



SIMULASI PERBAIKAN DROP TEGANGAN DAN SUSUT PADA GARDU INDUK ALAS DENGAN PENAMBAHAN KAPASITOR BANK

Ahmad Muntaha^{1*}, Indra Darmawan², Ahmad Jaya³, Desi Maulidyawati⁴

¹Teknik Elektro, Universitas Teknologi Sumbawa

email: ahmadmuntaha46@gmail.com^{1*}

Abstrak: Drop tegangan dan susut transmisi menjadi permasalahan yang terjadi pada Sistem Tambora karena adanya gangguan PLTU dan pemeliharaan jaringan transmisi. Drop tegangan dan susut transmisi paling kecil terjadi ketika PLTU beroperasi normal yaitu 4,9% drop tegangan dan 2,85% susut. Sedangkan drop tegangan dan susut paling besar terjadi ketika terdapat pekerjaan pada line Labuhan-Alas dengan kondisi PLTU mengalami gangguan yaitu 12% drop tegangan dan 8,24% susut. Masalah ini menjadi perhatian sebagai upaya dalam meningkatkan kualitas penyediaan listrik di Sistem Tambora. Tujuan dari penelitian adalah melakukan studi kasus dalam penambahan kapasitor untuk perbaikan drop tegangan dan susut. Penelitian ini menggunakan simulasi DIgSilent yang telah dilakukan validasi sesuai sistem riil dengan komparasi data antara monitoring sistem SCADA dan hasil simulasi. Error tertinggi yang dihasilkan adalah 1,79% dimana masih dalam margin yang diperbolehkan. Berdasarkan perhitungan, nilai kapasitor yang optimal dipasang pada GI Alas adalah 6 MVAR dengan pertimbangan beban harian pada pukul 12:00 WITA. Setelah dilakukan perbaikan dengan pemasangan kapasitor maka nilai drop tegangan menjadi 2,76% atau turun 2,15% dan susut transmisi menjadi 2,47% atau turun 0,38% dalam kondisi normal. Sedangkan untuk kondisi PLTU gangguan dan pekerjaan pemeliharaan nilai drop tegangan menjadi 7,35% atau turun 4,62%. Serta susut transmisi menjadi 6,17% atau turun 2,06%.

Kata Kunci : Drop Tegangan, Kapasitor, Simulasi Software DIgSilent, Susut Transmisi

PENDAHULUAN

Sistem transmisi merupakan bagian yang penting dalam sistem kelistrikan dengan fungsi menyalurkan energi listrik dari pembangkitan menuju ke pelanggan. Penyaluran energi listrik tentunya membutuhkan sistem transmisi yang mumpuni. Sistem kelistrikan Tambora saat ini dibagi menjadi dua, yaitu sistem Bima dan sistem Sumbawa dengan sistem interkoneksi menggunakan IBT yang terdapat pada Gardu Induk Dompu dan Gardu Induk Labuhan. Proses penyaluran melalui transmisi ini tentunya memiliki potensi drop tegangan dan susut daya, terutama pada sistem Tambora bagian barat yaitu pada Gardu Induk Alas dan Gardu Induk Taliwang. Hal ini disebabkan karena hilangnya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sumbawa Unit 1 dan 2. Hilangnya PLTU disebabkan karena mengalami gagal operasi atau gangguan, atau bisa juga karena pemeliharaan. Selain itu, apabila sedang dilakukan pekerjaan pemeliharaan jaringan pada salah satu jalur Transmisi (*by line*) Labuhan-Alas, maka akan terjadi penurunan tegangan (*drop voltage*) dan susut yang besar. Diperlukan langkah-langkah mitigasi yang tepat untuk mengurangi dampak dari kondisi ini. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan simulasi penambahan kapasitor bank guna memperbaiki kualitas mutu tegangan dan mengurangi susut jaringan pada Gardu Induk Alas.

Tujuan penelitian ini untuk melakukan perbaikan drop tegangan dan susut jaringan yang terjadi pada sistem transmisi di Gardu Induk Alas saat dilakukan pekerjaan atau pemeliharaan jaringan transmisi, serta disaat yang bersamaan kondisi PLTU Sumbawa unit 1 dan 2 tidak beroperasi atau mengalami gangguan. Penelitian ini diharapkan menjadi salah satu opsi dalam perbaikan mutu tegangan dan susut transmisi pada sistem kelistrikan Tambora.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang telah dilakukan menjelaskan kapasitor bank dapat digunakan dalam perbaikan nilai drop tegangan dengan perbaikan cos phi. Dimana drop tegangan dapat dihitung dengan cara membandingkan antara tegangan yang dikirimkan dikurangi dengan tegangan sisi terima kemudian dibagi dengan tegangan sisi kirim. Lalu dijelaskan bahwa cos phi awal akan diperbaiki menjadi nilai cos phi yang diinginkan sehingga dapat ditentukan nilai kapasitor yang dapat digunakan. Pada penelitian ini nilai drop tegangan semula 1567 V atau 7,83% diperbaiki menjadi 860 V atau 4,3% dengan menggunakan kapasitor bank[1]. Penelitian lain juga dilakukan mendapatkan peningkatan tegangan sebesar 8,87% setelah dilakukan penambahan kapasitor di Gardu Induk Segoromadu dengan rating tegangan 150 kV. Tegangan sebelum penambahan kapasitor adalah sebesar 130,797 kV dan setelah dilakukan perbaikan menjadi 139,67 kV[2].

Dilokasi lain juga melakukan penelitian di PLN ULP Labuhan Bilik Medan mendapatkan kesimpulan bahwa drop tegangan pada penyulang RT 02 yang semula 15% menjadi 6,936% setelah dilakukan pemasangan kapasitor. Sedangkan drop tegangan untuk penyulang AP3 menjadi 10% yang semula 13% setelah perbaikan dengan ditambah kapasitor[3]. Penelitian yang dilakukan dengan menambahkan kapasitor disalurkan transmisi Isimu Marisa dengan hasil yang didapatkan adalah penyusutan daya sebesar 17.466 W[4]. Dari referensi tersebut dapat diketahui bahwa kapasitor bank dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas tegangan dan susut pada jaringan transmisi



Drop Tegangan

Drop tegangan ditimbulkan karena adanya resistansi pada penghantar, Besar arus pada tiap fasa pada jaringan transmisi Akibatnya nilai tegangan di sisi penerima akan berbeda dengan nilai tegangan di sisi pengirim Drop Tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengirim (sending end) dan tegangan pada ujung penerima (receiving end) tenaga listrik. Pada saluran bolak-balik besarnya tergantung dari impedansi dan admitansi saluran serta pada beban dan faktor daya. Jatuh tegangan diilustrasikan dengan fasor seperti pada gambar 2. Jatuh tegangan relative dinamakan regulasi tegangan (voltage regulation), dan dinyatakan oleh persamaan (1) [1], [5].

