

Analisis Pengaruh Jarak Antar Sub-Konduktor Terhadap Rugi – Rugi Daya Saluran Transmisi 150kV Gardu Induk Surabaya Selatan – Gardu Induk Kalisari di PT. PLN (Persero) Surabaya

REZA SARWO WIDAGDO¹, PUJI SLAMET², IFAN MAULANA³
Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia
Jl. Semolowaru No. 45 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

Informasi Makalah

Dikirim ,
Diterima ,
Diterbitkan ,

Kata kunci :

ACSR Zebra
Saluran Udara Tegangan Tinggi
Regulasi Tegangan
Rugi Daya
Sub-Konduktor

ABSTRAK

Saluran transmisi 150 kv yang menghubungkan Gardu Induk Surabaya Selatan dengan Gardu Induk Kalisari menggunakan konduktor ACSR Zebra dengan luas penampang 858 mm² dan panjang saluran total 5,48 km. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jarak antar subkonduktor terhadap resistansi, impedansi, tegangan kirim dan terima, serta rugi daya selama proses transmisi. Data diperoleh melalui pengamatan langsung pada panel control Gardu Induk Surabaya Selatan selama 30 hari dibulan Januari 2025 pukul 13.00 WIB. Parameter yang dicatat meliputi tegangan, arus dan rugi daya. Setelah data terkumpul, dilakukan pemodelan dengan variasi jarak antar subkonduktor. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan jarak antar subkonduktor berdampak pada meningkatnya rugi daya serta penurunan efisiensi transmisi. Nilai regulasi tegangan juga meningkat, menunjukkan selisih tegangan kirim dan terima yang lebih besar. Oleh karena itu, pemilihan jarak optimal antar subkonduktor penting untuk menekan kerugian energi dan menjaga keandalan pasokan Listrik.

Korespondensi Penulis:

Reza Sarwo Widagdo
Jurusan Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia
Jl. Semolowaru No.45 Surabaya, Indonesia
Surel: rezaswidagdo@untag-sby.ac.id

1. PENDAHULUAN

Saluran transmisi tegangan tinggi merupakan elemen penting dalam menjamin penyaluran tenaga listrik yang andal dari pusat pembangkitan ke pengguna akhir (*Widagdo et al., 2025*). Di antara berbagai pertimbangan dalam desain sistem transmisi, konfigurasi dan jarak antar sub-konduktor dalam susunan konduktor berikat seperti tipe ACSR Zebra sangat mempengaruhi kinerja sistem (*Widagdo et al., 2024*). Konduktor ACSR Zebra yang

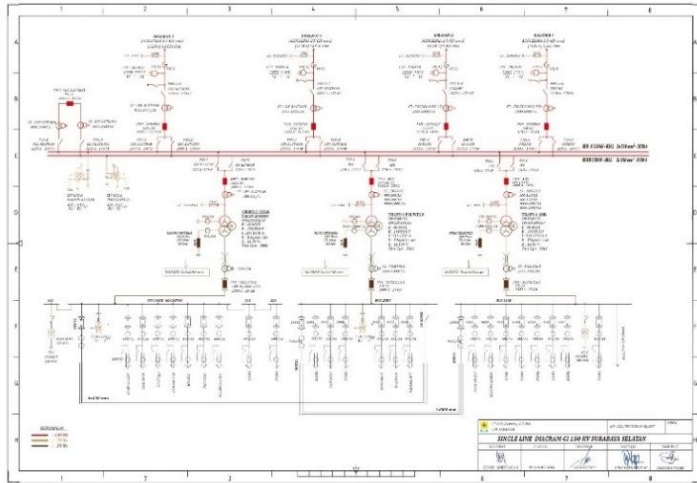
umum digunakan pada jaringan transmisi 150 kV di Indonesia memiliki keunggulan dalam kapasitas hantar arus dan kekuatan mekanis. Namun, perilaku listriknnya, terutama yang berkaitan dengan jarak antar sub-konduktor, tetap menjadi faktor krusial yang mempengaruhi rugi-rugi daya, impedansi saluran, regulasi tegangan, dan efisiensi transmisi secara keseluruhan (*Slamet et al., 2025*).

