

Rancang Bangun Kapasitor Bank Menggunakan PLC dengan Beban 3 Fasa

^{1*}Dimas Nur Prakoso, ²Yuli Prasetyo, ³Budi Triyono, ⁴Hanifah Nur Kumala Ningrum, ⁵Renna Melinda

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Madiun, Kota Madiun

⁵ Program Studi Teknik Perkeretaapian, Politeknik Negeri Madiun, Kota Madiun

¹dimasnur@pnm.ac.id, ²yuliprasetyo2224@pnm.ac.id, ³buditriyono@pnm.ac.id, ⁴hanifah_nkn@pnm.ac.id,
⁵rennamelinda@pnm.ac.id

Article Info

Article history:

Received April 08th, 2025

Revised April 28th, 2025

Accepted May 07th, 2025

Keyword:

Capasitor Bank

Cos Phi

Motor 3 Phase

PLC

ABSTRACT

Production costs are things that must be considered in an industry. The cost of production is one of them because of the quality of power such as power factors and power losses. The use of inductive loads such as induction motors and transformers can cause excess use of reactive power, and will have an impact on the use of National Electricity Company fines that must be paid to receive a power factor < 0.85 . This can overcome the cost of installing capacitive capacitors such as bank to reduce the cost of using KVAR and reduce voltage drop. The purpose of this study is to optimize the use PLC. Automatic stepping uses $\cos \phi$ meters as PLC analog inputs which will be used to determine the appropriate method and activate capacitors. Manually stepping is done by activating the switch button on to activate the capacitor. The results of the test, both manual and automatic stepping in accordance with the PLC program and display. The method can already work automatically and will be in accordance with the combination of choices. With the results of $\cos \phi$ on motor 1 which was initially 0.56 increasing by 0.86, on motor 2 the value of $\cos \phi$ which was initially 0.74 increasing by 0.93, on motor 3 the value of $\cos \phi$ which was initially 0.6 increasing by 0.97 and on motor 4 the value of $\cos \phi$ which was initially 0.65 increasing by 0.95.

Copyright © 2025 Jurnal JEETech.
 All rights reserved.

Corresponding Author:

Dimas Nur Prakoso,

Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Madiun

Jl. Serayu No 84 Kota Madiun

Email: dimasnur@pnm.ac.id

Abstrak—Biaya produksi merupakan hal yang harus diperhatikan dalam suatu industri. Biaya produksi tersebut disebabkan salah satunya karena kualitas daya seperti faktor daya dan rugi-rugi daya. Pemakaian beban induktif seperti motor induksi dan tranformator dapat menyebabkan kelebihan pemakaian daya reaktif, dan akan berdampak pada meningkatnya denda PLN yang harus dibayar apabila power factor $< 0,85$. Hal ini dapat diatasi dengan pemasangan beban yang bersifat kapasitif seperti kapasitor bank untuk menurunkan biaya pemakaian KVAR dan meminimalisir drop tegangan. Tujuan penelitian ini adalah pengoptimalan penggunaan kapasitor bank menggunakan PLC. Stepping otomatis menggunakan $\cos \phi$ meter sebagai input analog PLC yang akan digunakan untuk penentuan metode yang sesuai dan mengaktifkan kapasitor. Stepping manual dilakukan dengan menekan tombol switch untuk mengaktifkan kapasitor. Hasil dari pengujian, baik stepping manual maupun otomatis sesuai dengan program PLC dan display. Metode sudah dapat bekerja secara otomatis dan penentuan akan sesuai dengan kombinasi kapasitor. Dengan hasil $\cos \phi$ pada motor 1 yang awalnya sebesar 0,56 menjadi naik sebesar 0,86, pada motor 2 nilai $\cos \phi$ yang awalnya sebesar 0,74 menjadi naik sebesar 0,93, pada motor 3 nilai $\cos \phi$ yang awalnya sebesar 0,6 menjadi naik sebesar 0,97 dan pada motor 4 nilai $\cos \phi$ yang awalnya sebesar 0,65 menjadi naik sebesar 0,95.

