

Analisis Simulasi Pemasangan Reaktor Shunt di GI Kolaka untuk Menormalkan Over Voltage

Zaenal Ginaya^{1*}, Dian Furqani Alifyanti², Arif Jaya³, Syarifuddin Nojeng⁴, Andi Syarifuddin⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

Email: ¹zaenal.ginaya@gmail.com; ²dianfurqanialifyanti@gmail.com; ³arief.jaya@umi.ac.id;

⁴syarifuddin.nojeng@umi.ac.id; ⁵asyarif@umi.ac.id

Received: 20 01 2025 | Revised: 21 05 2025 | Accepted: 22 01 2025 | Published: 28 03 2025

Abstrak

Peningkatan kebutuhan energi listrik di Sulawesi, khususnya di subsistem Kendari, menyebabkan tantangan dalam menjaga keandalan dan kestabilan sistem transmisi tenaga listrik. Salah satu masalah utama adalah terjadinya over voltage, terutama di Gardu Induk subsistem Kendari, akibat sifat kapasitif saluran transmisi yang Panjang pada saat beban rendah. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki tegangan di subsistem Kendari dengan melakukan pemasangan reaktor shunt. Dalam penelitian ini digunakan metode simulasi pada perangkat lunak DIGSILENT, penelitian ini berisi tentang perencanaan kapasitas reaktor shunt yang akan digunakan dan lokasi optimal reaktor shunt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan reaktor shunt menunjukkan bahwa penggunaan reaktor shunt dapat menurunkan tegangan hingga mencapai batas operasi yang aman, dari sebelumnya mencapai 167 kV menjadi mendekati tegangan nominal (135 kV-165 kV) sehingga mendukung keandalan sistem transmisi di subsistem kendari.

Kata kunci: over voltage, reactor shunt, subsistem kendari, sistem transmisi

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi listrik di Sulawesi dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi yang meningkat. Hal ini menjadi tantangan bagi PT PLN (Persero) UIP3B Sulawesi untuk memenuhi kebutuhan tersebut dengan suplai energi listrik yang besar, berkualitas, dan andal. Kebutuhan ini harus dipenuhi agar aktivitas rumah tangga dan industri berjalan lancar.

Sistem transmisi listrik di Sulawesi harus dirancang dan dioperasikan dengan mempertimbangkan keamanan, kesehatan masyarakat, dan lingkungan. Sistem transmisi yang handal dan stabil sangat penting untuk mendukung aktivitas sehari-hari dan perekonomian. Namun, sistem transmisi di subsistem Kendari masih bersifat radial, sehingga rawan menyebabkan blackout.

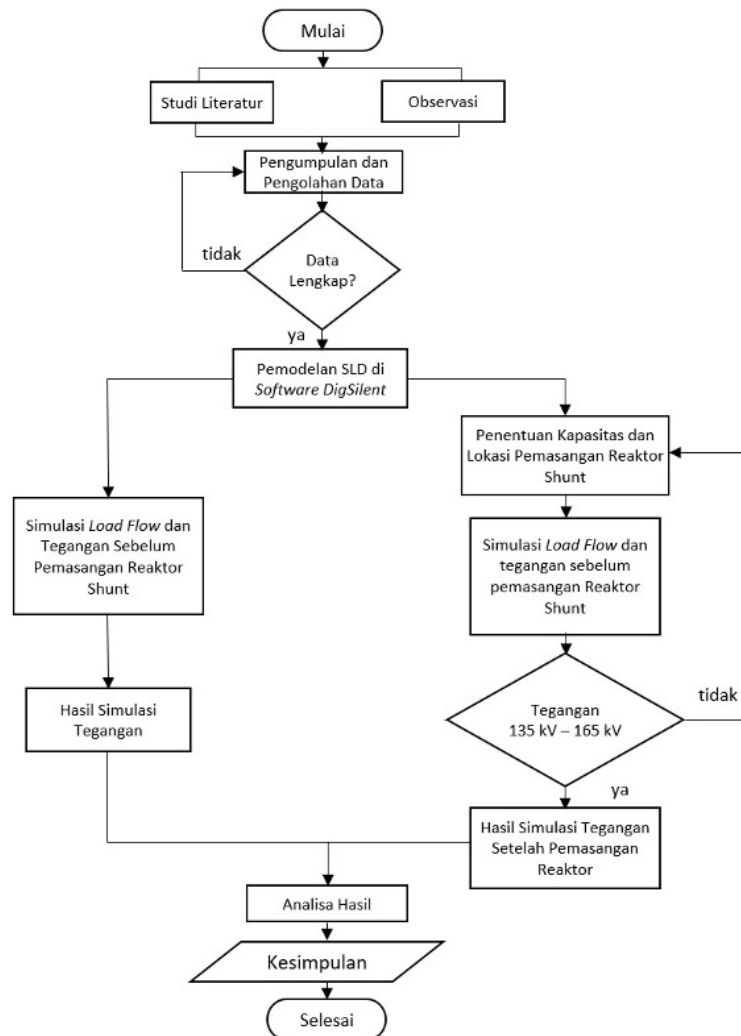
Masalah over voltage di gardu induk, seperti GI Kolaka, dapat menyebabkan gangguan dan blackout. Solusi yang digunakan adalah melepas satu line transmisi, namun hal ini menurunkan keandalan sistem. Oleh karena itu, diperlukan solusi lain seperti pemasangan reaktor shunt untuk menyerap daya reaktif dan mengurangi risiko over voltage. Reaktor shunt dapat membantu meningkatkan keandalan sistem transmisi.