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

V_s = Tegangan pada pangkal pengiriman

V_r = Tegangan pada ujung penerimaan

Susut Transmisi

Pada penyaluran tenaga listrik dari sisi pembangkit hingga menuju ke pelanggan akan mengalami pengurangan energi yang disalurkan. Hal ini yang disebut dengan susut jaringan. Susut menjadi masalah yang harus diperhatikan karena akan menjadi kerugian finansial. Perhitungan losses dapat dihitung dari energi listrik yang dikirimkan dikurangi dengan energi listrik diterima[6].

$$\text{Susut} = \frac{P_x - P_y}{P_x} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

P_x = Energi listrik yang dikirimkan

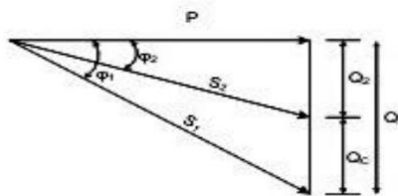
P_y = Energi listrik yang diterima

Kapasitor Bank

Kapasitor bank merupakan peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang terdiri dari sekumpulan kapasitor yang disambung secara paralel/seri untuk mendapatkan kapasitas kapasitif tertentu. Besaran parameter yang sering dipakai adalah kVAr (kilo volt ampere reaktif). Kapasitor yang digunakan memperbesar faktor daya dipasang paralel dengan rangkaian beban[1].

Terdapat dua cara pemasangan kapasitor yaitu secara seri dan shunt/paralel. Pemasangan kapasitor pada sistem daya menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, sehingga dapat mengurangi kerugian pada sistem. Pemasangan kapasitor secara seri maupun shunt memiliki kelebihan dan kekurangan masing masing. Ada beberapa aspek tertentu yang menjadi kerugian pada kapasitor seri. Secara umum dapat dikatakan, biaya untuk memasang kapasitor seri lebih tinggi dari biaya pemasangan kapasitor shunt. Hal ini disebabkan karena peralatan perlindungan untuk kapasitor seri sering lebih kompleks. Juga biasanya, kapasitor seri didesain untuk daya yang lebih besar dari pada kapasitor shunt untuk mengatasi pengembangan beban nantinya.

Besarnya kapasitor yang dipergunakan untuk memperbaiki faktor daya dapat ditentukan, yaitu seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perhitungan nilai kapasitor

Besarnya komponen Daya Aktif (kW) pada sistem adalah konstan, sedangkan kVA dan kVAR berubah dengan perubahan faktor daya. Bila faktor daya berubah dari $\cos \phi_1$ menjadi $\cos \phi_2$ maka kVAR pada faktor daya mula-mula adalah $P \times \tan \phi_1$ dan kVAR pada faktor daya yang diperbaiki adalah $P \times \tan \phi_2$. Jadi besarnya rating daya reaktif kapsitor (Q_c) yang dikehendaki untuk memperbaiki faktor daya diperlihatkan pada persamaan sebagai berikut: [1], [7]

$$Q_c = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (3)$$

Sedangkan untuk menentukan daya reaktif yang diperbaiki dapat dicari dengan menggunakan persamaan.

$$Q_2 = Q_1 - Q_c \quad (4)$$



Dimana:

Q1 = daya reaktif awal atau sebelum perbaikan

Qc = daya reaktif kapasitor

Faktor Daya

Factor daya merupakan perbandingan antara daya aktif dengan daya semu. Sudut fasa merupakan perbedaan antara tegangan lalu, cosinus sudut fasanya dinamakan factor daya ($\cos \varphi$). Nilai dari faktor daya tersebut antara 0 – 1 dan juga bisa dinyatakan kedalam persen, dikatakan bagus apabila nilai tersebut mendekati 1. Maka dapat diperoleh persamaan sebagai berikut: [8], [9]

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad (5)$$

dimana:

$\tan \varphi$ = Bentuk persen dari faktor daya

P = Daya aktif (kW)

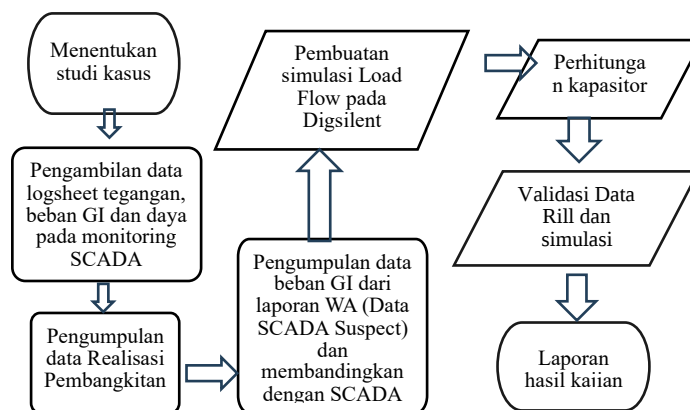
Q = Daya reaktif (kVAR)

DIGSILENT

DIGSILENT (DIGital SIMuLation and ELECTRICAL NeTwork calculation program) merupakan perangkat lunak analisis sistem tenaga yang pertama di dunia yang terintegrasi dengan grafis antar muka satu baris, diagram satu baris interaktif juga termasuk fungsi menggambar, kemampuan mengedit dan semua relevan statis dan dinamis fitur perhitungan. Beberapa fungsi yang tersedia dalam DIGSILENT PowerFactory adalah analisis aliran beban (loadflow analysis), perhitungan arus pendek (shortcircuit calculation), analisis harmonik (harmonic analysis), koordinasi proteksi (protection coordination), perhitungan stabilitas (stability calculation) dan analisis modal (modal analysis)[10].

