

KOMPARASI PENENTUAN LOKASI PEMASANGAN KAPASITOR ANTARA GI. DUMAI DAN GI. BAGAN SIAPI-API

M WAHYUDI HAZRI¹, YULISMAN², AGGRIVINA DWIHARZANDIS³

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat¹²³

email: wahyudi.hazri@pln.co.id¹, yulisman@umsb.ac.id², aggrivinadwiharzandis@umsb.ac.id³

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v9i2.7911>

Abstract: During peak load conditions, significant voltage drops are observed in the Dumai transmission subsystem. The minimum voltages recorded at the Dumai, Bagan Siapi-api, and Dumai Industrial Area substations are 134.7 kV, 133.0 kV, and 131.1 kV, respectively, exceeding the permissible voltage deviation limits. To mitigate this condition, a shunt capacitor is designed and evaluated through modeling and simulation. Analytical and DigSILENT PowerFactory 2021 simulation results indicate that a 25 MVAR shunt capacitor installed at the Bagan Siapi-api Substation provides the most suitable compensation. The installation increases the bus voltage by 8.10 kV to 141.10 kV, corresponding to a voltage deviation of 5.93% from the nominal value. Furthermore, total system losses in the Riau subsystem are reduced from 20.63 MW and -352.8 MVAR to 19.88 MW and -366.8 MVAR, or reduction 0,75 MW. These results confirm that shunt capacitor integration effectively improves voltage profiles while reducing reactive power flow and system losses.

Keywords: shunt capacitor, substation, voltage drop, DIgSILENT PowerFactory 2021, voltage improvement, system losses.

Abstrak: Pada kondisi operasi tertentu, khususnya pada saat Waktu Beban Puncak (WBP), Gardu Induk (GI.) Dumai mengalami penurunan tegangan yang signifikan. Tegangan minimum yang tercatat di GI. Dumai mencapai 134,7 kV, sedangkan di GI. Bagan Siapi-api sebesar 133,0 kV dan di GI. Kawasan Industri Dumai sebesar 131,1 kV. Besarnya penurunan tegangan tersebut melampaui batas standar yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, diperlukan perancangan kapasitor shunt yang selanjutnya dimodelkan dan disimulasikan. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, kapasitas kapasitor shunt yang direkomendasikan untuk dipasang di GI. Bagan Siapi-api adalah sebesar 25 MVAR. Hasil simulasi DIgSILENT 2021 menunjukkan bahwa setelah pemasangan kapasitor shunt, terjadi kenaikan tegangan GI. Bagan Siapi-api sebesar 8,10 kV sehingga tegangan meningkat menjadi 141,10 kV, atau hanya mengalami penurunan sebesar 5,93% terhadap tegangan nominal. Rugi-rugi daya pada sistem kelistrikan Subsistem Riau sebelum dilakukan penambahan kapasitor adalah 20,63 MW dan -352,8 MVAR. Setelah dilakukan penambahan kapasitor rugi-rugi daya turun menjadi 19,88 MW dan -366,8 MVAR atau turun 0,75 MW. Dengan demikian, pemasangan kapasitor shunt berkontribusi terhadap peningkatan tegangan busbar pada Gardu Induk. Selain itu, keberadaan kapasitor shunt meningkatkan suplai daya reaktif serta menurunkan rugi-rugi daya pada sistem tenaga listrik.

Kata Kunci: kapasitor shunt, gardu induk, penurunan tegangan, DIgSILENT PowerFactory 2021, perbaikan tegangan, rugi-rugi daya sistem.

A. Pendahuluan

Kelistrikan pulau Sumatera telah terinterkoneksi dari ujung Banda Aceh sampai Bandar Lampung. Interkoneksi ini dihubungkan oleh sistem transmisi SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) tegangan 275 kV, SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) tegangan 150 kV dan SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) tegangan 70 kV. Sistem transmisi tenaga listrik merupakan tulang punggung utama dalam infrastruktur ketenagalistrikan^[1], khususnya di Pulau Sumatera yang membentang luas secara geografis. Sistem transmisi inilah yang akan menanggung beban utama

dalam menyalurkan energi listrik dari pusat-pusat pembangkit seperti PLTA, PLTU, PLTG dan PLTP menuju pusat-pusat beban yang tersebar di berbagai kota, kabupaten serta kawasan industri.

Efisiensi dalam penyaluran energi listrik bukan hanya persoalan teknis, melainkan indikator kinerja yang krusial bagi utilitas ketenagalistrikan seperti PT. PLN (Persero). Setiap kenaikan persentase rugi-rugi daya dan deviasi tegangan yang terjadi pada jaringan transmisi akan berimplikasi pada:

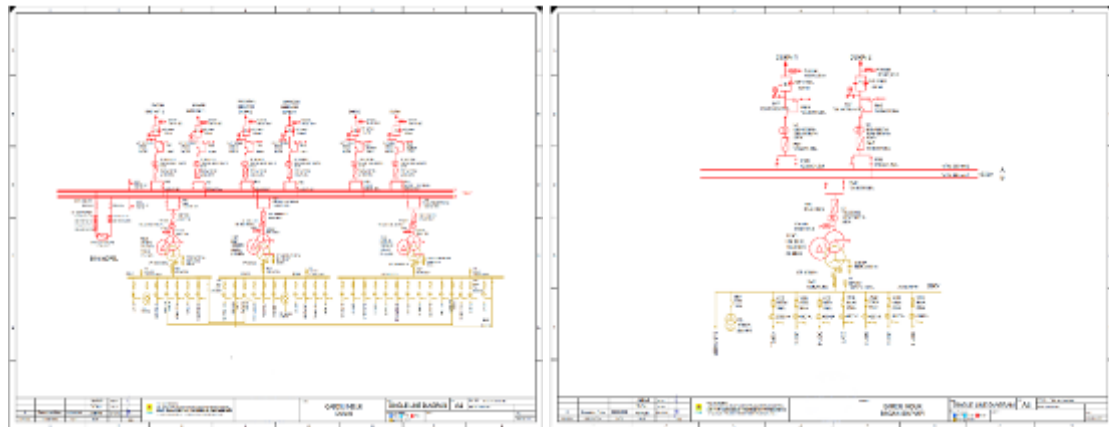
- a. Kerugian secara finansial: Rugi-rugi daya merupakan energi yang terbuang dan dibayar, namun tidak sampai ke konsumen, sehingga mengurangi pendapatan PLN.
- b. Penurunan keandalan sistem: Tegangan yang tidak stabil dapat memicu gangguan dan menurunkan kualitas daya, bahkan dapat berpotensi menyebabkan pemadaman.
- c. Ketidak-efisienan operasional dan penurunan keandalan apalagi pemadaman dapat merusak citra perusahaan bahkan dapat menimbulkan kerawanan sosial bagi perusahaan utilitas ketenagalistrikan.

