

Kapasitor Shunt Sebagai Korektor Tegangan Bus di Gardu Induk

Muhammad Fahmi Hakim^{*a)}, Slamet Nurhadi^{a)}, Hanifiyah Darna Fidyaa Amaral^{a)},
Satria Luthfi Hermawan^{a)}

(Artikel diterima: Februari 2023, direvisi: Februari 2023)

Abstract: Segoromadu Substation has two busbars, namely busbar A and busbar B. Busbar A which has nominal voltage of 150 kV has reached a voltage value of 129.38 kV or experienced voltage drop of 13.75%. The percentage of this voltage drop exceeds a predetermined standard. Therefore, it is necessary to design a shunt capacitor which is then modeled and simulated. Based on calculation and analysis result, capacity of shunt capacitor that should be installed on Bus A is 50 MVAR. After the shunt capacitor was installed, based on simulation, there was an increase of 4.87 kV so the voltage afterward became 139.67 kV or only experienced a voltage drop of 3.19%. So, by installing a shunt capacitor with capacity of 50 MVAR, it can increase busbar voltage of the substation. The shunt capacitor also increases the value of reactive power and current flowing to the busbar.

Keywords: busbar, reactive power, shunt capacitor, substation, voltage drop, voltage improvement

1. Pendahuluan

Gardu Induk merupakan bagian yang tak terpisahkan dari saluran transmisi dan distribusi listrik [1]. Sistem transmisi merupakan penyaluran energi listrik dari pembangkit listrik ke gardu induk. Sistem distribusi merupakan penyaluran energi listrik dari gardu induk ke konsumen [2]. Ketika mengalirkan energi listrik pada sistem transmisi maupun sistem distribusi akan muncul jatuh tegangan di sepanjang saluran yang dilewati. Penyebabnya adalah faktor panjang saluran, luas penampang, hambatan jenis, sambungan yang buruk, nilai arus yang mengalir di penghantar, dan faktor kerja [3].

Gardu Induk (GI) Segoromadu terletak di daerah Gresik. GI ini memiliki dua busbar yaitu busbar A dan busbar B. Busbar A mendapat suplai dari GI Lamongan yang berjarak 28,2 km dari GI Segoromadu sehingga dimungkinkan adanya jatuh tegangan di sepanjang jaringan. Pada busbar A yang memiliki tegangan nominal 150 kV pernah mencapai nilai tegangan 129,38 kV atau bisa dikatakan mengalami jatuh tegangan sebesar 13,75%. Menurut [4] jatuh tegangan yang besar menyebabkan kualitas pelayanan menjadi turun. Jatuh tegangan pada tingkat tegangan 70 kV dan 150 kV harus selalu dijaga pada batasan -10% s/d +5% dari tegangan nominal supaya selalu sesuai dengan standar Permen ESDM No. 20 Tahun 2020 [5] [6].

Kompensator reaktif adalah peralatan yang mampu menginjeksi atau menyerap daya reaktif ke jaringan listrik untuk menjaga stabilitas tegangan. Kompensator reaktif terdiri dari kapasitor shunt dan semua peralatan *Flexible AC Transmission System (FACTS)* [7]. Kegunaan kapasitor shunt pada sistem tenaga listrik yaitu meningkatkan kapasitas dan mengurangi rugi daya jaringan sistem dengan cara menginjeksikan daya reaktif kapasitif sehingga meningkatkan kualitas tegangan dan faktor daya [8].

Peningkatan tegangan menggunakan beberapa kompensator reaktif telah dilakukan. Penggunaan SVC pada penelitian [9] dapat meningkatkan tegangan di semua bus 150 kV. Selain itu pada penelitian [10] dengan mengoptimalkan parameter pengendali SVC dapat meningkatkan stabilitas transien sistem. Kinerja UPFC berdasarkan penelitian [11] [12] ideal dalam mengendalikan aliran daya dan tegangan bus. Pada penelitian [13] [14] [15] diketahui

STATCOM efisien untuk peningkatan profil tegangan jaringan transmisi. Ketika kapasitor seri diaplikasikan di sistem tenaga, kapasitas transfer daya meningkat 37 kali begitu juga stabilitas tegangan [16].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang kompensator reaktif berupa kapasitor shunt yang sesuai untuk meningkatkan tegangan di GI Segoromadu sehingga mendekati tegangan nominalnya. Dilanjutkan dengan pemodelan subsistem Jawa Timur dan simulasi kinerja subsistem sebelum maupun sesudah terpasang kapasitor shunt untuk mengetahui efektifitas desain kapasitor shunt tersebut.

