



Analisis Perbaikan Faktor Daya Sistem 11 Bus Dengan Metode Optimal Capacitor Placement

Baginda Asyraq Nasution

Universitas Negeri Medan

Raffles Marulitua Situmorang

Universitas Negeri Medan

Arwadi Sinuraya

Universitas Negeri Medan

Desman Jonto Sinaga

Universitas Negeri Medan

Jalan Willem Iskandar, Pasar V, Medan Estate, Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

Korespondensi penulis: asybaginda232@mhs.unimed.ac.id

Abstract. *Electric power distribution networks generally receive energy after passing through the transmission system and function to step down and deliver voltage to end consumers. Throughout this delivery process, distribution networks are vulnerable to various disturbances, one of which is voltage drop, which can degrade power quality and disrupt system operational stability. This study aims to address voltage drop issues in distribution networks by applying the Optimal Capacitor Placement (OCP) method. OCP is used to determine the optimal locations and capacities of capacitors to improve voltage profiles, reduce power losses, and enhance the power factor. The research approach includes single-phase distribution network modeling, numerical simulations of loads and operating conditions, and performance evaluation before and after capacitor installation. The analysis focuses on voltage parameters, power losses, power factor, and operational stability in critical network segments. The results show that optimal capacitor placement can stabilize voltage within operational standards, reduce voltage fluctuations, and improve energy distribution efficiency.*

Keywords: *Optimal Capacitor Placement, Capacitor, Distribution Network*

Abstrak. Jaringan distribusi listrik umumnya menerima energi setelah melalui sistem transmisi dan berfungsi menurunkan serta menyalurkan tegangan ke konsumen akhir. Sepanjang proses penyaluran, jaringan distribusi rentan terhadap berbagai gangguan, salah satunya adalah penurunan tegangan yang dapat menurunkan kualitas daya dan mengganggu stabilitas operasi sistem. Penelitian ini bertujuan mengatasi permasalahan penurunan tegangan pada jaringan distribusi dengan menerapkan metode *Optimal Capacitor Placement* (OCP). Metode OCP digunakan untuk menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor secara optimal agar dapat memperbaiki profil tegangan, mengurangi rugi-rugi daya, serta meningkatkan faktor daya. Pendekatan penelitian meliputi pemodelan jaringan distribusi satu fasa, simulasi numerik beban dan kondisi operasi, serta evaluasi kinerja sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor. Analisis fokus pada parameter tegangan, rugi daya, faktor daya, dan stabilitas operasi di segmen-segmen kritis jaringan. Hasil menunjukkan bahwa penempatan kapasitor secara optimal mampu menstabilkan tegangan dalam batas standar operasional, mengurangi fluktuasi tegangan, serta meningkatkan efisiensi distribusi energi.

Kata Kunci: *Optimal Capacitor Placement, Kapasitor, Jaringan Distribusi*

PENDAHULUAN

Sistem distribusi merupakan salah satu jaringan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tegangan dari pembangkit menuju rumah konsumen dengan menurunkan tegangan secara bertahap melalui gardu induk. Tegangan yang biasanya diturunkan bertahap, dimulai dari sistem transmisi 150 kV menuju sistem distribusi 20 kV, sistem distribusi 20 kV menuju rumah/industri konsumen listrik tiga fasa 400 V, dan sistem distribusi 20 kV menuju rumah konsumen dengan

listrik satu fasa 230 V. Jaringan distribusi sering kali mengalami gangguan, salah satunya adalah penurunan tegangan.

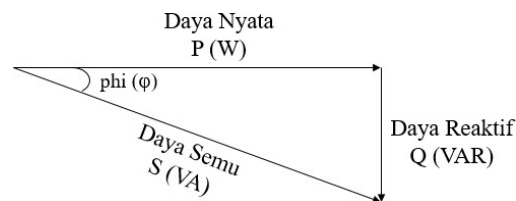
Penurunan tegangan bisa terjadi karena beberapa faktor, salah satunya adalah penurunan faktor daya ($\cos \phi$). Faktor daya ($\cos \phi$) menggambarkan hubungan antara daya aktif (watt) dengan daya semu (VA). $\cos \phi$ yang rendah menunjukkan dominasi daya reaktif dan menyebabkan peningkatan arus untuk memenuhi beban nyata yang sama. Akibatnya terjadi peningkatan rugi-rugi daya pada konduktor, penurunan tegangan dan pengurangan kapasitas penghantaran saluran.

