

# Analisis Unjuk Kerja pada Saluran Udara Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) terhadap Variasi Derajat Kompensasi

Agung Budi Muljono\*, Sultan, M Rivaldi Harjian

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram  
Jl. Majapahit No. 62 Mataram, NTB  
E-mail: [agungbm@unram.ac.id](mailto:agungbm@unram.ac.id)

Naskah Masuk: 11 Juli 2025; Diterima: 09 Februari 2026; Terbit: 31 Maret 2026

## ABSTRAK

**Abstrak** - Saluran Transmisi Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) memainkan peran penting dalam memastikan kontinuitas dan stabilitas sistem tenaga listrik jarak jauh. Namun, tantangan operasional utama dari SUTET terletak pada variasi profil tegangan sepanjang saluran transmisi, yang dapat menyebabkan kondisi *overvoltage* atau *undervoltage*, terutama saat beban ringan dan pada jarak transmisi yang sangat panjang. Penelitian ini menganalisis kinerja profil tegangan pada SUTET terhadap variasi derajat kompensasi kapasitif dan induktif. Analisis dilakukan melalui simulasi sistem transmisi 500 kV sepanjang 300-kilometer menggunakan perangkat lunak MATLAB. Derajat kompensasi divariasikan dari 0% hingga 100% untuk mengetahui pengaruhnya terhadap profil tegangan terhadap stabilitas tegangan. Hasil menunjukkan bahwa kompensasi reaktif yang optimal secara signifikan meningkatkan stabilitas profil tegangan dan mengurangi risiko *overvoltage*. Tingkat kompensasi ideal berada pada rentang 20–80% tergantung kondisi beban, dengan pengaturan tegangan sebesar 0,97789% yang terbukti meningkatkan stabilitas sistem. Sebaliknya, tingkat kompensasi yang melebihi 80% dapat menyebabkan kompensasi berlebihan dan mengakibatkan ketidakseimbangan sistem.

**Kata kunci:** SUTET, Pengaturan Tegangan, Derajat Kompensasi, Kompensator Shunt

## ABSTRACT

**Abstract** - The Extra High Voltage Transmission Line (EHV-TL) plays a crucial role in ensuring the continuity and stability of long-distance electric power systems. Nevertheless, a major operational challenge of EHV-TL lies in the variation of voltage profiles along the transmission line, which may result in *overvoltage* or *under voltage* conditions, particularly during light load scenarios and with exceptionally long transmission distances. This research investigates the behavior of voltage profiles on EHV-TL in relation to varying levels of capacitive and inductive compensation. The analysis is conducted through simulations of a 500 kV transmission system spanning 300 kilometers, using MATLAB software. The compensation degree is varied from 0% to 100% to assess its influence on voltage stability. The results indicate that optimal reactive compensation significantly enhances voltage profile stability and mitigates the risk of *overvoltage*. The ideal range of compensation is identified between 60% and 80%, depending on the load conditions, with a voltage regulation setting of 0.97789% shown to improve system stability. Conversely, compensation levels exceeding 80% may result in *overcompensation* and lead to system imbalance.

**Keywords:** Extra High Voltage (EHV-TL), Voltage Regulation, Degree of Compensation, Shunt Compensator

Copyright © 2026 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

## 1. PENDAHULUAN

Saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET) merupakan bagian vital dari sistem tenaga listrik dalam mentransmisikan daya jarak jauh [1]. Pada kondisi beban rendah, saluran panjang dapat mengalami efek kapasitif [2],[3] yang menyebabkan tegangan lebih di ujung penerima sebagai fenomena *Ferranti effect*. Jaringan transmisi tenaga listrik harus dioperasikan dalam kondisi yang efisien, aman, dan andal. Untuk meningkatkan stabilitas dan kemampuan transfer daya, perlu dilakukan mitigasi terhadap efek Ferranti [4],[5],[6]. Hal ini berpotensi merusak peralatan dan mengganggu kestabilan sistem. Salah satu solusi adalah menggunakan reaktor shunt sebagai kompensator induktif [7],[8],[9].