Kata Kunci: Kapasitor Bank, Faktor Daya, Motor 3 Fasa, PLC

:

I. Pendahuluan

Biaya produksi merupakan hal yang harus diperhatikan dalam suatu industri. Biaya produksi tersebut disebabkan salah satunya karena kualitas daya seperti faktor daya dan rugi-rugi daya[1]. Pemakaian beban induktif seperti motor induksi dan transformator dapat menyebabkan kelebihan pemakaian daya reaktif[2], dan akan berdampak pada meningkatnya denda PLN yang harus dibayar apabila power factor $<0,85$. Hal ini dapat diatasi dengan pemasangan beban yang bersifat kapasitif seperti kapasitor bank untuk menurunkan biaya pemakaian KVARh dan meminimalisir drop tegangan[3]. Kapasitor disebut juga kondensator adalah alat atau komponen listrik yang dibuat untuk mampu menyimpan muatan listrik sementara waktu[4] dan kapasitor juga dipakai pada filter [5].

Motor induksi saat beban penuh memiliki faktor daya yang lebih baik daripada saat tidak berbeban dan biasanya dirancang untuk beroperasi mendekati beban penuh [6]. Pengoptimalan penggunaan kapasitor bank dibutuhkan agar kompensasi daya reaktif dapat sesuai dan bervariasi seiring dengan perubahan faktor daya pada beban[7]. Stepping kapasitor bank yang biasa digunakan, pada awal sistem bekerja, kapasitor yang aktif selalu berawal pada kapasitor yang pertama sehingga berpotensi kapasitor pada step awal lebih mudah rusak daripada kapasitor pada step akhir.

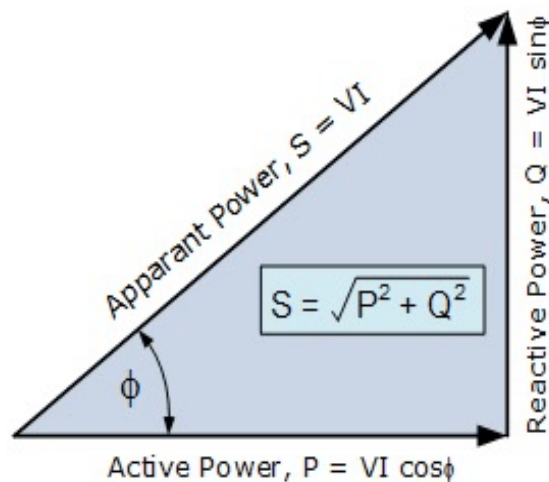
Dalam hal ini metode boolean dibutuhkan untuk pengaktifan kapasitor agar sesuai dengan kebutuhan beban dan penggunaan kapasitor dapat efektif dan efisien. Metode ini merumuskan beberapa operator matematika antara AND, OR, NOT, NOT AND dan NOT OR [8]. Pada fungsi boolean dapat menerima banyak input untuk pengaktifan kapasitor dan dapat diatur kondisinya dengan nilai (0 atau 1) dapat diartikan uga (true atau false). Tampilan juga diperlukan untuk memonitoring sistem kontrol dan kapasitor yang sedang aktif. Oleh karena itu penulis mengambil penelitian yang memiliki tujuan agar stepping capacitor bank dapat diatur dan kompensasi daya reaktif dapat optimal.

II. Metode Penelitian

A. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan gambaran karakteristik setiap jenis daya dan relasinya yang dijelaskan dengan hubungan matematika berdasarkan prinsip trigonometri antara daya semu, daya aktif, dan daya reaktif[9].

Gambar 2.1 di bawah ini berlaku hubungan :



Gambar 1. Segitiga Daya

Daya Aktif	$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$	(1)
Daya Reaktif	$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi$	(2)

$$\text{Daya Semu} \quad S = V \cdot I \quad (3)$$

B. Daya Aktif & Reaktif

Daya aktif merupakan daya yang sesungguhnya yang mengkonversi suatu energi listrik kedalam energi lain[10] seperti ditransformasikan untuk menghasilkan kerja berupa panas [11]. Satuan dari daya aktif adalah W (Watt). Memiliki rumus :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

Pada sistem 3 Fasa :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (5)$$

Sedangkan pada daya reaktif merupakan daya yang diperlukan dalam pembentukan medan magnet[12] atau daya yang dihasilkan oleh beban yang bersifat induktif. Daya reaktif bersumber dari kkomponen reaktif dan memiliki satuan VAR [13]. Memiliki rumus :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

Pada sistem 3 Fasa :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (5)$$

C. Kapasitor Bank

Kapasitor Bank adalah sebuah sekumpulan kapasitor dan komponen lainnya yang dihubungkan paralel dengan beban untuk mengejar kVAR[14]. Pemasangan kapasitor bank dapat dilakukan secara langsung dengan beban[15] (*Compensation of individual loads*), pemasangan terpusat (*Central compensation*), dan pemasangan terbatas (*Group compensation*).



