

Analisis Perbaikan Kebutuhan Kapasitor Bank Pada Panel Jaringan Distribusi Tegangan 20kv Electrical Power Plant 2 Di PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia

Maria Ulfa¹, Lela Nurpulaela²

¹Universitas Singaperbangsa Karawang

¹Jl. HS. Ronggo Waluyo, Telukjambe Timur, Karawang, 41361, Indonesia

²Lela Nurpulaela

²Jl. HS. Ronggo Waluyo, Telukjambe Timur, Karawang, 41361, Indonesia

¹2010631160074@student.unsika.ac.id

²lela.nurpulaela@ft.unsika.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 11-07-2024
revisi : 10-10-2024
diterima : 03-12-2024
dipublish : 31-12-2024

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan dan menganalisis efektivitas penggunaan kapasitas kapasitor bank pada sistem distribusi pembangkit listrik 2 PT. TMMIN. Fokusnya adalah menganalisis desain awal kebutuhan bank kapasitor pada setiap panel di lini produksi gardu induk, meliputi Pengecatan, Perakitan dan Pengelasan, untuk meningkatkan kebutuhan bank kapasitor sesuai standar teori kelistrikan. Metode perhitungan Faktor Daya digunakan untuk mengukur kapasitas bank kapasitor yang dibutuhkan. Faktor daya dipengaruhi oleh jenis beban listrik yang bersifat resistif, induktif, atau kapasitif, yang nilainya berkisar antara 0 hingga 1. Faktor daya yang mendekati 1 menunjukkan daya aktif yang tinggi dan kualitas daya listrik yang lebih baik, sedangkan faktor daya yang mendekati 0 menunjukkan daya reaktif yang tinggi. mengurangi kualitas daya dan meningkatkan penggunaan energi listrik. Nilai faktor daya arus diperoleh dari kondisi tegangan aktual dan daya aktif, dan nilai bank kapasitor yang dibutuhkan dihitung dengan target faktor daya sebesar 0,9 atau 0,95. Berdasarkan perhitungan, panel yang dapat diperbaiki adalah panel 3, 4, 5, 6 Pengecatan, panel 1 Rakitan, dan panel 1 Pengelasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 2 panel MDB mencapai kondisi ideal dengan 6 langkah bank kapasitor 2x50kVAR, sedangkan 6 panel MDB lainnya memerlukan tambahan 2 langkah bank kapasitor 2x50kVAR untuk mencapai kondisi ideal.

Kata kunci : Faktor daya, Daya reaktif, Daya aktif, Improve Kapasitor Bank

ABSTRACT

This research aims to describe and analyze the effectiveness of using capacitor bank capacity in PT's power plant 2 distribution system. TMMIN. The focus is to analyze the initial design of capacitor bank requirements for each panel in the substation production line, including Painting, Assembly and Welding, to increase capacitor bank requirements according to electrical theory standards. The Power Factor calculation method is used to measure the required capacitor bank capacity. The power factor is influenced by the type of electrical load which is resistive, inductive or capacitive, with a value range between 0 and 1. A power factor close to 1 indicates high active power and better electrical power quality, while a power factor close to 0 indicates high reactive power. reducing power quality and increasing electrical energy use. The current power factor value is obtained from the actual voltage and active power conditions, and the required capacitor bank value is calculated with a target power factor of 0.9 or 0.95. According to calculations, the panels that can be repaired are panels 3, 4, 5, 6 Painting, panel 1 Assembly, and panel 1 Welding. The results show that 2 MDB panels reach ideal conditions with 6 steps of 2x50kVAR capacitor bank, while the other 6 MDB panels require an additional 2 steps of 2x50kVAR capacitor bank to achieve ideal conditions.

Keywords : Power Factor, Improve capacitor bank, Active power, Reactive power

PENDAHULUAN

Di era ketidakpastian ketersediaan sumber energi, efisiensi penggunaan listrik sangatlah penting bagi industri. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi energi listrik adalah dengan meningkatkan faktor daya dengan menggunakan bank kapasitor, yang mengkompensasi daya reaktif dan mencegah pemborosan energi dan biaya. Dengan meningkatkan faktor daya, industri dapat menekan biaya operasional, mengoptimalkan penggunaan daya listrik, dan mendukung kelestarian lingkungan (Hasibuan et al., 2023). Penggunaan kapasitor bank sangat efektif untuk