Salah satu teknik efektif untuk memperbaiki $\cos \phi$ adalah kompensasi reaktif melalui pemasangan kapasitor pada titik strategis jaringan distribusi. Penentuan lokasi dan nilai kapasitor yang optimal bukanlah tugas sederhana karena bergantung pada konfigurasi jaringan, karakteristik beban, dan variasi kondisi operasi. Metode *Optimal Capacitor Placement* (OCP) menawarkan pendekatan sistematis untuk memilih posisi dan kapasitansi yang memaksimalkan peningkatan faktor daya sekaligus meminimalkan rugi-rugi daya pada sebuah jaringan distribusi listrik.

KAJIAN TEORITIS

1. Daya Listrik dan Segitiga Daya

Daya yaitu besarnya energi listrik yang diserap oleh suatu rangkaian setiap satuan waktu. Daya listrik dikelompokkan tiga bagian, daya nyata (P), daya semu (S), yang terakhir daya reaktif (Q) [6]. Hubungan antara ketiga daya tersebut dapat digambarkan melalui segitiga daya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Segitiga daya

Berdasarkan Gambar 1, daya nyata (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) dapat ditentukan menggunakan (1) – (3), dan perhitungan faktor daya mengacu pada:

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

Keterangan:

- P : daya nyata (watt)
- V : tegangan (volt)
- I : arus (A)
- $\cos \phi$: faktor daya
- Q : daya reaktif (VAR)
- S : daya semu (VA)

2. Faktor Daya

Faktor daya adalah rasio antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya, juga dikenal sebagai faktor kerja, mencerminkan sudut fase antara daya aktif dan daya semu dalam sistem listrik. Daya

aktif digunakan untuk menggerakkan peralatan konsumen dalam jaringan listrik, sementara daya semu dihasilkan oleh generator pembangkit dan disalurkan ke pelanggan.

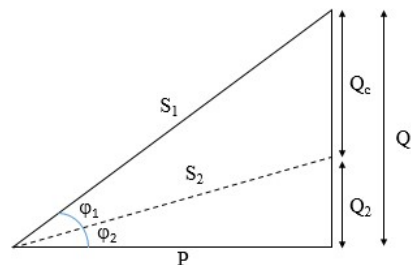
Penambahan daya reaktif akan mengakibatkan penurunan faktor daya listrik. Salah satu cara sederhana untuk mencegah penurunan faktor daya listrik adalah dengan memilih peralatan konsumen yang memiliki faktor daya tinggi atau dengan memasang kapasitor. Kapasitor adalah komponen listrik yang menghasilkan daya reaktif ketika terhubung dalam jaringan listrik. Pemasangan kapasitor dapat meningkatkan faktor daya, dan ketika faktor daya ditingkatkan, daya reaktif dapat berkurang dan mendekati nilai daya aktif.

Sebuah peralatan dengan faktor daya 1.0 merupakan peralatan yang hanya memiliki resistansi murni dan merupakan pemakaian yang paling efisien dalam jaringan listrik. Sebaliknya, peralatan dengan faktor daya rendah (0,5) mengandung induktansi yang menyebabkan kerugian lebih tinggi dalam sistem pasokan tenaga listrik. Faktor daya rendah terkait dengan perbedaan fase antara arus dan tegangan pada terminal peralatan. Biasanya, sudut fase rendah disebabkan oleh penggunaan peralatan induktif seperti transformator, motor induksi, lampu TL, dan peralatan elektronik lainnya.

Semakin kecil faktor daya yang digunakan maka akan semakin besar arus ke beban. Arus yang lebih tinggi dari yang diperlukan sangat tidak diinginkan karena semakin besar pula rugi-rugi daya pada saluran dan peralatan distribusi listrik yang lain.