Beberapa penelitian telah mengkaji pengaruh konfigurasi konduktor terhadap kinerja listrik sistem transmisi. *Khan & Ghassemi (2014)* menyoroti dampak dari geometri konduktor terhadap impedansi dan rugi-rugi sistem. *Shaikh et al. (2022)* memberikan rumus dasar untuk pemodelan konduktor berikat, sementara *Shaikh et al. (2021)* meneliti pengaruh jarak antar bundel terhadap pelepasan korona dan tegangan medan listrik. *Rabah et al. (2022)* menekankan interaksi elektromagnetik antar sub-konduktor yang memengaruhi induktansi dan kapasitansi. *Khan et al. (2025)* juga menyelidiki potensi jarak antar sub-konduktor dalam meredam tegangan lebih transien. *Bindhu, V., & Ranganathan, G. (2021)* melakukan penilaian berbasis simulasi terhadap variasi impedansi akibat perubahan jarak. *Zainuddin et al. (2020)* mengkaji konfigurasi sub-konduktor terkait dengan penuaan termal dan daya tahan mekanis. *Salceanu et al. (2020)* membahas gangguan radio di wilayah padat penduduk yang disebabkan oleh jarak bundel yang tidak tepat. Penelitian terbaru oleh *Lutfiansjah et al. (2022)* menyajikan data lapangan terkait rugi-rugi daya pada sistem transmisi di Indonesia, meskipun studi tersebut tidak secara khusus menganalisis jarak antar sub-konduktor.

Meskipun studi-studi tersebut telah memberikan kontribusi yang signifikan di bidang ini, sebagian besar masih bergantung pada model simulasi atau kondisi laboratorium dan belum memanfaatkan data operasional secara langsung dari jaringan tropis seperti di Indonesia. Selain itu, literatur yang ada belum cukup membahas hubungan antara jarak sub-konduktor dengan regulasi tegangan pada saluran transmisi aktif 150 kV. Hal ini menunjukkan adanya celah yang cukup besar dalam pemahaman mengenai dampak praktis dari susunan fisik konduktor pada lingkungan transmisi yang sebenarnya.

2. METODE PENELITIAN

Dalam kajian ini metode yang digunakan untuk menghitung rugi-rugi daya pada saluran transmisi 150kV Gardu Induk Surabaya Selatan – Gardu Induk Kalisari di PT. PLN (Persero) Surabaya melibatkan beberapa langkah utama. Proses diawali dengan analisis sistem kelistrikan dengan melihat data awal mengenai konfigurasi saluran transmisi, termasuk jarak antar sub-konduktor, nominal arus, dan karakteristik konduktor, dikumpulkan dari panel kontrol dan survei lapangan. Analisis jarak antar sub-konduktor juga sangat diperlukan untuk memastikan terjadinya kerugian daya yang sangat besar, sehingga dapat merugikan pihak PLN.



Gambar 1. Single Line Gardu Induk 150kV Surabaya Selatan-Gardu Induk Kalisari

2.1. Analisis Resistansi

Pada bagian ini dilakukan analisis resistansi saluran untuk mengetahui hasil dari resistansi saluran dan resistansi total pada sistem saluran transmisi gardu induk 150kV surabaya selatan-gardu induk 150kV kalisari. Perhitungan awal yang diperlukan menggunakan persamaan berikut :

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

Dimana resistansi merupakan hasil dari komponen yang digunakan dalam sistem transmisi 150kV surabaya selatan-gardu induk 150kV kalisari. Nilai resistansi total pada saat itu ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$R_{Total\ ACSR} = R \times L \quad (2)$$

Dimana :

R = Resistansi arus searah (Ω)

ρ = Resistansi Jenis Al ($\Omega.m$)

l = Panjang Konduktor (Meter/Km)

Dimana Resistansi Total merupakan hasil nilai total pada spesifikasi konduktor yang dipakai. R merupakan nilai resistansi konduktor dalam $\Omega.m$, L merupakan nilai Panjang saluran yang dipakai dalam kilometer.