Pemasangan reaktor shunt di gardu induk dapat meningkatkan keandalan sistem transmisi tenaga listrik di subsistem Kendari. Dengan demikian, PT PLN dapat memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat dengan lebih baik, meningkatkan efisiensi dan produktivitas produksi, serta mengurangi risiko gangguan dan blackout. Penelitian lebih lanjut tentang pemasangan reaktor shunt di GI Kolaka dapat membantu menormalkan over voltage dan meningkatkan keandalan sistem transmisi.

2. Metode

Formula yang dirujuk dalam teks harus dinyatakan dalam *display style* dan diberi nomor urut dari awal sampai akhir makalah, sebagai contoh:

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur, observasi, pengukuran dan analisis simulasi pemasangan reaktor shunt di GI Kolaka untuk menormalkan over voltage.



Gambar 1. Flowchart

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut informasi yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi pada DIgSILENT. Untuk memperoleh simulasi yang akurat dibutuhkan data logsheet harian yang diinput setiap 30 menit selama 24 jam dan komposisi pembangkit. Hasil simulasi dapat memberikan informasi tentang sejauh mana over voltage yang terjadi, dengan membandingkan hasil simulasi dengan standar tegangan normal sesuai dengan Permen ESDM No. 20 Tahun 2020 Tentang aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code) / Code Sulawesi [1] yang terdapat dalam tabel berikut:

Tabel 1. Tegangan normal

Tegangan nominal	Kondisi normal
500 KV	+10%, -10%
275 KV	+10%, -10%
150 KV	+10%, -10%
66 KV	+5% , -10%
30 KV	+5% , -10%

Tabel 2. Komposisi pembangkit disistem sulbagsel

Unit	MW	Mvar	Keterangan
Pembangkit Sultra	130	-19,5	
PLTU Moramo #1			
PLTU Moramo #2			
PLTU Nii Tanasa	7,09	7,49	Derating, #2 PO/SI, #3 FO
PLTMG Nii Tanasa	22,42	0,12	Pengaturan Sistem
PLTD KDI	0	0	Standby
PLTM KDI	1,93	1,45	Variasi Musim