3. Perbaikan Faktor Daya

Sebuah kapasitor daya yang sering dinamakan bank kapasitor itu memiliki daya Q_c yang setara daya reaktif sistem yang diperbaiki oleh faktor daya [12]. Ketika sudah terpenuhi, bank kapasitor menaikkan faktor daya ke nilai maksimum yaitu $\cos \varphi = 1$. Besarnya daya reaktif Q_c yang dibutuhkan untuk mengubah faktor daya dari $\cos \varphi_1$ menjadi $\cos \varphi_2$ bisa diilustrasikan melalui Gambar 2.



Gambar 2. Perbaikan faktor daya

Berdasarkan Gambar 2, besar daya reaktif kapasitif (Q_c) dapat ditentukan menggunakan:

$$Q_c = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Keterangan:

- P : daya nyata (watt)
- φ_1 : sudut sebelum perbaikan
- φ_2 : sudut setelah perbaikan
- Q_c : besar daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya (VAR)

Selanjutnya, besar nilai dari kapasitor per fase yang diperlukan untuk perbaikan faktor daya dapat dihitung menggunakan:

$$\Delta C = \frac{Q_C}{3V^2 2\pi f}$$

Keterangan:

- ΔC : Besar nilai kapasitor per fase.
- f : Frekuensi (Hz).
- V : Tegangan (V).
- Q_C : Besar daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya (VAR).

4. Perhitungan Arus dan Daya

Sistem kelistrikan tiga fase merupakan sistem kelistrikan yang terdiri dari tiga keluaran yang bersifat simetris, dengan perbedaan sudut 120° pada setiap fase. Persamaan daya yang digunakan yaitu:

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$Q = S \times \sin \varphi$$

$$S = P + Q$$

Selanjutnya, dari rumusan tersebut dilakukan pengembangan perhitungan yang digunakan untuk menemukan nilai Q_L dan Q_C . Nilai-nilai ini diperlukan untuk menentukan kapasitor dan induktor yang akan digunakan dalam upaya perbaikan faktor daya. Perhitungan untuk menentukan induktor yang dibutuhkan dapat dilakukan dengan menggunakan:

$$S_1 = P / \cos \varphi$$

$$Q_L = \sqrt{S_1^2 - P^2}$$

$$L_{total} = \frac{Q_L}{L}$$

5. Bank Kapasitor

Dalam usaha untuk memperbaiki faktor daya dan mengatur tegangan dalam jaringan listrik, *engineer* menggunakan bank kapasitor yang menawarkan sistem kompensasi daya reaktif. Pada saluran transmisi, beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif, yang pada gilirannya dapat menyebabkan penurunan tegangan di sisi penerima. Bank kapasitor berperan penting dalam kompensasi daya reaktif ini dan memastikan agar tegangan tetap pada level yang sesuai ketika beban mencapai puncaknya.

Pemasangan bank kapasitor merupakan langkah untuk menyediakan pasokan daya reaktif tambahan, yang pada gilirannya akan mengurangi penyerapan daya reaktif oleh sistem yang disebabkan oleh beban. Tujuan dari tindakan ini adalah untuk mengurangi penurunan tegangan dan kerugian dalam jaringan. Selain meningkatkan nilai tegangan, pengaturan tegangan dengan menggunakan bank kapasitor juga dapat meningkatkan faktor daya. Hal ini dikarenakan pemasangan bank kapasitor dapat mengurangi penyerapan daya reaktif oleh beban. Dengan mengurangi penyerapan daya reaktif oleh beban dalam sistem, nilai faktor daya dapat ditingkatkan. Bank kapasitor memberikan manfaat yang signifikan dalam kinerja sistem distribusi, karena mampu mengurangi kerugian energi, meningkatkan kapasitas layanan, dan mengurangi penurunan tegangan.