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan menganalisis data hasil pemodelan sistem menggunakan aplikasi Digsilent, berdasarkan aset dan konfigurasi jaringan Transmisi serta Pembangkit yang telah dikumpulkan dari PT PLN (Persero) ULTG Sumbawa dan UPK Tambora sehingga menjadi Singgle Line Diagram untuk Sub Sistem Taliwang Alas sesuai dengan kondisi di lapangan.



Gambar 2. Diagram alur penelitian

Data Drop Tegangan pada GI Alas

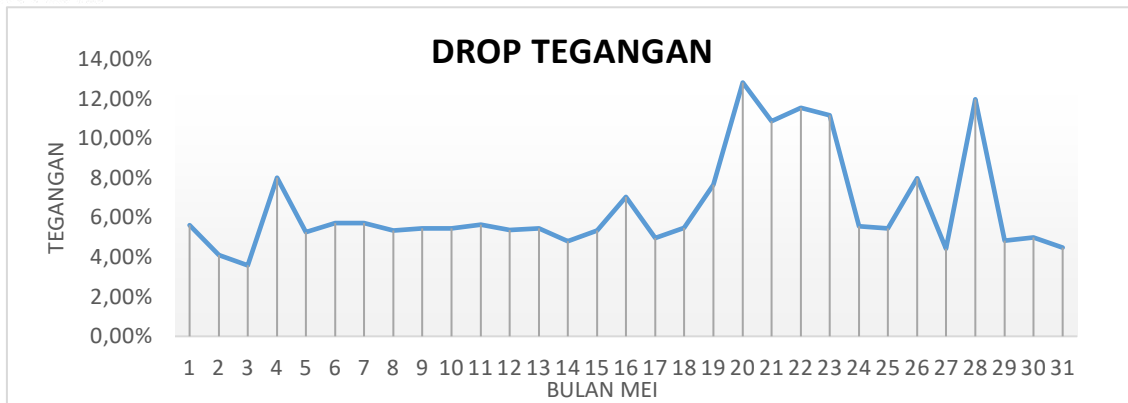
Data drop tegangan ini berfokus pada GI Alas, yang menerima tegangan yang dikirim dari GI Labuhan. Informasi tegangan di setiap GI ini diperoleh dari pemantauan SCADA pada saat yang sama, yaitu pukul 12:00 Wita pada bulan Mei. Terdapat enam studi kasus data, diantaranya adalah:

Studi 1: Operasi normal dengan masuknya PLTU Sumbawa

Studi 2: Operasi normal tanpa unit PLTU Sumbawa

Studi 3: Operasi dengan masuknya unit PLTU Sumbawa dan adanya pemeliharaan transmisi pada Line Labuhan-Alas

Studi 4: Operasi tanpa unit PLTU Sumbawa dan dilakukan pemeliharaan transmisi pada Line Labuhan-Alas



Gambar 3. Grafik Drop Tegangan pada GI Alas (Line Alas-Labuhan)

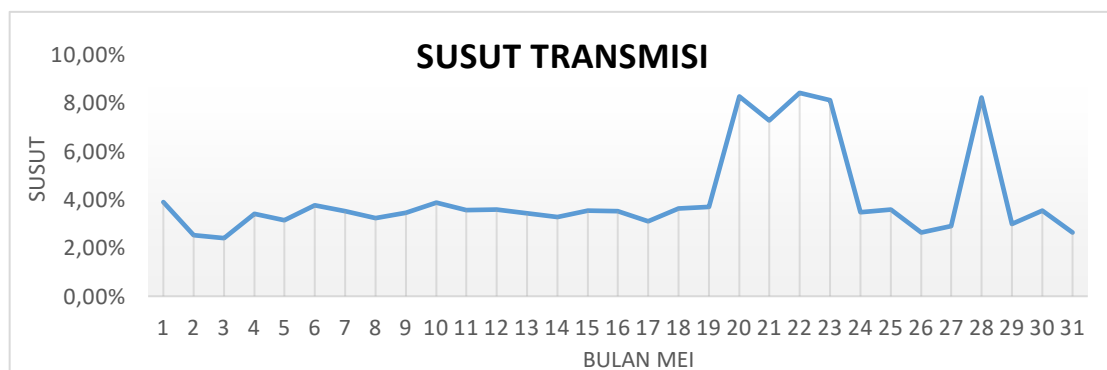
Grafik di atas adalah drop tegangan yang diambil dari data SCADA sistem tambora pada bulan mei 2024 pukul 12:00 WITA. Selama satu bulan beroperasi terdapat beberapa kejadian seperti keluarnya PLTU Sumbawa akibat gangguan dan pemeliharaan jaringan transmisi di line Labuhan-Alas yang menyebabkan adanya drop tegangan yang tinggi. Adapun penjelasan kejadian dibagi menjadi beberapa studi kasus seperti pada tabel berikut:

Tabel 1. Data rata-rata drop tegangan		
Studi	Drop	Tanggal
Studi 1	4,92%	2, 3, 17, 26, 27, 29, 30, 31 Mei
Studi 2	5,79%	1, 4 – 16, 18, 19, 24, 25, Mei
Studi 3	11,97%	28 Mei
Studi 4	11,59%	20 – 23 Mei

Dari data tabel di atas dapat dilihat bahwa drop tegangan paling kecil adalah ketika sistem beroperasi normal dengan masuknya PLTU Sumbawa. Hal ini dikarenakan PLTU menyuplai MVAR yang pada sistem tambora sisi barat sehingga tegangan pada GI Alas lebih baik. Adapun drop tegangan paling besar pada kondisi ketiga yaitu saat dilakukan pemeliharaan jaringan transmisi pada line Labuhan-Alas dan PLTU Sumbawa beroperasi. Hal ini diakibatkan bahwa pada tanggal 28 Mei PLTU Sumbawa mengalami gangguan sehingga harus turun beban secara perlahan dan akhirnya keluar sistem pada pukul 14:00 sehingga tidak dapat menyuplai MVAR pada sistem serta bertepatan dengan dilakukan pemeliharaan jaringan pada line transmisi menyebabkan drop tegangan sebesar 11,97%.