Sistem Transmisi 150 kV pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang menghubungkan wilayah Duri, Dumai dan Bagan Siapi-api merupakan jaringan transmisi dengan jarak yang relatif panjang dan jauh dari pusat pembangkit. Kondisi ini menyebabkan sistem menjadi lebih rentan terhadap penurunan keandalan peralatan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan rugi-rugi daya pada jaringan transmisi^[2]. Total panjang SUTT tersebut mencapai 162,38 km dan disuplai dari GI. Duri.

Dalam kondisi operasi tertentu, khususnya pada saat Waktu Beban Puncak (WBP), GI. Dumai sering mengalami penurunan tegangan yang signifikan. Tegangan terendah yang tercatat di GI. Dumai mencapai 134,7 kV. Bahkan di GI. Bagan Siapi-api 133,0 kV dan GI. KID (Kawasan Industri Dumai) 131,1 kV. Nilai ini lebih rendah dari tegangan nominal sistem sebesar 150 kV. Kondisi ini tidak memenuhi ketentuan standar SPLN T5.002: 2021 dan Permen ESDM No. 20 Tahun 2020 yang menetapkan batas variasi tegangan yang diizinkan sebesar -10% hingga $+5\%$ dari tegangan nominal^[3]. Untuk menjaga kestabilan sistem transmisi dan meningkatkan kualitas tegangan, salah satu solusi yang diusulkan adalah pemasangan kapasitor shunt secara paralel pada busbar 150 kV di GI. Dumai atau GI. Bagan Siapi-api. Implementasi pemasangan kapasitor ini berfungsi untuk menyediakan daya reaktif secara lokal, sehingga mampu memperbaiki profil tegangan pada kondisi beban puncak, menurunkan aliran daya reaktif pada saluran transmisi, serta mengurangi rugi-rugi daya. Dengan demikian, kestabilan tegangan sistem dapat ditingkatkan dan operasi jaringan transmisi menjadi lebih andal, khususnya dalam menjaga kualitas penyaluran daya sesuai dengan batas standar yang ditetapkan.

B. Metodologi Penelitian

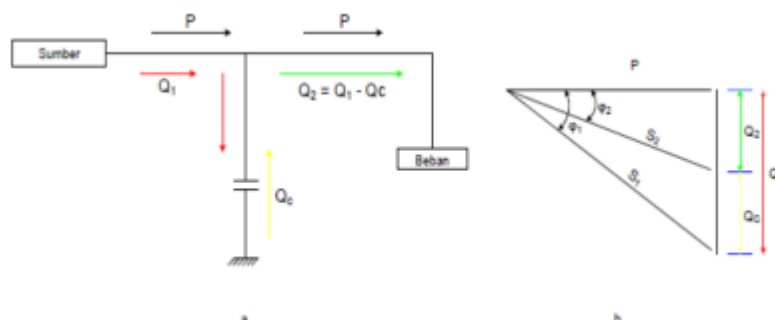
Penelitian ini mengadopsi pendekatan studi kasus pada dua lokasi yaitu GI. Dumai dan GI. Bagan Siapi-api ULTG Duri PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi Pekanbaru untuk mengkaji fenomena jatuh tegangan, stabilitas tegangan, serta pengaruh kompensasi daya reaktif terhadap kinerja sistem tenaga listrik pada GI. Dumai, GI. Bagan Siapi-api dan GI. KID. Data operasional yang merepresentasikan kondisi eksisting sistem diperoleh dari Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), kemudian digunakan sebagai basis pemodelan dan analisis kuantitatif. Evaluasi dilakukan melalui formulasi matematis aliran daya dan simulasi numerik guna memperoleh karakteristik profil tegangan serta distribusi daya reaktif pada jaringan. Dalam penelitian dilakukan perhitungan ukuran kapasitas kapasitor shunt sebagai sarana kompensasi daya reaktif. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor shunt, sehingga pengaruh kompensasi terhadap parameter kelistrikan utama dapat dievaluasi secara sistematis. Berikut dibawah ini data *Single Line Diagram* GI. Dumai dan GI. Bagan Siapi-api (Sumber: PT. PLN (Persero)).



Gambar 1. Single Line Diagram GI. Dumai dan GI. Bagan Siapi-api

Penyaluran daya reaktif yang dibangkitkan langsung dari pusat pembangkit menuju pusat beban dengan jarak transmisi yang relatif panjang merupakan pendekatan yang kurang efisien baik dari sisi teknis maupun ekonomis. Aliran daya reaktif yang besar pada saluran transmisi menyebabkan peningkatan arus, yang selanjutnya berdampak pada bertambahnya rugi-rugi daya, penurunan profil tegangan, serta pembebanan peralatan sistem yang tidak optimal. Dalam sistem dengan karakteristik jaringan yang panjang, kondisi ini berpotensi menurunkan kualitas operasi sistem tenaga secara keseluruhan, sehingga penyediaan daya reaktif secara terpusat di sisi pembangkit tidak selalu menjadi pilihan yang efektif. Pendekatan yang lebih tepat adalah penyediaan daya reaktif secara lokal melalui pemasangan kapasitor shunt pada pusat beban. Kapasitor shunt berfungsi sebagai sumber daya reaktif kapasitif yang menyuplai daya reaktif leading untuk mengimbangi kebutuhan daya reaktif lagging dari beban induktif. Dengan tersedianya kompensasi daya reaktif di dekat titik konsumsi, kebutuhan penyaluran daya reaktif melalui saluran transmisi dapat dikurangi, sehingga arus sistem menurun dan dampak negatif berupa rugi-rugi daya serta penurunan tegangan dapat ditekan.