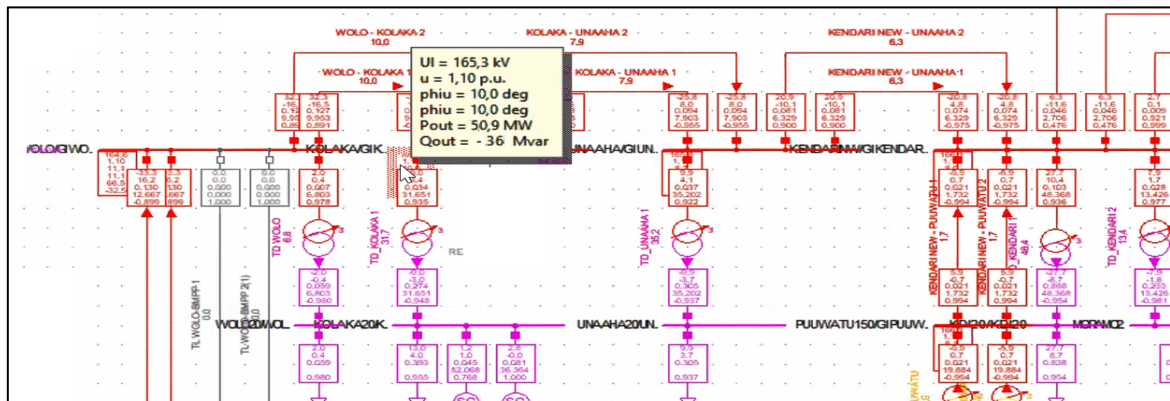
Dari tabel 2, terlihat bahwa PLTU Moramo baik Unit 1 maupun Unit 2 dalam kondisi tidak beroperasi, hal ini sangat berpengaruh terhadap tegangan di subsistem kendari. Dengan tidak beroperasinya PLTU Moramo, maka daya reaktif pada jaringan akan berlebih disebabkan tidak ada pembangkit lain yang mampu menyerap daya reaktif [2].

Tabel 3. Logsheets tegangan subsistem kendari

Lokasi GI	Data Tegangan								
	TEG	00.30	01.00	01.30	02.00	02.30	03.00	03.30	04.00
Tanassa	66	67,47	67,41	67,64	67,78	67,78	67,76	67,84	67,82
Puuwatu 66	66	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00	67,00
Puuwatu 150	150	158,68	159,02	159,64	159,79	160,32	160,10	160,46	160,45
Kendari	150	159,13	159,69	160,44	160,73	160,93	160,99	161,26	161,21
Moramo	150	159,30	159,30	160,20	160,20	160,20	160,10	160,80	160,80
Unaaha	150	162,20	162,20	162,20	161,61	161,61	161,96	162,43	162,40
Kolaka	150	160,85	161,36	161,94	162,25	162,52	162,50	162,71	162,67
Lasusua	150	157,34	157,83	158,47	158,88	158,90	158,90	159,12	159,16
Tinaggea	150	161,01	161,63	162,28	162,63	162,88	162,99	163,23	163,19
Andolo	150	160,01	160,51	161,16	161,39	161,70	161,73	162,05	161,99
Kolaka Smelter	150	158,17	158,81	159,37	159,68	159,97	159,77	160,14	160,06
Kasipute	150	161,06	161,43	162,15	162,56	162,92	162,80	163,13	163,04

Dari tabel 3 terlihat bahwa pada beban rendah di mulai pukul 02:00 tegangan di beberapa GI di subsistem kendari sudah mulai tinggi seperti di GI Unaaha 161,61 kV dan GI Kolaka 162,25 kV, sehingga pada pukul 04:00 harus di lepas satu ruas transmisi di Line Kolaka – Unaha untuk mengurangi efek ferranty, sehingga Line Kolaka – Unaaha beroperasi dengan 1line saja, yang mana hal ini bisa menyebabkan, jika terjadi gangguan.

Untuk melihat data sebelum pemasangan reactor shunt, disimulasikan line Kolaka – Unaaha beroperasi dengan 2 ruas transmisi.



Gambar 2. Pemodelan digsilent operasi dua ruas kolaka – Unaaha

Jika tegangan suatu gardu induk terlalu tinggi, maka dapat menyebabkan umur peralatan menjadi pendek, bahkan jika mencapai batas tertentu akan mengakibatkan *defense scheme OVTs (Over Voltage Transmission Shading)* bekerja, selain itu *over voltage* juga mempengaruhi faktor daya.

a. Perancangan kapasitas reactor shunt

Mencari besaran reaktor shunt yang diperlukan untuk menurunkan tegangan sebanyak 10 kV (ΔV) dalam memperbaiki tegangan GI Kolaka menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{\Delta V \cdot V}{X} \quad (1)$$

Dimana :

ΔV = perubahan tegangan dalam kV

Q = daya reaktif yang dibutuhkan dalam MVar

X = reaktansi sistem (dalam Ω) pada basis tegangan yang sama

V = tegangan awal dalam kV

Saluran transmisi subsistem kendari menggunakan konduktor ACSR-AS 2X450 mm, dengan Panjang saluran 337 kms, di mana jarak antar penghantar adalah 5 meter. Untuk menghitung reaktansi sistem digunakan persamaan:

$$X = 2\pi f L' L \quad (2)$$

Dimana:

L' = induktansi per unit panjang (H/km),

f = Frekuensi sistem (50 Hz)

X = reaktansi sistem (dalam Ω) pada basis tegangan yang sama.