Gambar 2. Kapasitor Bank

D. Programmable Logic Controller (PLC)

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan suatu sistem pengonntrol berbasis mikroprosesor yang menggunakan memori [16]. PLC memiliki perangkat masukan dan keluaran yang digunakan untuk berhubungan dengan peralatan seperti sensor, relai, kontaktor, dll[17]. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengoperasikan PLC berbeda dengan bahasa pemrograman biasa. Bahasa yang digunakan adalah *Ladder* dan *Function Block Diagram*, yang hanya berisi input-proses-output.



Gambar 3. PLC

Human Machine Interface (HMI) adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin [18]. Bertujuan untuk mengawasi, mengatur jalannya sistem, menampilkan grafik, dll untuk memudahkan manusia

E. PZEM-004T

PZEM-004T merupakan modul elektronik yang memiliki fungsi untuk melakukan monitoring daya dan konsumsi energi listrik [19]. Untuk pemrogramannya dapat dengan berbagai jenis mikrokontroller seperti Arduino atau ESP8266 karena menggunakan komunikasi serial TTL.



Gambar 4 PZEM-004T Split Core

F. Beban Induktif

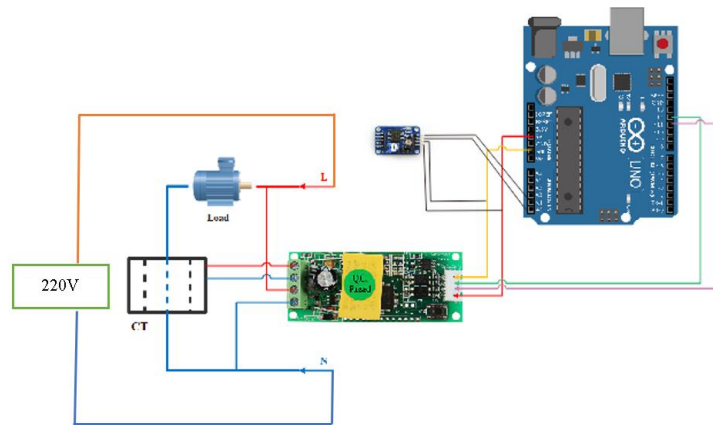
Spesifikasi dari beban induktif yang akan dibaca daya reaktifnya sebagai berikut :

Tabel 1. Tabel Beban Induktif

No	Jenis Beban Induktif	Parameter	Spesifikasi
1	Motor 3 fasa 2 HP merk SEM	Tipe	Y 901-4
		Tegangan Δ / Y	220/380 VAC
		Arus Δ / Y	6,4 / 3,7 Ampere
		Kecepatan	1400 RPM
2	Motor 3 fasa 1 HP merk Nvis	Tipe	3-Ø AC Squirrel Cage IM
		Tegangan Δ / Y	415 VAC
		Arus Δ / Y	2,1 Ampere
		Kecepatan	1440 RPM
3	Motor 3 fasa 1 HP merk SEM	Tipe	Y 802-4
		Tegangan Δ / Y	220/380 VAC
		Arus Δ / Y	3,4 / 2 Ampere
		Kecepatan	1390 RPM
4	Bor 550 W	Tipe	M-2150
		Tegangan Δ / Y	220 VAC
		Arus Δ / Y	1 Ampere
		Kecepatan	2500 RPM

G. Perancangan Cos ϕ Meter

Cos phi meter digunakan untuk mengetahui faktor daya pada beban[20]. Output dari cos phi meter akan digunakan sebagai inputan untuk PLC yang akan mengkontrol sistem.