Untuk melihat pengaruh pemasangan kompensator daya reaktif ditentukan dari nilai derajat kompensasi terhadap kinerja sistem transmisi [10], dilakukan analisis perbandingan antara kondisi tanpa kompensasi dan dengan berbagai tingkat kompensasi, mulai dari kompensasi parsial hingga kompensasi penuh. Salah

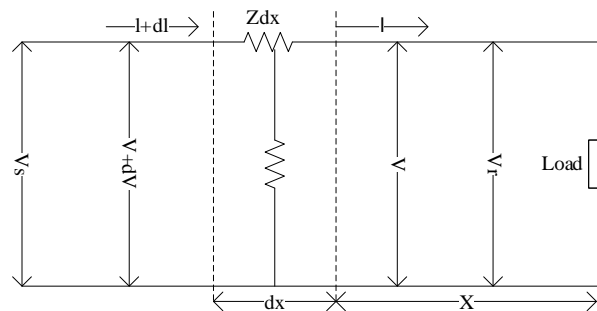
satu metode untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan penerapan kompensasi reaktif, baik berupa kompensator induktif (*shunt reactor*) saat beban ringan maupun kapasitif (*shunt capacitor*) pada saat beban penuh mampu menstabilkan fluktuasi tegangan tersebut. Pengaruh kapasitor seri terhadap derajat kompensasi dan jarak segmentasi reaktor shunt yang dapat dikendalikan pada saluran transmisi EHV/UHV menggunakan model rangkaian ekuivalen tipe- $\pi$ . Dengan pemodelan matematis antara kedua jenis kompensator, didapatkan hasil signifikan derajat kompensasi kapasitor seri, dan semakin tinggi derajat kompensasi seri, maka jarak segmentasi akan semakin besar [11]. Pemasangan kompensasi seri dan shunt pada saluran transmisi tegangan ekstra dan ultra-tinggi akan berpengaruh pada stabilitas tegangan terhadap kemampuan pembebanan saluran, nilai tegangan kritis dan kemampuan pembebanan kritis *loadability* [12].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi derajat kompensasi terhadap performa atau unjuk kerja saluran transmisi 500 kV. Fokus utama diarahkan pada tiga parameter utama, yaitu pengaturan tegangan, unjuk kerja sistem. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang derajat kompensasi optimal yang dapat diterapkan untuk mencapai efisiensi dan keandalan sistem transmisi listrik. Kajian ini penting untuk memastikan bahwa tegangan pada titik-titik kritis tetap berada dalam batas standar yang ditetapkan, seperti dalam [13] atau [14].

**2. KAJIAN PUSTAKA**

**2.1. Model Saluran Transmisi Udara Panjang**

Tegangan pada saluran transmisi merupakan parameter penting yang harus dikendalikan dalam sistem tenaga listrik. Berdasarkan Permen ESDM No.3 tahun 2007, fluktuasi tegangan pada SUTET 500 kV yang diperbolehkan berada dalam kisaran -5% hingga +5% dari tegangan nominal. Pengaruh perubahan faktor daya dari beban terhadap regulasi tegangan (*voltage regulation*) dari saluran transmisi tegangan ekstra tinggi dapat ditentukan dari model parameter saluran terutama saluran transmisi panjang seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Model konfigurasi saluran panjang[15]

Berdasarkan Gambar 1, relasi tegangan dan arus pada kedua ujung saluran (kirim dan terima/beban) dapat dimodelkan menggunakan persamaan diferensial dengan pendekatan persamaan hiperbolis sebagaimana pada Persamaan 1 dan 2 [15].

$$V = \frac{V_R + I_R \cdot Z_c}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R - I_R \cdot Z_c}{2} e^{-\gamma x} \tag{1}$$

$$I = \frac{V_R / Z_c + I_R}{2} e^{\gamma x} - \frac{V_R - I_R \cdot Z_c}{2} e^{-\gamma x} \tag{2}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \tag{3}$$

$$\gamma = \sqrt{ZY} \tag{4}$$

Impedansi karakteristik  $Z_c$  dari saluran serta konstanta rambatan (*propagation constant*)  $\gamma$  masing-masing didefinisikan pada bagian tertentu. Dengan menggantikan bentuk eksponensial menggunakan fungsi-fungsi hiperbolik, diperoleh satu set persamaan baru. Persamaan-persamaan ini menggambarkan tegangan dan arus di setiap titik sepanjang saluran transmisi, Persamaan 5 dan 6.

