

OPTIMASI FAKTOR DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI 3,3 KV UNIT PACOL PT UNGGUL INDAH CAHAYA TBK

Hartono^{1*}, Muhamad Rizky Mubin Maricar², Rayhan Faristama³, Rahman Hidayat⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Rekayasa Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa; Jl. Jenderal Sudirman KM. 3, Cilegon, Banten, Indonesia

Keywords:

Capacitor bank;
Power factor;
Reactive power
compensation;
Load flow;
ETAP.

Correspondent Email:

3332230081@untirta.ac.id



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis optimasi faktor daya melalui kompensasi daya reaktif pada sistem distribusi tenaga listrik 3,3 kV di PT Unggul Indah Cahaya Tbk menggunakan perangkat lunak ETAP. Analisis dilakukan melalui pengumpulan data sistem distribusi tenaga listrik, perhitungan parameter kelistrikan, simulasi *load flow*, dan analisis *Optimal Capacitor Placement* (OCP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *capacitor bank* sebesar 800 kVAR mampu meningkatkan faktor daya sistem dari 0,697 menjadi 0,912 serta menurunkan daya reaktif dan arus sistem secara signifikan. Namun, penggunaan kapasitas *capacitor bank* sebesar 1350 kVAR menyebabkan kondisi *overcompensation* sehingga sistem mengalami faktor daya *leading*. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan sistem *automatic power factor correction* dapat menjadi solusi untuk menjaga kondisi faktor daya tetap optimal sesuai perubahan beban pada sistem distribusi tenaga listrik industri.

Abstract. This study aims to analyze power factor optimization through reactive power compensation in a 3.3 kV electrical distribution system at PT Unggul Indah Cahaya Tbk using ETAP software. The analysis was conducted through electrical distribution system data collection, electrical parameter calculations, load flow simulation, and Optimal Capacitor Placement (OCP) analysis. The results showed that the use of an 800 kVAR capacitor bank increased the system power factor from 0.697 to 0.912 and significantly reduced reactive power and system current. However, the use of a 1350 kVAR capacitor bank caused an overcompensation condition resulting in a leading power factor. Based on the results of this study, the implementation of an automatic power factor correction system can be a solution to maintain an optimal power factor according to load variations in industrial electrical distribution systems.

I. PENDAHULUAN

Perbaikan faktor daya pada sistem distribusi tenaga listrik industri menjadi salah satu upaya penting untuk meningkatkan efisiensi sistem tenaga listrik. Penggunaan beban induktif seperti motor induksi dalam jumlah besar dapat meningkatkan kebutuhan daya reaktif pada sistem tenaga listrik sehingga mempengaruhi kualitas daya listrik, terutama terhadap penurunan faktor daya (*power factor*). Faktor daya yang rendah umumnya disebabkan oleh dominasi beban induktif seperti

motor induksi dan transformator. Kondisi tersebut dapat menyebabkan arus sistem meningkat sehingga rugi-rugi daya pada saluran distribusi menjadi lebih besar, efisiensi sistem menurun, serta pembebanan transformator meningkat. Selain itu, kondisi faktor daya yang rendah juga dapat mempengaruhi kualitas penyaluran daya listrik dan menyebabkan penggunaan kapasitas peralatan sistem tenaga listrik menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan faktor daya untuk meningkatkan performa sistem tenaga listrik industri [1].

Salah satu metode yang umum digunakan untuk memperbaiki faktor daya adalah kompensasi daya reaktif menggunakan *capacitor bank*. Penggunaan *capacitor bank* dapat mengurangi kebutuhan daya reaktif dari sumber sehingga faktor daya meningkat, arus sistem menurun, dan rugi-rugi daya dapat dikurangi. Selain itu, kompensasi daya reaktif juga dapat meningkatkan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan terkait optimasi faktor daya menggunakan *capacitor bank*. Penelitian oleh Barik Irfani Al Firdausi dkk. menggunakan metode *Optimal Capacitor Placement* (OCP) pada ETAP 19 untuk menentukan kebutuhan kapasitor pada sistem distribusi industri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode OCP pada ETAP mampu meningkatkan faktor daya dan menurunkan arus sistem distribusi tenaga listrik [2].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada kondisi faktor daya rendah (*lagging*) akibat dominasi beban induktif. Penelitian mengenai kondisi faktor daya *leading* akibat kompensasi daya reaktif berlebihan (*overcompensation*) pada sistem industri masih relatif terbatas. Selain itu, sistem *capacitor bank* pada beberapa industri masih dioperasikan secara manual sehingga kompensasi daya reaktif belum dapat menyesuaikan perubahan beban secara otomatis. Kondisi tersebut dapat menyebabkan faktor daya berubah menjadi *leading* dan mempengaruhi kestabilan sistem distribusi tenaga listrik. Oleh karena itu, diperlukan analisis optimasi faktor daya untuk mengetahui kondisi kompensasi daya reaktif yang sesuai dengan kebutuhan sistem distribusi tenaga listrik industri [3].

Penelitian ini dilakukan pada sistem distribusi tenaga listrik 3,3 kV di Unit PACOL PT Unggul Indah Cahaya Tbk yang menggunakan motor induksi sebagai beban utama serta didukung *capacitor bank* dengan kapasitas total 1350 kVAR sebagai kompensasi daya reaktif. Sistem distribusi tersebut menggunakan transformator berkapasitas 6,5 MVA dengan beban motor induksi sebesar 2050 kW. Penelitian dilakukan dengan membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah kompensasi daya reaktif menggunakan simulasi *load flow* pada perangkat lunak ETAP. Metode *Optimal Capacitor Placement* (OCP) digunakan untuk membantu menganalisis kondisi kompensasi daya reaktif pada sistem distribusi 3,3 kV [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis optimasi faktor daya melalui kompensasi daya reaktif pada sistem distribusi tenaga listrik 3,3 kV di Unit PACOL PT Unggul Indah Cahaya Tbk. Analisis dilakukan melalui perhitungan teoritis dan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP untuk mengetahui pengaruh *capacitor bank* terhadap

faktor daya, arus sistem, daya reaktif, dan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik [5].