6. Optimal Capacitor Placement Software ETAP (Electrical Transient and Analysis Program)

Simulasi OCP berfungsi memperbaiki level tegangan sistem dengan menambah kapasitor pada bus yang mengalami *drop voltage* secara otomatis. Artinya ETAP 21.1.0 akan menghitung berapa kapasitas kapasitornya dan berapa jumlah bank kapasitor minimal yang mampu memperbaiki sistem sehingga kita tidak perlu menghitung secara manual. Pada penempatan kapasitor yang optimal dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut:

- 1) Memasukkan data pembangkit, data beban, jumlah bus dan data impedansi pada saluran ke dalam *software* ETAP.
- 2) Melakukan proses *load flow* dengan menggunakan metode *Newton Raphson* untuk mengetahui kondisi di sistem.
- 3) Menjalankan optimasi penempatan kapasitor pada *software* ETAP.
- 4) Kemudian lihat di mana lokasi dari kapasitor yang optimal dan kapasitas dari kapasitor hasil menjalankan optimalisasi penempatan kapasitor menggunakan ETAP.
- 5) Melakukan pemasangan bank kapasitor sesuai dengan hasil optimalisasi lalu jalankan program *load flow* kembali.

METODE PENELITIAN

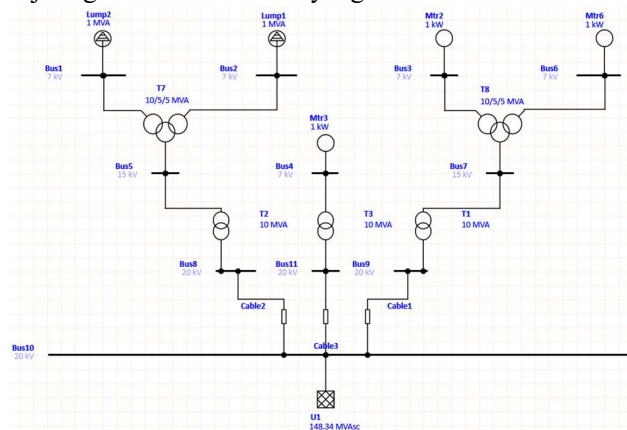
Penelitian ini menggunakan ETAP 21.1.0 sebagai *software* untuk menganalisis penurunan tegangan yang terjadi pada salah satu bus. Titik fokus pada penelitian ini adalah memahami bagaimana penambahan kapasitor berfungsi sebagai salah satu faktor perbaikan faktor daya pada sistem jaringan distribusi. Untuk melengkapi penelitian ini, akan dilampirkan berupa rangkaian *single line diagram*, data tegangan, data trafo, data saluran, data beban, dan data bus. Hal tersebut diperlukan agar mengetahui faktor-faktor apa saja yang menyebabkan sebuah sistem jaringan distribusi mengalami gangguan.

1. Metode

Optimal Capacitor Placement umumnya digunakan untuk memperbaiki faktor daya, memperbaiki profil tegangan, dan mengurangi rugi-rugi daya. Pada penelitian ini, OCP digunakan untuk memperbaiki *under voltage* pada beberapa bus pada saat pengujian *load flow* dijalankan.

2. Gambar dan Tabel

Berikut adalah jaringan distribusi listrik yang akan diteliti:



Gambar 3. *Single Line Diagram*

Berikut adalah data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini:

1) Data pembangkit:

Tabel 1. Data Pembangkit

Data Power Grid	Keterangan
Phasa	3 Phasa
Rating Tegangan	20 kV
SC Rating	1. 3-Phase: 148.34 MVA _{sc} 2. 1-Phase: 149.226 MVA _{sc}
SC Impedance (%X)	1. Positive: 10% 2. Negative: 10% 3. Zero: 0.4%

2) Data *transformator*:

a. *Transformator 2-winding*(T1, T2, T3):

Tabel 2. Data *Transformator 2-Winding*

Transformator	Keterangan
Phasa	3 Phasa
Tegangan	1. Primer: 20 kV 2. Sekunder: 15 kV
Rating MVA	10 MVA
%Z	1. Positive: 8.35% 2. Zero: 8.35%
%X	1. Positive: 8.325% 2. Zero: 8.325%
%R	1. Positive: 0.64% 2. Zero: 0.64%
X/R	1. Positive: 13 2. Zero: 13
R/X	1. Positive: 0.077 2. Zero: 0.077
% Tap	1. Primer: 0% 2. Sekunder: 0%
Grounding	1. Primer: Delta 2. Sekunder: Wye

b. *Transformator 3-winding* (T7, T8):