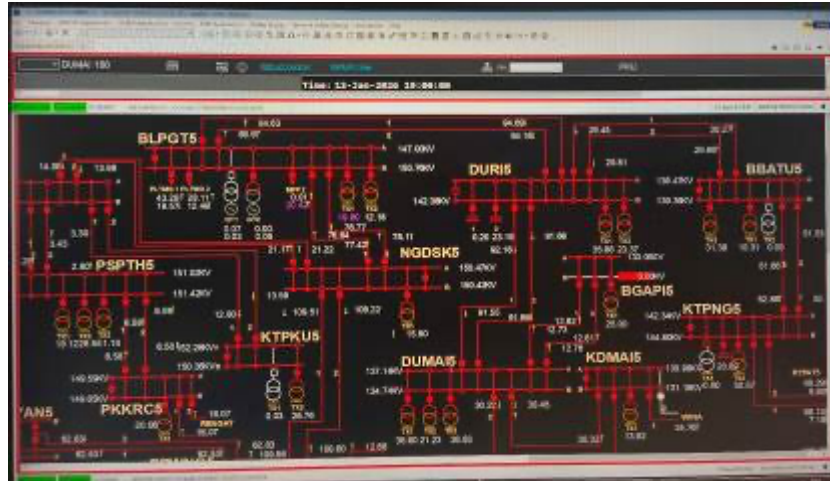
Ditinjau dari analisis fasor, injeksi daya reaktif kapasitif oleh kapasitor menyebabkan sudut fasa antara tegangan dan arus bergeser menuju kondisi yang lebih menguntungkan dalam operasi sistem. Perubahan ini berimplikasi pada perbaikan faktor daya serta peningkatan profil tegangan pada sisi beban. Secara keseluruhan, kompensasi daya reaktif menggunakan kapasitor shunt merupakan elemen penting dalam strategi pengendalian tegangan, peningkatan efisiensi penyaluran daya, dan optimalisasi kinerja operasi sistem tenaga listrik^[2]. Konsep dasar mekanisme perbaikan tegangan melalui pemasangan kapasitor shunt tersebut di ilustrasikan dan dijelaskan lebih lanjut pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Perbaikan Tegangan dengan Kapasitor

Untuk mendukung analisis tersebut, penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak DIGSILENT PowerFactory 2021^{[4],[10]} sebagai alat bantu simulasi studi aliran daya^[5] dan evaluasi stabilitas

tegangan. Model sistem dikalibrasi menggunakan data SCADA agar mendekati kondisi aktual, sehingga hasil simulasi memiliki tingkat validitas yang memadai. Proses validasi dilakukan melalui analisis kesesuaian antara hasil simulasi dan data pengukuran lapangan, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi teknis. Dengan mengintegrasikan pendekatan teoretis, pemodelan sistem tenaga, serta simulasi berbasis perangkat lunak, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi akademik dalam kajian kompensasi daya reaktif, khususnya terkait perbandingan efektivitas pemasangan kapasitor shunt dalam meningkatkan kualitas tegangan dan keandalan operasi sistem tenaga listrik pada GI. Dumai atau di GI. Bagan Siapi-api.



Gambar 3. Data Tegangan dari SCADA pada Tanggal 13 Januari 2026 Pkl 19:00 WIB

Hasil simulasi selanjutnya dievaluasi melalui perbandingan dengan data hasil pengukuran SCADA guna menilai tingkat kesesuaian dan keakuratan parameter yang digunakan dalam pemodelan. Tingkat perbedaan antara kedua hasil tersebut dinyatakan dalam bentuk persentase, yang dihitung berdasarkan Persamaan 1^[6].

$$\text{Presentase selisih} = \frac{HP - HS}{HP} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

HP = Hasil Pengukuran (kV)
HS = Hasil Simulasi (kV)

Perhitungan impedansi jaringan pada ruas transmisi antara GI. Duri dan GI. Dumai merupakan tahapan fundamental dalam analisis sistem, khususnya untuk memperoleh formulasi tegangan pada sisi terima (V_2). Besaran impedansi tersebut selanjutnya digunakan sebagai parameter dalam penurunan persamaan tegangan, yang secara matematis dinyatakan pada Persamaan 2^[7]. Data impedansi Saluran Udara Tegangan Tinggi dapat dilihat pada Tabel 1^[9].

$$V_2 = \frac{V_1 + \sqrt{V_1^2 + 4XQ}}{2} \quad (2)$$

Dimana:

V_1 = Tegangan awal (kV)
 V_2 = Tegangan sisi terima setelah pemasangan kapasitor (kV)
 Q = Daya reaktif kompensator (Var)
 X = Reaktansi saluran transmisi (Ω)

Tabel 1 Data Impedansi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

SUTT	Penghantar		Impedansi (Ω/km)
	penampang (mm^2)	panjang (kms)	
Dumai - Bagan Siapi Api	ACSR 1x240	105,70	0,12800 + j0,42400
Dumai - KID	ACSR 1x240	30,80	0,12800 + j0,42400
Dumai - Duri	ACCC 1x310	56,68	0,08388 + j0,40054

Sumber: PT. PLN (Persero)

Pengoperasian kapasitor shunt menimbulkan perubahan tegangan sistem yang bersifat diskrit, dimana aktivasi kapasitor shunt menyebabkan kenaikan tegangan, sedangkan pelepasannya mengakibatkan penurunan tegangan secara langsung. Untuk membatasi dampak perubahan tegangan tersebut terhadap pelanggan, besaran variasi tegangan diupayakan tetap berada dalam rentang 2% hingga 3%^{[8], [7]}. Estimasi besarnya perubahan tegangan akibat pengoperasian kapasitor shunt dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3^[7]. Data arus hubung singkat di ULTG Duri dapat dilihat pada Tabel 2^[9].

$$V = \frac{Q_c}{S_{sc}} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana:

V = Perubahan tegangan sistem (%)

Q_c = Daya reaktif nominal kapasitor shunt (MVAR)

S_{sc} = Daya hubung singkat sistem (MVAsc)

Nilai daya hubung singkat dapat dihitung dengan Persamaan 4^[7].

$$S_{sc} = \sqrt{3} \times V \times I_{sc} \quad (4)$$

Dimana:

S_{sc} = Daya hubung singkat sistem (MVAsc)