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Faktor Daya (*Power factor*)

Faktor daya (*power factor*) merupakan perbandingan antara daya aktif (*active power*) dengan daya semu (*apparent power*) pada sistem tenaga listrik. Faktor daya menunjukkan tingkat efisiensi penggunaan energi listrik pada suatu sistem. Nilai faktor daya yang mendekati satu menunjukkan bahwa sistem bekerja lebih efisien, sedangkan faktor daya yang rendah menunjukkan tingginya kebutuhan daya reaktif pada sistem tenaga listrik [6].

Secara umum faktor daya dibedakan menjadi faktor daya *lagging*, *leading*, dan *unity*. Faktor daya *lagging* terjadi ketika arus tertinggal terhadap tegangan akibat dominasi beban induktif seperti motor induksi dan transformator. Faktor daya *leading* terjadi ketika arus mendahului tegangan akibat dominasi beban kapasitif, sedangkan faktor daya *unity* terjadi ketika arus dan tegangan berada pada kondisi sefasa. Faktor daya yang rendah dapat menyebabkan arus sistem meningkat sehingga rugi-rugi daya pada saluran distribusi menjadi lebih besar dan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik menurun [7].

2.2 Segitiga Daya

Dalam sistem tenaga listrik terdapat tiga jenis daya yaitu daya aktif (*active power*), daya reaktif (*reactive power*), dan daya semu (*apparent power*). Daya aktif merupakan daya yang digunakan oleh beban untuk melakukan kerja nyata dan dinyatakan dalam satuan watt (W). Daya reaktif merupakan daya yang diperlukan untuk membentuk medan magnet pada beban induktif dan dinyatakan dalam satuan VAR, sedangkan daya semu merupakan kombinasi antara daya aktif dan daya reaktif yang dinyatakan dalam satuan VA [8].

Hubungan antara daya aktif, daya reaktif, dan daya semu dalam bentuk segitiga daya [9]. Hubungan ketiga daya tersebut dapat dinyatakan menggunakan persamaan berikut:

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

2.3 Kompensasi Daya Reaktif Menggunakan *Capacitor bank*

Kompensasi daya reaktif merupakan metode yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya

dengan mengurangi kebutuhan daya reaktif dari sumber listrik. Salah satu metode yang umum digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik adalah penggunaan *capacitor bank* yang berfungsi menyuplai daya reaktif kapasitif sehingga kebutuhan daya reaktif pada beban induktif dapat dikurangi [10].

Penggunaan *capacitor bank* dapat meningkatkan faktor daya, menurunkan arus sistem, mengurangi rugi-rugi daya, serta meningkatkan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik. Selain itu, kompensasi daya reaktif juga dapat membantu mengurangi pembebanan transformator dan memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik [11]. Besarnya kebutuhan daya reaktif kapasitif untuk memperbaiki faktor daya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_C = P(\tan\Phi_1 - \tan\Phi_2) \quad (4)$$

2.4 Analisis Aliran Daya (Load flow)

Analisis aliran daya (*load flow*) merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kondisi operasi sistem tenaga listrik pada keadaan tunak (*steady state*). Analisis ini digunakan untuk mengetahui parameter kelistrikan seperti tegangan bus, arus, daya aktif, daya reaktif, serta kondisi aliran daya pada sistem tenaga listrik [12].

Salah satu metode yang umum digunakan dalam analisis *load flow* adalah metode Newton-Raphson karena memiliki tingkat akurasi dan konvergensi yang baik dalam penyelesaian sistem tenaga listrik. Analisis *load flow* digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui kondisi sistem distribusi tenaga listrik sebelum dan sesudah kompensasi daya reaktif [13].

2.5 ETAP dan Optimal Capacitor Placement (OCP)

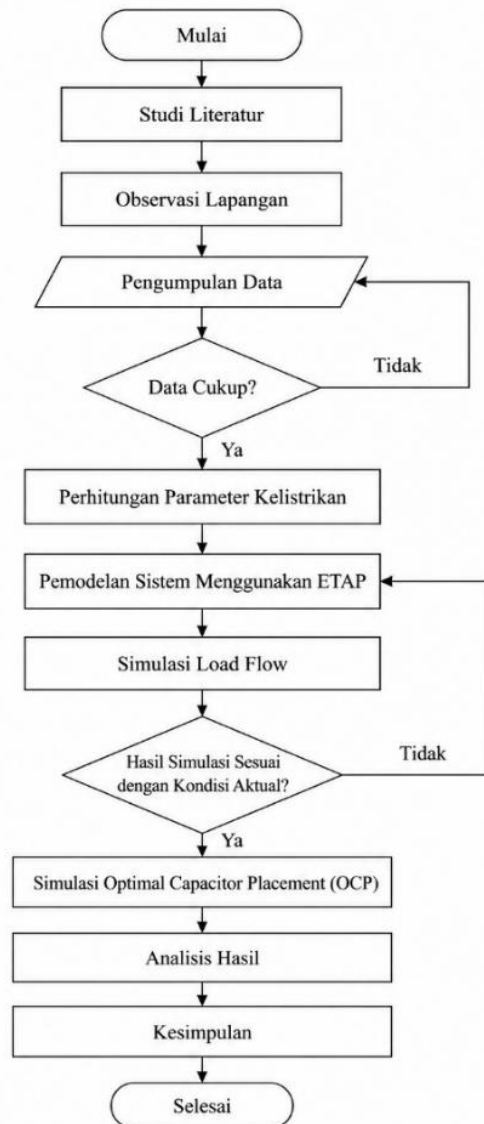
ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk analisis dan simulasi sistem tenaga listrik, seperti simulasi *load flow* dan evaluasi performa sistem distribusi tenaga listrik [14]. ETAP banyak digunakan pada sistem tenaga listrik industri karena mampu memodelkan kondisi sistem mendekati kondisi aktual di lapangan.