Data Susut Jaringan Transmisi pada GI Alas

Sama halnya dengan data drop tegangan. Susut diambil dari data monitoring SCADA pada daya yang dikirimkan dari GI Labuhan dan GI Alas sebagai penerima. Adapun data susut adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik Susut Transmisi pada GI ALAS (Line Alas-Labuhan)

Adapun penjelasan dari data grafik di atas berdasarkan studi kasus dapat dilihat pada tabel, sebagai berikut:



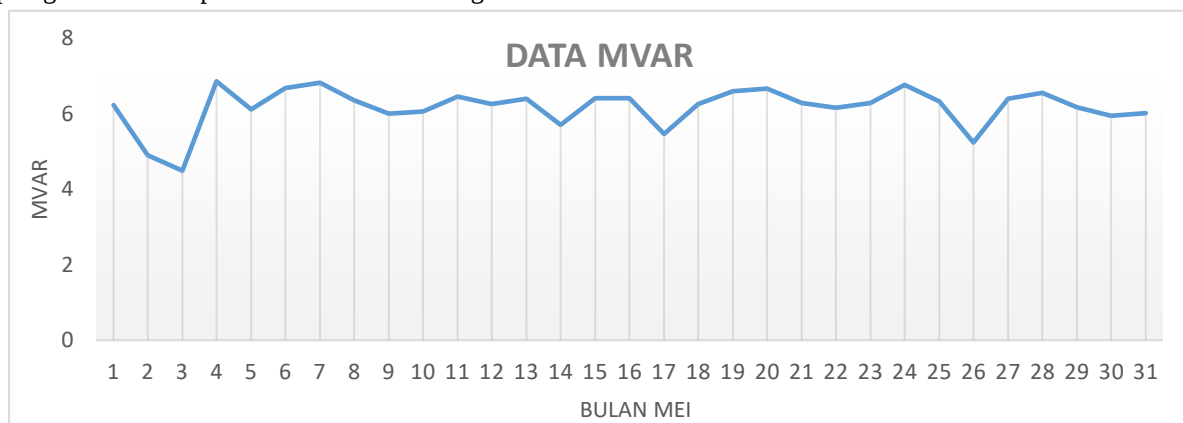
Tabel 2. Data rata-rata susut jaringan

Studi	Susut	Tanggal
Studi 1	2,85%	2, 3, 17, 26, 27, 29, 30, 31 Mei
Studi 2	3,54%	1, 4 – 16, 18, 19, 24, 25, Mei
Studi 3	8,24%	28 Mei
Studi 4	8,02%	20 – 23 Mei

Dari data tabel di atas dapat dilihat bahwa susut transmisi paling kecil adalah ketika sistem beroperasi normal dengan masuknya PLTU Sumbawa yaitu sebesar 2,85%. Sedangkan susut terbesar pada bulan Mei terjadi ketika adanya pekerjaan pemeliharaan jaringan yaitu sebesar 8,24%.

Data Nilai MVAR pada GI Alas

Data MVAR diambil dari monitoring SCADA sistem tambora selama bulan Mei 2024 pada pukul 12:00 WITA. Adapun grafik MVAR pada GI Alas adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik MVAR pada GI Alas

Tabel 3. Data rata-rata Mvar pada GI Alas

Studi	MVAR	Tanggal
Studi 1	5,582	2, 3, 17, 26, 27, 29, 30, 31 Mei
Studi 2	6,368	1, 4 – 16, 18, 19, 24, 25, Mei
Studi 3	6,545	28 Mei
Studi 4	6,345	20 – 23 Mei

Dari data grafik dan data tabel di atas dapat dilihat bahwa nilai MVAR yang diserap pada GI Alas paling kecil adalah ketika PLTU Sumbawa beroperasi. Hal ini dikarenakan PLTU menyuplai MVAR pada sistem. Perlu diketahui bahwa aliran daya berasal dari GI Sumbawa karena terdapat pembangkit dengan kapasitas yang besar yaitu PLTMG 50 MW. Aliran daya dari GI Sumbawa dikirimkan ke GI Labuhan dan kemudian ditransfer ke GI Alas. Sedangkan PLTU Sumbawa terletak pada ujung sistem tambora sisi barat yaitu di GI Kertasari. Aliran daya ketika PLTU beroperasi adalah memasok MVAR sistem menuju GI Taliwang yang kemudian ditransfer ke GI Alas. Oleh karena itu, saat PLTU Sumbawa beroperasi, MVAR pada GI Alas yang diterima dari GI Labuhan akan berkurang sehingga drop tegangan dan susut transmisi juga akan berkurang.

Perhitungan Kapasitor pada GI Alas

Nilai MVAR pada beberapa studi kasus yang telah didapatkan dari monitoring SCADA sistem tambora kemudian akan diolah untuk menentukan besarnya nilai kapasitas kapasitor yang dibutuhkan sistem agar pasokan MVAR di GI Alas terpenuhi.

Dari perbandingan data nilai MVAR (daya reaktif) terhadap nilai MW (daya aktif) pada monitoring SCADA maka akan didapatkan sudut fasa ($\tan \phi$) yang kemudian dapat digunakan untuk mencari nilai $\cos \phi$ pada GI Alas. Perbaikan yang diinginkan adalah nilai $\cos \phi$ menjadi 0,999 atau jika dikonversi ke dalam besaran sudut adalah 2,563 derajat.

Dalam menemukan besaran nilai kapasitor yang ideal yang tertuang dalam tabel 4 adalah dengan menggunakan persamaan (5) dan data studi 1 sebagai berikut :

Menghitung nilai dari Tan ϕ awal :

$$\text{Daya aktif (P)} = 17,059 \text{ MW}$$

Daya Reaktif (Q) = 5,582 MVA

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} = \frac{5,582}{17,059} = 0,327$$

Merubah atau invers hasil dari Tan ϕ menjadi sudut awal:

$$\tan^{-1}(x) = \tan^{-1}(0,327) = 18,118^\circ$$

Untuk mencari sudut Tan ϕ adalah dengan merubah atau invers nilai sudut yang diinginkan yaitu Cos ϕ : 0,999 menjadi sudut atau radian kemudian dikonversikan lagi kedalam sudut Tan ϕ :

$$\text{Cos}^{-1}(x) = \text{Cos}^{-1}(0,999) = 2,563^{\circ}$$

$$\tan (2,563^{\circ}) = 0,448$$

Kemudian untuk mencari nilai kapasitor yang ideal ada dengan menggunakan persamaan (3) sebagai berikut:

$$Q_c = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) = 17,059 \text{ MW } (0,327^\circ - 0,448^\circ) = 4,818 \text{ MVAR}$$