$$V_s = V_R \cosh \gamma l + I_R Z_c \sinh \gamma l \quad (5)$$

$$I = I_R \cosh \gamma l + \frac{V_R}{Z_c} \sinh \gamma l \quad (6)$$

Dalam notasi parameter impedansi dan admitansi saluran pada saluran panjang dapat dinyatakan dalam konstanta ABCD, sebagai Persamaan 7 dan 8.

$$A = \cosh \gamma l \quad C = \frac{\sinh \gamma l}{Z_c} \quad (7)$$

$$B = Z_c \sinh \gamma l \quad D = \cosh \gamma l \quad (8)$$

Pengaruh perubahan faktor daya beban terhadap regulasi tegangan paling mudah dianalisis pada sistem saluran transmisi pendek. Regulasi tegangan didefinisikan sebagai ukuran yang menyatakan seberapa besar perubahan tegangan pada beban penuh dibandingkan dengan tegangan tanpa beban, biasanya dinyatakan dalam bentuk persen. Regulasi tegangan menunjukkan kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan tegangan yang stabil saat terjadi perubahan beban. Nilai regulasi tegangan ini umumnya dinyatakan sebagai persentase terhadap tegangan beban penuh. Secara matematis, hal ini dapat dinyatakan dengan Persamaan 9.

$$\text{Pengaturan Tegangan} = \frac{\frac{|V_{R,NL}|}{|A|} - |V_{R,FL}|}{|V_{R,FL}|} \times 100\% \quad (9)$$

## 2.2. Kompensasi Daya Reaktif

Pada sistem transmisi panjang yang menggunakan tegangan ekstra tinggi (EHV) atau ultra tinggi (UHV), pengendalian tegangan sepanjang saluran menjadi tantangan utama. Saluran dengan panjang ratusan kilometer cenderung mengalami fenomena seperti *overvoltage* saat beban ringan, dan tegangan jatuh saat beban berat, yang dapat mengganggu keandalan sistem secara keseluruhan. Untuk menjaga unjuk kerja saluran transmisi sebagaimana fungsinya pada kondisi beban puncak dan tanpa beban perlu dipasang peralatan kompensasi daya reaktif yang terdiri dari kompensasi seri kapasitor dan induktor shunt.

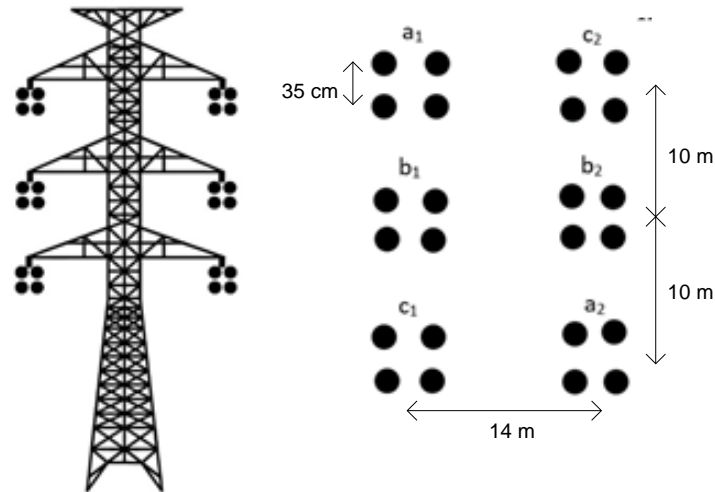
Kompensasi seri berfungsi untuk menurunkan impedansi reaktansi dari saluran transmisi, yang pada gilirannya dapat meningkatkan aliran daya aktif serta mengurangi rugi-rugi tegangan. Derajat kompensasi pada sistem dengan kapasitor seri dinyatakan dalam rasio  $X_C/X_L$ , dimana  $X_C$  adalah reaktansi kapasitif dari kapasitor seri, dan  $X_L$  merupakan reaktansi induktif total saluran per fasa. Sementara itu, kompensasi shunt digunakan untuk regulasi tegangan serta untuk menyerap atau memasok daya reaktif sesuai dengan kondisi beban. Derajat kompensasi shunt ditentukan oleh perbandingan  $B_L/B_C$ , dimana  $B_L$  sebagai susceptansi induktif dari reaktor shunt, dan  $B_C$  sebagai susceptansi kapasitif total saluran transmisi [16].