Tabel 3. Data *Transformator 3-winding*

Data Transformator	Keterangan
Phasa	3 Phasa
Tegangan	1. Primer: 15 kV 2. Sekunder: 7 kV 3. Tersier: 7 kV
Rating MVA	1. Primer: 10 MVA 2. Sekunder: 5 MVA 3. Tersier: 5 MVA
Positive %Z	1. P-S: 4% 2. P-T: 2% 3. S-T: 2%
Positive X/R	1. P-S: 24

	2. P-T: 24
	3. S-T: 24
Zero %Z	1. P-S: 0.5%
	2. P-T: 0.5%
	3. S-T: 0.5%
Zero X/R	1. P-S: 24
	2. P-T: 24
	3. S-T: 24
% Tap	1. Primer: 0%
	2. Sekunder: -5%
	3. Tersier: -5%
Grounding	1. Primer: Wye
	2. Sekunder: Wye
	3. Tersier: Delta

3) Data Saluran (Cable 1, Cable 2, Cable 3):

Tabel 4. Data Saluran

Data Saluran	Keterangan
Panjang	750 m
Rating Tegangan	20 kV
Unit	Metric
Frekuensi	50
Tipe Kabel	CU
Isolasi	XLPE
Source	Heesung
Install	Non-Mag
Ukuran	150 mm ²
R	1. Positive: 0.16 2. Zero: 0.2544
X	1. Positive: 0.102 2. Zero: 0.25908
L	1. Positive: 0.0003247 2. Zero: 0.0008247
Z	1. Positive: 0.18975 2. Zero: 0.3631
X/R	1. Positive: 0.637 2. Zero: 1.018
Ohms per	1 km

4) Data beban:

a. *Lumped Load* (Lump 1, Lump 2):

Tabel 5. Data *Lumped Load*

Data <i>Lumped Load</i>	Keterangan
MVA	1 MVA
Rating Tegangan	7 kV
Tipe Model	<i>Conventional</i>

MW	0.8 MW
Mvar	0.6 Mvar
%PF	80%
Arus	82.48

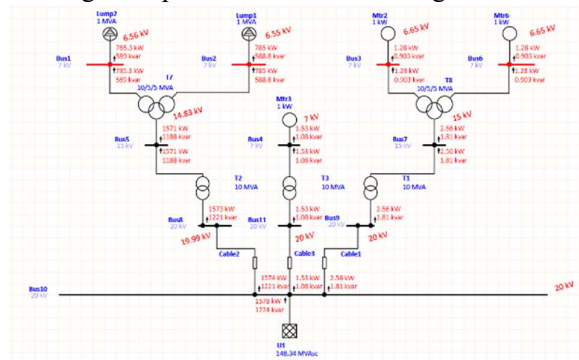
b. *Induction Motor* (Motor 2, Motor 3, Motor 6):

Tabel 6. Data *Induction Motor*

Data <i>Induction Motor</i>	Keterangan
Panjang	750 m
Rating Tegangan	7 kV
kVA	1.57 kVA
Poles	4
RPM	1500 RPM
FLA	0.129

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui adanya gangguan pada jaringan listrik, perlu dilakukan tahapan awal. Tahapan pertama untuk mengawali penelitian ini adalah dengan melakukan *load flow analysis*.



Gambar 4. *Load Flow Analysis* Sistem 11 Bus

Pada bagian ini dilakukan pengujian *load flow analysis*. Setelah dilakukan *load flow*, hal yang paling signifikan terjadi adalah bus berubah warna menjadi warna merah. Biasanya, bus merah menandakan kondisi tegangan dalam level kritis. Dengan data-data yang telah diberikan, maka tahapan selanjutnya adalah dengan melihat *report manager*. *Report manager* digunakan untuk melihat data-data instrumen selama melakukan *load flow*.