L = panjang saluran (km).

Untuk itu perlu terlebih dahulu diketahui induktansi per unit panjang yaitu dengan menggunakan persamaan:

$$L' = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r} \quad (3)$$

Dimana:

$D = 5 \text{ m}$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \frac{\sqrt{450 \times 10^{-6}}}{\pi}$$

$$r = 0.03785 \text{ m}$$

$$L' = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{5}{0.03785 \text{ m}}$$

$$L' = 0.9768 \text{ mH/Km}$$

maka nilai reaktansi sistem dapat dihitung :

$$X = 2\pi 50 \times 0.0009768 \times 337$$

$$X = 103.662 \Omega.$$

Jadi reaktansi sistem adalah 103.662 Ω

Untuk menghitung berapa kapasitansi reaktor shunt yang diperlukan untuk menurunkan tegangan sebanyak 10 kV (ΔV) dalam memperbaiki tegangan GI Kolaka menggunakan persamaan (1):

$$Q = \frac{Q \Delta V \cdot V}{X}$$

$$Q = \frac{10 \text{ kV} \cdot 165.3 \text{ kV}}{103.66 \Omega} = 16 \text{ Mvar}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa kapasitansi reaktor shunt yang dibutuhkan untuk menurunkan tegangan sebesar 10 kV adalah 16 Mvar.

b. Penempatan reactor shunt

Penempatan reaktor shunt ditempatkan pada bus GI gardu induk. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemasangan reaktor shunt meliputi kriteria teknis yakni Panjang saluran transmisi dan beban gardu induk, semakin Panjang jaringan transmisi, maka akan semakin besar kenaikan tegangan yang terjadi akibat jaringan bersifat kapasitif pada saat beban rendah. Fenomena ini disebut dengan efek *Ferranti* [3]. Efek *Ferranti* dapat dijelaskan dengan persamaan tegangan di ujung penerima (V_r):

$$V_r = V_s \cdot \cosh(\gamma l) \quad (4)$$

Dimana:

l : Panjang saluran transmisi (H/km),

γ : Konstanta propagasi

V_s : tegangan di ujung pengirim.

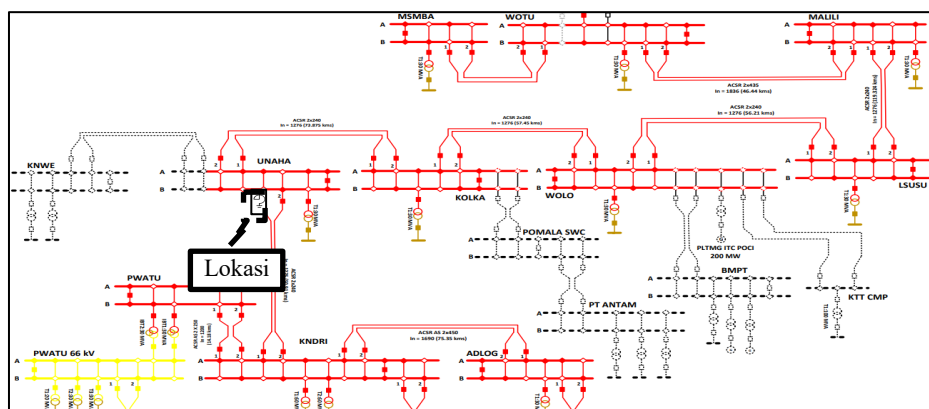
$\cosh(\gamma l)$: fungsi hiperbolik kosinus, yang meningkat dengan bertambahnya l

Jadi Semakin panjang saluran transmisi l , maka semakin besar efek Ferranti.

Tabel 4. Kendari kondisi beban saat dini hari di subsistem kendari

Gardu Induk	Trafo	Beban (MW)		Panjang Saluran
		Pukul 03.00	Pukul 03.30	
Kendari	1	19,41	19,34	56
	2	11,83	12,47	
Unaaha	1	12,80	12,80	94
Lasusua	1	9,69	9,68	56
Kolaka	1	3,91	3,86	131

Berdasarkan data di atas, Gardu induk yang memiliki beban paling rendah dan panjang saluran paling panjang adalah GI Kolaka.