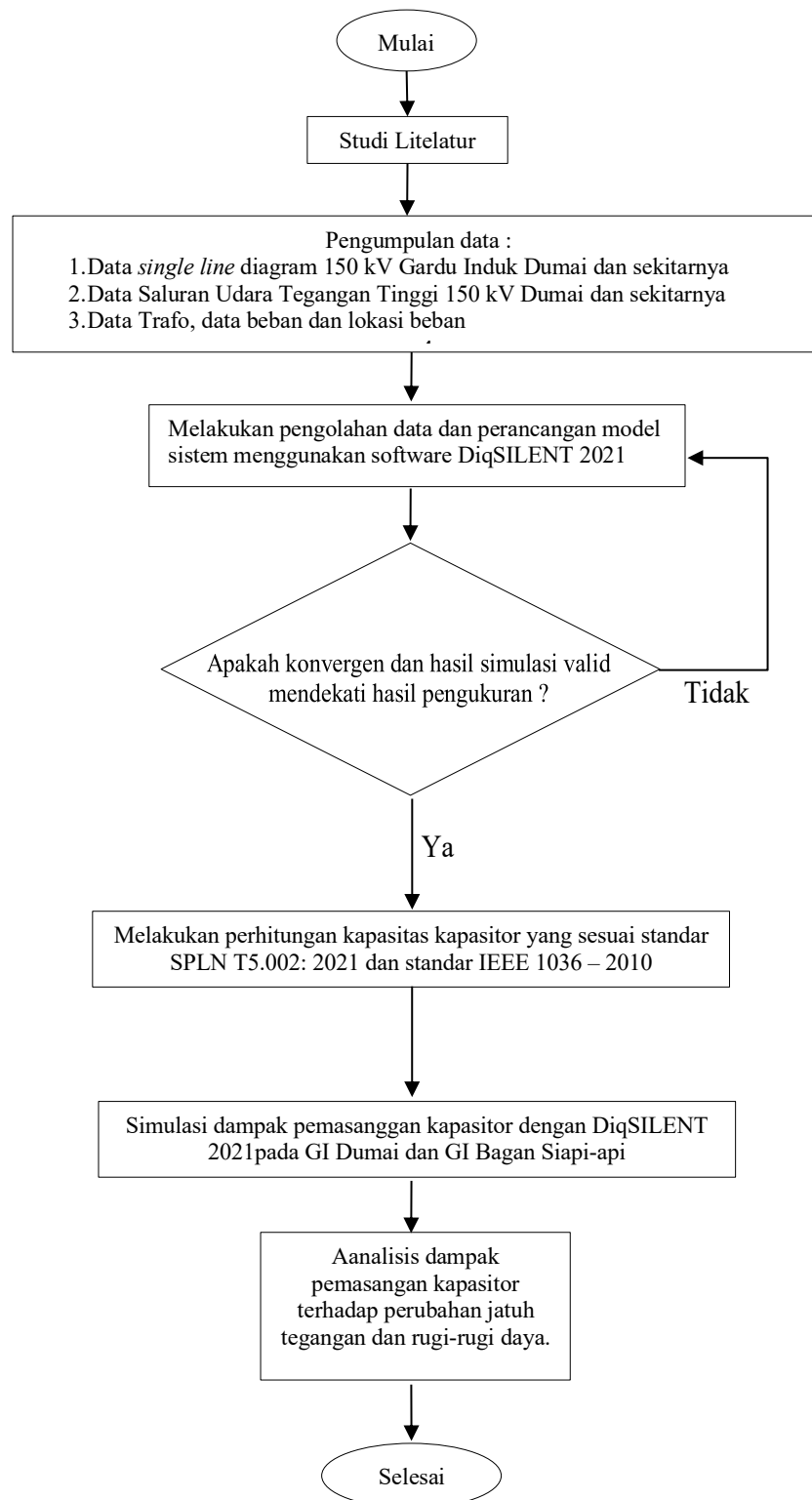
V = Tegangan sistem (V)

I_{sc} = Arus hubung singkat 3 fasa (A)

Tabel 2. Data Arus Hubung Singkat GI. di ULTG Duri

GI.	I_{sc} (A)		Impedansi Urutan (pu)					
	1 fasa	3 fasa	R_1	X_1	R_2	X_2	R_0	X_0
Bagan Batu	4505	4742	0,02589	0,08271	0,02615	0,08260	0,01350	0,09486
Bagan Siapi-Api	3086	3567	0,02824	0,11530	0,02861	0,11500	0,02585	0,17416
Balaipungut	12599	11112	0,00537	0,03704	0,00591	0,03652	0,00117	0,02349
Dumai	6300	6350	0,01422	0,06471	0,01458	0,06446	0,00744	0,06373
Duri	8088	8526	0,01013	0,04799	0,01054	0,04763	0,00905	0,05458
KID	5485	5659	0,01492	0,07300	0,01527	0,07285	0,00965	0,07652

Sumber: PT. PLN (Persero)