Bus Loading Summary Report

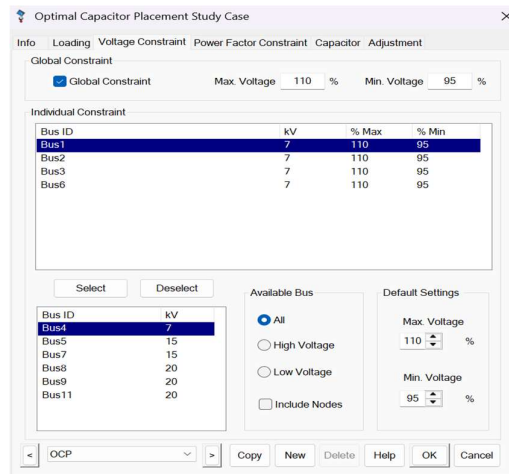
Bus	ID	kV	Rated Amp	Directly Connected Load				Total Bus Load				Parent Loading
				Constant kVA	Constant Z	Constant I	Generic	MVA	% PF	Amp		
	Bus1	7.000		0.040	0.510	0.105	0.079	0.082	80.0	86.4		
	Bus2	7.000		0.040	0.510	0.105	0.079	0.081	80.0	86.5		
	Bus3	7.000		0.001	0.001			0.002	81.8	0.1		
	Bus4	7.000		0.002	0.001			0.002	81.8	0.2		
	Bus5	15.000						0.008	79.8	76.7		
	Bus6	7.000		0.001	0.001			0.002	81.8	0.1		
	Bus7	15.000						0.003	81.7	0.1		
	Bus8	20.000						1.091	79.0	57.5		
	Bus9	20.000						0.003	81.7	0.1		
	Bus10	20.000						1.097	79.0	57.6		
	Bus11	20.000						0.002	81.7	0.1		

Gambar 5. Data-data Parameter Tegangan pada Bus

Tabel 7. Rating Tegangan Sebelum Pengujian OCP

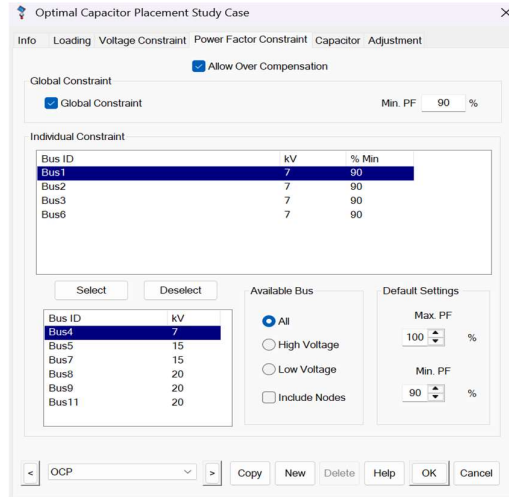
Bus	Rating Tegangan Bus (kV)	Tegangan Load Flow (kV)
Bus 1	7	6.56
Bus 2	7	6.55
Bus 3	7	6.65
Bus 4	7	7
Bus 5	15	14.83
Bus 6	7	6.65
Bus 7	15	15
Bus 8	20	19.99
Bus 9	20	20
Bus10	20	20
Bus 11	20	20

Setelah dilakukan pengecekan melalui *report manager*, bus 1, bus 2, bus 3 dan bus 6 menunjukkan tingkat faktor daya yang menurun. Sehingga, untuk mengatasi hal ini perlu dilakukan pengujian *optimal capacitor placement*. Berikut adalah pengaturan dalam *study case* OCP:

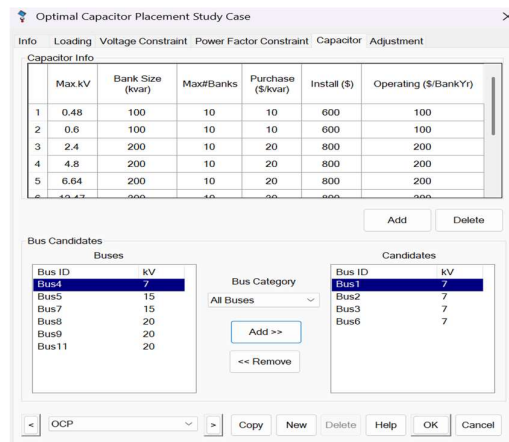


Gambar 6. Pengaturan *Voltage Constraint*

Analisis Perbaikan Faktor Daya Sistem 11 Bus Dengan Metode Optimal Capacitor Placement