meningkatkan faktor daya listrik dengan cara mengkompensasi daya reaktif. Namun implementasinya memerlukan perencanaan yang matang. Sesuai peraturan SPLN 70-1, PLN menetapkan standar minimum faktor daya lebih dari 0,85. Jika kurang dari itu, PLN akan mempertimbangkan tambahan penggunaan Kilo Volt Ampere Reactive Hours (kVARh) (Wicaksono et al., 2021). Di PT. TMMIN Karawang, sistem distribusi tenaga listrik mempunyai 3 jalur produksi gardu induk dengan beberapa trafo utama yang terhubung pada panel distribusi. Masing-masing panel telah dilengkapi dengan kapasitor bank, namun belum

mencapai kondisi ideal. Saat ini faktor daya rata-rata 12 trafo adalah 0,87. Meski belum ada denda, namun penurunan sedikit saja bisa menyebabkan faktor daya turun di bawah 0,85. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan pada bank kapasitor untuk mencapai kondisi ideal, memperbaiki sistem distribusi tenaga listrik, dan meningkatkan efisiensi penggunaan bank kapasitor yang sesuai dengan sistem kelistrikan.

TEORI

Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah daya yang sebenarnya dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah W (Watt) dan dapat diukur dengan menggunakan alat ukur listrik Wattmeter (Yendi et al., 2021).

Persamaan daya aktif pada beban dalam sistem satu fasa adalah sebagai berikut :

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

Persamaan daya aktif pada beban dalam sistem tiga fasa adalah sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2)$$

Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang diperlukan untuk membentuk medan magnet atau daya yang dihasilkan oleh beban induktif. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt Ampere Reaktif (Febriani, et al., 2024)

Persamaan daya reaktif beban pada sistem satu fasa adalah sebagai berikut:

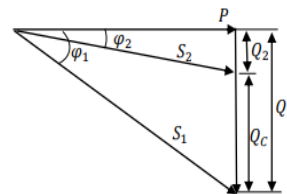
$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (3)$$

Persamaan daya reaktif beban pada sistem tiga fasa adalah sebagai berikut:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \quad (4)$$

Faktor Daya

Faktor daya, atau faktor daya ($\cos \varphi$), adalah nilai yang menunjukkan perbandingan antara daya aktif dan daya semu, yang timbul akibat rugi-rugi daya. Pada instalasi satu fasa, $\cos \varphi$ biasanya ditetapkan sebesar 0,8 karena nilainya jarang bervariasi jauh. Untuk menjaga keluaran kWh tetap sama dan mengurangi kebutuhan daya total (VA), maka daya reaktif (VAR) harus dikurangi (Ferdiansah et al., 2023).



Gambar 1. Segitiga Daya

Persamaan faktor daya pada sistem satu fasa adalah sebagai berikut:

$$\text{Power Factor} = \cos \varphi = \frac{P \text{ (kW)}}{S \text{ (kVA)}} \quad (5)$$

Persamaan faktor daya pada sistem tiga fasa adalah sebagai berikut:

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

$$P = S \times \cos \varphi \quad (6)$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (7)$$

Kapasitor Bank

Kapasitor Bank merupakan perangkat yang digunakan untuk meningkatkan kualitas penyediaan energi listrik dengan cara memperbaiki tegangan pada sisi beban, meningkatkan faktor daya ($\cos \varphi$), dan mengurangi rugi-rugi transmisi. Kapasitor ini mempunyai sifat kapasitif (leading) yang dapat mengurangi atau

menghilangkan sifat induktif (lagging). Fungsi utamanya adalah untuk menyeimbangkan karakteristik induktif. Meskipun sering diukur dalam kVAR (Kilovolt Ampere Reactive) (Adhimanata, 2024). kapasitor juga menyertakan besaran kapasitansi seperti Farad atau mikrofard.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (8)$$

$$Q = S \times \sin \varphi \quad (9)$$

$$Q = P \times \tan \varphi \quad (10)$$

METODOLOGI

Studi Linear

Pengumpulan data yang terkait

Metode Analisa

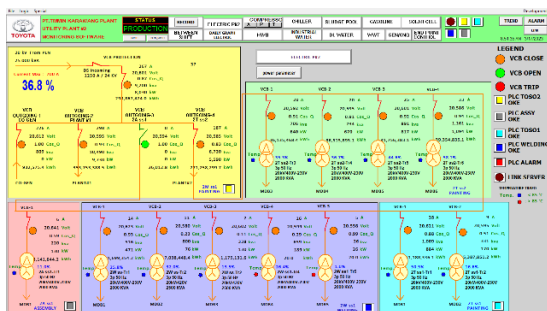
Analisa kondisi kapasitor bank yang terpasang dan besarnya faktor daya dengan mengumpulkan data - data pada sistem kelistrikan di power plant 2 PT. TMMIN.