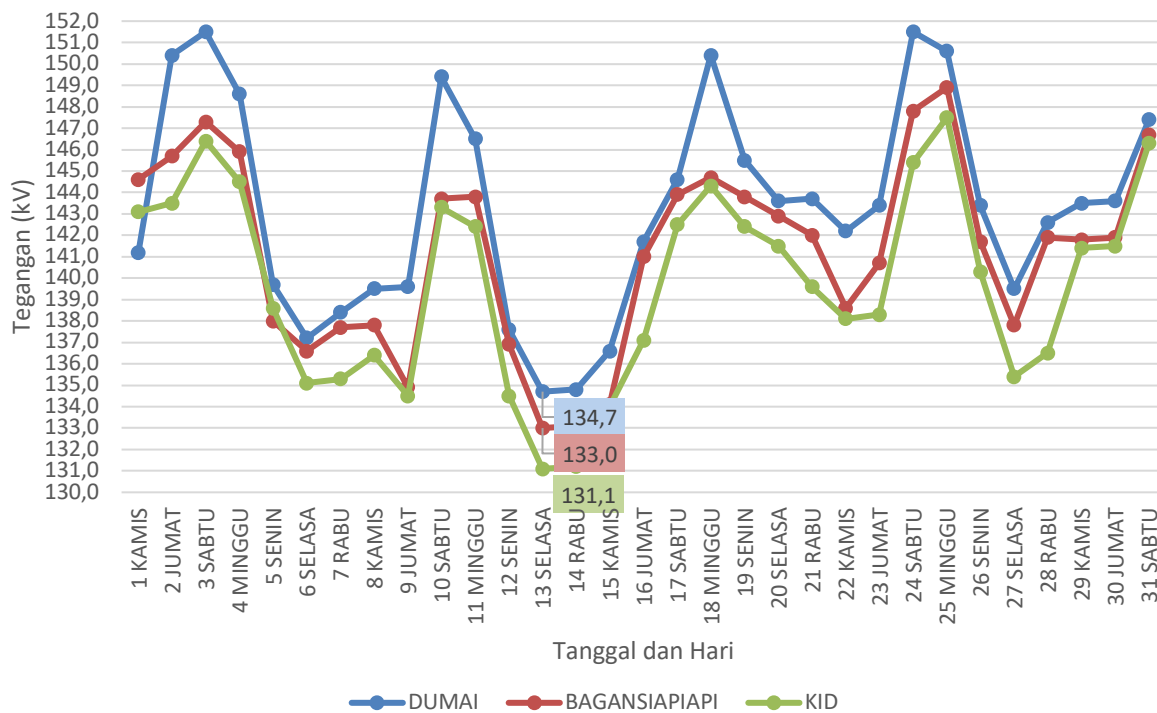


Gambar 4. Diagram Alir Penelitiann

C. Pembahasan dan Analisa

Pemodelan Sistem Kelistrikan GI. Dumai dan GI. Bagan Siapi-api

Simulasi sistem tenaga listrik pada GI. Dumai dan Bagan Siapi-api memakai perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory 2021 dengan pendekatan diagram satu garis yang merepresentasikan konfigurasi operasional jaringan. Parameter pemodelan mencakup tegangan nominal, kapasitas transformator, impedansi saluran, serta karakteristik beban pada setiap bus. Simulasi yang dilakukan pada tiga kondisi yaitu ketika sebelum terpasang kapasitor, ketika kapasitor terpasang pada GI. Dumai dan yang terakhir ketika kapasitor terpasang pada GI. Bagan Siapi-api. Kemudian akan diamati dampak perubahan tegangan pada GI. Dumai, GI. Bagan Siapi-api dan GI. KID. Berikut data tegangan Gardu Induk bulan Januari 2026 berdasarkan data historikal SCADA, terlihat pada hari kerja tegangan cenderung rendah sedangkan pada hari Sabtu dan Minggu tegangan normal (Sumber: PT. PLN (Persero)).



Gambar 5. Data Tegangan Gardu Induk bulan Januari 2026 Pkl 19:00 WIB

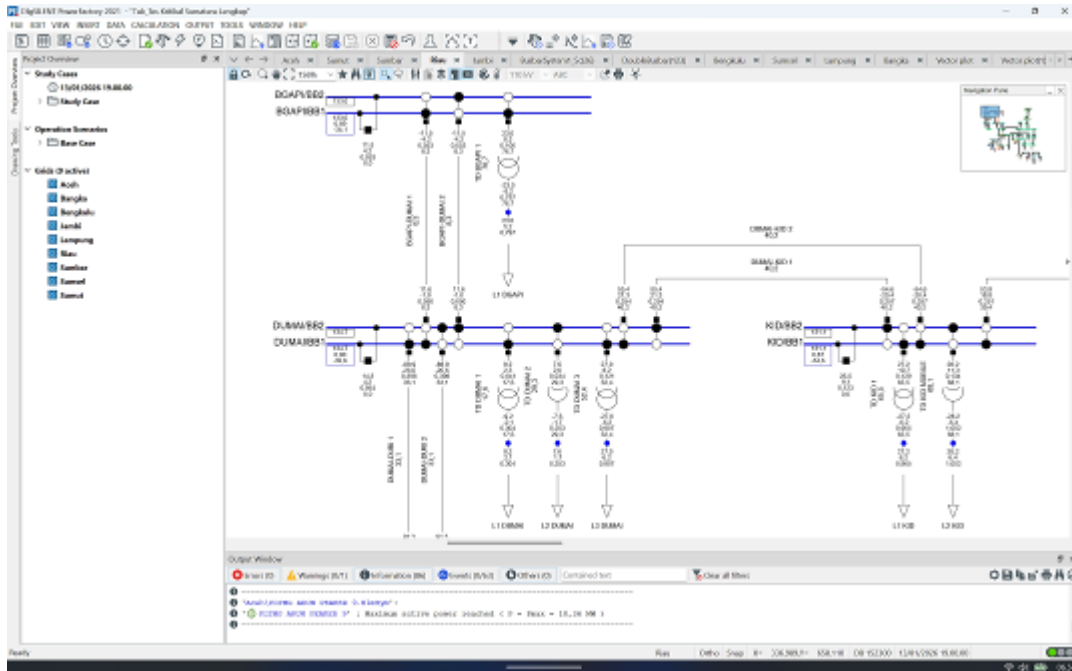
Analisis aliran daya ketika sebelum terpasang kapasitor menunjukkan bahwa sistem beroperasi dalam kondisi konvergen. Selanjutnya, hasil simulasi tersebut dibandingkan dengan data pengukuran yang diperoleh dari sistem SCADA yang terdapat pada Gambar 3. guna mengevaluasi tingkat kesesuaian dan keakuratan simulasi yang dibuat. Berdasarkan Persamaan 1 dapat dihitung persentase selisih dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi

GI.	Pengukuran (kV)	Simulasi (kV)	Selisih (%)
Dumai	134,74	134,70	0,03
Bagan Siapi-api	133,00	133,00	0,00
KID	133,18	133,10	0,06

Sumber: Data SCADA PT. PLN (Persero) dan Hasil Simulasi DIgSILENT

Berdasarkan Tabel 3. nilai persentase selisih antara hasil pengukuran dan hasil simulasi pada setiap GI. berada dalam rentang yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa profil tegangan hasil simulasi memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap data pengukuran, sehingga model simulasi yang digunakan dapat dikatakan valid (memadai dalam merepresentasikan kondisi operasi sistem aktual). Berikut hasil simulasi sebelum pemasangan kapasitor dapat di lihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Simulasi sebelum Pemasangan Kapasitor

Perhitungan Ukuran Kapasitor

Nilai kapasitor yang biasa terpasang dilingkungan PLN yaitu 10 MVAR, 25 MVAR, 50 MVAR dan 100 MVAR^[7]. Dari keempat opsi tersebut perlu diketahui kenaikan tegangan pada setiap nilai dengan menghitung terlebih dahulu nilai impedansi antara GI. Duri dan GI. Dumai untuk pemasangan di GI. Dumai. Sedangkan untuk pemasangan di GI. Bagan Siapi-api menggunakan impedansi antara GI. Dumai dan GI. Bagan Siapi-api. Data ini dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan menggunakan Persamaan 2. nilai tegangan akhir (V_2) setelah pemasangan kapasitor dapat dihitung, untuk pemasangan di GI. Dumai dan GI. Bagan Siapi-api:

$$\begin{aligned}
 X_{DUMAI} &= X_1 \times km = 0,40054 \times 56,68 = 22,70 \\
 X_{BAGAN} &= X_1 \times km = 0,42400 \times 105,70 = 44,82 \\
 V_{2DUMAI} &= \frac{134740 + \sqrt{134740^2 + 4 (22,703) Q}}{2} \tag{5}
 \end{aligned}$$

Untuk GI. Dumai bila empat opsi kapasitas kapasitor (Q) dimasukkan ke Persamaan 5 dari masing-masing kapasitor maka nilai tegangan akhir V_2 dapat dilihat di Tabel 4.