2. Metode

Pada penelitian ini penentuan lokasi pemasangan kapasitor shunt didasarkan pada bus yang mengalami jatuh tegangan paling besar. Pemasangan kapasitor shunt pada suatu jaringan dapat memperbaiki faktor daya dan mengurangi jatuh tegangan [17] serta mengurangi kerugian daya aktif [18]. Bukan hal yang mustahil terjadi *zero losses* di sistem tenaga jika pemilihan posisi dan kapasitas kapasitor dilakukan dengan tepat [19]. Penentuan kapasitas kapasitor disesuaikan dengan nilai yang umum digunakan di pasaran. Nilai kapasitor shunt yang dimaksud antara lain 50, 100, 200, 300, 400, 500, dan 600 kVAr [20]. Pada umumnya kapasitas kapasitor shunt yang dipilih PT PLN antara lain 25, 50, 75, dan 100 MVAR. Perhitungan impedansi jaringan dari GI Lamongan ke GI Segoromadu juga penting dilakukan untuk mendapatkan persamaan tegangan di sisi terima (V_2) sesuai Persamaan 1 berikut.

$$V_2 = \frac{V_1 + \sqrt{V_1^2 + 4XQ}}{2} \quad (1)$$

Keterangan:

V_1	= Tegangan awal (kV)
V_2	= Tegangan sesudah terpasang kapasitor (kV)
Q	= Daya reaktif kompensator (VAR)
X	= Reaktansi saluran transmisi (Ω)

Ketika kapasitor shunt diaktifkan maka tegangan sistem akan meningkat begitu pula jika kapasitor shunt dinonaktifkan maka tegangan sistem akan menurun. Untuk meminimalisasi dampak yang dirasakan pelanggan, perubahan tegangan ini dibatasi pada kisaran 2% - 3% [21]. Perubahan tegangan ini dapat diperkirakan dengan Persamaan 2. Dengan menggunakan Persamaan 2 ini

*Korespondensi: m.fahmihakim@polinema.ac.id

a) Politeknik Negeri Malang

dapat ditentukan nilai maksimal kapasitas kapasitor shunt yang dapat digunakan.

$$V = \frac{Q_c}{S_{sc}} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

V = Perubahan tegangan dalam prosentase tegangan sistem di frekuensi fundamental

Q_c = Nilai nominal kapasitor shunt (MVAR)

S_{sc} = Daya hubung singkat (MVA_{sc})

Nilai arus hubung singkat pada Bus A GI Segoromadu dapat dilihat di Tabel 2.1.

TABEL 2.1 DATA ARUS HUBUNG SINGKAT GI SEGOROMADU

Bus	Gardu Induk	kV	Arus Hubung Singkat (kA)	
			1 Fasa	3 Fasa
A	Segoromadu	150	4,774	6,067
B	Segoromadu	150	35,683	38,564

Daya hubung singkat dapat dihitung dengan Persamaan 3:

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

Sehingga nilai daya hubung singkat di bus A GI Segoromadu sebesar 1,57 MVA_{sc}.

Output daya reaktif atau daya reaktif yang dihasilkan dari kapasitor shunt akan bervariasi sesuai tegangan sebenarnya pada busbar yang mungkin berbeda dari tegangan nominalnya. Persamaan operasi daya reaktif adalah:

$$Q_{OP} = Q_R \left(\frac{V_A}{V_R} \right)^2 \quad (4)$$

Keterangan:

Q_{OP} = Operasi daya reaktif dari kapasitor (kVAR)

Q_R = Rating daya reaktif dari kapasitor (kVAR)

V_A = Tegangan aktual (kV)

V_R = Tegangan nominal (kV)

2.1 Kapasitor Shunt Berdasarkan Pengoperasian

Ada dua jenis cara pengoperasian kapasitor shunt yaitu *fixed* dan *switched* [22]. Tipe pengoperasian *fixed* umumnya digunakan pada sistem yang mempunyai jatuh tegangan cukup tinggi. Tipe pengoperasian ini memberikan suplai daya reaktif secara langsung (tanpa step) kepada suatu sistem agar level tegangan semakin mendekati nilai nominalnya. Karena keanekaragaman pembebanan inilah, *switched capacitor* sering kali dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya, untuk memperbaiki tegangan, dan untuk meminimalkan sistem pembebanan reaktif. Namun, pemasangan *switched capacitor* masih jauh lebih mahal dan lebih rumit jika dibandingkan dengan penerapan *fixed capacitor*.