2.2. Geometric Mean Radius (GMR)

Sebelum menghitung GMR yang terlebih dahulu dicari yaitu r_1' (r satu aksen) dengan mencari jarak *spacer* konduktor 150KV menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$r_1' = \frac{1,725}{100} e^{-\frac{1}{4}} \text{ meter} \quad (3)$$

Setelah mengetahui nilai dari r_1' , selanjutnya menghitung GMR (Geometric Mean Radius) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$GMR = R \sqrt{n \frac{r_1'}{R}} \quad (4)$$

Dimana :

R = Jarak $\frac{1}{2}$ antara 2 konduktor

S = Jarak Sub-konduktor

n = Jumlah Sub-konduktor

r'_1 = Radius Sub-konduktor

2.3. Geometric Mean Distance (GMD)

Pada bagian ini dilakukan perhitungan untuk mencari nilai GMD (Geometric Mean Distance). Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$GMD = \sqrt[12]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{15} \cdot D_{16} \cdot D_{23} \cdot D_{24} \cdot D_{26} \cdot D_{34} \cdot D_{35} \cdot D_{45} \cdot D_{46} \cdot D_{56}} \quad (5)$$

Dimana :

D = Jarak Antar Fasa

2.4. Reaktansi Induktansi Saluran

Maka sebelum mencari nilai impedansi saluran terlebih dahulu mencari besarnya nilai reaktansi induktif jenis ACSR ZEBRA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_L = 2\pi f L \times I_n \frac{GMD}{GMR} \text{ Atau } X_L = 0,14467 \log \frac{GMD}{GMR} \quad (6)$$

Dimana :

X_L = Reaktansi Induktif (Ω)

F = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (Henry)

GMD = Jarak rata – rata geometris (Meter)

GMR = Radius rata – rata geometris (Meter)

2.5. Impedansi Saluran

Setelah semua nilai telah diketahui, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai impedansi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z &= R + jWL \\ &= R + jXL \end{aligned} \quad (7)$$

Dimana :

Z = Impedansi (Ω)

R = Resistansi (Ω)

X_L = Reaktansi Induktif (Ω)

2.6. Rugi-Rugi Daya

Setelah nilai resistansi totalnya sudah diketahui, maka langkah selanjutnya dilakukan perhitungan rugi-rugi daya tiap fasa R,S,T dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{LOSSSES} = I^2 \times Z \text{ Atau } P_{Losses} = I^2 \cdot R \quad (8)$$

Dimana :

P_{Losses} = Rugi-rugi daya (Watt)

Z = Impedansi (Ω)

I = Impedansi (Ampere)

R = Tahanan Saluran (Ω /Km)

2.7. Tegangan Kirim

Setelah nilai impedansi, Arus dan tegangan terima telah diketahui, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai Tegangan kirim menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_S = V_R + I \times Z \quad (9)$$

Dimana :

$V_{S(L-L)}$ = Tegangan Sumber Line to Line

$V_{R(L-L)}$ = Tegangan Terima Line to Line

2.8. Regulasi Tegangan

Untuk mengetahui presentase regulasi tegangan yang terjadi pada saluran transmisi 150KV GI Surabaya Selatan – GI Kalisari, maka regulasi tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta V = \left| \frac{V_S - V_R}{V_S} \right| \times 100\% \quad (10)$$

Dimana :

V_S = Tegangan Kirim Line to Line

V_R = Tegangan Terima Line to Line

2.9. Daya

Dalam sistem transmisi tenaga listrik, daya terbagi menjadi tiga komponen utama, yaitu daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S).