## 3. METODE PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan pada penelitian merupakan simulasi dengan model sistem transmisi udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) dengan variasi derajat kompensasi reaktif. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak simulasi Matlab Power system tenaga dengan model jaringan 500 kV. Dalam rangka menyederhanakan proses simulasi, sistem 500 kV direpresentasikan sebagai jaringan dengan dua bus menggambarkan kompleksitas sistem tenaga listrik. Saluran transmisi 500 kV sepanjang 300 km dimodelkan saluran panjang dengan pendekatan persamaan gelombang berjalan. Kedua bus pembangkit dan beban tersebut diberikan impedansi yang berbeda sebagai upaya untuk mensimulasikan kondisi nyata dalam sistem tenaga, seperti perbedaan karakteristik antara jaringan sistem radial. Jaringan transmisi radial menghubungkan dua bus, menggunakan SUTET dua sirkit penghantar berkas 4 dengan konfigurasi seperti pada Gambar 2. Saluran transmisi menggunakan penghantar ACSR Bittern 1.272.000 CM 54/19.

Kompensasi daya reaktif diberikan dalam bentuk kompensasi shunt kapasitif (reaktor dan kapasitor) yang dipasang pada ujung saluran. Variasi derajat kompensasi diatur dalam persentase terhadap nilai daya reaktif beban mulai dari 0% (tanpa kompensasi), 15%, 20%, 30%, 50%, 60%, 80%, 90% dan kompensasi penuh 100% pada kondisi beban penuh serta kondisi tanpa beban untuk kompensasi kapasitor shunt dan kompensasi menggunakan reaktor shunt. Nilai kompensasi diatur sedemikian rupa agar dapat dianalisis pengaruhnya terhadap pengaturan tegangan dan stabilitas tegangan.

Metode analisis, menggambarkan saat kondisi saluran transmisi panjang nominal  $\pi$  menyalurkan daya pada beban nominal menggunakan analisis aliran daya, analisis pengaturan tegangan. Langkah simulasi secara prosedur dapat diuraikan sebagai berikut: menyusun model satu garis sistem transmisi, menentukan titik pengukuran tegangan pada sisi pengirim dan sisi penerima, melakukan simulasi kondisi sistem transmisi saat menyalurkan beban penuh dan tanpa beban dengan derajat kompensasi, merekam dan menganalisis hasil parameter utama.



Gambar 2. Model konfigurasi saluran transmisi 500 kV[17]

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini disajikan hasil-hasil yang diperoleh dari tahapan analisis dan simulasi yang telah dilakukan. Berdasarkan langkah simulasi sebagaimana diuraikan dalam metodologi dilakukan perhitungan parameter saluran, menghitung unjuk kerja sistem transmisi meliputi profil tegangan, pengaturan tegangan sebelum dan sesudah diberikan kompensasi reaktor maupun kapasitor pada operasi beban puncak dan tanpa beban sebagai berikut.

##### 4.1. Penyusunan Model Satu Garis Sistem Transmisi

Model satu garis disusun sebagai representasi sistem transmisi yang digunakan dalam penelitian ini. Model tersebut mencakup elemen-elemen utama seperti sumber, saluran transmisi, beban, serta perangkat kompensasi. Penyusunan model ini dilakukan berdasarkan parameter teknis dari sistem yang dianalisis, dengan mempertimbangkan impedansi saluran, kapasitas beban, dan jenis kompensasi yang digunakan. Parameter saluran SUTET dihitung menggunakan *software* Matlab Power dari Hadi Saadat [15], berdasarkan konfigurasi saluran seperti pada Gambar 2. Saluran transmisi menggunakan penghantar ACSR Bittern 1.272.000 CM 54/19, berdasarkan tabel karakteristik penghantar ACSR, didapatkan nilai diameter 3,503 cm; GMR 1,4173 cm; KHA 1200 A dan nilai resistansi AC pada temperatur 50<sup>0</sup>C sebesar 0,0522 ohm/km, dengan menggunakan fungsi **gmd2lc** dan **rlc2abcd** pada Matlab, didapatkan parameter saluran sebagai berikut induktansi (L), kapasitansi (C), Impedansi karakteristik, konstanta propagasi dan konstanta A B C D:

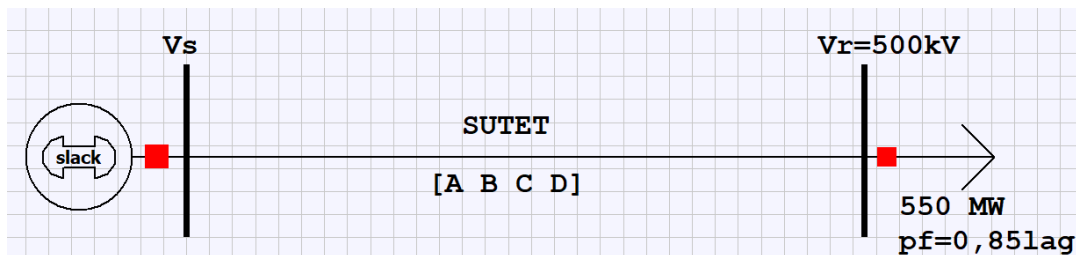
$$\begin{aligned} \text{GMD} &= 14.22574 \text{ m} \\ \text{GMRL} &= 1.86352 \text{ m} & \text{GMRC} &= 1.91400 \text{ m} \\ L &= 0.406517 \text{ mH/km} & C &= 0.0277219 \text{ micro F/km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z' &= 15.1412 + j 37.7825 \text{ ohms} \\ Y' &= 9.08932e-06 + j 0.00263471 \text{ siemens} \\ Z_c &= 123.503 + j -24.2656 \text{ ohms} \\ \gamma &= 0.0633994 + j0.322679 \end{aligned}$$

$$\text{ABCD} = \begin{bmatrix} 0.9503 + j0.020118 & 15.141 + j 37.783 \\ -1.7639e - 05 + j 0.0025693 & 0.9503 + j 0.020118 \end{bmatrix}$$

**4.2. Penentuan Titik Pengukuran Tegangan**

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang bertujuan untuk mengetahui profil tegangan pada saluran transmisi udara, khususnya tegangan kirim dan tegangan terima, pada kondisi beban puncak dan beban rendah. Analisis ini dilakukan untuk melihat seberapa besar penurunan tegangan yang terjadi sepanjang saluran akibat perubahan tingkat beban dengan model sistem seperti pada Gambar 3. Dengan menggunakan pemodelan sistem transmisi dan simulasi beban, diperoleh data yang menggambarkan perbedaan tegangan di sisi pengirim dan penerima dalam berbagai kondisi operasi. Informasi ini penting untuk menjaga kualitas tegangan dan keandalan pasokan energi listrik.

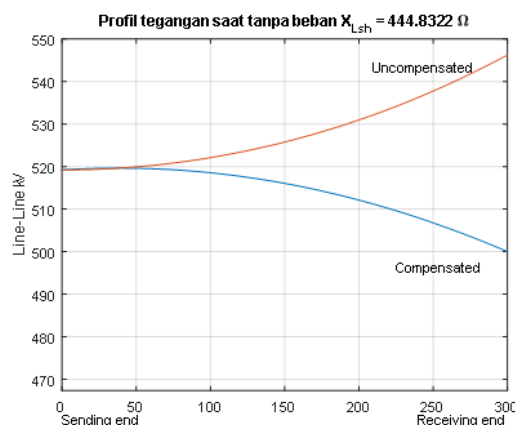


Gambar 3. Model saluran transmisi radial 500 kV

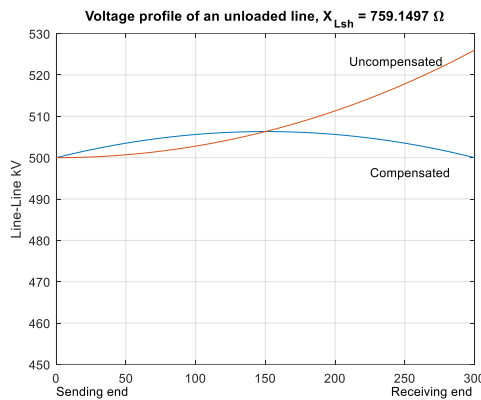
Simulasi dilakukan untuk dua kondisi utama, yaitu saat sistem menyalurkan beban penuh dan saat tanpa beban sebelum pemasangan kompensasi.