Salah satu fitur ETAP yang digunakan dalam optimasi faktor daya adalah *Optimal Capacitor Placement* (OCP). Metode OCP digunakan untuk menentukan kapasitas dan lokasi pemasangan *capacitor bank* yang optimal sehingga kompensasi daya reaktif dapat dilakukan secara lebih efektif serta mengurangi risiko *overcompensation* pada sistem distribusi tenaga listrik [15].

III. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian digunakan untuk menggambarkan tahapan pelaksanaan penelitian optimasi faktor daya pada sistem distribusi tenaga listrik 3,3 kV di Unit PACOL PT Unggul Indah Cahaya Tbk. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari pengumpulan data hingga analisis hasil penelitian.



Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan gambar diagram alir penelitian tersebut, tahapan penelitian diawali dengan studi literatur dan observasi lapangan untuk memahami kondisi sistem distribusi tenaga listrik yang diteliti. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data, perhitungan parameter kelistrikan, pemodelan sistem menggunakan perangkat lunak ETAP, simulasi *load flow*, serta analisis *Optimal*

Capacitor Placement (OCP). Tahap akhir penelitian dilakukan melalui analisis hasil simulasi dan perhitungan untuk mengetahui kondisi optimasi faktor daya pada sistem distribusi tenaga listrik.

3.2 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada sistem distribusi tenaga listrik 3,3 kV di Unit PACOL PT Unggul Indah Cahaya Tbk. Objek penelitian difokuskan pada analisis optimasi faktor daya melalui kompensasi daya reaktif menggunakan *capacitor bank* pada sistem distribusi tenaga listrik industri.

3.3 Pengumpulan dan Sumber Data

Data penelitian diperoleh dari observasi lapangan, dokumen kelistrikan perusahaan, serta hasil pengukuran pada sistem distribusi tenaga listrik Unit PACOL. Data yang digunakan meliputi data transformator, *capacitor bank*, dan data beban sebagai parameter pemodelan sistem menggunakan perangkat lunak ETAP.

1. Data Transformator

Transformator yang digunakan pada penelitian ini merupakan Transformator 1 pada Unit PACOL yang digunakan untuk menyuplai sistem distribusi tenaga listrik 3,3 kV. Berikut adalah data dari transformatornya:

Tabel 3.1 Data Tranformator

Parameter	Spesifikasi / Nilai
Merek / Pabrik	PT Trafindo Perkasa
Kapasitas Nominal (S)	6.500 kVA
Tegangan Primer (HV)	20.000 V (20 kV)
Tegangan Sekunder (LV)	3.450 V (3,45 kV)
Arus Nominal Sekunder	1.087,76 A
Arus Nominal Primer	187,63 A
Impedansi (%Z)	8%
Fasa & Frekuensi	3 Fasa / 50 Hz

Data transformator pada tabel tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam simulasi *load flow* dan analisis sistem distribusi tenaga listrik menggunakan perangkat lunak ETAP.

2. Data Capacitor bank

Capacitor bank digunakan sebagai kompensasi daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya pada sistem distribusi tenaga listrik.

Berikut adalah data dari *capacitor bank* yang digunakan:

Tabel 3.3 Data *Capacitor bank*

Parameter	Spesifikasi / Nilai
Merek / Pabrik	LIFASA
Kapasitas Total Terpasang (Qc)	1.350 kVAR
Tegangan Kerja Nominal	3.300 V (3,3 kV)
Jumlah Uni	4 Unit
Rincian Kapasitas per Unit	3 Unit × 400 kVAR 1 Unit × 150 kVAR
Mode Switching (Penyalan)	Switch 1: 400 kVAR + 400 kVAR

Data *capacitor bank* pada tabel tersebut akan digunakan untuk mengetahui pengaruh kapasitas kompensasi daya reaktif terhadap kondisi sistem distribusi tenaga listrik. Data tersebut juga digunakan sebagai parameter dalam simulasi *load flow* dan analisis *Optimal Capacitor Placement* (OCP) menggunakan perangkat lunak ETAP.

3. Data Beban

Data beban pada sistem distribusi tenaga listrik Unit PACOL digunakan sebagai parameter utama dalam simulasi *load flow* menggunakan perangkat lunak ETAP.

Tabel 3.2 Data Beban

Parameter	Motor 1 (Utama)	Motor 2 (Cadangan)
Kode Peralatan	Motor 3-C1A	Motor 3-C1B
Status Operasional	Aktif beroperasi (<i>Duty</i>)	Tidak beroperasi (<i>Standby</i>)
Daya Aktif (P)	2.050 kW	2.050 kW
Tegangan Kerja Nominal	3.300 V (3,3 kV)	3.300 V (3,3 kV)
Arus Nominal (I)	409 A	409 A
Putaran Motor	1.500 RPM	1.500 RPM

Data beban yang digunakan terdiri dari dua beban motor induksi, dimana satu motor beroperasi pada kondisi aktif dan satu motor lainnya berada pada kondisi *standby*. Data tersebut digunakan untuk mengetahui kondisi operasi sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan kebutuhan daya pada beban industri.