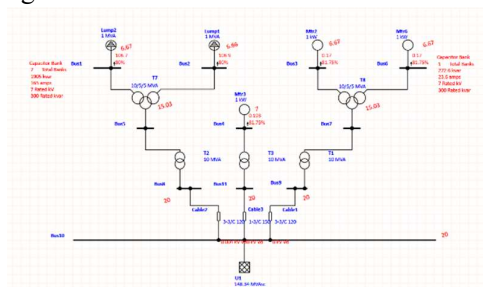


Gambar 7. Pengaturan *Power Factor Constraint*



Gambar 8. Pengaturan *Capacitor*

Setelah memasukkan data-data bus yang mengalami gangguan pada *study case* OCP, maka pengujian OCP adalah sebagai berikut.



Gambar 9. Simulasi Pengujian *Optimal Capacitor Placement*

Pada saat pengujian dijalankan, ETAP menyarankan pengguna untuk menggunakan kapasitor untuk memperbaiki gangguan dalam jaringan distribusi listrik dengan *rating* sebagai berikut:

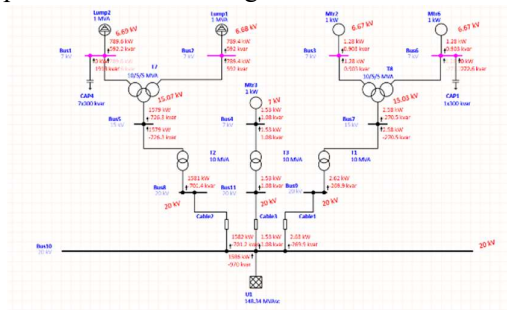
Tabel 8. Parameter *Capacitor Bank* untuk Bus 1 dan Bus 2

Parameter Capacitor Bank	Keterangan
Jumlah <i>capacitor bank</i>	7 Banks
Daya Reaktif	1905 kvar
Arus	165 A
Rating Tegangan	7 V
kvar/Bank	300 kvar/Bank

Tabel 9. Parameter *Capacitor Bank* untuk Bus 3 dan Bus 6

Parameter Capacitor Bank	Keterangan
Jumlah <i>capacitor bank</i>	1 Banks
Daya Reaktif	272.6 kvar
Arus	23.6 A
Rating Tegangan	7 V
kvar/Bank	300 kvar/Bank

Sehingga, pengujian dengan *optimal capacitor placement* perlu dilakukan untuk memperbaiki penurunan faktor daya pada bus-bus yang mengalami *under voltage* (penurunan tegangan). Setelah menjalankan OCP, dengan menginput data-data *capasitor bank* diatas dapat membuahkan hasil pada penelitian ini melalui gambar berikut:



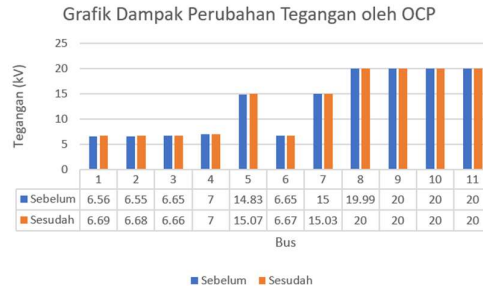
Gambar 10. Hasil Simulasi *Load Flow Analysis* Setelah Penambahan *Capasitor Bank*

Berikut akan dilampirkan tabel tegangan sebelum dan sesudah hasil pengujian dengan metode OCP:

Tabel 10. Hasil Pengujian Optimal Capacitor Placement

Bus No.	Tegangan (kV)	
	Sebelum	Sesudah
1	6.56	6.69
2	6.55	6.68
3	6.65	6.66
4	7	7
5	14.83	15.07
6	6.65	6.67
7	15	15.03
8	19.99	20

9	20	20
10	20	20
11	20	20



Gambar 11. Grafik Perubahan Tegangan oleh OCP

Setelah dilakukan pengujian *load flow*, adapun faktor-faktor yang berkemungkinan besar berdampak kepada penyebab *under voltage* pada bus-bus jaringan distribusi adalah sebagai berikut:

1. Kabel sepanjang 750 m dengan impedansi 1 km menyebabkan penurunan tegangan (*I.Z*) sepanjang kabel.
2. Konfigurasi tap pada trafo sekunder dan tersier sebesar -5% dapat menyebabkan *under voltage* dalam sebuah jaringan distribusi.