Gambar 5 Circuit cos φ meter

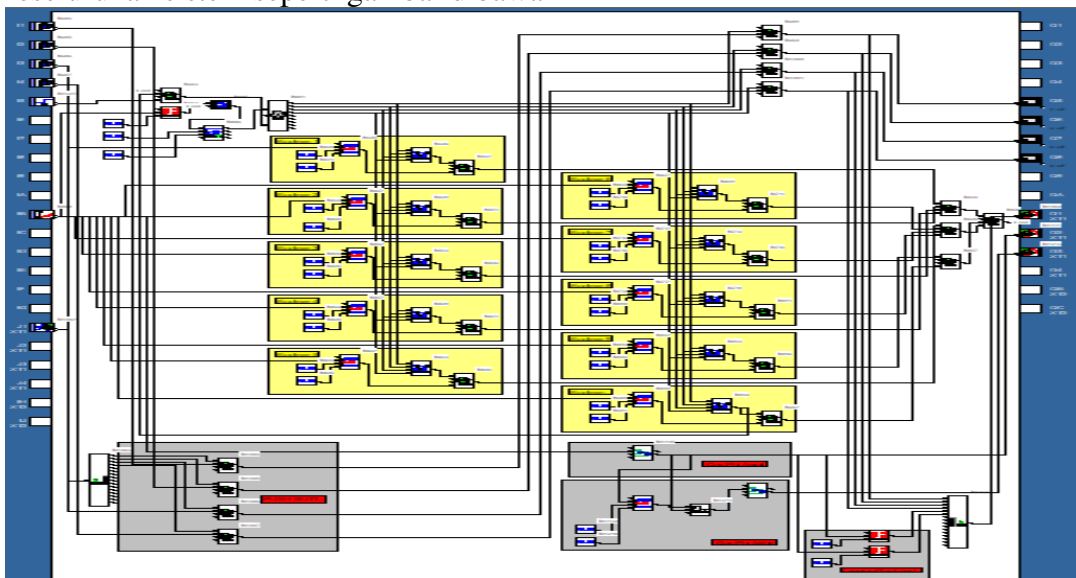
Dari gambar diatas PZEM 004T akan membaca besar tegangan, arus, dan daya. Dari data yang didapatkan tersebut dan berdasarkan teori segitiga daya dapat dihitung besar faktor daya dengan rumus :

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{V.I} \quad (6)$$

III. Hasil dan Pembahasan

A. Desain FBD pada PLC

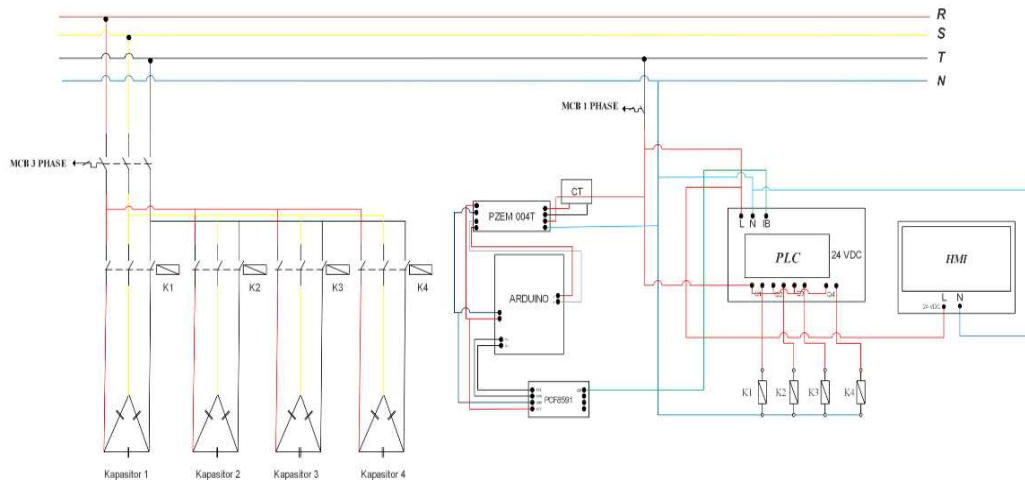
Program PLC dibuat dengan aplikasi *Zelio Soft 2* dengan jenis FBD (*Function Block Diagram*) dengan keseluruhan sistem seperti gambar dibawah ini



Gambar 6. Desain Function Blok Diagram pada PLC

B. Wiring Diagram Alat

Wiring diagram dibuat bertujuan agar penulis dapat lebih mudah dalam proses penelitian. Dibawah ini merupakan skema dari sistem penelitian ini.