2.9.1. Daya Reaktif

Untuk mengetahui hasil daya reaktif menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3} \quad (11)$$

2.9.2. Daya Nyata

Untuk mengetahui nilai daya nyata menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = V_{R(L-L)} \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3} \quad (12)$$

2.9.3. Daya Semu

Untuk mengetahui nilai daya semu menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$S = V_{R(L-L)} \times I \times \sqrt{3} \quad (13)$$

3. HASIL DAN ANALISIS

Bagian ini menyajikan hasil dan analisis perhitungan mengenai rugi-rugi daya, regulasi tegangan dan faktor daya yang dihasilkan dengan melakukan perhitungan tiga variasi ukuran tower yaitu meliputi realita, pendek, panjang pada saluran transmisi 150kV Gardu Induk Surabaya Selatan – Gardu Induk Kalisari PT. PLN (Persero). Perhitungan meliputi nilai resistansi, GMD, GMR, Reaktansi Induktansi, Impedansi, Rugi-rugi Daya, Regulasi Tegangan, Daya. Hasil yang diperoleh yaitu akan membandingkan antara 3 variasi ukuran tower :

3.1. Menentukan Nilai Resistansi Saluran

Dalam menentukan nilai resistansi saluran ini untuk mengetahui berapa resistansi jenis konduktor ACSR ZEBRA. Dalam menentukan hal tersebut menggunakan persamaan (1) sebagai berikut :

$$R = \rho \frac{l}{a}$$

Maka, Resistansi saluran Transmisi 150 KV Gardu Induk Surabaya Selatan – Gardu Induk Kalisari adalah :

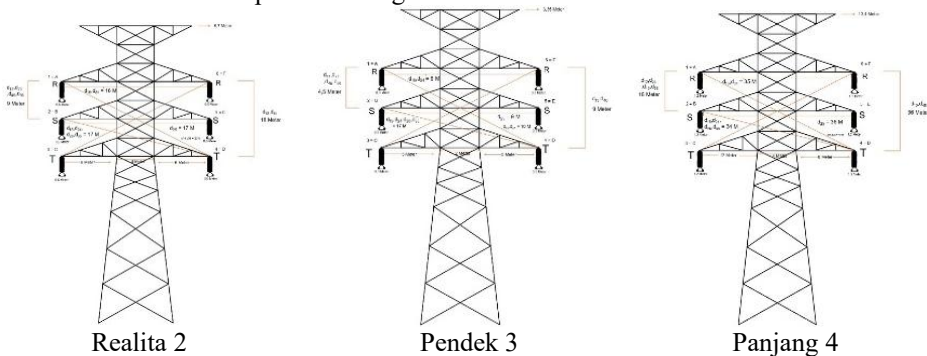
$$R = 2,826 \times 10^{-8} \Omega \text{m} \frac{5,48 \times 10^3 \text{ m}}{858 \times 10^{-3} \text{ m}} = \mathbf{0,000179 \Omega \text{m}}$$

Jadi, Resistansi Total ACSR pada saluran transmisi 150 KV Gardu Induk Surabaya Selatan – Gardu Induk Kalisari menggunakan persamaan (2) yaitu :

$$\begin{aligned} R_{Total\ ACSR} &= R \times L \\ &= 0,000179 \times 5,48 \times 10^3 \text{ m} \\ &= \mathbf{0,980 \Omega} \end{aligned}$$

3.2. Geometric Mean Distance (GMD)

Langkah selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk mencari jarak rata – rata geometris (GMD), untuk menghitung jarak rata-rata geometris (GMD) harus mencari jenis tower yang digunakan pada sistem transmisi tersebut. Ada 3 Jenis ukuran tower suspension sebagai berikut :



Rumus perhitungan untuk mencari GMD menggunakan persamaan (5) sebagai berikut
Diketahui :

$$\begin{aligned} d_{12}=d_{23}=d_{45}=d_{56} &= 9 \text{ Meter} & d_{15}=d_{24}=d_{26}=d_{35} &= 17 \text{ Meter} \\ d_{13}=d_{46} &= 18 \text{ Meter} & d_{25} &= 17 \text{ Meter} \\ d_{14}=d_{36} &= 20 \text{ Meter} & d_{16}=d_{34} &= 16 \text{ Meter} \end{aligned}$$

Dimana :