Tabel 4 Nilai Tegangan Akhir setiap Opsi Kapasitor di GI. Dumai

Kapasitas Kapasitor (MVAR)	Tegangan Awal V_1 (kV)	Tegangan Akhir V_2 (kV)
----------------------------	--------------------------	---------------------------

10	134,74	136,40
25	134,74	138,83
50	134,74	142,70
100	134,74	149,89

Untuk GI. Bagan Siapi-api bila menggunakan cara yang sama dengan GI Dumai, maka nilai tegangan akhir V_2 dapat dilihat di Tabel 5.

Tabel 5 Nilai Tegangan Akhir setiap Opsi Kapasitor di GI. Bagan Siapi-api

Kapasitas Kapasitor (MVAR)	Tegangan Awal V_1 (kV)	Tegangan Akhir V_2 (kV)
10	133,00	136,29
25	133,00	140,95
50	133,00	148,13
100	133,00	160,86

Berdasarkan hasil pada Tabel 4 dan Tabel 5, penerapan kapasitor berkapasitas 100 MVAR menghasilkan tegangan akhir sebesar 160,8 kV di GI. Bagan Siapi-Api, yang melampaui batas operasi tegangan yang diizinkan berdasarkan standar SPLN T5.002: 2021 dan Permen ESDM No. 20 Tahun 2020 yaitu sebesar -10% hingga $+5\%$ dari tegangan nominal. Kondisi tersebut menunjukkan terjadinya kompensasi daya reaktif yang berlebihan, sehingga kapasitas tersebut tidak sesuai untuk diterapkan di GI. Bagan Siapi-Api. Dengan mempertimbangkan kriteria batas tegangan, kapasitas kapasitor yang masih layak dan aman digunakan adalah 10 MVAR, 25 MVAR, dan 50 MVAR.

Menggunakan Persamaan 4, dapat dihitung daya hubung singkat di GI. Dumai dan GI. Bagan Siapi-api:

$$S_{sc-DUMAI} = \sqrt{3} \times V \times I_{sc} = \sqrt{3} \times 150000 \times 6350 = 1.649.778.394,2 \text{ VA}$$

$$S_{sc-BAGAN} = \sqrt{3} \times V \times I_{sc} = \sqrt{3} \times 150000 \times 3567 = 926.733.784,6 \text{ VA}$$

Kapasitas kapasitor yang masih layak dan aman digunakan yaitu 10 MVAR, 25 MVAR, dan 50 MVAR menggunakan Persamaan 3, dapat dihitung perubahan tegangan sistem (%) baik di GI. Dumai maupun GI. Bagan Siapi-api:

Tabel 6. Nilai Tegangan Akhir setiap Opsi Kapasitor di GI Bagan Siapi-api

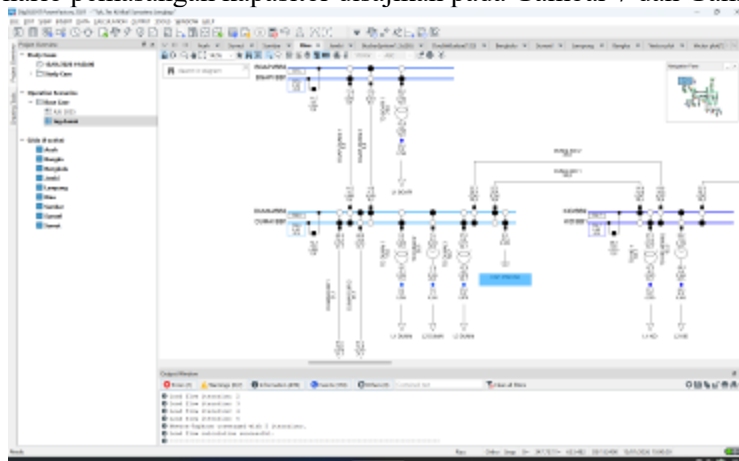
Kapasitas Kapasitor (MVAR)	Perubahan Tegangan Sistem (%)	
	di GI. Dumai	di GI. Bagan Siapi-api
10	0,6	1,1
25	1,5	2,7
50	3,0	5,4

Dari Tabel 6. diketahui dengan pemasangan kapasitor di GI. Dumai sebesar 25 MVAR dan 50 MVAR masih memenuhi standar IEEE 1036 – 2010 tentang kenaikan tegangan yang diperbolehkan. Sebaliknya, pada GI. Bagan Siapi-Api penerapan kapasitor sebesar 50 MVAR menghasilkan kenaikan tegangan yang melebihi ambang batas 3%, sehingga tidak memenuhi ketentuan standar IEEE^[8]. Jadi opsi yang terbaik adalah pemasangan kapasitor sebesar 50 MVAR di GI. Dumai atau 25 MVAR di GI. Bagan Siapi-api.

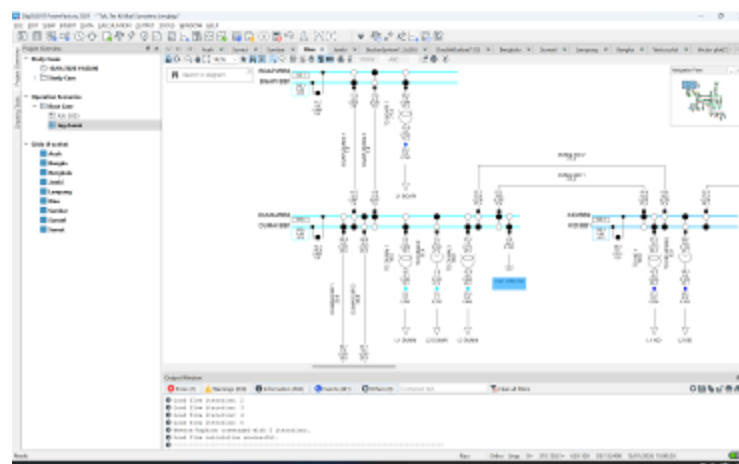
Simulasi Pemasangan Kapasitor di GI. Dumai