2.2 Hubungan Pemasangan Kapasitor Shunt

Hubungan pemasangan dibedakan menjadi dua, yaitu hubungan delta dan hubungan bintang. [23]. Kapasitor hubungan delta umumnya digunakan pada tegangan distribusi. Kapasitansi yang diperlukan untuk hubungan delta tiga kali lebih kecil dari hubungan bintang. Oleh karena itu, hubungan delta ini hampir selalu diaplikasikan untuk perbaikan faktor daya. Hubungan

Grounded-Wye digunakan pada rating tegangan lebih dari 1 kV sampai dengan kurang dari sama dengan 230 kV. *Single grounded wye* atau *wye* tunggal ditanahkan (Y) sebagian besar digunakan unit *capacitor* fuse eksternal atau bank *capacitor* dengan suatu rating daya yang rendah.

2.3 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga

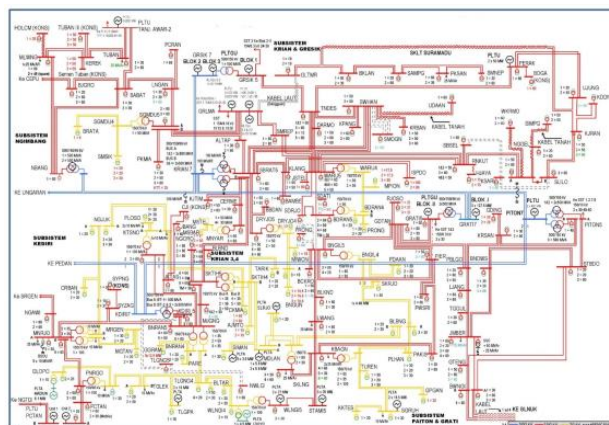
Diagram satu garis seperti yang terlihat di Gambar 2.1 sangat diperlukan dalam pemodelan sistem tenaga di ETAP. Sistem interkoneksi Jawa Timur sendiri terdiri dari lima subsistem antara lain subsistem Krian-Gresik, subsistem Paiton-Grati, subsistem Ngimbang, subsistem Krian (IBT 3&4) dan subsistem Kediri [24]. Hasil simulasi diperbandingkan dengan hasil pengukuran di lapangan untuk mengetahui validitas parameter yang dimasukkan. Perbandingan tersebut dinyatakan dalam bentuk prosentase yang dihitung dengan menggunakan Persamaan 5 [25].

$$\text{Prosentase selisih} = \frac{HP - HS}{HP} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

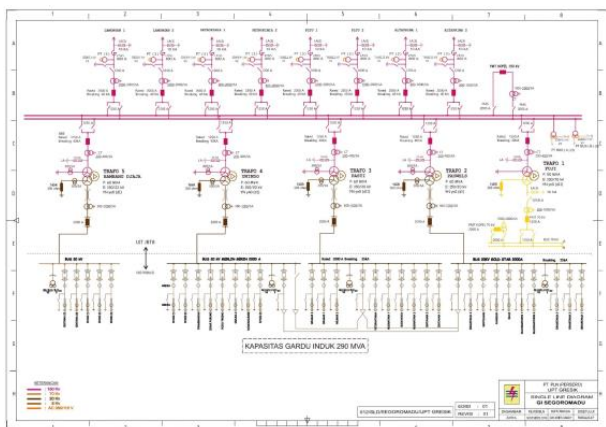
HP = Hasil Pengukuran

HS = Hasil Simulasi



GAMBAR 2.1 DIAGRAM SEGARIS SISTEM INTERKONEKSI JAWA TIMUR

Sedangkan diagram segaris dari GI Segoromadu dapat dilihat di Gambar 2.2. Di antara Bus A dan Bus B GI Segoromadu, kopel tidak terhubung karena perbedaan nilai tegangan yang besar yaitu rata-ratanya kurang lebih sebesar 8 hingga 10 kV. Bus A mendapat suplai dari GI Lamongan, dan Bus B mendapat suplai dari GI PLTU Gresik. Selain itu, Gardu Induk Lamongan juga memiliki jarak yang panjang yaitu sepanjang 28,2 km dengan Gardu Induk Segoromadu sehingga dimungkinkan adanya drop tegangan sepanjang jaringan tersebut. Pada Gardu Induk Segoromadu, Bus A dikhususkan hanya untuk mensuplai Bay Trafo yaitu Trafo IBT 1 150/70 kV 50 MVA, Trafo 2 150/20 kV 60 MVA, Trafo 3 150/20 kV 60 MVA, Trafo 4 150/20 kV 60 MVA, Trafo 5 150/20 kV 60 MVA. sedangkan untuk Bus B digunakan untuk mensuplai Bay Line Petrokimia 1 dan 2, Altaprima 1 dan 2.



GAMBAR 2.2 DIAGRAM SEGARIS GI SEGOROMADU

Lokasi pemasangan kapasitor shunt berada di Busbar A dengan tegangan nominal 150 kV pada Gardu Induk Segoromadu. Hal ini dilakukan untuk memperbaiki tegangan pada busbar A.