Metode Perhitungan dan Simulasi

Menghitung nilai daya pada panel Transformator dan menghitung nilai kapasitor yang digunakan untuk mengetahui nilai kapasitor yang running dengan menggunakan perhitungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Peningkatan Kebutuhan Kapasitor Bank



Gambar 2. Diagram Garis Tunggal Sistem Distribusi Pembangkit Listrik Plant 2 pada Sistem PT SCADA. TMMIN

Sistem kelistrikan di PT. TMMIN di Karawang mendapat pasokan tegangan 20 kV dari PLN. Tegangan tersebut kemudian disalurkan melalui dua belas panel trafo utama berkapasitas masing-masing 1000 kVA untuk menurunkan tegangan menjadi 220 V dan 380 V. Selanjutnya tegangan tersebut akan didistribusikan ke berbagai jalur produksi seperti terlihat pada Gambar 2.

Data Daya pada Transformator Utama

Perhitungan faktor daya yang digunakan pada penelitian ini menggunakan daya listrik yang terdapat pada panel trafo utama. Total ada 12 panel trafo utama yang kemudian didistribusikan ke beban-beban di pabrik. Besarnya daya pada masing-masing panel trafo dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data pada Transformator High Voltage dan Low Voltage

SHOP	HIGH VOLTAGE 20KV				LOW VOLTAGE			
	Trafo (kVA)	I (A)	Efisiensi Daya Aktif (80%)	Ideal Cos φ	Panel MDB	Voltage (V)	I (A)	Daya Terpakai (kW)
2T SS1 Painting	TR #1 2000	58	1443,84	0,95	MDB 1	380	2890	920
	TR #2 2000	58			MDB 2	380	2890	207
2T SS2 Painting	TR #3 2000	58	1443,84	0,95	MDB 3	380	2890	632
	TR #4 2000	58	1443,84	0,95	MDB 4	380	2890	702
	TR #5 2000	58	1443,84	0,95	MDB 5	380	2890	840
	TR #6 2000	58	1443,84	0,95	MDB 6	380	2890	1012
2A SS1 Assembly	TR #1 2000	58	1443,84	0,95	MDB 1	380	2890	298
	TR #2 2500	72			MDB 2	420	3400	92
2W SS1 Welding	TR #3 2500	72			MDB 3	420	3400	22
	TR #4 2000	58			MDB 4	420	3400	236
	TR #5 2000	58	1443,84	0,95	MDB 5	380	2890	29
	TR #6 2000	58	1443,84	0,95	MDB 6	380	2890	0,95

Analisis dan Hasil Perhitungan

Dari data yang didapat pada tabel 1.4 akan dilakukan perhitungan Efisiensi Daya aktif (kW) yang terpasang di semua trafo 2000 kVA selain pada trafo yang tidak terpasang kapasitor bank. Perhitungan

efisiensi daya aktif yang terpasang pada trafo 2000 kVA sebesar 80% dari besarnya daya aktif, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) yaitu :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Dimana :

$$V = 380 \text{ V} \quad \cos \varphi = 0,95$$

$$I = 2890 \text{ A} \quad \sqrt{3} = 1,73$$

Jadi,

$$\begin{aligned} P &= 1,73 \times 380 \times 2890 \times 0,95 \\ &= 1804891,7 \text{ W} \\ &= 1804,8 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Daya } 80\% &= \frac{80}{100} \times 1804,8 \text{ kW} = \\ &\mathbf{1443,84 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan efisiensi daya aktif yang terpasang pada trafo 2000 kVA yaitu sebesar **1443,84 KW**.

Analisis Hasil dan Perhitungan pada Daya Aktif yang Terpasang

Dari data faktor daya ($\cos \varphi$) yang didapat, selanjutnya menentukan *design* kebutuhan kapasitor bank dengan cara melakukan perhitungan agar dapat memperbaiki kebutuhan kapsitor bank yang sudah terpasang pada masing – masing *substasion* panel MDB plant 2. Faktor daya di setiap panel MDB telah memenuhi standar minimum yang diterapkan dalam sistem kelistrikan pabrik, yaitu 0,95. Untuk menentukan jumlah kapasitor bank yang diperlukan, perhitungan dilakukan pada setiap panel MDB (Main Distribution Panel).

