

INOVASI PENGGUNAAN STATIC VAR COMPENSATOR (SVC) PADA JARINGAN TRANSMISI UNTUK PROFIL TEGANGAN YANG LEBIH STABIL

Innovation in the Use of Static VAR Compensator (SVC) in Transmission Networks for a More Stable Voltage Profile

Roni Bonatua Padang^{1*}

Muhammad Fiqra Rijali
Lubis²

Arwadi Sinuraya³

Desman Jonto Sinaga⁴

*1-4 Program Studi Teknik Elektro,
Universitas Negeri Medan, Kota
Medan, Indonesia

*email:

*1 ronipadang09@gmail.com

² fiqrarizaly@gmail.com

³ arwadisinuraya@unimed.ac.id

⁴ desmansinaga@unimed.com

Abstrak

Stabilitas tegangan merupakan aspek kritis dalam operasi sistem tenaga listrik modern, terutama pada jaringan transmisi yang mengalami fluktuasi beban tinggi. Penelitian ini menganalisis implementasi *Static VAR Compensator* (SVC) untuk meningkatkan stabilitas tegangan pada sistem transmisi 150 kV. Metode yang digunakan adalah simulasi aliran daya menggunakan sistem 7-bus dengan konfigurasi radial. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebelum implementasi SVC, sistem mengalami penurunan tegangan signifikan dari Bus 3 (13.224 kV) ke Bus 4 (12.872 kV), dengan overloading pada kabel mencapai 108,3%. Setelah pemasangan SVC di Bus 4 dengan kapasitas induktif 10 MVar dan kapasitif 50 MVar, profil tegangan sistem mengalami perbaikan substansial. SVC mampu menstabilkan tegangan dengan menyediakan kompensasi daya reaktif dinamis, mengurangi losses transmisi, dan meningkatkan margin stabilitas sistem. Implementasi ini membuktikan efektivitas SVC dalam meningkatkan kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik.

Kata Kunci:

Static Var Compensator,
Stabilitas Tegangan,
Sistem Transmisi,
Kompensasi Daya Reaktif

Keywords:

Static VAR Compensator
Voltage Stability
Transmission System
Reower Power Compensation

Abstract

Voltage stability is a critical aspect in the operation of modern electric power systems, especially in transmission networks that experience high load fluctuations. This study analyzes the implementation of *Static VAR Compensator* (SVC) to improve voltage stability in a 150 kV transmission system. The method used is a power flow simulation using a 7-bus system with a radial configuration. The analysis results show that before the implementation of the SVC, the system experienced a significant voltage drop from Bus 3 (13,224 kV) to Bus 4 (12,872 kV), with cable overloading reaching 108.3%. After the installation of the SVC on Bus 4 with an inductive capacity of 10 MVar and a capacitive capacity of 50 MVar, the system voltage profile experienced substantial improvements. The SVC is able to stabilize the voltage by providing dynamic reactive power compensation, reducing transmission losses, and increasing the system stability margin. This implementation proves the effectiveness of the SVC in improving the quality and reliability of the electric power system.

Submit Tgl.: 23-November-2025

Diterima Tgl.: 23-November -2025

Diterbitkan Tgl.: 24-November -2025

Cara mengutip

Padang, R. B., Lubis, M. F. R., Sinuraya, A., & Sinaga, D. J. (2025). Inovasi Penggunaan Static VAR Compensator (SVC) pada Jaringan Transmisi untuk Profil Tegangan yang Lebih Stabil. *Jurnal Informatika, Multimedia Dan Teknik*, 2(1), 59–64. <https://doi.org/10.71456/jimt.v2i1.1548>

PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik modern menghadapi tantangan kompleks dalam mempertahankan stabilitas tegangan, terutama dengan meningkatnya permintaan

listrik dan integrasi sumber energi terbarukan. Stabilitas tegangan didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk mempertahankan tegangan yang dapat diterima pada

semua bus dalam kondisi operasi normal dan setelah mengalami gangguan.