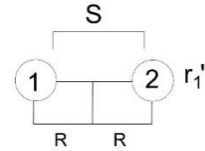
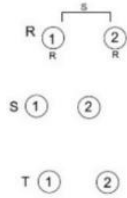
d = Jarak

Jawab :

$$\begin{aligned} GMD\ Realita &= \sqrt[12]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{15} \cdot D_{16} \cdot D_{23} \cdot D_{24} \cdot D_{26} \cdot D_{34} \cdot D_{35} \cdot D_{45} \cdot D_{46} \cdot D_{56}} \\ &= \sqrt[12]{(9)^4 \cdot (18)^2 \cdot (20)^2 \cdot (17)^4 \cdot (16)^2} \\ &= \mathbf{22,644 \text{ Meter}} \end{aligned}$$

3.3. Geometric Mean Radius (GMR)

Sebelum menghitung GMR yang terlebih dahulu dicari yaitu r_1' (r satu aksen) dengan mencari jarak *spacer* konduktor 150KV menggunakan persamaan (4) sebagai berikut :



Gambar 5. Konduktor Antar Fasa

Gambar 6. Sub-Konduktor

Untuk mengetahui GMR menggunakan persamaan rumus (3) sebagai berikut :
Diketahui :

$$S = 0,6 \text{ Meter}$$

$$R = \frac{1}{2} S = \frac{1}{2} 0,6 \text{ Meter} = 0,3 \text{ Meter}$$

Setelah nilai R nya terhitung kemudian menghitung nilai r_1' (r_1' aksen) sebagai berikut:

$$r_1' = \frac{1,725}{100} e^{-\frac{1}{4}} \text{ meter}$$

Untuk mencari radius rata-rata geometris (GMR) dapat menggunakan persamaan (4) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} GMR \text{ Realita} &= R \sqrt{n \frac{r_1'}{R}} \\ &= 0,3 \sqrt{2 \frac{1,725 \times e^{-\frac{1}{4}}}{100 \times 0,3}} \\ &= 0,3 \sqrt{\frac{3,45 \times e^{-\frac{1}{4}}}{100 \times 0,3}} \\ &= 0,3 \sqrt{\frac{2,68}{30}} \\ &= 0,3 \sqrt{0,08} \end{aligned}$$

$$= 0,08 \text{ Meter}$$

Tabel 1. GMR dan GMD dengan variasi jarak subkonduktor

Jarak	Panjang Sub-Konduktor		
	Realita	Pendek	Panjang
$d_{12}, d_{23}, d_{45}, d_{56}$	9 m	4,5 m	18 m
$d_{15}, d_{24}, d_{26}, d_{35}$	17 m	8,5 m	34 m
d_{13}, d_{46}	18 m	9 m	36 m
d_{14}, d_{36}	20 m	10 m	40 m
d_{16}, d_{34}	16 m	8 m	32 m
S	0,6 m	0,3 m	1,2 m
GMD	22,644 m	10,087 m	51,600 m

GMR	0,08 m	0,063 m	0,125 m
------------	--------	---------	---------

3.4. Reaktansi Induktansi

Maka sebelum mencari nilai impedansi saluran terlebih dahulu mencari besarnya nilai reaktansi induktif jenis ACSR ZEBRA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6) sebagai berikut:

Diketahui :

$$GMD = 11,33 \text{ meter}$$

$$GMR = 0,08 \text{ meter}$$

Maka, nilai Reaktansi Induktif yaitu :

$$\begin{aligned} XL \text{ Realita} &= 0,14467 \log \frac{GMD}{GMR} \\ &= 0,14467 \log \frac{22,644}{0,08} \\ &= 0,14467 \log 283,05 \\ &= \mathbf{0,354 \Omega} \end{aligned}$$

3.5. Impedansi

Setelah semua nilai telah diketahui, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai impedansi dengan menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z \text{ Realita} &= R + jWL \\ &= R + XL \\ &= \mathbf{0,980 + j0,354} \end{aligned}$$

