flexible renewable sources and switchable capacitor banks considering supply and demand sides’ uncertainties,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 211, no. June, hal. 108254, 2022, doi: 10.1016/j.epsr.2022.108254.
- [13] T. Jayabarathi, T. Raghunathan, N. Mithulananthan, S. H. C. Cherukuri, dan G. Loknath Sai, “Enhancement of distribution system performance with reconfiguration, distributed generation and capacitor bank deployment,” *Heliyon*, vol. 10, no. 7, hal. e26343, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26343.
- [14] N. Van Pham dan X. G. Phan, “Co-optimizing location, capacity, and hourly scheduling of switchable capacitors in power distribution systems considering daily load patterns and voltage dependence,” *Results Eng.*, vol. 27, no. August, hal. 106817, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.106817.
- [15] S. Sharma dan S. Ghosh, “Optimal planning and placement of capacitor in distribution system based on Particle Swarm and Hybrid Bee-Cuckoo Search under Varying Load Conditions,” *Energy Reports*, vol. 13, no. April, hal. 5219–5237, 2025, doi: 10.1016/j.egy.2025.04.010.