3. Hasil dan Pembahasan

Pemilihan kapasitas kapasitor shunt didasarkan pada nilai MVAR yang sering dipasang oleh PLN di lapangan, yaitu sebesar 25 MVAR, 50 MVAR, 75 MVAR, dan 100 MVAR. Dari keempat opsi itu perlu diketahui kenaikan tegangan pada setiap nilai dengan menghitung terlebih dahulu nilai impedansi antara GI Segoromadu dan GI Lamongan. Jika diketahui panjang jaringan 28,2 km dan penghantar GI Segoromadu – GI Lamongan yang digunakan bertipe OHL-150kV-TACSR 240mm (973A) dengan spesifikasi sebagai per-km adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas} &= 973 \text{ A} \\ R_1 &= 0,12669 \text{ Ohm}; & R_0 &= 0,31 \text{ Ohm}; \\ X_1 &= 0,3877 \text{ Ohm}; & X_0 &= 0,7173 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka besar nilai R dan X total yaitu:} \\ R_1 \times \text{km} &= 0,12669 \times 28,2 \text{ km} = 3,572 \text{ R/km} \\ X_1 \times \text{km} &= 0,3877 \times 28,2 \text{ km} = 10,933 \text{ X/km} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan Persamaan 1, maka persamaan tegangan setelah dipasang kapasitor shunt (V_2):

$$V_2 = \frac{129380 + \sqrt{129380^2 + (4 \times 10,933 \times Q)}}{2} \tag{6}$$

Apabila empat opsi kapasitas kapasitor (Q) dimasukkan ke Persamaan 5 akhir (V_2) dari masing-masing kapasitor dan prosentase selisih antara V_1 dengan V_2 dapat dilihat di Tabel 3.1.

TABEL 3.1 NILAI ΔV DI SETIAP OPSI NILAI KAPASITOR SHUNT

Nilai Kapasitor Shunt (MVAR)	Tegangan Akhir (kV)	ΔV (%)
25	133,459	11,02
50	136,475	9,02
75	138,434	7,71
100	139,340	7,71

Berdasarkan Tabel 3.1, kapasitor shunt dengan kapasitas 25 MVAR tidak dapat digunakan untuk memperbaiki tegangan di GI Segoromadu karena nilai jatuh tegangan masih di luar standar, yaitu -11.02%. Sehingga opsi yang tersisa yaitu 50, 75, dan 100 MVAR.

3.1 Nilai Maksimum Kapasitor Shunt

Prosentase perubahan tegangan pada tiap opsi nilai Q_c yang

tersisa dihitung menggunakan Persamaan 2. Hasil perhitungan dapat dilihat di Tabel 3.2.

TABEL 3.2 NILAI PERUBAHAN TEGANGAN SETIAP OPSI NILAI KAPASITOR SHUNT

Nilai Kapasitor Shunt (MVAR)	Perubahan Tegangan (%)
50	3
75	4,75
100	6,34

Dari Tabel 3.2 diketahui jika pemasangan kapasitor shunt sebesar 50 MVAR masih memenuhi standar IEEE 1036 – 2010 tentang kenaikan tegangan yang diperbolehkan. Sedangkan nilai 75 MVAR dan 100 MVAR tidak memenuhi standar IEEE [26] karena besar persentasenya di atas 3%. Jadi opsi yang tersisa adalah kapasitor shunt sebesar 50 MVAR.

Berdasarkan kapasitor shunt yang ada di pasaran, nilai unit setiap kapasitor adalah 900 kVAR, direncanakan pemasangan secara paralel dengan Bus A GI Segoromadu. Terdapat 24 unit untuk setiap fasanya sehingga total kapasitas yang dipasang adalah:

$$\begin{aligned} \text{kVAR total} &= 3(\text{fasa}) \times 24 \text{ unit} \times 900 \text{ kVAR} \\ &= 64800 \text{ KVAR} \approx 50 \text{ MVAR} \end{aligned}$$

Pada setiap fasanya terdapat 24 unit kapasitor, terdapat 2 sisi dan setiap sisi terdapat 12 unit yang dipasang seri, kemudian pada setiap fasanya dihubungkan secara *double wye*. Sehingga hubungan kapasitor adalah *ungrounded double-wye*.

3.2 Daya Output Kapasitor Shunt

Nilai operasi daya reaktif dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4. Apabila kapasitas kapasitor shunt adalah 50 MVAR maka nilai operasi daya reaktif dapat diketahui dari Tabel 3.3.