3.6. Rugi-Rugi Daya

Setelah nilai resistansi totalnya sudah diketahui, maka langkah selanjutnya dilakukan perhitungan rugi-rugi daya tiap fasa R,S,T pada jaringan transmisi tegangan tinggi Gardu Induk Surabaya Selatan – Gardu Induk Kalisari. Secara matematis menggunakan persamaan (8) sebagai berikut :

Diketahui :

$$Z = 1,042 \Omega$$

Maka, Rugi – Rugi Daya pada saluran Transmisi 150KV GI Surabaya Selatan – GI Kalisari yaitu:

$$P_{LOSSES} R = 100^2 \times 1,042 = \mathbf{0,0104 MW}$$

$$P_{LOSSES} S = 96^2 \times 1,042 = \mathbf{0,0096 MW}$$

$$P_{LOSSES} T = 89^2 \times 1,042 = \mathbf{0,0082 MW}$$

maka dapat dilakukan perhitungan rugi-rugi daya tiga fasa selama 30 hari pada bulan Januari 2025 pada saluran transmisi Bay Line Kalisari sebagai berikut:

$$P_{LOSSES} \text{ Realita } (R, S, T) = 0,0104 \text{ MW} + 0,0096 \text{ MW} + 0,0082 \text{ MW} = 0,0282 \text{ MW}$$

3.7. Tegangan Kirim

Setelah nilai impedansi, Arus dan tegangan terima telah diketahui, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai Tegangan kirim menggunakan persamaan (9) sebagai berikut :

Tegangan Kirim Jarak Realita

$$\begin{aligned} V_S \text{ Realita} &= V_R + I \times Z \\ &= 147 + 95 \times 1,042 \end{aligned}$$

$$= 245 \text{ KV}$$

3.8. Regulasi Tegangan

Dengan menggunakan persamaan (10), maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui presentase regulasi tegangan yang terjadi pada saluran transmisi 150kv GI Surabaya Selatan – GI Kalisari sebagai berikut:

Diketahui :

$$V_s \text{ Jarak Realita} = 245 \text{ KV}$$

$$V_r = 147 \text{ KV}$$

Maka Perhitungan regulasi tegangan saluran transmisi 150 kv GI SS-GI Kalisari adalah:

$$\begin{aligned} \Delta V \text{ Realita} &= \left| \frac{V_s - V_r}{V_s} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{245 - 147}{245} \right| \times 100\% \\ &= \mathbf{0,40\%} \end{aligned}$$

3.9. Daya

Setelah nilai tegangan terima sudah diketahui, maka langkah selanjutnya dilakukan perhitungan nilai daya reaktif, daya aktif dan daya semu pada jaringan transmisi 150kv tegangan tinggi GI Surabaya Selatan bay line GI Kalisari. Secara matematis menggunakan rumus sebagai berikut:

3.9.1. Daya Reaktif

Untuk menghitung daya reaktif yang terjadi pada saluran transmisi 150kv Gardu Induk Surabaya Selatan bay line Gardu Induk Kalisari. Maka dihitung menggunakan persamaan (11) sebagai berikut :

Diketahui :

$$V = 147 \text{ KV}$$

$$I = 95 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = 0,93$$

Untuk mengetahui nomial $\sin \varphi$ maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\cos \varphi = 0,93$$

$$\varphi = \arccos (0,93)$$

$$= \cos^{-1} (0,93)$$

$$\sin = 21,56$$

$$\sin (21,56) = \mathbf{0,36}$$

Maka perhitungan Daya Reaktif yaitu:

$$Q = V_{R(L-L)} \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3}$$

$$= 147 \times 95 \times 0,36 \times \sqrt{3}$$

$$= \mathbf{0,0087 \text{ MVAR}}$$

3.9.2. Daya Nyata

Setelah melakukan perhitungan daya reaktif, selanjutnya melakukan perhitungan daya nyata dengan persamaan (12) sebagai berikut :