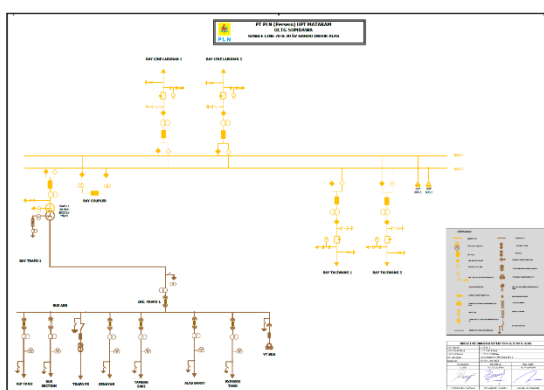
Tabel 4. Nilai kapasitor pada masing-masing studi

Studi	MW	MVAR	Tan Phi Awal	Sudut Awal	Sudut akhir	Tan Phi Akhir	Nilai Capacitor
Studi 1	17,059	5,582	0,327	18,118	2,563	0,0448	4,818
Studi 2	20,012	6,368	0,318	17,653	2,563	0,0448	5,473
Studi 3	19,720	6,545	0,332	18,361	2,563	0,0448	5,662
Studi 4	19,910	6,345	0,319	17,676	2,563	0,0448	5,454

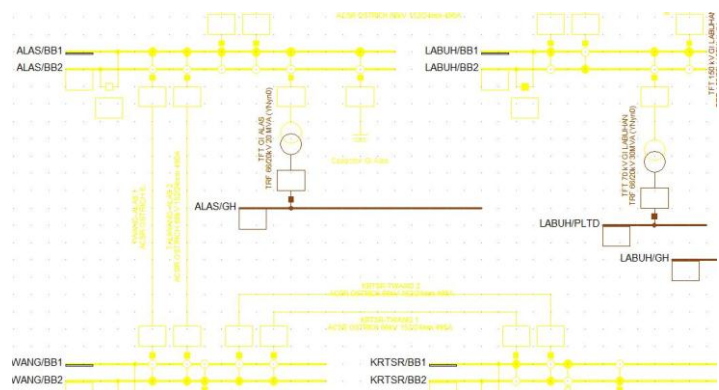
Dari data tabel di atas, berdasarkan beberapa studi kasus yang diambil, nilai kapasitor yang dibutuhkan adalah dalam rentang nilai 4,818 – 5,662 MVAR. Dari nilai rentang kapasitor akan dilakukan pengujian melalui simulasi dan dicari nilai optimal yang dibutuhkan untuk setiap studi kasus. Hal ini juga dimaksudkan untuk menyesuaikan kebutuhan pada sistem di GI Alas.

Simulasi pada Software DIgSILENT

Simulasi pada software DigSilent menggunakan basis data sesuai dengan yang terpasang di lapangan. Dari data yang telah didapatkan kemudian melakukan simulasi pada software DigSilent untuk mendapatkan perbandingan nilai error antara kondisi real-time dengan hasil simulasi. Data beban pada masing-masing gardu induk yang digunakan untuk simulasi merupakan data real-time yang disesuaikan berdasarkan nilai monitoring SCADA dan laporan pada grup WA dikarenakan beberapa GI terdapat eror pembacaan SCADA.



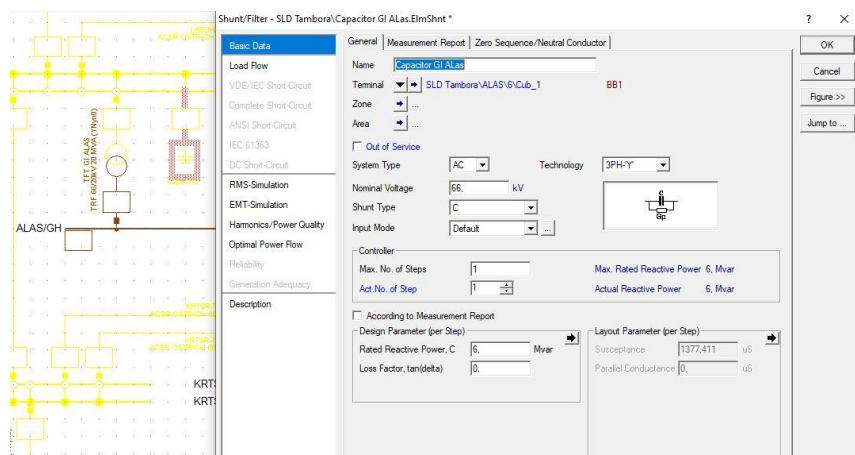
Gambar 6. Single Line Diagram Gardu Induk Alas



Gambar 7. Single Line Diagram Gardu Induk Alas pada aplikasi DigSILENT



Setelah pemodelan sistem disesuaikan dengan kondisi lapangan, maka simulasi ini dapat dilakukan. Percobaan menggunakan pemodelan sistem ini dapat mempermudah dalam menganalisis penurunan tegangan dan hilangnya energi dalam transmisi.

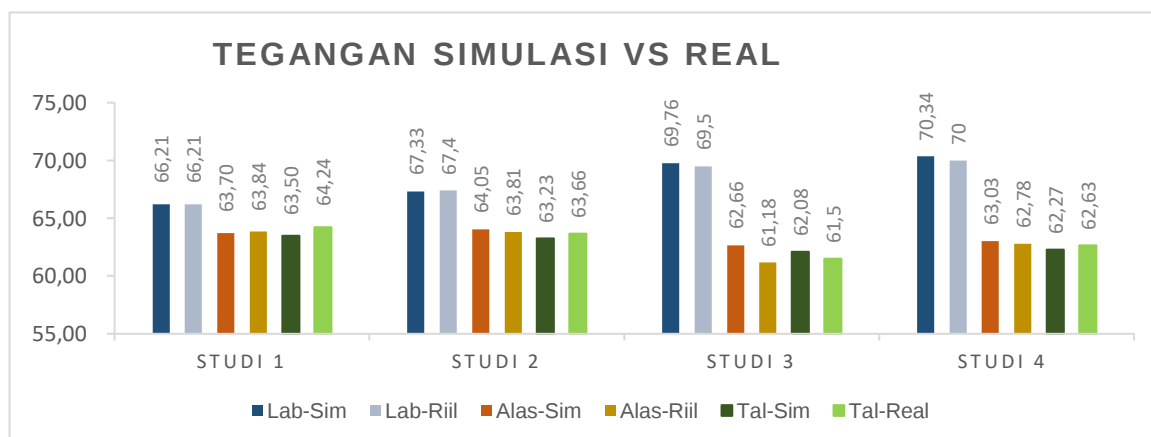


Gambar 8. Pemilihan Kapasitor shunt dan pengisian Basic Data kapasitor

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil simulasi aliran daya dengan menggunakan software DIGSILENT pada pukul 12:00 siang hari maka didapatkan hasil simulasi drop tegangan dan susut transmisi sebagai berikut:

Hasil Simulasi Drop Tegangan



Gambar 9. Grafik Perbandingan Tegangan Simulasi dan Kondisi Riil

Grafik di atas dapat dijabarkan dengan tabel dibawah ini:

Tabel 5. Tabel Perbandingan Tegangan Simulasi dan Kondisi Riil

Studi	Lab-Sim	Lab Riil	Error	Alas-Sim	Alas-Riil	Error	Tal-Sim	Tal-Riil	Error	Rata Error
Studi 1	66,21	66,21	0,00%	63,70	63,84	0,22%	63,50	64,24	1,15%	0,46%
Studi 2	67,33	67,4	0,10%	64,05	63,81	0,38%	63,23	63,66	0,68%	0,39%
Studi 3	69,76	69,5	0,37%	62,66	61,18	2,42%	62,08	61,5	0,94%	1,25%
Studi 4	70,34	70	0,49%	63,03	62,78	0,40%	62,27	62,63	0,57%	0,49%

Dari data di atas dapat dilihat bahwa pada simulasi *load flow* yang dilakukan didapatkan selisih nilai tegangan antara kondisi riil dengan hasil simulasi memiliki error tertinggi yaitu sebesar 1,25% dan error terkecil adalah 0,39%.

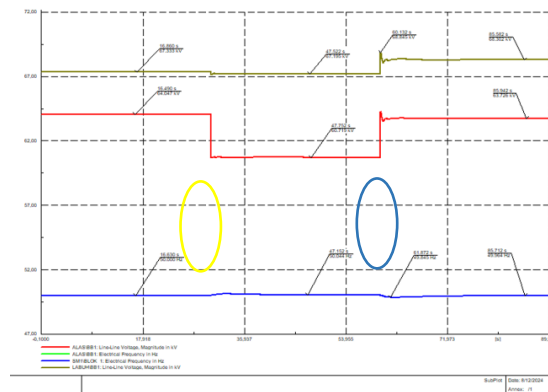
Error ini masih dapat ditoleransi karena kurang dari margin error yang dibolehkan yaitu 5%. Maka dari itu, hasil simulasi ini dapat digunakan sebagai basis data untuk perhitungan selanjutnya yaitu perubahan nilai ketika penambahan kapasitor.

Setelah dilakukan verifikasi data dengan hasil bahwa nilai error perbandingan antara simulasi dan sistem riil masih dibawah batas toleransi yang diijinkan, maka kemudian dilakukan penambahan kapasitor dengan nilai sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Simulasi Penambahan Kapasitor

MVAR/ Studi	2	3	4	5	6
Studi 1	1,443%	1,600%	1,757%	1,914%	2,070%
Studi 2	1,460%	1,727%	2,008%	2,285%	2,561%
Studi 3	2,717%	3,183%	3,673%	4,148%	4,621%
Studi 4	1,438%	1,861%	2,308%	2,741%	3,184%

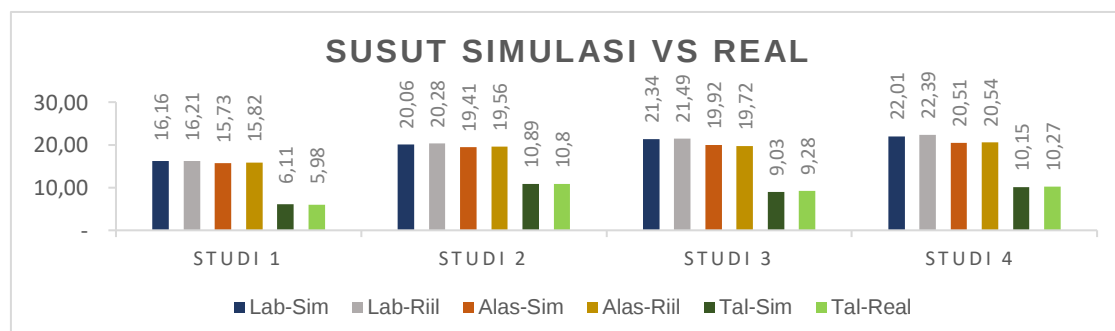
Dari data tabel di atas, dapat dilihat bahwa setelah dilakukan penambahan nilai kapasitor didapatkan hasil untuk studi 1 yaitu sistem dalam kondisi normal dengan PLTU Sumbawa beroperasi nilai kapasitor yang paling optimal adalah 6 MVAR, hal ini juga mempertimbangkan susut jaringan transmisi. Perbaikan drop tegangan yang dihasilkan adalah 2,070% dengan margin error simulasi adalah 0,46%. Kemudian untuk studi 2, studi 3 dan studi 4 nilai kapasitor yang optimal adalah 6 MVAR. Perbaikan drop paling besar didapatkan pada kondisi studi 3 yaitu PLTU Sumbawa beroperasi namun dalam kondisi beban turun perlahan karena mengalami gangguan sehingga harus keluar dari sistem serta sedang dilakukan pekerjaan pemeliharaan transmisi dengan perbaikan drop tegangan pada GI Alas sebesar 4,62% dengan error pada simulasi 1,25%.



Gambar 10. Hasil simulasi studi 4

Gambar 10. merupakan studi kasus 4 dengan kondisi terdapat pemeliharaan jaringan transmisi jalur Labuhan Alas dan bersamaan dengan PLTU Sumbawa tidak beroperasi. Bisa dilihat ketika salah satu jalur jaringan Labuhan Alas dimatikan maka garis grafik berwarna merah yang dilingkari warna kuning langsung jatuh kebawah, dalam kondisi simulasi ini yang terjadi adalah penurunan atau drop tegangan. Kemudian kapasitor bank diaktifkan untuk membantu memperbaiki tegangan yang telah jatuh, simulasi ini ditandai dengan lingkaran berwarna biru, setelah kapasitor bank diaktifkan yang terjadi adalah garis merah yang tadinya jatuh bisa kembali naik mendekati posisi awal.