Selama pengujian *load flow*, tegangan pada bus-bus yang terdampak meningkat sebesar $\pm 0,05-0,16$ kV. Dengan kenaikan tersebut, status indikator yang sebelumnya merah berubah menjadi merah muda, mengindikasikan bahwa tegangan pada bus tersebut telah pulih dan berada dalam batas operasi sesuai standar distribusi.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan selama penelitian ini berlangsung adalah sebagai berikut:

1. Setelah penerapan konfigurasi kapasitor yang direkomendasikan OCP, tegangan tegangan pada bus yang mengalami *under voltage* meningkat (Bus 1, 6.56 menjadi 6.69 kV; Bus 2, 6.55 menjadi 6.68 kV; Bus 3, 6.65 menjadi 6.66 kV; Bus 6, 6.65 menjadi 6.67 kV), sehingga kondisi bus beralih dari indikator merah (kritis) menjadi indikator merah muda (batas operasi).
2. Penyebab *under voltage* dominan adalah panjang kabel 750 m dengan impedansi yang besar menyebabkan penurunan tegangan signifikan sepanjang *feeder*, sehingga keempat bus (bus 1, bus 2, bus 3, bus 6) mengalami *under voltage*.

DAFTAR PUSTAKA

- R. Sari and Irwanto, "Pola Pemeliharaan Transformator Distribusi Step Down di PT. PLN (PERSERO) ULP Anyer," *JTe (Teknika)*, p. 46, 2025.
- Y. Esye and S. Lesmana, "Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan," *J. Sains & Teknologi*, p. 106, 2021.
- H. Ariwata, N. P. Agustini, and R. Setiawan, "Optimalisasi Penempatan Kapasitor Untuk Meningkatkan Profil Tegangan pada Jaringan Distribusi 20 kV," in *Proc. Seminar Nasional*

- FORTEI Regional 7*, Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia Regional VII, 2024, p. 56.
- A. Asri, "Analisis Perbaikan Tegangan Akibat Under Voltage Dengan Menggunakan Tap Changer dan Capacitor Bank pada Sistem IEEE 9 Bus," *J. MEDIA ELEKTRIK*, vol. 24, p. 25, 2023.
- Al Firdausi, B. I., Auliq, M. A. A., & Fitriana, F. (2024). Analisis Kebutuhan Bank Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya di PT Beras Rajawali Menggunakan Optimal Capacitor Placement ETAP 19. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, Dan Elektronika Terapan*, 5(1), 39-45.
- Rahmatulloh, Y. (2022). *Analisis Penempatan Optimal Kapasitor Untuk Perbaikan Profil Tegangan Dan Rugi Daya Saluran Distribusi 20Kv Pada Penyulang Jolotundo* (Doctoral dissertation, ITN MALANG).
- Ridwan, T., Pratama, I., & Dewi, A. K. (2025). Analisa Perbaikan Faktor Daya Sebagai Upaya Optimasi Daya Listrik Di Gedung Percetakan Sendok. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1).
- Mendrofah, D. E. T., Dalimunthe, M. E., & Erivianto, D. (2025). Optimization Of A 20 Kv Capacitor Bank Energy Management System For Electrical Usage In Indihome Network Devices. *Journal of Computer Science, Information Technology and Telecommunication Engineering*, 6(2), 955-965.
- Akbar, M. F., Gozali, M., Eska, A. C., Kaloko, B. S., & Prasetyono, S. (2025). ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN KAPASITOR BANK TERHADAP PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA GENERATOR SHINKO 4500 KVA DI PABRIK GULA JATIROTO. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 11(2), 61-68.
- 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.