Berikut perhitungan kebutuhan kapasitor bank pada daya aktif yang terpasang pada semua trafo 2000 kVA, selain pada trafo yang tidak terpasang kapasitor bank. Berdasarkan efisiensi daya 1443,84 kW dan $\cos \varphi$ ideal 0,95, dapat

dihitung menggunakan persamaan (10) dengan mengetahui besarnya daya reaktif (kVAR) pada masing – masing beban di semua panel MDB.

Perhitungan kebutuhan kapasitor bank berdasarkan persamaan (10) :

$$Q = P \times \tan \varphi$$

Dimana :

$$P = 1443,84 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= 0,95 \text{ maka } \tan \varphi = 0,33 \\ (\text{Nilai } \varphi \text{ didapat pada tabel 1}) \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} Q &= 1443,84 \text{ kW} \times 0,33 \\ &= \mathbf{476,46 \text{ kVAR}} \end{aligned}$$

Perhitungan di atas dapat dibuktikan kebenarannya berdasarkan persamaan (8) yaitu sebagai berikut :

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Dimana :

$$P = 1443,84 \text{ kW}$$

$$\cos \varphi = 0,95$$

Sehingga,

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{1443,84}{0,95} = \mathbf{1519,83 \text{ kVA}}$$

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{1519,83^2 - 1443,84^2} \\ &= \sqrt{2309883,22 - 2084673,94} \end{aligned}$$

$$Q = \sqrt{225209,28} = \mathbf{474,56 \text{ kVAR}}$$

Dapat disimpulkan bahwa kedua perhitungan di atas memiliki nilai yang hampir sama. Sehingga, Ideal kapasitor yang terpasang pada semua panel MDB

trafo 2000 kVA, dengan daya terpasang
1443,84 kW = 476,46 kVAR atau 6 step
(2x50 kVAR) kapasitor bank dan sudah
termasuk penambahan 1 step kapasitor
spaar.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Ideal Kebutuhan Kapasitor dengan Aktual Kapasitor Terpasang Berdasarkan Efisiensi Daya 80% Sebesar 1443,84 kW pada Transformator 2000 Kva

SHOP	Panel MDB	Ideal Cos ϕ	Ideal Kapasitor Terpasang (kVAR) / (2x50kVAR)	Actual Kapasitor Terpasang (2x50kvar)	Corrective Action
2T SS1 Painting	MDB 1	0,95	476,46 / 6 step	6 Step	<i>Ideal condition</i>
2T SS2 Painting	MDB 3	0,95	476,46 / 6 step	4 Step	Menambah 2 step kapasitor bank to ideal condition
	MDB 4	0,95	476,46 / 6 step	4 Step	Menambah 2 step kapasitor bank to ideal condition
	MDB 5	0,95	476,46 / 6 step	4 Step	Menambah 2 step kapasitor bank to ideal condition
	MDB 6	0,95	476,46 / 6 step	4 Step	Menambah 2 step kapasitor bank to ideal condition
2A SS1 Assembly	MDB 1	0,95	476,46 / 6 step	4 Step	Menambah 2 step kapasitor bank to ideal condition
2W SS1 Welding	MDB 1	0,95	476,46 / 6 step	4 Step	Menambah 2 step kapasitor bank to ideal condition
	MDB 5	0,95	476,46 / 6 Step	6 Step	<i>Ideal condition</i>