Hasil Simulasi Susut Transmisi



Gambar 11. Grafik Perbandingan Susut Simulasi dan Kondisi Riil



Grafik di atas dapat dijabarkan dengan tabel dibawah ini:

Tabel 7. Tabel Perbandingan Susut Simulasi dan Kondisi Riil

Studi	Lab-Sim	Lab Riil	Error	Alas-Sim	Alas-Riil	Error	Tal-Sim	Tal-Riil	Error	Rata Error
Studi 1	16,16	16,21	0,31%	15,73	15,82	0,57%	6,11	5,98	2,24%	1,04%
Studi 2	20,06	20,28	1,07%	19,41	19,56	0,77%	10,89	10,8	0,83%	0,89%
Studi 3	21,34	21,49	0,70%	19,92	19,72	1,00%	9,03	9,28	2,67%	1,46%
Studi 4	22,01	22,39	1,71%	20,51	20,54	0,13%	10,15	10,27	1,19%	1,01%

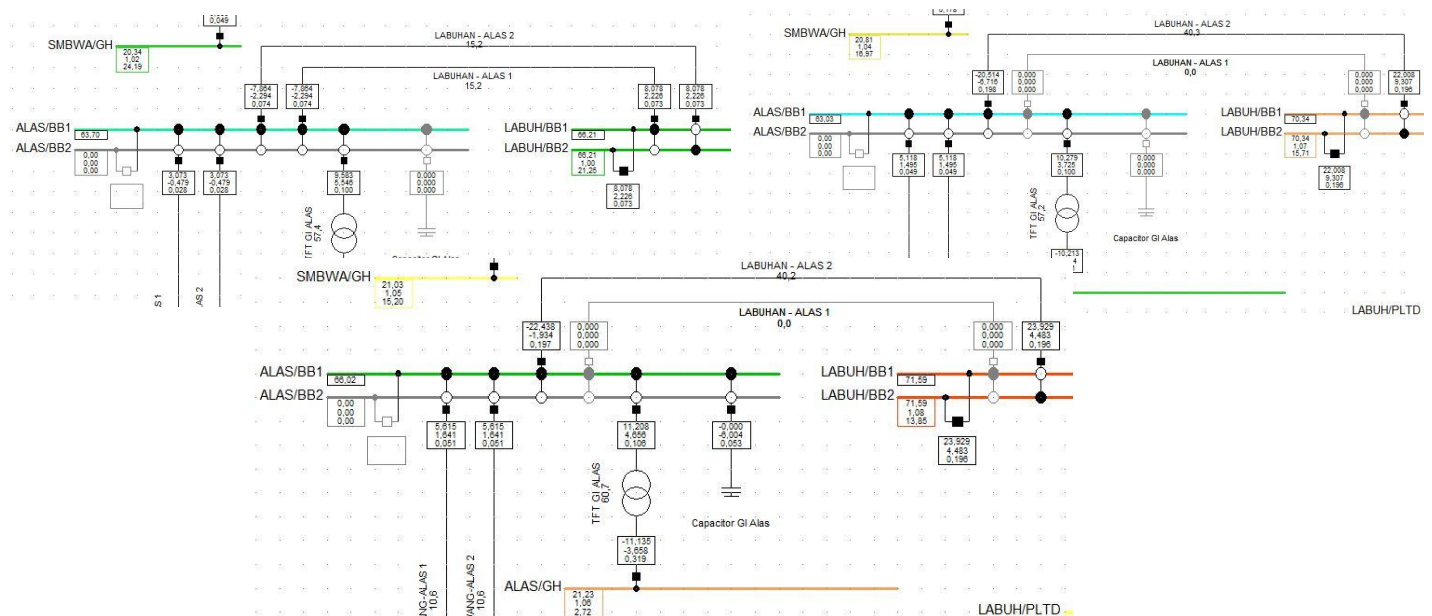
Dari data di atas dapat dilihat bahwa pada simulasi *load flow* didapatkan selisih nilai daya aktif antara kondisi riil dengan hasil simulasi memiliki error tertinggi yaitu sebesar 1,46% dan error terkecil adalah 0,89%. Error ini masih dapat ditoleransi karena kurang dari margin error yang dibolehkan yaitu 5%. Maka dari itu, hasil simulasi ini dapat digunakan sebagai basis data untuk perhitungan selanjutnya yaitu perubahan nilai ketika dilakukan penambahan kapasitor.

Setelah dilakukan verifikasi data dengan hasil bahwa nilai error perbandingan antara simulasi dan sistem riil masih dibawah batas toleransi yang diijinkan, maka kemudian dilakukan penambahan kapasitor dengan nilai sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil Simulasi Penambahan Kapasitor

MVAR/ Studi	2	3	4	5	6
Studi 1	0,277%	0,299%	0,321%	0,343%	0,341%
Studi 2	0,422%	0,474%	0,516%	0,539%	0,545%
Studi 3	1,832%	1,921%	1,997%	2,040%	2,064%
Studi 4	1,493%	1,596%	1,681%	1,750%	1,795%

Dari data tabel di atas, dapat dilihat bahwa setelah dilakukan penambahan nilai kapasitor didapatkan hasil untuk studi 1 yaitu sistem dalam kondisi normal dengan PLTU Sumbawa beroperasi nilai kapasitor yang dipilih adalah 6 MVAR sesuai dengan pemilihan untuk pengurangan drop tegangan sebelumnya. Perbaikan susut yang dihasilkan adalah 0,341% dengan margin error simulasi adalah 1,04%. Kemudian untuk studi 2, studi 3 dan studi 4 nilai kapasitor yang optimal adalah 6 MVAR. Perbaikan susut transmisi paling besar didapatkan pada kondisi studi 3 yaitu PLTU Sumbawa beroperasi namun dalam kondisi beban turun perlahan karena mengalami gangguan sehingga harus keluar dari sistem serta sedang dilakukan pekerjaan pemeliharaan transmisi dengan perbaikan susut transmisi pada GI Alas adalah sebesar 2,064% dengan error pada simulasi 1,46%