3.4 Perhitungan dan Analisis Sistem

Perhitungan parameter kelistrikan dilakukan untuk mengetahui kondisi sistem distribusi tenaga listrik sebelum dan sesudah kompensasi daya reaktif. Parameter yang dianalisis meliputi daya aktif, daya reaktif, daya semu, faktor daya, arus sistem, dan rugi-rugi daya.

Analisis sistem dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP dengan metode *load flow* berdasarkan data hasil observasi lapangan dan parameter sistem aktual. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kondisi sistem distribusi tenaga listrik sebelum dan sesudah kompensasi daya reaktif.

Selanjutnya dilakukan analisis *Optimal Capacitor Placement* (OCP) untuk menentukan kondisi kompensasi daya reaktif yang optimal pada sistem distribusi tenaga listrik 3,3 kV. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi pengaruh *capacitor bank* terhadap faktor daya, arus sistem, daya reaktif, dan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Aktual Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik pada Unit PACOL PT Unggul Indah Cahaya Tbk menggunakan sistem distribusi tegangan menengah 3,3 kV yang disuplai melalui Transformator 1 menuju main panel distribusi tenaga listrik. Sistem distribusi tersebut digunakan untuk menyuplai beban motor induksi sebagai beban utama pada proses produksi. Pada sistem distribusi tersebut, *capacitor bank* dipasang secara paralel pada panel MV-SDP-1 sebagai kompensasi daya reaktif untuk mendukung kebutuhan beban induktif.

Sistem distribusi pada Unit PACOL terdiri dari dua panel beban, yaitu panel 3-HV-02 sebagai beban aktif yang beroperasi pada kondisi normal dan panel 3-HV-03 sebagai beban cadangan (*standby*). Penyaluran daya menuju panel beban dilakukan melalui panel 3-HV-01 sebagai main panel beban sebelum kompensasi daya reaktif. Sistem *capacitor bank* pada Unit PACOL masih menggunakan sistem pengoperasian manual dengan konfigurasi kapasitor yang terdiri dari dua *Switch* step (SW), yaitu SW 1 sebesar 400 + 400 kVAR dan SW 2 sebesar 400 + 150 kVAR dengan total kapasitas *capacitor bank* sebesar 1350 kVAR. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui kondisi operasi sistem distribusi tenaga listrik pada saat penelitian berlangsung. Data yang diperoleh meliputi parameter kelistrikan yang digunakan untuk menganalisis tingkat pembebanan dan faktor daya sistem. Hasil pengukuran tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kebutuhan kompensasi daya reaktif.

Berikut adalah data hasil pengukuran lapangan yang didapatkan:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Lapangan di Power Meter Panel

Lokasi	Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
MV-SDP-1	V _{Operasional}	3,5	kV	Kondisi aktual sistem
	V _{Nominal}	3,3	kV	Tegangan sistem
	I _{Sesudah Kompensasi}	265	A	Dengan kapasitor aktif
	Kapasitor Aktif	800	kVAR	2 × 400 kVAR (<i>Switch</i> 2)
	PF _{Sesudah Kompensasi}	0,96	-	<i>Leading</i>
3-HV-01	I _{Beban}	365	A	Beban motor
	PF _{Sebelum Kompensasi}	0,96	-	<i>Lagging</i>
	P _{Aktif}	1800	kW	Hasil pengukuran

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran parameter kelistrikan pada sistem distribusi tenaga listrik Unit PACOL. Pengukuran pada panel 3-HV-01 dilakukan sebelum kompensasi daya reaktif dengan kondisi faktor daya sebesar 0,96 *lagging*. Sementara itu, pengukuran pada panel MV-SDP-1 dilakukan setelah *capacitor bank* sebesar 800 kVAR terhubung pada sistem distribusi tenaga listrik sehingga faktor daya berubah menjadi 0,96 *leading*.

Kondisi faktor daya *leading* menunjukkan adanya indikasi *overcompensation* akibat kapasitas *capacitor bank* yang relatif besar dibandingkan kebutuhan beban aktif pada sistem distribusi tenaga listrik. Selain itu, pengoperasian *capacitor bank* yang masih dilakukan secara manual menyebabkan kompensasi daya reaktif belum dapat menyesuaikan perubahan beban secara otomatis. Kondisi tersebut juga dipengaruhi oleh beban sistem yang tidak bekerja pada kapasitas penuh serta hanya satu panel beban yang beroperasi, sedangkan panel lainnya berada pada kondisi *standby*. Oleh karena itu, kondisi sebelum kompensasi dianalisis kembali melalui perhitungan teoritis dan simulasi ETAP untuk memperoleh kondisi sistem yang lebih representatif.

4.2 Perhitungan Kondisi Sebelum Kompensasi

Perhitungan kondisi sebelum kompensasi dilakukan untuk mengetahui parameter kelistrikan sistem distribusi tenaga listrik sebelum penggunaan *capacitor bank* sebagai kompensasi daya reaktif. Perhitungan dilakukan berdasarkan data hasil pengukuran pada sistem distribusi tenaga listrik Unit PACOL dan digunakan sebagai dasar validasi simulasi *load flow* pada perangkat lunak ETAP. Meskipun beberapa parameter kelistrikan telah diperoleh melalui hasil pengukuran, perhitungan sistem tetap dilakukan untuk memperoleh kondisi yang lebih representatif terhadap keseluruhan sistem distribusi tenaga listrik karena pengukuran dilakukan pada titik panel yang berbeda antara kondisi sebelum dan sesudah kompensasi.