Dari data hasil perhitungan di atas, berdasarkan perhitungan didapatkan 2 panel MDB yang sudah mencapai kondisi ideal kapasitor terpasang sejumlah 6 step kapasitor bank sebesar 2x50kVAR, dan 6 panel MDB yang lainnya diperlukan penambahan masing – masing 2 step kapasitor bank sebesar 2x50 kVAR untuk mencapai ideal condition kapasitor terpasang pada setiap panel MDB.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dari laporan Kerja Praktik, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perhitungan *design* kebutuhan kapasitor bank pada daya terpasang bertujuan untuk mengetahui *design* awal kebutuhan kapasitor bank yang dibutuhkan sesuai kaidah perhitungan yang berlaku guna mengimprove kapasitas kapasitor yang sudah terpasang di PT.TMMIN. Berdasarkan perhitungan diketahui pada 2 panel MDB sudah sesuai dengan ketentuan secara perhitungan (*Ideal condition*), 6 panel lainnya masih membutuhkan *improvement* penambahan 2 step kapasitor bank untuk mencapai *ideal condition*. Hal ini diperlukan agar sistem pendistribusian energi listrik dan proses produksi dapat berjalan lebih baik lagi. Serta sebagai bukti pembelajaran yang sudah didapatkan dapat diimplementasikan secara langsung di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hasibuan, A., Siregar, W. V., & Sayuti, M. (2023). *Pemanfaatan Energi Angin Untuk Pembangkit Energi Listrik Di Daerah Kepulauan Menggunakan Kincir Angin Skala Kecil*. Feniks Muda Sejahtera.
- Wicaksono, H. A. A., Handoko, S., & Zahra, A. A. (2021). Analisis Perbaikan Faktor Daya Dan Nilai Tegangan Di Poltekkes Semarang. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(2), 327-334. <https://doi.org/10.14710/transient.v10i2.327-334>
- Yendi, E., & Sigit, L. (2021). Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan. *Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik*, 11(1), 103-113. <http://repository.unsada.ac.id/cgi/oai2>
- Toba, F., Suoth, V. A., Kolibu, H. S., Mosey, H. I. R., & Pandara, D. P. (2024). Analisis Perbandingan Daya Listrik saat Sebelum dan Sesudah Variasi Kapasitor pada Beban listrik Rumah Tangga. *Jurnal MIPA*, 13(1), 11-17. <https://doi.org/10.35799/jm.v13i1.48968>
- Ferdiansah, B., Margiantono, A., & Ahmad, F. (2023). Analisis Pengaruh Kapasitor Bank Terhadap Nilai Faktor Daya Dan Nilai Jatuh Tegangan. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5(2), 234-241. <https://doi.org/10.37905/jjee.v5i2.20893>
- Adhimanata, Y. (2024). Capacitor Bank Panel Design to Improve Industrial Power System Efficiency and Safety. *Procedia of Engineering and Life Science*, 7, 233-239. <https://doi.org/10.21070/pels.v7i0.1449>
- Basudewa, D. A., Aribowo, W., Widyartono, M., & Hermawan, A. C. (2020). Analisa Penggunaan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya Pada Gedung IDB Laboratory UNESA. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(3), 697-707. <https://doi.org/10.26740/jte.v9n3.p697-707>
- Widagdo, R. S. W., Budiono, G., & Novianto, M. I. (2023). Analysis of Capacitor

- Bank Installation for Power Quality Improvement at PT. Sunrise Steel. *Wahana*, 75(2), 60-72. <https://doi.org/10.36456/wahana.v75i2.7522>
- Siburian, J. (2019). Karakteristik transformator. *Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro*, 8(01), 21-28. <https://jurnal.darmaagung.ac.id/index.php/teknologienergi/article/view/121>
- Amir, M., & Somantri, A. M. (2017). Analisis perbaikan faktor daya untuk memenuhi penambahan beban 300 kVA tanpa penambahan daya PLN. *Sinusoida*, 19(1). <https://doi.org/10.37277/s.v19i1.153>
- Hajar, I., & Rahayuni, S. M. (2020). Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Di Plant 6 PT. Indocement Tungal Prakarsa Tbk. Unit Citeureup. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, 9(1), 8-16. <http://dx.doi.org/10.36055/setrum.v9i1.8111>
- Ricky, R., & Windarta, J. (2020). Analisis Komparasi Perhitungan Teori dan Aktual Terhadap Daya Aktif dan Daya Reaktif Steam Turbine Generator 2.0 Pada PT Indonesia Power Semarang. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 1(1), 8-19. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.8133>
- Julianto, P. (2023). KOMPENSASI KAPASITIF DENGAN INJEKSI DAYA REAKTIF UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI DAYA AKTIF PADA SISTEM DISTRIBUSI SKALA BESAR. *Elektrika Borneo*, 9(2). <https://doi.org/10.35334/eb.v9i2.3483>
- Siregar, I. D., Tharo, Z., & Hamdani, H. (2024). ANALYSIS OF CAPACITOR PLACEMENT IN 20 kV DISTRIBUTION SYSTEMS USING ETAP 19.0. 1 TO SUPPORT THE DEDIESELIZATION PROGRAM. *JUITECH: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality*, 8(1), 71-81. <http://dx.doi.org/10.36764/ju.v8i1.1260>
- Ismail, I., Thaha, S., Salim, A., & Sofyan, S. (2020, December). OPTIMASI JARINGAN DISTRIBUSI LISTRIK DENGAN PEMASANGAN KAPASITOR PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 6.3 KV PT. SEMEN TONASA. In *Prosiding Seminar Nasional NCIET* (Vol. 1, No. 1, pp.509-517). <https://doi.org/10.32497/nciet.v1i1.167>