Gambar 14. Simulasi Susut Transmisi Studi 4 dan Kapasitor ON



Tiga gambar diatas adalah cuplikan dari simulasi susut transmisi dengan kondisi normal operasi dan kondisi saat dilakukan pemeliharaan pada salah satu jalur transmisi Labuhan Alas dengan PLTU Sumbawa tidak operasi yang termasuk ke dalam studi 4.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan bahwa hasil simulasi dibandingkan dengan data aktual memiliki error paling besar sebesar 1,46% dan error terkecil adalah 0,39%. Kemudian nilai kapasitor yang optimal untuk dipasang pada GI Alas adalah 6 MVAR dengan pertimbangan beban harian pada pukul 12:00 WITA. Drop tegangan dan susut transmisi paling besar terjadi ketika sedang dilakukan pekerjaan pada line Labuhan-Alas dengan kondisi PLTU Sumbawa sedang mengalami gangguan yaitu 12% untuk drop tegangan dan 8,24% susut transmisi. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor 6 MVAR pada GI Alas, nilai drop tegangan menjadi 7,35% atau turun 4,62%. Sedangkan untuk susut transmisi menjadi 6,17% atau turun 2,06%. Drop tegangan dan susut transmisi paling kecil terjadi ketika unit PLTU beroperasi dengan kondisi normal yaitu 4,9% untuk drop tegangan dan 2,85% susut transmisi. Setelah dilakukan perbaikan dengan pemasangan kapasitor maka nilai drop tegangan menjadi 2,76% atau turun 2,15% dan susut transmisi menjadi 2,47% atau turun 0,38%.

Dalam pembuatan penelitian ini terdapat beberapa hal yang dapat ditingkatkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan akurat yaitu dengan adanya isu drop tegangan dan susut transmisi di sistem tambora penulis mengusulkan dilakukan kajian lanjutan terkait penambahan kapasitor pada GI lain untuk perbaikan susut secara keseluruhan. Diperlukan kajian lebih lanjut terkait kebutuhan nilai MVAR kapasitor pada kondisi beban rendah dan beban puncak untuk kasus sistem normal dengan operasi PLTU dan saat PLTU mengalami gangguan. Sehingga didapatkan SOP pengoperasian Kapasitor dengan tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. S. Yudha, M. Haddin, and M. Ismail, "SIMULASI PERBAIKAN DROP TEGANGAN DENGAN KAPASITOR BANK PADA FEEDER KRAPYAK 06 DENGAN ETAP 12.6".
- [2] Muhammad Fahmi Hakim, Slamet Nurhadi, Hanifiyah Darna Fidya Amaral, and Satria Luthfi Hermawan, "Kapasitor Shunt Sebagai Korektor Tegangan Bus di Gardu Induk," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 30–35, Mar. 2023, doi: 10.33795/elposys.v10i1.915.
- [3] Z. Tharo, A. Tarigan, S. Anisah, and K. T. Yuda, "PENGUNAAN KAPASITOR BANK SEBAGAI SOLUSI DROP TEGANGAN PADA JARINGAN 20 KV".
- [4] N. Tenda, L. S. Patras, and I. H. Tumaliang, "Penyusutan Daya Listrik Pada Penyulang Jaringan Transmisi Isimu Marisa," vol. 5, no. 1, 2016.
- [5] B. A. Anggoro, S. B. Utomo, and I. Widiastuti, "Analisa Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi 150 kV GI Pati Bay GI Jekulo Menggunakan ETAP 12.6.0," *Elektrika*, vol. 12, no. 2, p. 80, Dec. 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i2.2828.
- [6] W. Octary, H. Eteruddin, and A. Tanjung, "Susut Tegangan pada Penghantar ACCC di Saluran Transmisi 150 kV di PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru: Transmisi," *SainETIn*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, Dec. 2020, doi: 10.31849/sainetin.v5i1.6275.
- [7] W. Aribowo, M. Widyartono, and A. C. Hermawan, "ANALISA PENGGUNAAN KAPASITOR BANK TERHADAP FAKTOR DAYA PADA GEDUNG IDB LABORATORY UNESA Danang Aji Basudewa," *J. Tek. Elektro*, vol. 09, 2020.
- [8] A. Zhafran, A. Triyanto, and H. Permana, "Analisa Pengaruh Nilai Kapasitor Bank Terhadap Faktor Daya Pada Gedung Treasury Tower," vol. 1, no. 1, 2023.
- [9] A. U. Ulya, "ANALISIS DAN SIMULASI PENGARUH PEMASANGAN CAPASITOR BANK UNTUK PERBAIKAN FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN SIMULINK PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DI PT. BOGOWONTO PRIMALARAS," 2019.
- [10] C. Widyastuti, H. Suyanto, and D. R. Febrianini, "ANALISA INTERKONEKSI SISTEM MENGGUNAKAN DIgSILENT (STUDI KASUS PLTU PULANG PISAU KALIMANTAN TENGAH)".
- [11] B. A. Anggoro, S. B. Utomo, and I. Widiastuti, "Analisa Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi 150 kV GI Pati Bay GI Jekulo Menggunakan ETAP 12.6.0," *elektrika*, vol. 12, no. 2, p. 80, Dec. 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i2.2828.
- [12] S. W. Habsoro, A. Nugroho, and B. Winardi, "ANALISA PENEMPATAN KAPASITOR BANK UNTUK PERHITUNGAN DROP VOLTAGE PADA FEEDER BATANG 02 TAHUN 2012-2016 DENGAN SOFTWARE ETAP 7.0.0".
- [13] A. Kerat, I. Kusuma, and R. A. S. Kusumoputro, "Load Flow Analysis Capacitor Bank dengan Metode Kompensasi Individu dan Kompensasi Global," vol. 24, 2021.
- [14] M. Marwan, N. Nurhayati, A. S. A. Al Qahfi, and R. A. Burhan, "Pengaruh Kapasitor Shunt Terhadap Susut Transmisi Sistem Interkoneksi Sulselbar Berbasis DIgSILENT Power Factory 15.1.," *Intek*, vol. 3, no. 1, pp. 30–35, Apr. 2016, doi: 10.31963/intek.v3i1.6.
- [15] S. Noor and N. Saputera, "EFISIENSI PEMAKAIAAN DAYA LISTRIK MENGGUNAKAN KAPASITOR BANK," vol. 6, no. 2, 2014.