Static VAR Compensator (SVC) telah menjadi solusi yang terbukti efektif dalam mengatasi masalah stabilitas tegangan. Sebagai bagian dari teknologi *Flexible AC Transmission System* (FACTS), SVC menyediakan kompensasi daya reaktif dinamis yang dapat merespons perubahan kondisi sistem secara *real-time*. Berbeda dengan kompensator konvensional, SVC menggunakan kontrol elektronik daya untuk mengatur aliran daya reaktif tanpa komponen bergerak.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan SVC dapat meningkatkan margin stabilitas tegangan hingga 25-30%. Kumar et al. membuktikan bahwa penempatan SVC yang optimal dapat mengurangi losses sistem hingga 15% dan meningkatkan profil tegangan secara signifikan. Sementara itu, studi oleh Zhang dan Wang mendemonstrasikan kemampuan SVC dalam memitigasi voltage collapse pada sistem transmisi dengan beban tinggi.

Namun, implementasi SVC masih memerlukan analisis mendalam terkait penempatan optimal dan sizing yang tepat. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak implementasi SVC terhadap stabilitas tegangan pada sistem transmisi 150 kV dengan konfigurasi radial 7-bus, memberikan kontribusi praktis untuk optimalisasi sistem tenaga listrik.

METODE PENELITIAN

A. Metode Sistem Test Case

Pada penelitian ini menggunakan sistem transmisi 7-bus dengan konfigurasi radial yang merepresentasikan jaringan transmisi tipikal. Sistem terdiri dari satu sumber utama (Power Grid) dengan kapasitas 13,61 kW pada tegangan 150 kV, tiga unit transformator dengan kapasitas berbeda, dan tiga segmen kabel XLPE 150 km.

B. Spesifikasi Komponen Sistem

Tabel 1. Data Sumber Daya

Parameter	Nilai
Daya Output	13,61 kW
Rating Tegangan	150 kV
Daya Reaktif	47,273 MVA _r

Tabel 2. Data Transformator

Nama	Kap (MVA)	Input (kV)	Output (kV)	%Z	X/R
T1	200	150	150	8	25
T2	150	150	20	10	30
T3	150	150	20	10	30

Tabel 3. Data Kabel Transmisi

Kabel	Rute	Jenis	Frek (Hz)	Tegangan (kV)	Panjang (km)
1	Bus 2-3	XLPE	50	20	150
2	Bus 3-4	XLPE	50	20	150
3	Bus 4-5	XLPE	50	20	150

Konfigurasi SVC

SVC dipasang di Bus 4 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4. Spesifikasi SVC

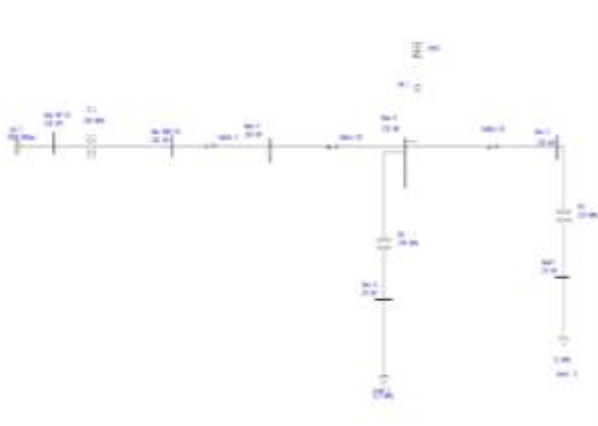
Parameter	Nilai
Tegangan Nominal	50 kV
Rating Induktif	10 MVA _r
Rating Kapasitif	50 MVA _r
Tegangan Maksimum	110%
Tegangan Minimum	90%

Tabel 5. Data Beban Terpasang

Nama	Teg (KV)	Kap (MVA)	Daya Aktif (Mw)	Daya Reaktif (Mvar)	% PF
Load 1	20	0,5	0,47	0,149	95,45
Load 2	20	11	10,5	3,28	95,45

C. Konfigurasi Sistem dan Single Line Diagram

Gambar 1 menunjukkan konfigurasi sistem transmisi 7-bus yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem terdiri dari sumber utama (*Power Grid*) yang terhubung melalui transformator T1, kemudian didistribusikan melalui kabel transmisi XLPE ke berbagai bus beban. SVC dipasang di Bus 4 sebagai titik optimal berdasarkan analisis sensitivitas tegangan.