Perhitungan dilakukan dengan menentukan nilai daya semu berdasarkan data tegangan dan arus sistem, kemudian dilanjutkan dengan menentukan nilai daya aktif, faktor daya, dan daya reaktif pada kondisi sebelum kompensasi. Nilai daya aktif dianggap tetap karena penggunaan *capacitor bank* hanya mempengaruhi kebutuhan daya reaktif sistem dan tidak mempengaruhi kebutuhan daya aktif beban industri. Hasil perhitungan parameter kelistrikan pada kondisi sebelum dan sesudah kompensasi daya reaktif ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Parameter Kelistrikan

Parameter	Persamaan	Before	After
V	-	3,3 kV	3,3 kV
I	-	365 A	265 A
S	$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$	2086 kVA	1514 kVA
P	$P = S \cdot \cos\phi$	1454 kW	1454 kW
PF	$\cos\phi_1 = \frac{P}{S}$	0,697 <i>lagging</i>	0,96 <i>leading</i>
Q	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	1496 kVAR	421 kVAR

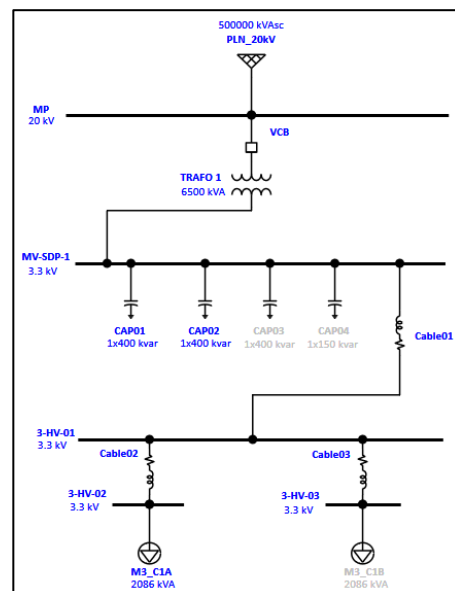
Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.2, kondisi sebelum kompensasi menunjukkan faktor daya sistem sebesar 0,697 *lagging* akibat dominasi beban induktif berupa motor induksi. Setelah *capacitor bank* digunakan sebagai kompensasi daya reaktif, arus sistem mengalami

penurunan dari 365 A menjadi 265 A dan kebutuhan daya reaktif menurun dari 1496 kVAR menjadi 421 kVAR.

Hasil perhitungan juga menunjukkan bahwa faktor daya setelah kompensasi berubah menjadi 0,96 *leading*. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya kompensasi daya reaktif berlebih (*overcompensation*) akibat kapasitas *capacitor bank* yang relatif besar dibandingkan kebutuhan daya reaktif aktual pada kondisi beban yang beroperasi. Selain itu, sistem pengoperasian *capacitor bank* yang masih dilakukan secara manual menyebabkan kompensasi daya reaktif belum dapat menyesuaikan perubahan beban secara otomatis.

4.3 Simulasi Load flow Menggunakan ETAP

Simulasi *load flow* dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP untuk menganalisis kondisi sistem distribusi tenaga listrik 3,3 kV pada Unit PACOL PT Unggul Indah Cahaya Tbk. Simulasi dilakukan berdasarkan data aktual sistem distribusi tenaga listrik yang meliputi data transformator, data beban, konfigurasi panel distribusi, dan data *capacitor bank*. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi sistem tanpa kompensasi daya reaktif dan kondisi sistem saat *capacitor bank* aktif sebesar 800 kVAR pada *Switch 1*.



Gambar 4.1 Single Line Diagram ETAP

Gambar 4.1 menunjukkan single line diagram sistem distribusi tenaga listrik Unit PACOL yang digunakan pada simulasi ETAP. Pada kondisi simulasi, *capacitor bank* yang aktif terdiri dari CAP01 dan CAP02 dengan total kapasitas 800 kVAR, sedangkan CAP03 dan CAP04 berada pada kondisi *off*. Selain itu, hanya satu panel beban yang beroperasi pada kondisi normal, sedangkan panel

beban lainnya berada pada kondisi *standby* sesuai kondisi aktual sistem distribusi tenaga listrik di lapangan.

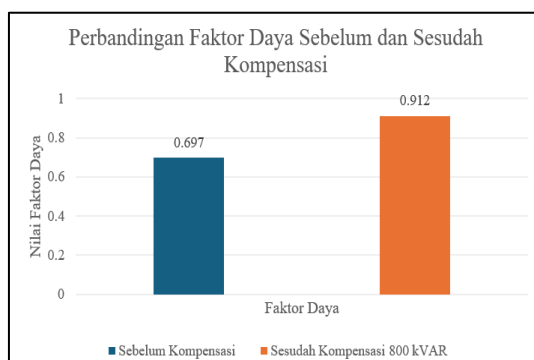
Selanjutnya hasil simulasi *load flow* menggunakan perangkat lunak ETAP pada kondisi tanpa kompensasi dan sesudah kompensasi daya reaktif ditunjukkan pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil Simulasi *Load flow*

Parameter	Satuan	Tanpa Kompensasi	Switch 1
			400 + 400 kVAR
Tegangan	%	103.8	105
Tegangan	kV	3.425	3.465
Daya Aktif	kW	1460	1461
Daya Reaktif	kVAR	1502	654.9
Daya Semu	kVA	2094	1601
Faktor Daya	-	0.697	0.912
Arus	A	352.9	266.9

Berdasarkan hasil simulasi ETAP, penggunaan *capacitor bank* menyebabkan tegangan sistem meningkat dari 3,425 kV menjadi 3,465 kV. Selain itu, daya reaktif sistem mengalami penurunan dari 1502 kVAR menjadi 654,9 kVAR sehingga daya semu sistem menurun dari 2094 kVA menjadi 1601 kVA. Penurunan kebutuhan daya reaktif tersebut juga menyebabkan arus sistem menurun dari 352,9 A menjadi 266,9 A.