Gambar 3. Rencana lokasi pemasangan reaktor shunt

Gambar 3 menunjukkan rencana pemasangan reaktor shunt dipasang di GI Kolaka dengan pertimbangan beban dan panjang jaringan. Lokasi GI kolaka berada di tengah di sub-sistem kendari, dengan di pasangnnya di tengah subsistem kendari akan memudahkan penormalan atau sinkron sistem antara subsistem kendari dengan makassar.

c. Evaluasi pemasangan reactor shunt

Untuk mengevaluasi kualitas tegangan di GI Kolaka sebelum dilakukan perbaikan, dilakukan simulasi over voltage menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory. Proses simulasi dimulai dengan pembuatan single line diagram (SLD) pada DIgSILENT PowerFactory, yang kemudian diisi dengan data yang terdapat dalam tabel 2.

Setelah SLD dan data terinput, dilakukan *run load flow* pada perangkat lunak untuk mendapatkan hasil simulasi. Pada tahap simulasi ini, fokus pengamatan pada tegangan.

Evaluasi hasil pemasangan reaktor shunt memerlukan analisis dampak terhadap penurunan tegangan. Pengurangan nilai *over voltage* tidak hanya berarti mengurangi kerugian daya, tetapi juga berpotensi mengurangi beban kerugian yang dialami oleh perusahaan. Tindakan ini memiliki dampak positif pada peningkatan keandalan sistem. Hasil penelitian yang telah dilakukan seperti pada tabel berikut:

Tabel 5. Tegangan GI setelah perbaikan

No	GI	Sebelum perbaikan		Setelah perbaikan	
		tegangan	% over	tegangan	% over
1	GI Lasusua	162,8 kV	8,30%	155,6 kV	3,70%
2	GI Wolo	164,1 kV	9%	155,7 kV	3,80%
3	GI Kolaka	165,3 kV	>10%	155,2 kV	3,40%
4	GI Unaaha	165,8 kV	>10%	155,4 kV	3,60%
5	GI Kendari	166,1 kV	>10%	155,5 kV	3,60%
6	GI Puuwatu	166,1 kV	>10%	155,5 kV	3,60%
7	GI Moramo	166 kV	>10%	155,4 kV	3,60%
8	GI Andolo	166,9 kV	>10%	156,2 kV	4,10%
9	GI Tinanggea	167 kV	>10%	156,3 kV	4,10%
10	GI Kasipute	167 kV	>10%	156,4 kV	4,10%

Data pada tabel 5 menunjukkan bahwa perbaikan tegangan pada GI Kolaka telah berhasil mengurangi *over voltage* di seluruh gardu yang dianalisis. Sebelum perbaikan, rata-rata *over voltage* mencapai >10%, namun setelah perbaikan, angka tersebut menurun menjadi <5%. Artinya, terjadi penurunan sebesar lebih dari 5% dalam *over voltage* secara keseluruhan. Adanya penurunan *over voltage* secara keseluruhan menunjukkan keberhasilan perbaikan secara umum di sub-sistem kendari. Hasil ini memberikan gambaran bahwa tindakan perbaikan yang diambil telah berhasil meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem transmisi tenaga listrik, dengan potensi penghematan energi yang signifikan.

4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian "Analisis Simulasi Pemasangan Reaktor Shunt di GI Kolaka untuk Menormalkan Over Voltage" menunjukkan bahwa pemasangan reaktor shunt efektif menurunkan tegangan berlebih dari 167 kV menjadi 135-165 kV. Kapasitas reaktor 16 MVar memberikan hasil optimal. Faktor teknis seperti panjang saluran transmisi dan beban gardu induk mempengaruhi pemasangan reaktor shunt.

Penelitian ini merekomendasikan PT PLN (Persero) untuk memasang reaktor shunt di gardu induk lain dengan risiko *over voltage* tinggi dan meningkatkan kapasitas pembangkit listrik di subsistem Kendari untuk menyerap daya reaktif dan meningkatkan keandalan sistem.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 20 Tahun 2020 Tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code)*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [2] Anderson, P.M., & Fouad, A. A. (2002). *Power System Control and Stability*. IEEE Press
- [3] Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power System Analysis*. McGraw-Hill [1]