Gambar 7 Wiring Diagram

Wiring diagram alat diatas berguna untuk menunjukkan secara jelas bagaimana hubungan antar komponen dalam alat yang telah disusun dan dihubungkan melalui kabel. Dengan adanya wiring diagram, proses perakitan, instalasi, pemeriksaan, dan perbaikan alat menjadi lebih mudah, cepat, dan aman jika ada kerusakan.

C. Pengujian Cos ϕ Meter

Pada pengujian cos ϕ meter ini dilakukan dengan dihubungkan dengan beberapa beban untuk dibaca besar tegangan, arus, daya, dan faktor daya. Dan dari pembacaan cos ϕ awal ini dapat diketahui apakah beban tersebut termasuk *lagging* atau *leading*.

Dari beberapa percobaan pengukuran, didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 2. Tabel Pembacaan Cos ϕ meter

Beban	Tegangan	Arus	Cos ϕ	Keterangan
Motor 1	212,7	0,72	0,56	Lagging
Motor 2	212,5	0,98	0,74	Lagging
Motor 3	213	0,93	0,60	Lagging
Motor 4	211,8	1,10	0,65	Lagging

Dari pengujian cos phi meter yang didapatkan pada motor 1 mendapatkan tegangan 212,7 arus 0,72 dan cos phi 0,56, pada motor ke 2 mendapatkan tegangan 212,5 arus 0,98 dan cos phi 0,74, pada motor ke 3 mendapatkan tegangan 213 arus 0,93 dan cos phi 0,60 dan pada motor ke 4 mendapatkan tegangan 211,8 arus 1,10 dan cos phi 0,65.

D. Pengujian DAC (Digital Analog Converter)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui konversi dari data digital ke dalam analog untuk input pada smart relay untuk mengaktifkan sistem otomatisasi.

Setelah diukur besar tegangan pada DAC, bandingkan dengan input analog pada smart relay hitung error selisih nilainya.

Tabel 3. Tabel Pengujian DAC

Beban	Tegangan DAC	Cos ϕ Terukur	Cos ϕ Analog Input	Error(%)
Motor 1	3,31	0,56	57 bit (cos ϕ 0,57)	1,7
Motor 2	4,23	0,74	70 bit (cos ϕ 0,70)	5,4
Motor 3	3,52	0,60	59 bit (cos ϕ 0,59)	1,6
Motor 4	3,67	0,65	63 bit (cos ϕ 0,63)	3

Dari pengujian DAC yang didapatkan pada motor 1 mendapatkan tegangan DAC 3,31 cos phi terukur 0,56 dan cos phi analog input 0,57 sehingga didapatkan error 1,7%, pada motor ke 2 mendapatkan tegangan DAC 4,23 cos phi terukur 0,74 dan cos phi analog input 0,70 sehingga didapatkan error 5,4%, pada motor ke 3 mendapatkan tegangan DAC 3,52 cos phi terukur 0,60 dan cos phi analog input 0,59 sehingga didapatkan error 1,6% dan pada motor ke 4 mendapatkan tegangan DAC 3,67 cos phi terukur 0,65 dan cos phi analog input 0,63 sehingga didapatkan error 3%.

E. Pengujian Stepping Otomatis dengan PLC

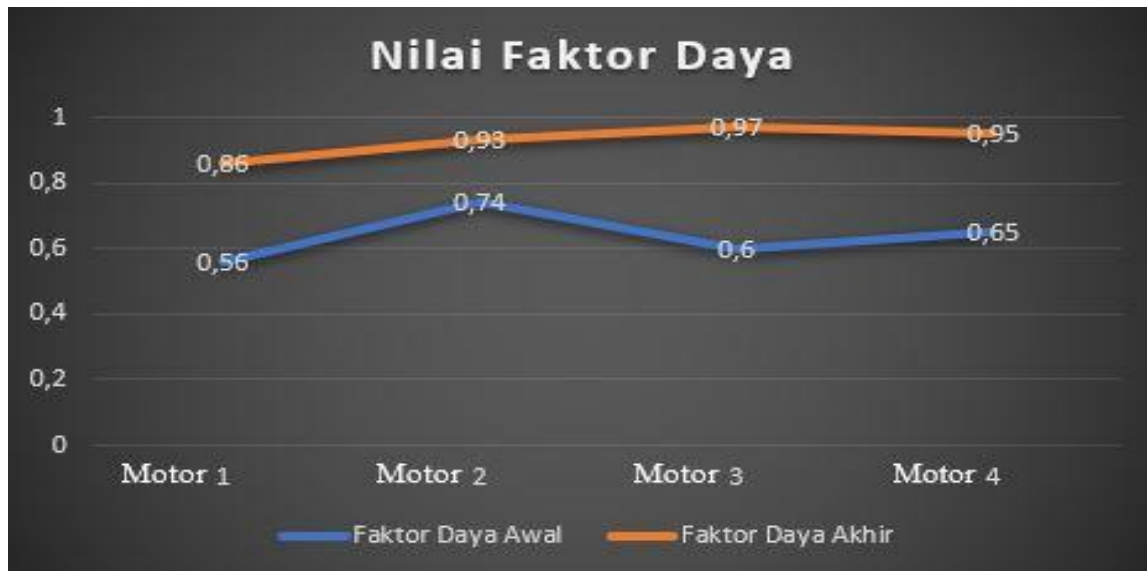
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem otomatisasi menggunakan metode boolean sesuai atau belum dengan rencana awal yang telah diperhitungkan.