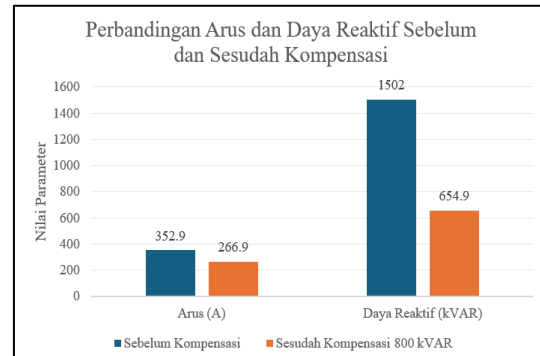
Peningkatan faktor daya dan penurunan parameter sistem hasil simulasi ETAP ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan faktor daya sebelum dan sesudah kompensasi

Berdasarkan hasil simulasi yang digambarkan pada grafik menunjukkan bahwa faktor daya sistem meningkat dari 0,697 menjadi 0,912 setelah *capacitor bank* sebesar 800 kVAR

dioperasikan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kompensasi daya reaktif menggunakan *capacitor bank* mampu memperbaiki faktor daya serta mengurangi kebutuhan daya reaktif pada sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Arus dan Daya Reaktif sebelum dan sesudah kompensasi

Kemudian hasil simulasi pada parameter arus dan daya reaktif menunjukkan bahwa sebagian kebutuhan daya reaktif pada beban induktif telah disuplai oleh *capacitor bank* sehingga pembebanan sumber daya reaktif dari sistem tenaga listrik menjadi lebih kecil. Selain itu, peningkatan tegangan sistem menunjukkan bahwa kompensasi daya reaktif juga membantu memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik.

Hasil simulasi *load flow* menggunakan ETAP menunjukkan kesesuaian dengan hasil perhitungan teoritis yang telah dilakukan sebelumnya, dimana penggunaan *capacitor bank* menyebabkan peningkatan faktor daya, penurunan arus sistem, serta pengurangan kebutuhan daya reaktif pada sistem distribusi tenaga listrik.

4.4 Analisis *Optimal Capacitor Placement* (OCP)

Analisis *Optimal Capacitor Placement* (OCP) dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP untuk mengevaluasi pengaruh variasi kapasitas *capacitor bank* terhadap kondisi sistem distribusi tenaga listrik 3,3 kV di Unit PACOL PT Unggul Indah Cahaya Tbk. Analisis dilakukan berdasarkan konfigurasi aktual *capacitor bank* pada sistem distribusi tenaga listrik yang terdiri dari kondisi tanpa kompensasi, *Switch 2* aktif sebesar 550 kVAR, *Switch 1* aktif sebesar 800 kVAR, dan kondisi full *Switch* aktif sebesar 1350 kVAR.

Simulasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kapasitas kompensasi daya reaktif terhadap faktor daya, daya reaktif, arus sistem, dan tegangan sistem distribusi tenaga listrik. Selain itu, analisis ini bertujuan untuk

menentukan kapasitas *capacitor bank* yang memberikan kinerja sistem paling optimal. Hasil simulasi juga digunakan untuk membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah kompensasi daya reaktif dilakukan. Hasil simulasi OCP menggunakan ETAP ditunjukkan pada Tabel 4.4.

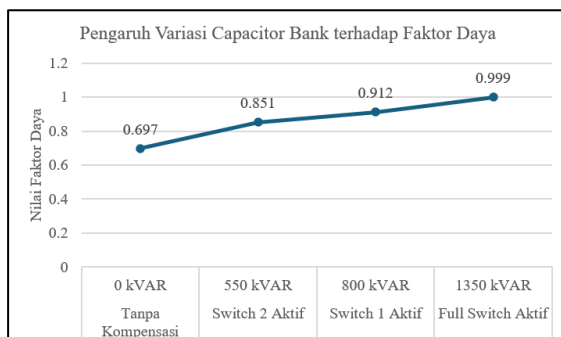
Tabel 4.4 Hasil Analisis *Optimal Capacitor Placement* (OCP)

Kondisi Capacitor Bank	Kapasitas Capacitor Bank	Faktor Daya	Daya Reaktif (kVAR)	Arus Sistem (A)	Tegangan (%)	Kondisi Faktor Daya
Tanpa Kompensasi	0 kVAR	0.697	1502	352.9	103.8	Lagging
Switch 2 Aktif	550 kVAR	0.851	900.7	287	104.6	Lagging
Switch 1 Aktif	800 kVAR	0.912	654.9	266.9	105	Mendekati Unity
Full Switch Aktif	1350 kVAR	0.999	27.4	241.9	105.8	Leading

Berdasarkan hasil simulasi OCP, peningkatan kapasitas *capacitor bank* menyebabkan faktor daya sistem meningkat, sedangkan daya reaktif dan arus sistem menurun. Pada kondisi tanpa kompensasi, faktor daya sistem sebesar 0,697 dengan daya reaktif 1502 kVAR dan arus 352,9 A.

Saat *Switch 2* sebesar 550 kVAR dioperasikan, faktor daya meningkat menjadi 0,851, sementara daya reaktif dan arus sistem menurun menjadi 900,7 kVAR dan 287 A. Pada kondisi *Switch 1* sebesar 800 kVAR, faktor daya kembali meningkat menjadi 0,912 dengan daya reaktif 654,9 kVAR dan arus 266,9 A, tanpa menyebabkan sistem berada pada kondisi *leading*.