TABEL 3.3 OUTPUT DAYA REAKTIF

V_A (kV)	V_R (kV)	Q_{OP} (kVAR)
128	150	36408
129	150	36980
130	150	37555
132	150	38720
134	150	39902
136	150	41102
138	150	42738
140	150	43556
142	150	44809
144	150	46080
146	150	47369
148	150	48676
150	150	50000

3.3 Simulasi Sistem

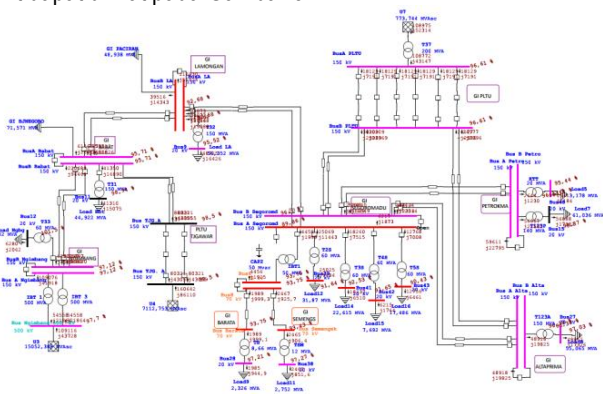
Simulasi dilakukan pada dua kondisi yaitu ketika sistem belum terpasang kapasitor shunt dan ketika sistem sudah terpasang kapasitor shunt kemudian dilakukan perbandingan kinerja sistem. Namun sebelumnya diadakan validasi hasil simulasi terlebih dahulu dengan membandingkan tegangan di setiap bus berdasarkan hasil pengukuran dan hasil simulasi. Perbandingan tegangan hasil pengukuran dengan hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 3.4.

TABEL 3.4 PERBANDINGAN TEGANGAN HASIL PENGUKURAN TERHADAP HASIL SIMULASI

GARDU INDUK	BUS	Nomin al kV	Tegangan Simulasi (kV)	Tegangan Real (kV)	Prosentase Selisih
Ngimbang		500	488,5	484	0,93%
Segoromadu	A	150	130,79	129,38	1,08%
	B	150	144,593	141,08	2,49%
Lamongan	A	150	139,025	139,35	0,23%
	B	150	139,025	139,35	0,23%
Babat	A	150	143,567	145,12	1,07%
	B	150	143,567	145,12	1,07%
Tanjung Awar-Awar	A	150	147,75	146,81	0,64%
	B	150	147,75	146,81	0,64%
Ngimbang	A	150	145,679	145,11	0,39%
	B	150	145,679	145,11	0,39%
Altaprima	A	150	144,568	144,57	0,00%
	B	150	144,568	144,41	0,11%
Petrokimia	A	150	144,201	144,45	0,17%
	B	150	144,201	144,45	0,17%
PLTU	A	150	144,914	144,87	0,03%
	B	150	144,914	144,87	0,03%
Segoromadu	A	70	65,628	66,29	1,00%
	B	70	65,628	66,29	1,00%
Barata	A	70	65,622	66,06	0,66%
SemenGresik	A	70	65,403	66,67	1,90%

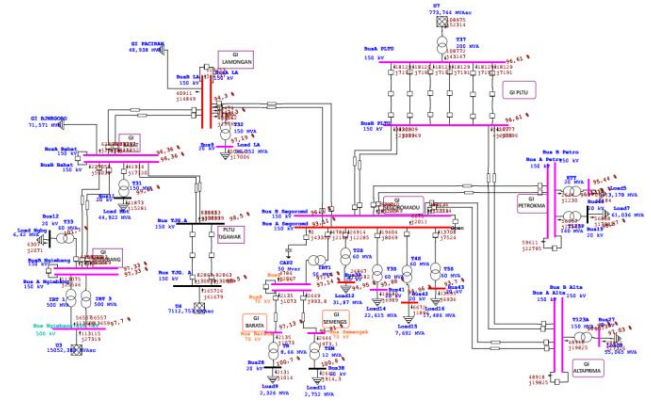
Berdasarkan Tabel 3.4 diketahui bahwa nilai prosentase selisih relatif kecil di setiap bus. Hal ini berarti bahwa nilai tegangan simulasi mendekati nilai tegangan pengukuran sehingga dapat dikatakan bahwa hasil simulasi adalah valid.

Hasil *running* jatuh tegangan sebelum terpasang kapasitor shunt dapat dilihat pada Gambar 3.1.