$$P = V_{R(L-L)} \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3}$$

$$= 147 \times 95 \times 0,93 \times \sqrt{3}$$

$$= 0,022 \text{ MW}$$

3.9.3. Daya Semu

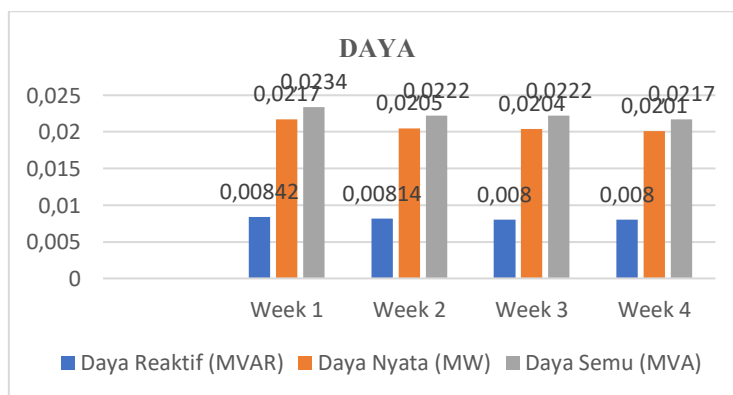
Setelah Tegangan Terima sudah ditemukan. Maka, selanjutnya melakukan perhitungan Daya Semu menggunakan persamaan (13) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S &= V_{R(L-L)} \times I \times \sqrt{3} \\ &= 147 \times 95 \times \sqrt{3} \\ &= 0,024 \text{ MVA} \end{aligned}$$

3.10. Hasil Analisis

Table 2. Hasil Perhitungan losses Selama Bulan Januari 2025

RUGI-RUGI DAYA (MW)							
HARI KE-	PENDEK	RELITA	PANJANG	HARI KE-	PENDEK	RELITA	PANJANG
1	0,0283	0,0286	0,0286	16	0,0264	0,0266	0,0269
2	0,0275	0,0278	0,0278	17	0,024	0,0242	0,0245
3	0,0279	0,0282	0,0284	18	0,0257	0,026	0,0261
4	0,0235	0,0237	0,0239	19	0,0234	0,0237	0,024
5	0,0266	0,0268	0,0269	20	0,0232	0,0233	0,0236
6	0,0279	0,0282	0,0282	21	0,0256	0,0258	0,026
7	0,0291	0,0294	0,0294	22	0,0279	0,0282	0,0282
8	0,0265	0,0268	0,0268	23	0,0257	0,026	0,0261
9	0,0265	0,0268	0,0268	24	0,0228	0,023	0,0232
10	0,0265	0,0268	0,027	25	0,0242	0,0244	0,0247
11	0,023	0,0237	0,024	26	0,0231	0,0233	0,0235
12	0,0248	0,025	0,0252	27	0,0233	0,0235	0,0238
13	0,0262	0,0264	0,0265	28	0,0224	0,0227	0,0228
14	0,0238	0,024	0,0243	29	0,0235	0,0237	0,0239
15	0,0275	0,0278	0,0278	30	0,0226	0,0228	0,023



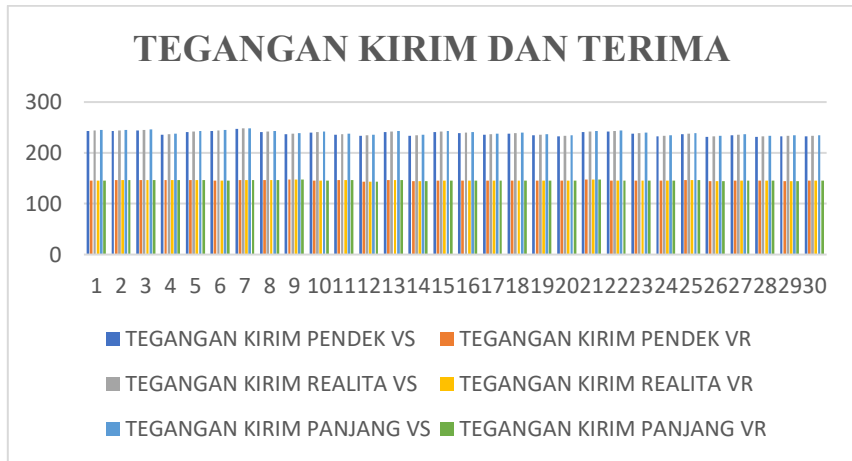
Gambar 7. Grafik Rugi - Rugi Daya

Berdasarkan grafik rugi-rugi daya selama 30 hari pada saluran transmisi 150 kV GI Surabaya Selatan – GI Kalisari, terlihat bahwa konfigurasi dengan jarak sub-konduktor pendek menghasilkan rugi daya paling rendah, diikuti oleh konfigurasi