Pada kondisi *full switch* sebesar 1350 kVAR, faktor daya mencapai 0,999 dengan daya reaktif 27,4 kVAR dan arus 241,9 A. Namun, kapasitas tersebut menyebabkan *overcompensation* sehingga sistem berada pada kondisi *leading* dan tegangan meningkat hingga 105,8% dari tegangan nominal. Pengaruh variasi kapasitas *capacitor bank* terhadap faktor daya sistem ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Variasi *Capacitor bank* terhadap Faktor Daya

Berdasarkan Gambar 4.4, peningkatan kapasitas *capacitor bank* menyebabkan faktor daya sistem meningkat mendekati kondisi *unity*.

Namun, penggunaan kapasitas *capacitor bank* yang terlalu besar dapat menyebabkan sistem mengalami kondisi *leading* akibat kompensasi daya reaktif berlebih. Berdasarkan hasil simulasi, kondisi *Switch 1* aktif sebesar 800 kVAR menunjukkan kondisi kompensasi yang paling baik karena mampu meningkatkan faktor daya hingga 0,912 tanpa menyebabkan sistem mengalami kondisi *leading*.

Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa pengoperasian *capacitor bank* secara manual menyebabkan kompensasi daya reaktif belum dapat menyesuaikan perubahan beban secara otomatis. Oleh karena itu, penggunaan sistem pengoperasian *capacitor bank* otomatis dapat menjadi solusi untuk menjaga kondisi faktor daya tetap optimal pada sistem distribusi tenaga listrik industri.

4.5 Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis dan simulasi *load flow* menggunakan ETAP, penggunaan *capacitor bank* pada sistem distribusi tenaga listrik 3,3 kV di Unit PACOL PT Unggul Indah Cahaya Tbk mampu meningkatkan faktor daya serta menurunkan daya reaktif dan arus sistem. Hasil simulasi ETAP juga menunjukkan kesesuaian dengan hasil perhitungan teoritis, dimana peningkatan kapasitas kompensasi daya reaktif menyebabkan kebutuhan daya reaktif dari sumber menjadi lebih kecil sehingga efisiensi sistem distribusi tenaga listrik meningkat.

Hasil analisis OCP menunjukkan bahwa kondisi *Switch 1* aktif sebesar 800 kVAR memberikan kondisi kompensasi yang paling baik pada sistem distribusi tenaga listrik. Pada kondisi tersebut, faktor daya sistem meningkat menjadi 0,912 dengan daya reaktif sebesar 654,9 kVAR dan arus sistem sebesar 266,9 A. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *capacitor bank* sebesar 800 kVAR mampu memperbaiki faktor daya secara signifikan tanpa menyebabkan sistem mengalami kondisi *leading*.

Sementara itu, pada kondisi *full Switch* aktif sebesar 1350 kVAR, faktor daya sistem meningkat menjadi 0,999 dengan daya reaktif turun menjadi 27,4 kVAR dan tegangan sistem meningkat hingga 105,8% terhadap tegangan nominal sistem. Kondisi tersebut menyebabkan sistem distribusi tenaga listrik berada pada kondisi *leading* akibat kompensasi daya reaktif berlebih (*overcompensation*). Penggunaan kapasitas *capacitor bank* yang terlalu besar menyebabkan suplai daya reaktif kapasitif melebihi kebutuhan daya reaktif beban induktif pada sistem distribusi tenaga listrik.

Kondisi *overcompensation* pada sistem distribusi tenaga listrik juga dipengaruhi oleh

kondisi operasi beban aktual di lapangan. Pada sistem distribusi Unit PACOL, satu panel beban dioperasikan sebagai panel utama pada kondisi normal, sedangkan panel beban lainnya digunakan sebagai panel *standby* atau cadangan sistem. Selain itu, sistem pengoperasian *capacitor bank* pada Unit PACOL masih dilakukan secara manual sehingga kompensasi daya reaktif belum dapat menyesuaikan perubahan beban secara otomatis. Kondisi tersebut menyebabkan pada saat kebutuhan daya reaktif beban menurun, *capacitor bank* tetap menyuplai daya reaktif kapasitif dalam jumlah besar sehingga faktor daya sistem berubah menjadi *leading*.

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan *capacitor bank* secara manual masih memiliki keterbatasan dalam menjaga kondisi faktor daya tetap optimal pada sistem distribusi tenaga listrik industri. Oleh karena itu, penggunaan sistem pengoperasian *capacitor bank* otomatis (*automatic power factor correction*) dapat menjadi solusi untuk menyesuaikan kapasitas kompensasi daya reaktif terhadap perubahan beban sistem secara otomatis. Dengan demikian, kondisi faktor daya sistem dapat dijaga tetap mendekati *unity* tanpa menyebabkan sistem mengalami kondisi *overcompensation*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Penggunaan *capacitor bank* sebagai kompensasi daya reaktif mampu meningkatkan faktor daya serta menurunkan daya reaktif dan arus sistem pada distribusi tenaga listrik industri.
- Hasil simulasi *load flow* menggunakan ETAP menunjukkan bahwa penggunaan *capacitor bank* sebesar 800 kVAR memberikan kondisi kompensasi yang paling baik dengan faktor daya sebesar 0,912 tanpa menyebabkan sistem mengalami kondisi *leading*.
- Hasil analisis *Optimal Capacitor Placement* (OCP) menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas *capacitor bank* menyebabkan faktor daya meningkat, namun penggunaan kapasitas yang terlalu besar dapat menyebabkan kondisi *overcompensation* pada sistem distribusi tenaga listrik.
- Kondisi full *Switch* aktif sebesar 1350 kVAR menyebabkan sistem mengalami kondisi *leading* akibat suplai daya reaktif kapasitif yang melebihi kebutuhan daya reaktif beban induktif.
- Sistem pengoperasian *capacitor bank* secara manual menyebabkan kompensasi daya