Dari beberapa percobaan dengan beban didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 3 Tabel Pengujian Stepping Otomatis

Beban	Cos ϕ Awal	Boolean	Logika Boolean	Kapasitor	Cos ϕ Akhir
Motor 1	0,56	6	0001	17,951 μ F	0,86
Motor 2	0,74	8	1000	2,594 μ F	0,93
Motor 3	0,60	6	0001	5,035 μ F	0,97
Motor 4	0,65	7	0100	7,06 μ F	0,95

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat dianalisa bahwa program pada PLC dan HMI sudah sesuai. Pengambilan data tegangan pada PCF8591 sudah sesuai dengan konversi pada analog input PLC. Perbandingan Cos ϕ meter dan konversi analog input PLC terjadi selisih yang sedikit, tetapi tidak apa-apa karena tidak melewati batas toleransi yaitu 10%. Penggunaan metode boolean sudah sesuai rencana awal untuk output terhadap kapasitor. Kompensasi daya reaktif sudah sesuai yang diharapkan, ditunjukkan oleh tabel dibawah ini :



Gambar 8 Grafik Faktor Daya

IV. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan pembahasan terhadap penelitian ini dapat disimpulkan beberapa data seperti nilai awal cos phi dari beban motor 1, motor 2, motor 3 dan motor 4 keseluruhan hasilnya belum memenuhi standar nilai cos phi yang diantara $>0,85$ sampai dengan <1 .

Hasil dari cos phi motor 1 sebelum diberi kapasitor bank adalah 0,56 dan setelah diberi kapasitor bank adalah 0,86, cos phi motor 2 sebelum kapasitor bank adalah 0,74 dan setelah diberi kapasitor bank adalah 0,93, cos phi motor 3 sebelum kapasitor bank adalah 0,60 dan setelah diberi kapasitor bank adalah 0,97 dan cos phi motor 4 sebelum kapasitor bank adalah 0,65 dan setelah diberi kapasitor bank adalah 0,95. Dimana bahwa pemberian kapasitor bank yang telah dihitung dahulu dan dikombinasikan dengan metode boolean yang di program menggunakan PLC & HMI sebelum beban dianggap berhasil dan nilai akhir dari cos phi sudah berada diantara $>0,85$ sampai dengan >1 .

V. Daftar Pustaka

- [1] E. Syahputera, "Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batubara Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Biaya Produksi Listrik," *Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. NEGERI JAKARTA*, pp. 474–483, 2018.
- [2] Safrizal, "Automatic Power Factor Control (APFR) Capacitor Shunt Untuk Optimalisasi Daya Reaktif Menggunakan Metode Invoice (Case Study PDAM)," *J. DISPROTEK*, vol. 6, no. 2, pp. 82–94, 2015.
- [3] M. Mujiburrahman, "Analisis Tegangan Jatuh (Drop Voltage) Pada Unit Boiler Di Ppsdm Migas Cepu Menggunakan Etap 12.6.0," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 757–768, 2021.
- [4] D. Almanda and N. Majid, "Studi Analisa Penyebab Kerusakan Kapasitor Bank Sub Station Welding di PT. Astra Daihatsu Motor," *Resist. (elektRONika kEndali Telekomun. tenaga List. kOMputeR)*, vol. 2, no. 1, p. 7, 2019.
- [5] F. Fadlioni and A. Asriyadi, "Eksperimen dan Simulasi Rangkaian Band Pass Filter (BPF) dengan Resistor dan Kapasitor," *Resist. (elektRONika kEndali Telekomun. tenaga List. kOMputeR)*, vol. 1, no. 2, p. 69, 2018.
- [6] E. Zondra and Arlenny, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fasa Di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning," *J. Sains Teknol. dan Ind.*, vol. 12, no. 2, pp. 232–241, 2015.
- [7] A. N. Rosihan, "Optimasi Penempatan Kapasitor Untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan

-
- Mereduksi Rugi-Rugi Daya pada Jaringan Distribusi 20kV Penyulang Lambitu , Kalampa , dan,” *Skripsi thesis, Inst. Teknol. Nas. Malang*, 2023.
- [8] S. Susanti, M. Azmi, E. Ali, R. Rahmadden, and Y. Saputra Wijaya, “Perbandingan Boolean Model Dan Vector Space Model Dalam Pencarian Dokumen Teks,” *Digit. Zo. J. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 11, no. 2, pp. 268–277, 2020.
- [9] A. M. Prasetya, S. Riyanto, L. Sartika, and S. Suriadi, “Perancangan Sensor Cos Φ Untuk Monitoring Segitiga Daya Pada Jaringan 1 Fasa,” *Elektr. Borneo*, vol. 9, no. 2, pp. 73–79, 2023.
- [10] J. Rumakat and D. Fauziah, “Analisis Beban Tidak Seimbang Terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi pada Penghantar Netral Transformator di Rayon Baguala Ambon,” *Pros. Semin. Nas. Energi, Telekomun. dan Otomasi SNETO 2021*, pp. 334–345, 2021.
- [11] E. A. Vogler, “Pengaruh Pemakaian Kapasitor Pada Lampu TL Terhadap Efisiensi Daya Listrik Rumah Tangga,” vol. 7, no. 1, pp. 1–23, 2016.
- [12] F. Sari and A. Darwanto, “Analisis Sistem Eksitasi Pada Generator Pararel Terhadap Daya Reaktif,” *J. Teknol.*, vol. 14, no. 1, pp. 10–19, 2021.
- [13] M. Harahap, “Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Tegangan Terhadap Daya Reaktif Pada Generator,” *Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 71–76, 2021.
- [14] D. A. Basudewa, “Analisa Penggunaan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya Pada Gedung IDB Laboratory UNESA,” *J. Tek. Elektro*, vol. 09, no. 03, pp. 697–707, 2020.
- [15] M. Mudjiono, I. Ridzki, and P. Surya, “Aplikasi Particle Swarm Optimization Pada Pemasangan Kapasitor Bank Pada Jaringan Distribusi,” *ELPOSYS J. Sist. Kelistrikan*, vol. 8, no. 3, pp. 65–71, 2021.
- [16] R. S. Rizki, I. D. Sara, and M. Gapy, “Sistem Deteksi Kebakaran Pada Gedung Berbasis Programmable Logic Controller (Plc),” *J. Karya Ilm. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 3, pp. 99–104, 2017.
- [17] I. S. dan A. P. Azis Juandi, “Mesin Cutting Pc Bar Menggunakan Clutch Brake Dan Sensor Encoder Untuk Menambah Kapasitas Potongan Pc Bar,” vol. 9, no. 2, pp. 46–50, 2021.
- [18] L. Prasetyani, D. Subagio, and Y. Wijaya, “Pembuatan Modul Pembelajaran Mechatronics System Menggunakan Hmi Omron Dan Plc Omron Cj2M Cpu11 Dengan Studi Kasus ...,” *Technologic*, vol. 9, pp. 1–17, 2019.
- [19] - Andriana, - Zuklarnain, and H. Baehaqi, “Sistem kWH Meter Digital Menggunakan Modul PZEM-004T,” *J. TIARSIE*, vol. 16, no. 1, p. 29, 2019.
- [20] F. A. Noor, H. Ananta, and S. Sunardiyo, “Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Tegangan, Arus, Faktor Daya, dan Daya Aktif pada Beban Listrik di Minimarket,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 66–73, 2017.
-