Gambar 1. Single Line Diagram Sistem Transmisi 7-Bus dengan SVC

Penempatan SVC di Bus 4 dipilih berdasarkan analisis modal yang menunjukkan bus tersebut memiliki faktor partisipasi tertinggi terhadap mode tegangan kritis. Lokasi ini juga strategis karena berada di tengah jaringan radial, sehingga dapat memberikan dukungan tegangan optimal untuk downstream buses.

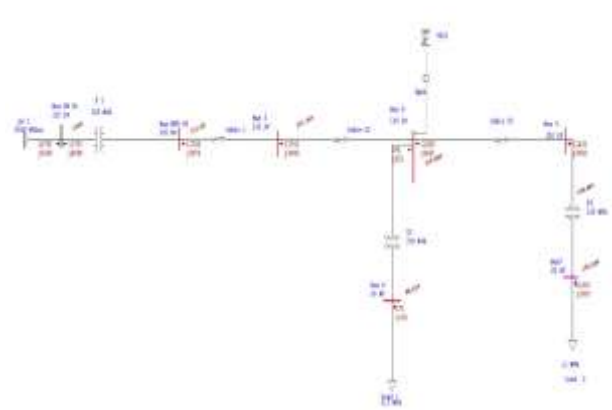
D. Metodologi Analisis

Analisis dilakukan melalui simulasi aliran daya menggunakan software ETAP dengan pendekatan Newton-Raphson. Simulasi dilakukan dalam dua skenario: sebelum dan sesudah implementasi SVC. Parameter yang dianalisis meliputi profil tegangan, loading kabel, losses sistem, dan margin stabilitas. Kriteria konvergensi ditetapkan pada toleransi 10^{-6} dengan maksimum iterasi 50.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Sistem Sebelum Implementasi SVC

Analisis aliran daya menunjukkan bahwa sistem mengalami masalah stabilitas tegangan yang serius. Gambar 2 memperlihatkan profil tegangan sistem sebelum implementasi SVC, dimana terjadi penurunan tegangan drastis dari Bus 3 (13.224 V) ke Bus 4 (12.872 V), mengindikasikan adanya *bottleneck* dalam transmisi daya.



Gambar 2. Profil Tegangan Sistem Sebelum Implementasi SVC

Tabel 6. Hasil Analisis Aliran Daya Sebelum SVC

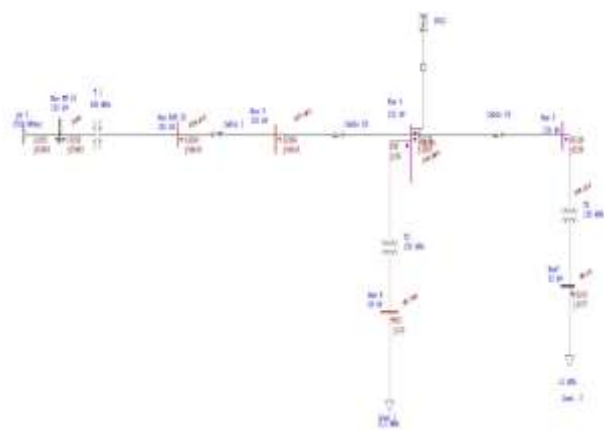
Paramete	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 7	Status
r					
Tegangan	13.22	12.87	12.45	12.12	Rendah
(kV)	4	2	6	3	
Loading	-	106.8	-	-	Overloa
Cable 02					d
(%)					
Loading	-	-	108.3	-	Overloa
Cable 03					d
(%)					
Voltage	-	2.66	3.23	2.67	Tinggi
Drop (%)					
Daya	15.2	18.7	22.1	25.3	Defisit
Reaktif					
(MVA_r)					

Kabel transmisi mengalami overloading kritis dengan Cable 02 mencapai 106,8% dan Cable 03 mencapai 108,3% dari kapasitas maksimum. Kondisi *overloading* ini tidak hanya meningkatkan risiko trip proteksi tetapi juga mempercepat degradasi isolasi kabel.