reaktif belum dapat menyesuaikan perubahan beban secara otomatis. Oleh karena itu, penggunaan sistem *automatic power factor correction* dapat menjadi pengembangan selanjutnya untuk menjaga kondisi faktor daya tetap optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Unggul Indah Cahaya Tbk atas izin, dukungan, dan kesempatan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Bapak Ahmad Dwi Prastomo atas arahan dan bimbingan yang diberikan selama proses penelitian berlangsung, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andre Syaputra, E. Zondra, H. Yuvendius, and D. Darmansyah, "Analisis Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Metoda Regresi Polinomial," *SainETIn J. Sains, Energi, Teknol. dan Ind.*, vol. 7, no. 2, pp. 49–57, 2023, doi: 10.31849/sainetin.v7i2.9727.
- [2] Ndikade Hasmirad, Salim Sardi, and Abdussamad Syahrir, "Studi Perbaikan Faktor Daya Pada Jaringan Listrik Konsumen Di Kecamatan Katobu Kabupaten Muna," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, pp. 52–59, 2022.
- [3] B. I. Al Firdausi, M. A. Auliq, and F. Fitriana, "Analisis Kebutuhan Bank Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya di PT Beras Rajawali Menggunakan *Optimal Capacitor Placement* ETAP 19," *J. List. Instrumentasi, dan Elektron. Terap.*, vol. 5, no. 1, p. 39, 2024, doi: 10.22146/juliet.v5i1.89376.
- [4] B. A. Nasution, R. M. Situmorang, A. Sinuraya, and D. J. Sinaga, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Sistem 11 Bus Dengan Metode *Optimal Capacitor Placement*," *J. Sains Student Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 1166–1178, 2025, [Online]. Available: <https://doi.org/10.61722/jssr.v3i6.7081>
- [5] J. Hutabarat, A. Dani, and B. Satria, "Analisis penerapan kapasitor bank dalam perbaikan faktor daya di gedung komersial berbeban reaktif tinggi," *J. Nas. Teknol. Komput.*, vol. 6, no. April, pp. 306–318, 2026.
- [6] Sukardinal, Y. Ridal, and C. Nazallul, "Analisis Pengaruh Faktor Daya Terhadap Efisiensi Pemakaian Energi Listrik Pada Pelanggan Golongan Tarif I-3 Pt. PLN (Persero) UP3 Padang," *Ekasakti J. Penelit. dan Pengabd.*, vol. 5, no. 2, pp. 161–172, 2025, [Online]. Available: <https://doi.org/10.31933/ejpp.xxxx>
- [7] I. W. Utama and D. Candra, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Pada Tranformator

- 2500KVA/400V di Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai Bali,” *J. Ilm. Telsinas Elektro, Sipil dan Tek. Inf.*, vol. 6, no. 1, pp. 37–45, 2023, doi: 10.38043/telsinas.v6i1.4321.
- [8] T. Sukendar, R. Sinambela, M. Awaludin, and A. G. Gani, “Analisa Faktor Daya Menggunakan *Capacitor bank* untuk Meningkatkan Kualitas Daya Listrik di Wisma Nusantara Internasional. (*Power factor Analysis Using Capacitor bank to Improve the Quality of Electric Power At Wisma Nusantara International*),” *J. Sist. Inf.*, vol. 11, no. 2, pp. 1–10, 2024.
- [9] B. Ferdiansah, A. Margiantono, and F. Ahmad, “Analisis Pengaruh Kapasitor Bank Terhadap Nilai Faktor Daya Dan Nilai Jatuh Tegangan,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 234–241, 2023, doi: 10.37905/jjee.v5i2.20893.
- [10] N. Mustaqin, R. Rauf, and Y. Ridal, “Analisa Pengaruh Kapasitor Bank pada PDAM Kota Padang,” *J. MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, vol. 6, no. 1, pp. 16–26, 2025, [Online]. Available: <https://jurnal.ceredindonesia.or.id/index.php/mesil/article/view/1121>
- [11] S. D. Wirayanto, A. Arlenny, and E. Zondra, “Sistem SCADA Pada Jaringan Distribusi PT.PLN (Persero) UP2D Pekanbaru,” *J. Tek.*, vol. 16, no. 2, pp. 123–129, 2022, doi: 10.31849/teknik.v16i2.11094.
- [12] H. Jadi Ate, “Perbandingan Hasil Iterasi Aliran Daya (*Load flow*) Menggunakan Metode Newton Raphson dan Metode Fast-Decoupled Dengan Software ETAP,” *Electrician*, vol. 16, no. 3, pp. 295–300, 2022, doi: 10.23960/elc.v16n3.2317.
- [13] M. Desmulati and M. F. Ramadhan, “Pengaruh Pemeliharaan Predictive Maintenance Terhadap Kinerja Sistem Distribusi di Wilayah Rawan Gangguan,” *J. Indragiri Penelit. Multidisiplin*, vol. 5, no. 1, p. 4, 2025, [Online]. Available: <https://ejournal.indrainstitute.id/index.php/jipm/article/view/558/241>
- [14] S. Buton, A. U. Krismanto, T. Elektro, S. Itn, and M. Indonesia, “Meningkatkan Profil Tegangan Di Jaringan Distribusi Pt . Pln (Persero),” *J. Magn.*, vol. 07, pp. 7–17, 2023.
- [15] S. A. Koesardhinata, A. H. Andriawan, G. Budiono, and I. A. Wardah, “Analisa Rugi-Rugi Daya pada Jaringan Transmisi 150 KV Gardu Induk Waru Bay Sidoarjo,” *J. EL Sains*, vol. 5, no. 1, pp. 55–58, 2023.