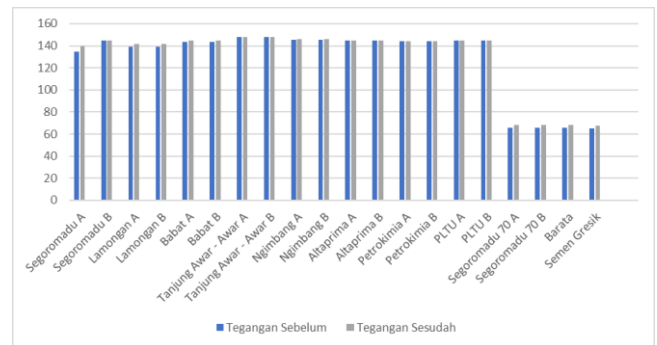
GAMBAR 3.1 RUNNING SUBSISTEM JAWA TIMUR SEBELUM TERPASANG KAPASITOR SHUNT

Sedangkan hasil *running* jatuh tegangan sebelum terpasang kapasitor shunt dapat dilihat pada Gambar 3.2.



GAMBAR 3.2 RUNNING SUBSISTEM JAWA TIMUR SEBELUM TERPASANG KAPASITOR SHUNT

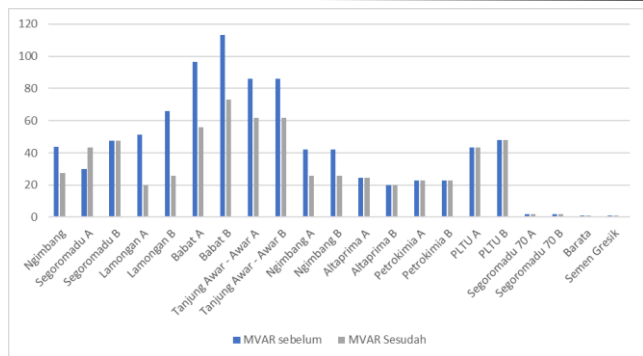
Pada Gambar 3.3 ditampilkan perbandingan nilai tegangan setiap busbar sebelum dan sesudah terpasang kapasitor shunt di GI Segoromadu berdasarkan hasil simulasi di setiap gardu induk yang terhubung dengan GI Segoromadu



GAMBAR 3.3 GRAFIK PERBANDINGAN TEGANGAN SEBELUM DAN SESUDAH PEMASANGAN KAPASITOR SHUNT HASIL SIMULASI

Berdasarkan Gambar 3.3 dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan tegangan di beberapa bus setelah dipasangnya kapasitor shunt. Kenaikan tegangan paling tinggi pada Bus A GI Segoromadu sebesar 8,87 kV karena kapasitor shunt menghasilkan daya reaktif secara langsung pada busbar tersebut sehingga kenaikan tegangan juga sangat berdampak pada lokasi sumber daya reaktif tersebut. Dampak pemasangan kapasitor shunt juga dirasakan oleh gardu induk yang terhubung langsung dengan Bus A GI Segoromadu, yaitu GI Lamongan, GI Babat, dan GI Ngimbang. Kenaikan tegangan pada gardu induk yang terhubung langsung berkisar 0,315 kV hingga 2,43 kV. GI Lamongan mengalami kenaikan tegangan yang lebih besar dari gardu induk lainnya, yaitu sebesar 2,43 kV karena merupakan gardu induk penyuplai atau terhubung langsung dengan Bus A. Sedangkan gardu induk yang terhubung dengan bus B, yaitu GI Altaprima, GI Petrokimia dan GI PLTU tidak mengalami kenaikan tegangan.

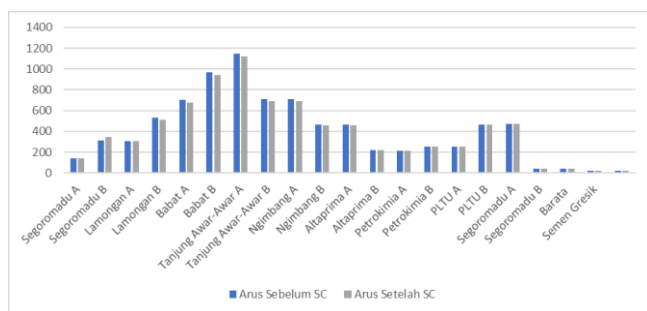
Pada Gambar 3.4 ditampilkan perbandingan nilai daya reaktif setiap busbar sebelum dan sesudah terpasang kapasitor shunt di GI Segoromadu berdasarkan hasil simulasi di setiap gardu induk yang terhubung dengan GI Segoromadu.