Vr = 500 kV (L-L) at 0°  
 Pr = 550 MW Qr = 340.859 Mvar  
 Ir = 747.159 A at -31.7883° PFr = 0.85 lagging  
 Vs = 519.205 kV (L-L) at 4.56214°  
 Is = 715.818 A at 32.106° PFs = 0.886657 leading  
 Ps = 570.766 MW Qs = -297.677 Mvar  
 PL = 20.766 MW QL = -638.536 Mvar  
 Percent Voltage Regulation = 9.24786  
 Transmission line efficiency = 96.3617

Variabel utama dari sistem pada kondisi beban penuh menghasilkan nilai prosentase pengaturan tegangan sebesar 9,2478%, melebihi nilai standar pengaturan tegangan transmisi, sesuai Permen ESDM No. 3 tahun 2007. Hasil tersebut kemudian disimulasikan dan dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh derajat kompensasi terhadap kinerja sistem transmisi pada saat beban penuh dan tanpa beban menggunakan reaktor shunt, seperti ditampilkan dalam Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Profil tegangan saat beban penuh dengan dan tanpa kompensasi reaktor shunt



Gambar 5. Profil tegangan saat beban rendah dengan dan tanpa kompensasi reaktor shunt

Pada saat reaktor dipasang pada kondisi beban penuh dengan reaktansi induktif sebesar  $j444,8322 \Omega$  memberikan daya reaktif sebesar 548,322 MVar mengakibatkan kenaikan tegangan pada sisi beban ( $V_r$ ) mencapai 546,239 kV. Sedangkan pada saat beban rendah diperlukan reaktansi induktif sebesar  $j759,1497 \text{ ohm}$  sebesar 328,338 MVar dengan tegangan pada sisi beban ( $V_r$ ) sebesar 526.034 kV, oleh karena itu pemakaian kompensator dengan reaktor sebaiknya hanya dipasang pada saat kondisi beban rendah atau tanpa beban.

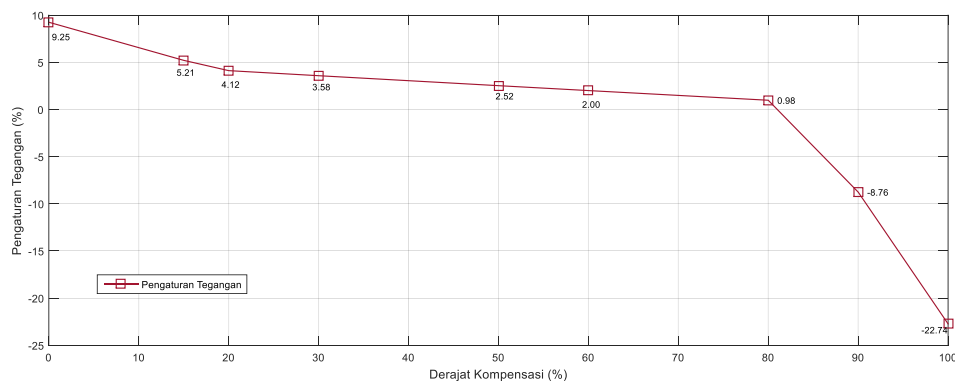
**4.3. Pengaruh Derajat Kompensasi Terhadap Pengaturan Tegangan**

Unjuk kerja variasi derajat kompensasi disimulasikan pada saat beban puncak pada model sistem pada Gambar 2, menggunakan kompensasi kapasitor shunt. Nilai derajat kompensasi divariasikan mulai dari 0% (tanpa kompensasi), 15%, 20%, 30%, 50%, 60%, 80%, 90% dan kompensasi penuh 100% untuk mengetahui pengaruhnya terhadap profil tegangan melalui nilai pengaturan standar mengacu pada Permen ESDM No. 3 tahun 2007,  $\pm 5\%$  tegangan nominal memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja profil tegangan pada SUTET.