Berdasarkan hasil perhitungan awal, kapasitas kapasitor yang memenuhi kriteria teknis untuk diterapkan di GI. Dumai adalah 25 MVAR atau 50 MVAR. Selanjutnya dilakukan simulasi

menggunakan perangkat lunak DigSILENT PowerFactory 2021. Hasil simulasi tegangan sistem untuk masing-masing skenario pemasangan kapasitor disajikan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



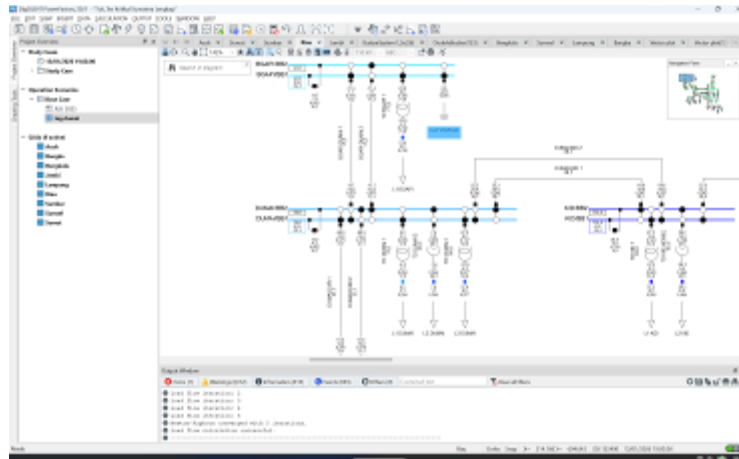
Gambar 7. Hasil Simulasi setelah Pemasangan Kapasitor 25 MVAR di GI Dumai



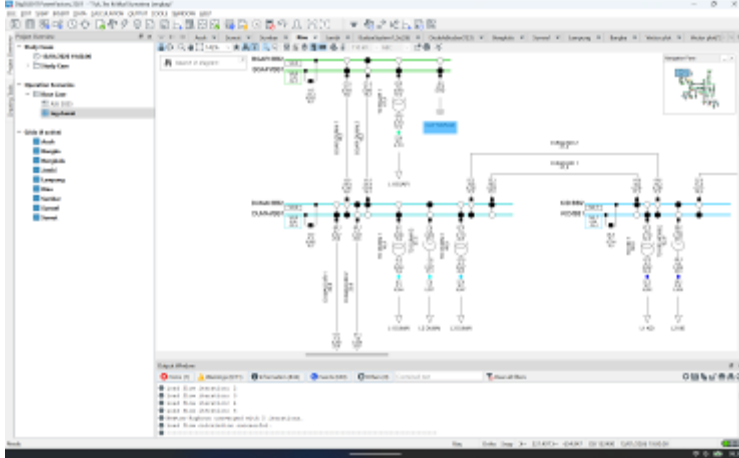
Gambar 8. Hasil Simulasi setelah Pemasangan Kapasitor 50 MVAR di GI Dumai

Simulasi Pemasangan Kapasitor di GI Bagan Siapi-api

Berdasarkan hasil perhitungan awal, kapasitas kapasitor yang memenuhi kriteria teknis untuk diterapkan di GI. Dumai adalah 25 MVAR. Penerapan kapasitor sebesar 50 MVAR menghasilkan kenaikan tegangan yang melebihi batas ketentuan standar IEEE 1036 – 2010. Selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak DigSILENT PowerFactory 2021. Hasil simulasi tegangan sistem untuk skenario pemasangan kapasitor disajikan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Hasil Simulasi setelah Pemasangan Kapasitor 25 MVAR di GI Bagan Siapi-api

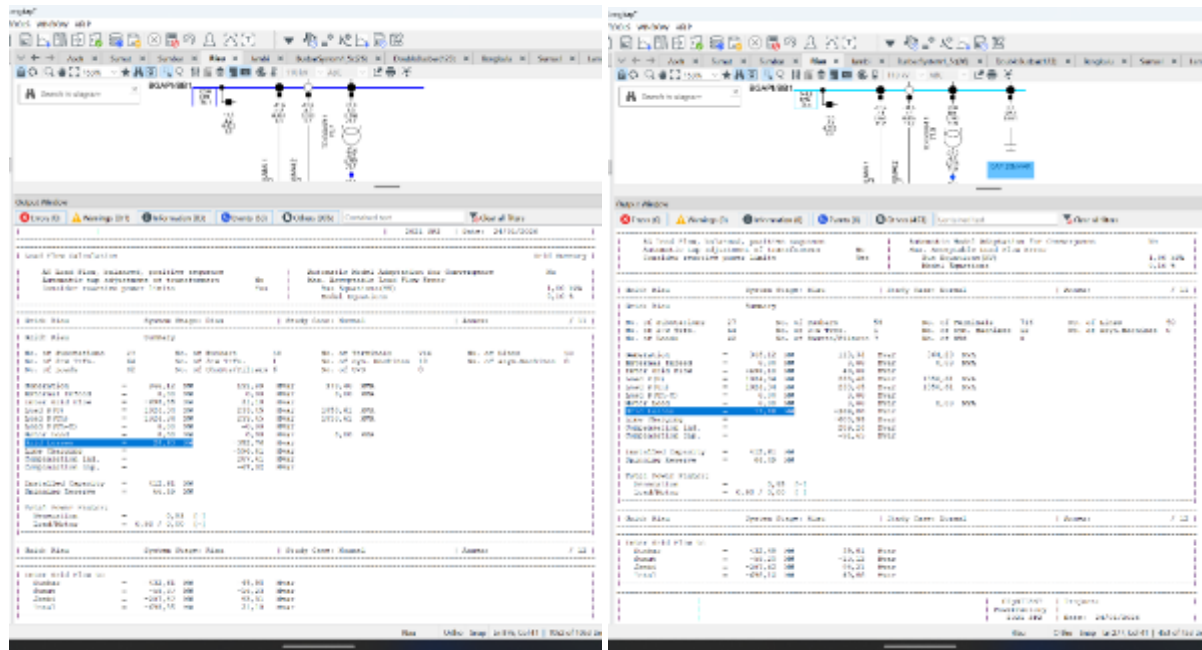


Gambar 10. Hasil Simulasi setelah Pemasangan Kapasitor 50 MVAR di GI Bagan Siapi-api

Analisa Pemasangan Kapasitor

Nilai tegangan setelah pemasangan kapasitor mengalami kenaikan. GI tempat pemasangan kapasitor merasakan dampak kenaikan tegangan tertinggi, 4,3 – 8,1 kV untuk kapasitor 25 MVAR dan 8,8 – 16,9 kV untuk kapasitor 50 MVAR. Dengan kapasitas kapasitor yang sama yaitu 25 MVAR lokasi pemasangan kapasitor terbaik yaitu di GI. Bagan Siapi-api yang akan berdampak pada kenaikan tegangan lebih baik dibanding pemasangan kapasitor di GI. Dumai. Pemasangan kapasitor 25 MVAR di GI. Bagan Siapi-api bahkan menaikkan tegangan GI. Dumai menjadi 139,1 kV, jika dipasang di GI. Dumai hanya menaikkan tegangan GI. Dumai menjadi 139,0 kV.