GAMBAR 3.4 GRAFIK PERBANDINGAN DAYA REAKTIF SEBELUM DAN SESUDAH PEMASANGAN KAPASITOR SHUNT HASIL SIMULASI

Berdasarkan Gambar 3.4 Pada Bus A GI Segoromadu, nilai daya reaktif mengalami kenaikan yang tinggi, karena bus A adalah tempat dipasang kapasitor shunt sehingga merasakan dampak secara langsung dari penambahan daya reaktif yang dihasilkan. Sedangkan pada gardu induk lain yang terhubung dengan bus A Gardu Induk Segoromadu, yaitu GI Lamongan, GI Babat, GI Tanjung Awar-awar, dan GI Ngimbang, daya reaktif menjadi berkurang karena kebutuhan daya reaktif pada gardu insuk tersebut telah mendapatkan suplai daya reaktif dari bus A GI Segoromadu. Sedangkan pada Bus B GI Segoromadu, tidak terdapat kenaikan atau penurunan daya reaktif, hal itu disebabkan karena bus kopel dalam kondisi open atau kedua busbar tidak terhubung, sehingga pada Bus B tidak merasakan dampak dari pemasangan kapasitor shunt. Gardu induk yang terhubung dengan Bus B GI Segoromadu, yaitu GI Altaprima, GI Petrokimia, dan GI PLTU juga tidak ada kenaikan atau penurunan daya reaktif.

Pada Gambar 3.5 ditampilkan perbandingan nilai daya reaktif setiap busbar sebelum dan sesudah terpasang kapasitor shunt di GI Segoromadu berdasarkan hasil simulasi di setiap gardu induk yang terhubung dengan GI Segoromadu.



GAMBAR 3.5 GRAFIK PERBANDINGAN ARUS SEBELUM DAN SESUDAH PEMASANGAN KAPASITOR SHUNT HASIL SIMULASI

Berdasarkan Gambar 3.5, arus pada busbar di beberapa gardu induk yang tersambung dengan busbar A GI Segoromadu ada yang mengalami kenaikan dan ada pula yang mengalami penurunan ketika dipasang kapasitor shunt. Kenaikan yang terjadi adalah pada Bus A GI Segoromadu. Sedangkan pada busbar gardu induk yang terhubung dengan bus A GI Segoromadu seperti GI Lamongan, GI Babat, GI Tanjung Awar-Awar, dan GI Ngimbang mengalami penurunan. Pada Bus B GI Segoromadu dan busbar gardu induk yang terhubung dengan busbar tersebut tidak mengalami kenaikan maupun penurunan arus. Hal tersebut dikarenakan arus yang yang dihasilkan oleh kapasitor shunt

bersifat *leading* untuk mereduksi arus yang tertinggal oleh tegangan (beban bersifat induktif). Kapasitor shunt menyuplai daya reaktif yang dibutuhkan beban, sehingga mengurangi daya reaktif yang diperlukan dari sumber. Pengurangan daya ini sebanding dengan nilai kompensasi kapasitor. Maka daya nyata yang terpakai (P) akan mendekati daya semu yang terpasang (S), sehingga beban (I) dapat dimanfaatkan secara maksimal.

4. Kesimpulan

Nilai kapasitor shunt yang terpasang pada Bus A 150 kV Gardu Induk Segoromadu adalah 50 MVAR. Berdasarkan hasil simulasi, tegangan sebelum dilakukan pemasangan kapasitor shunt adalah 130,797 kV. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor shunt senilai 50 MVAR terjadi peningkatan sebesar 8,87 kV sehingga tegangan menjadi 139,67 kV. Hal ini berarti bahwa nilai jatuh tegangan sudah sesuai standar Permen ESDM No. 20 Tahun 2020.

5. Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada instansi Politeknik Negeri Malang.

Daftar Pustaka

- [1] C. Rahmadhani and E. Ervianto, "Studi Perancangan Sistem Pembumian Gardu Induk 150/20 KV di Gardu Induk Garuda Sakti," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 4, no. 1, pp. 1-6, 2017.
- [2] D. Dewi, A. Yuliyanto, T. Taryo, Susyadi, M. Birmano, R. Rijanti, Rustama and Mudjiono, "POTENSI DAN KEMAMPUAN INDUSTRI ELEKTRIKAL UNTUK MENDUKUNG PROGRAM PLTN DI INDONESIA," in *Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir*, Pontianak, 2019.
- [3] I. Roza, "Analisis Tegangan Jatuh Lokasi Penempatan Trafo Distribusi 20 kV Untuk Penyaluran Energi," *JESCE (JOURNAL OF ELECTRICAL AND SYSTEM CONTROL ENGINEERING)*, vol. 1, no. 12, pp. 72-82, 2018.
- [4] A. Tanjung, "Rekonfigurasi sistem distribusi 20 kv gardu induk teluk lembu dan PLTMG langgam power untuk mengurangi rugi daya dan drop tegangan," *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, pp. 160-166, 2014.
- [5] I. Ridzki, R. Duanaputri, E. Maulana and A. Wardani, "Analisis pengaruh penambahan gardu induk Guluk-Guluk terhadap aliran daya dan profil tegangan pada sub sistem Krian Gresik," *JURNAL ELTEK*, vol. 19, no. 2, pp. 55-63, 2021.
- [6] C. W. Manurung, I. W. Sukerayasa and R. S. Hartati, "OPTIMASI PEMASANGAN DAN KAPASITAS KAPASITOR SHUNT PADA JARINGAN DISTRIBUSI PENYULANG MENJANGAN," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, pp. 7-12, 2017.
- [7] A. Morattab, O. Akhrif and M. Saad, "Decentralised coordinated secondary voltage control of multi-area power grids using model predictive control," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 11, no. 18, pp. 4546-