Hasil simulasi pengaruh variasi derajat kompensasi pada saluran udara tegangan ekstra tinggi dengan kompensator kapasitor shunt terhadap nilai pengaturan tegangan seperti pada Tabel 1 dan karakteristik grafik sebagaimana pada Gambar 6.

Tabel 1. Nilai derajat kompensasi dengan pengaturan tegangan

No	Derajat Kompensasi (%)	Pengaturan Tegangan (%)
1	0	9.24786
2	15	5.20635
3	20	4.11674
4	30	3.58012
5	50	2.52330
6	60	2.00294
7	80	0.97789
8	90	-8.76007
9	100	-22.7351



Gambar 6. Profil pengaturan tegangan terhadap derajat kompensasi dengan kompensasi kapasitor shunt

Mengacu pada Gambar 6 dapat dilihat kompensasi daya reaktif yang tepat dapat mencegah *overvoltage* dan memberikan perbaikan nilai pengaturan tegangan secara gradual untuk kondisi tanpa kompensasi sampai nilai derajat kompensasi 80%. Nilai pengaturan tegangan masih berada pada nilai yang diijinkan sesuai Permen ESDM No. 3 tahun 2007 dari nilai 9,25% sampai 0,98% pada derajat kompensasi 80%. Tetapi untuk nilai derajat kompensasi di atas 80% sampai kompensasi penuh 100% mengalami kenaikan nilai pengaturan tegangan sampai nilai -22,74% berada pada kondisi frekuensi resonansi dan mengakibatkan *overvoltage* pada faktor daya  $-0.997704$  leading dengan rugi daya reaktif  $Q_L = -526.049$  Mvar, dengan kata lain terjadi overkompensasi sebagai fenomena *ferranti effect*.

Berdasarkan simulasi, kompensasi optimal berada pada rentang 20–80%, yang dapat mempertahankan kestabilan tegangan sepanjang saluran. Oleh karena itu, perencanaan dan pengaturan kompensator pada SUTET harus mempertimbangkan panjang saluran, profil beban, serta lokasi pemasangan kompensasi untuk mencapai efisiensi dan keandalan sistem transmisi.

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menganalisis pengaruh variasi derajat kompensasi terhadap unjuk kerja saluran transmisi udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis, diperoleh beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Saluran transmisi 500 kV panjang tanpa kompensasi mengalami tegangan lebih yang signifikan terutama pada saat operasi beban rendah sampai kondisi tanpa beban
2. Pemberian kompensasi reaktif terbukti mampu meningkatkan unjuk kerja sistem transmisi dengan cara memperbaiki profil tegangan dan mempertahankan stabilitas sistem tegangan.
3. Variasi derajat kompensasi semakin meningkat memberikan dampak perbaikan pengaturan tegangan untuk derajat kompensasi <20% terlalu rendah kurang efektif dalam menstabilkan tegangan secara signifikan dengan nilai pengaturan tegangan 4.11674% sampai 0.97789%.
4. Derajat kompensasi optimal berada pada kisaran 20–80%, di mana sistem mencapai efisiensi maksimum dengan tegangan tetap dalam batas aman operasional dan faktor daya mendekati 1.
5. Kompensasi 100% menghasilkan kondisi overkompensasi, yang ditandai dengan kenaikan nilai pengaturan tegangan mencapai -22,74% dan faktor daya leading berlebih, berpotensi menyebabkan gangguan pada peralatan sistem tenaga sebagai fenomena *ferranti effect*. Pemilihan derajat kompensasi ideal harus mempertimbangkan kondisi beban aktual dan toleransi tegangan sistem.