Pada Gambar 11. dapat dilihat perubahan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor 25 MVAR di GI. Bagan Siapi-api. Rugi-rugi daya pada sistem kelistrikan Subsistem Riau sebelum dilakukan penambahan kapasitor adalah 20,63 MW dan -352,8 MVAR. Setelah dilakukan optimasi dengan penambahan kapasitor rugi-rugi daya turun menjadi 19,88 MW dan -366,8 MVAR turun 0,75 MW atau sebesar 3,64 % dari 20,63 MW. Nilai daya reaktif yang menjadi lebih negatif setelah pemasangan kapasitor menunjukkan bahwa kapasitor menambahkan suplai daya reaktif ke sistem^[10]. Ini mengurangi kebutuhan arus reaktif yang mengalir pada saluran transmisi^[11]. Kondisi tersebut akan berdampak pada perbaikan profil tegangan, peningkatan faktor daya, serta penurunan rugi-rugi daya aktif akibat efek I^2R pada jaringan transmisi.



Gambar 11. Losses sebelum dan sesudah Pemasangan Kapasitor 25 MVAR di Bagan Siapi-api

D. Penutup

Berdasarkan penelitian perbandingan penempatan kapasitor maka didapatkanlah beberapa kesimpulan, yaitu :

- a. Sebelum dilakukan optimasi dengan penempatan kapasitor tegangan minimum pada sistem kelistrikan GI. KID adalah 131,1 kV dan setelah dilakukan optimasi dengan penambahan kapasitor 25 MVAR di GI. Bagan Siapi-api tegangan minimum meningkat menjadi GI. KID adalah 135,8 kV. Lokasi pemasangan kapasitor terbaik yaitu di GI. Bagan Siapi-api yang akan berdampak pada kenaikan tegangan lebih baik dan merata di sekitar GI. Bagan Siapi-api.
- b. Rugi-rugi daya pada sistem kelistrikan Subsistem Riau sebelum dilakukan penambahan kapasitor adalah 20,63 MW dan -352,8 MVAR. Setelah dilakukan optimasi dengan penambahan kapasitor rugi-rugi daya turun menjadi 19,88 MW dan -366,8 MVAR turun 0,75 MW atau sebesar 3,64 % dari 20,63 MW. Nilai daya reaktif pada sistem sudah bernilai negatif yang artinya sistem secara total menyuntikkan daya reaktif kapasitif (leading) ke dalam jaringan, yang umumnya berasal dari elemen kapasitif seperti kapasitor shunt atau saluran transmisi yang bersifat kapasitif. Kondisi ini mengindikasikan bahwa suplai daya reaktif dari komponen kapasitif lebih dominan dibandingkan daya reaktif induktif yang diserap oleh beban dan elemen induktif sistem. Nilai daya reaktif yang menjadi lebih negatif setelah pemasangan kapasitor menunjukkan bahwa kapasitor menambahkan suplai daya reaktif ke sistem.

Daftar Pustaka

[1] Z.H.V. Zafiro and M. Haddin, "Analisis Rugi-rugi Daya dan Jatuh Tegangan Pada SUTT 150 kV Pekanbaru-Comal dengan Menggunakan ETAP," Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, and Controls (AVITEC), Vol. 6, No. 2, pp. 159-167, 2024.

[2] Z. Hendri, R.D. Fadilah, N. Harun, M.E.R. Ulum, R.W. Pratama and D. Corio, "Optimizing the Capacity of 150 kV Transmission Lines Through the Addition of Shunt Capacitors: Case Study at PT. PLN (Persero) West Sumatra Subsystem," Journal of Electrical Technology UMY, Vol. 8, No. 1, pp. 17-27, 2024.

- [3] KESDM, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code)," Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Republik Indonesia, 2020.
- [4] M. Saini, M. Y. Yunus, R. Akbar and M. Yassir, "Analisis Jatuh Tegangan pada Sistem Kelistrikan 150 kV Sulselrabar Menggunakan Digsilent Powerfactory 15" SINERGI Vol. 16, No. 2, pp. 190-196, 2019.
- [5] S. Dali, I. Ridzki, R. Duanaputri and E. Maulana, "Analisis Pengaruh Penambahan Gardu Induk Terhadap Aliran Daya dan Profil Tegangan," Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan, Vol. 9, No. 2, pp. 58-63, 2022.
- [6] S. I. Haryudo and U. T. Kartini, "Analisis Perbandingan Perhitungan Short Circuit Pada Gardu Induk 150/20 kV (Studi Kasus Pada Gardu Induk Manyar Gresik)," JURNAL TEKNIK ELEKTRO, pp. 507-515, 2021.
- [7] M. F. Hakim, S. Nurhadi, H. D. F. Amaral, and S. L. Hermawan, "Kapasitor Shunt Sebagai Korektor Tegangan Bus di Gardu Induk," Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan, Vol. 10, No. 1, pp. 30–35, 2023.
- [8] "IEEE Guide for the Application of Shunt Power Capacitors," IEEE, 2011.
- [9] PT.PLN (PERSERO), (2023). "Mandiri report (Data Impedansi dan Arus Hubung Singkat Gardu Induk)". Sumber Data
- [10] A. Muntaha, I. Darmawan, A. Jaya, and D. Maulidyawati, "SIMULASI PERBAIKAN DROP TEGANGAN DAN SUSUT PADA GARDU INDUK ALAS DENGAN PENAMBAHAN KAPASITOR BANK," Jurnal Informatika Teknologi DanSains (Jinteks), Vol. 7, No. 2, pp. 516-525, 2025.
- [11] T. Barlian, Y. Apriani, N. Savitri, and M. Hurairah, "Analisis Kapasitor Bank Untuk Memperbaiki Tegangan," JURNAL SURYA ENERGY, Vol. 4, No. 2, pp. 391-396, 2020.