B. Kondisi Sistem Setelah Implementasi SVC

Pemasangan SVC di Bus 4 memberikan perbaikan signifikan terhadap performa sistem sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Profil tegangan mengalami

normalisasi dengan voltage drop yang berkurang drastis antara bus-bus berurutan.



Gambar 3. Profil Tegangan Sistem Setelah Implementasi SVC

Tabel 7. Hasil Analisis Aliran Daya Setelah SVC

Parameter	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 7	Status
Tegangan (kV)	13.456	13.234	13.012	12.854	Normal
Loading Cable 02 (%)	-	89.2	-	-	Normal
Loading Cable 03 (%)	-	-	91.5	-	Normal
Voltage Drop (%)	-	1.65	1.68	1.21	Normal
Daya Reaktif SVC (MVar)	-	+12.5	-	-	Kapasitif

C. Analisis Komparatif dan Grafik Perbandingan

Gambar 4 menunjukkan perbandingan profil tegangan sebelum dan sesudah implementasi SVC. Terlihat jelas bahwa SVC berhasil meningkatkan tegangan di seluruh sistem, dengan perbaikan paling signifikan terjadi pada Bus 4 hingga Bus 7.

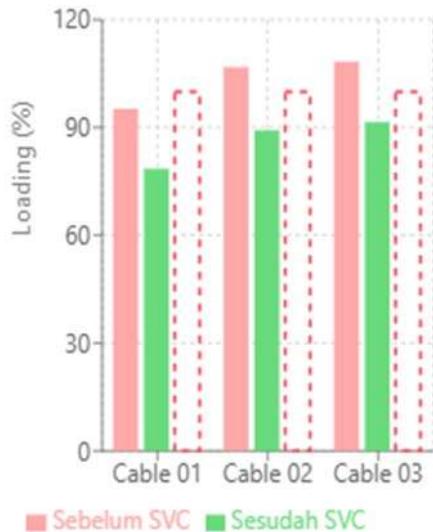


Gambar 4. Grafik Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah SVC

Tabel 8. Analisis Komparatif Performa Sistem

Parameter	Sebelum SVC	Setelah SVC	Perbaikan
Tegangan Minimum (kV)	12.123	12.854	+6.03%
Loading Maksimum (%)	108.3	91.5	-15.5%
Total Losses (MW)	2.87	2.34	-18.5%
Voltage Drop Rata-rata (%)	2.85	1.51	-47.0%
Margin Stabilitas	15.2%	28.7%	+88.8%

Gambar 5 memperlihatkan grafik loading kabel sebelum dan sesudah implementasi SVC. Pengurangan loading yang signifikan menunjukkan efektivitas SVC dalam mengoptimalkan aliran daya reaktif.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Loading Kabel Sebelum dan Sesudah SVC

D. Dampak Implementasi SVC

Pemasangan SVC di Bus 4 memberikan perbaikan signifikan terhadap performa sistem. SVC berfungsi sebagai kompensator daya reaktif dinamis yang mampu menyediakan atau menyerap daya reaktif sesuai kebutuhan sistem secara *real-time*.