## REFERENSI

- [1] B. B. Gumilar, "Peran Jaringan Energi Kelistrikan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dalam Pembangunan Perkotaan Berkelanjutan," *Semin. Nas. Perenc. Wil. dan Kota ITS*, no. 978, pp. 73–94, 2009.
- [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, 2023, doi: 10.33795/elposys.v10i1.915.
- [3] D. I. Widyasmara, A. Wibisono, and S. Riyadi, "Dampak Pembebanan Kapasitif Murni Dan Resistif Kapasitif Pada Perubahan Vektor Generator Sinkron Tiga Fasa," *Elektrika*, vol. 16, no. 1, p. 1, 2024, doi: 10.26623/elektrika.v16i1.8695.
- [4] T. Foqha, S. Alsadi, S. S. Refaat, and K. Abdulmawjood, "Experimental Validation of a Mitigation Method of Ferranti Effect in Transmission Line," *IEEE Access*, vol. 11, no. January, pp. 15878–15895, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3244826.
- [5] P. Abhishek, G. Shankar, T. Vaibhav, U. G. Student, U. G. Student, and U. G. Student, "To Reduce Ferranti Effect By Using Thyristor Switched Reactor," vol. 6, no. 5, pp. 365–368, 2019.
- [6] V. Yarlagadda, C. Sunil Kumar, S. Rao Jalluri, B. Devulal, and G. Ambati, "A Comparative Assessment of Ferranti Effect in Power Transmission Systems with PI Model and Distributed Line Models," *Orig. Res. Pap. Int. J. Intell. Syst. Appl. Eng. IJISAE*, vol. 2024, no. 22s, pp. 1517–1523, 2024, [Online]. Available: [www.ijisae.org](http://www.ijisae.org)
- [7] Aksan and S. Said, "Analisis Pengaruh Pemasangan Shunt Reactor Terhadap Sistem Tenaga Listrik," *Tek. Elektro Politek. Negeri Ujung Pandang*, pp. 68–73, 2020.
- [8] A. S. Bedi, N. R. Patne, P. M. Khadke, and G. A. Shinde, "Analysis of shunt reactor energization at EHV substation and its effects on CT: A case study," *1st IEEE Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst. ICPEICES 2016*, no. June, 2017, doi: 10.1109/ICPEICES.2016.7853420.
- [9] S. Mueller and S. Mueller, "EHV Reactor Protection : A Utility ' s Perspective EHV Reactor Protection : A Utility ' s Perspective," in *78th Annual Conference for Protective Relay Engineers at Texas A&M*,

- Ameren and Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2025, pp. 1–18.
- [10] C. A. Ordóñez, A. Gómez-Expósito, and J. M. Maza-Ortega, “Series compensation of transmission systems: A literature survey,” *Energies*, vol. 14, no. 6, pp. 1–28, 2021, doi: 10.3390/en14061717.
- [11] S. Gu, J. Dang, M. Tian, and B. Zhang, “Compensation degree of controllable shunt reactor in EHV/UHV transmission line with series capacitor compensation considered,” *Proc. 2014 Int. Conf. Mechatronics, Control Electron. Eng.*, vol. 113, no. Mce, pp. 65–68, 2014, doi: 10.2991/mce-14.2014.14.
- [12] A. Maity, S. Mandal, A. Bandyopadhyay, M. Roy, D. Bose, and A. Chakrabarti, “Operational Constraints Governed Loadability Characteristics of EHV/UHV Transmission Lines,” *2022 Int. Conf. Adv. Technol. ICONAT 2022*, no. November, 2022, doi: 10.1109/ICONAT53423.2022.9725925.
- [13] SPLN T6.001, “Tegangan - Tegangan Standar,” *Standar Perusah. List. Negara*, vol. 1.1995, no. 391, p. 12, 2013.
- [14] C. A. Group, *IEEE Guide for Overhead AC Transmission Line Design*. IEEE Std 1863™-2019, 2019. [Online]. Available: IEEE Std 1863™-2019
- [15] H. Saadat, “Power System Analysis,” vol. 2, no. 11, pp. 1649–1654, 2004, [Online]. Available: McGraw-Hill
- [16] T. S. Hutauruk, *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [17] Kementerian Energi dan Sumber Daya Manusia, “Ruang Bebas Dan Jarak Bebas Minimum Jaringan Transmisi Tenaga Listrik Dan Kompensasi Atas Tanah, Bangunan, Dan/Atau Tanaman Yang Berada Di Bawah Ruang Bebas Jaringan Transmisi Tenaga Listrik,” no. 710, 2021, [Online]. Available: [www.peraturan.go.id](http://www.peraturan.go.id)