- 4555, 2017.
- [8] C. Saleh, A. U. Krismanto and A. Lomi, "Implementasi Bank Kapasitor Untuk Perbaikan Profil Tegangan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Software ETAP Power Station di Rayon Besuki," *Elektrika: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 17-21, 2017.
- [9] R. Susilo, Ipniansyah, Qomaruddin and I. Mahfudi, "Analisis Dan Pemodalan Static Var Compensator (SVC) Untuk Menaikan Profil Tegangan Pada Outgoing Gardu Induk Probolinggo," in *2nd Borneo International Conference on Applied Mathematics and Engineering (BICAME)*, 2018.
- [10] W. Huang and K. Sun, "Optimization of SVC settings to improve post-fault voltage recovery and angular stability," *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 7, no. 3, pp. 491-499, 2019.
- [11] M. Yadav and A. A. Soni, "Improvement of power flow and voltage stability using unified power flow controller," in *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, 2016.
- [12] S. D. Choudante and A. A. Bhole, "A Review: Voltage Stability and Power Flow Improvement by Using UPFC Controller," in *2018 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCEPIC)*, Chennai, 2018.
- [13] D. M. Teferra and L. Ngoo, "Improving the Voltage Quality and Power Transfer Capability of Transmission System Using FACTS Controller," *International Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 10-19, 2021.
- [14] B. Gaur, R. Ucheniya and A. Saraswat, "Real Power Transmission Loss Minimization and Bus Voltage Improvement Using STATCOM," in *2019 3rd International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE)*, 2019.
- [15] Y. Ma, A. Huang and X. Zhou, "A review of STATCOM on the electric power system," in *2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, Dresden, 2015.
- [16] M. Raihan-Al-Masud, M. M. Islam, M. S. Hasan and P. Podder, "Capacity Enhancement and Voltage Stability Improvement of Power Transmission Line by Series Compensation," *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, pp. 1-10, 2019.
- [17] Y. Yusmartato, R. Nasution and A. Armansyah, "Penggunaan Kapasitor Bank Pada Gardu Induk 275 kV/33 kV (Aplikasi PT Indonesia Asahan Aluminium)," *Buletin Utama Teknik*, pp. 62-67, 2018.
- [18] A. Shafira, A. Soeprijanto and S. Anam, "Penentuan Letak dan Kapasitas Optimal Bank Kapasitor pada Jaring Transmisi 150 kV Sumatera Utara Menggunakan Artificial Bee Colony Algorithm," *JURNAL TEKNIK ITS*, pp. A750-A757, 2016.
- [19] A. A. El-Fergany and A. Y. Abdelaziz, "Artificial bee colony algorithm to allocate fixed and switched static shunt capacitors in radial distribution networks," *Electric Power Components and Systems*, pp. 427-438, 2014.
- [20] A. Hisyam, Purwohardjono and Z. Abidin, "PENINGKATAN PROFIL TEGANGAN MENGGUNAKAN KAPASITOR BANK PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 kV PENYULANG SEI DERAS," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2022.
- [21] "IEEE Guide for the Application of Shunt Power Capacitors," IEEE, 2011.
- [22] A. A. Mon and S. W. Naing, "Power factor improvement for industrial load by using shunt capacitor bank," *Int. J. Sci. Eng. Technol. Res.*, pp. 3191-3195, 2014.
- [23] P. Pavan and S. Das, "Novel Method for Location of Internal Faults in Ungrounded Double Wye Shunt Capacitor Banks," *IEEE Transactions on Power Delivery*, pp. 899-908, 2021.
- [24] A. Gumilang, R. Wibowo and I. M. Y. Negara, "Penilaian Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jawa Bagian Timur Dan Bali Menggunakan Formula Analitis Deduksi Dan Sensitivitas Analitis Dari Expected Energy Not Served," *JURNAL TEKNIK ITS*, pp. B1-B6, 2018.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] M. F. Hakim, I. Ridzki, and I. B. Kusuma, "Rancang Bangun Automatic Smart Energy Meter Berbasis RFID," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 8, no. 1, pp. 32-35, Feb. 2021,