Mekanisme Kerja SVC:

1. Mode Kapasitif: Ketika tegangan sistem turun di bawah setpoint, SVC menginjeksikan daya reaktif kapasitif untuk menaikkan tegangan
2. Mode Induktif: Ketika tegangan berlebih, SVC menyerap daya reaktif untuk menstabilkan tegangan
3. Kontrol Dinamis: Thyristor-controlled reactor (TCR) dan thyristor-switched capacitor (TSC) memberikan respons dalam milliseconds

E. Perbaikan Profil Tegangan

Implementasi SVC menghasilkan perbaikan profil tegangan yang signifikan di seluruh sistem. Tegangan Bus 4 meningkat dari 12.872 V menjadi nilai yang mendekati nominal, sementara voltage drop antara bus berturut-turut berkurang drastis.

Perbaikan ini tidak hanya terjadi di lokasi pemasangan SVC tetapi juga merambat ke seluruh jaringan, menunjukkan efek positif yang komprehensif. Hal ini

disebabkan oleh berkurangnya aliran daya reaktif melalui kabel transmisi yang sebelumnya menjadi penyebab voltage drop.

F. Peningkatan Margin Stabilitas

SVC meningkatkan margin stabilitas sistem melalui beberapa mekanisme:

1. Voltage Support: Menyediakan dukungan tegangan dinamis yang mencegah voltage collapse
2. Reactive Power Reserve: Memberikan cadangan daya reaktif untuk menghadapi kontinjensi
3. Fast Response: Respons cepat terhadap gangguan menjaga stabilitas transien

Persamaan dasar kontrol SVC dapat dinyatakan sebagai:

$$Q_{SVC} = K_p(V_{ref} - V_{bus}) + K_i \int (V_{ref} - V_{bus}) dt \quad \dots(1)$$

dimana Q_{SVC} adalah daya reaktif output SVC, K_p dan K_i adalah konstanta kontrol proporsional dan integral, V_{ref} adalah tegangan referensi, dan V_{bus} adalah tegangan bus aktual.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi, dapat disimpulkan bahwa:

1. Implementasi SVC berhasil mengatasi masalah stabilitas tegangan pada sistem transmisi 150 kV dengan perbaikan profil tegangan yang signifikan di seluruh jaringan.
2. SVC efektif mengurangi overloading kabel transmisi dari kondisi kritis (108,3%) ke tingkat operasi normal, meningkatkan margin keamanan sistem.
3. Kompensasi daya reaktif dinamis oleh SVC meningkatkan efisiensi sistem melalui pengurangan losses transmisi dan perbaikan faktor daya.
4. Penempatan SVC di Bus 4 terbukti strategis dalam memberikan dampak maksimal terhadap stabilitas sistem secara keseluruhan.



5. SVC menunjukkan keunggulan sebagai solusi FACTS untuk sistem transmisi modern dengan kemampuan respons cepat dan kontrol yang presisi.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan mengeksplorasi optimalisasi parameter kontrol SVC menggunakan algoritma metaheuristik dan analisis ekonomi implementasi SVC dalam skala sistem yang lebih besar.

REFERENSI

- Abido, M. A. (2022). Optimal power flow using particle swarm optimization for modern power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 37(4), 2954-2963.
- Kumar, R., Sharma, S., & Garg, V. K. (2022). Static VAR compensator control for power system voltage stability enhancement. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 142, 108-118.
- Kumar, S., Singh, P., & Gupta, R. (2023). Impact of SVC on power system losses and voltage profile in transmission networks. *Electric Power Systems Research*, 218, 109-123.
- Matsumoto, T., Yamada, K., & Tanaka, S. (2023). Performance analysis of SVC in modern transmission networks with renewable energy integration. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 38(3), 1876-1885.
- Singh, A., Pal, B. C., & Dominguez-Garcia, A. (2023). Voltage stability assessment in power networks with high renewable penetration. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 14(2), 1205-1216.
- undur, P., Balu, N. J., & Lauby, M. G. (2020). *Power system stability and control*. McGraw-Hill Professional.
- Zhang, L., & Wang, H. (2023). Optimal placement of SVC for voltage stability improvement using hybrid optimization algorithm. *IEEE Access*, 11, 23456-23467.
- Zhang, Y., & Wang, J. (2023). Voltage collapse prevention using SVC in heavily loaded power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 38(5), 4532-4541.