realita dan panjang. Rata-rata rugi-rugi daya berkisar antara 0,022 MW hingga 0,029 MW, dengan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya jarak antar sub-konduktor. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jarak antar sub-konduktor, semakin tinggi rugi-rugi daya yang terjadi, akibat peningkatan reaktansi induktif dan impedansi saluran. Oleh karena itu, konfigurasi jarak sub-konduktor yang optimal diperlukan untuk meminimalkan rugi daya dan meningkatkan efisiensi transmisi.

Table 3. Tegangan Kirim dan Tegangan Terima

HARI KE-	TEGANGAN KIRIM					
	PENDEK		REALITA		PANJANG	
	V _S	V _R	V _S	V _R	V _S	V _R
1	243	146	244	146	245	146
2	243	147	244	147	245	147
3	244	147	245	147	246	147
4	236	147	237	147	238	147
5	241	147	242	147	243	147
6	243	146	244	146	245	146
7	247	147	248	147	248	147
8	241	147	242	147	243	147
9	237	148	238	148	239	148
10	240	146	241	146	242	146
11	236	147	237	147	238	147
12	234	143	235	143	236	143
13	241	147	242	147	243	147
14	234	144	235	144	236	144
15	241	145	242	145	243	145
16	239	145	240	145	241	145
17	236	146	237	146	238	146
18	238	145	239	145	240	145
19	235	146	236	146	237	146
20	233	145	234	145	235	145
21	241	148	242	148	243	148
22	242	145	243	145	244	145
23	238	145	239	145	240	145
24	233	145	234	145	235	145
25	237	147	238	147	239	147
26	232	144	233	144	234	144
27	235	146	236	146	237	146
28	232	145	233	145	234	145
29	233	144	234	144	235	144
30	233	146	234	146	235	146

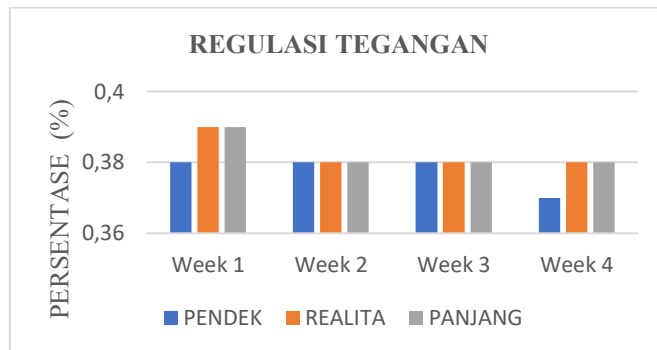


Gambar 8. Grafik Tegangan Kirim Dan Tegangan Terima

Grafik tegangan kirim menunjukkan bahwa semakin besar jarak antar sub-konduktor, nilai tegangan kirim juga meningkat. Hal ini terjadi akibat kenaikan reaktansi induktif, yang menyebabkan selisih antara tegangan kirim dan terima semakin besar, sehingga mempengaruhi efisiensi dan regulasi tegangan saluran transmisi.

Table 4. Hasil Perhitungan Regulasi Selama Bulan Januari 2025

REGULASI TEGANGAN (%)							
HARI KE-	PENDEK	REALITA	PANJANG	HARI KE-	PENDEK	REALITA	PANJANG
1	0,39	0,4	0,4	16	0,39	0,39	0,39
2	0,39	0,39	0,4	17	0,38	0,38	0,38
3	0,39	0,4	0,4	18	0,39	0,39	0,39
4	0,37	0,37	0,38	19	0,37	0,38	0,38
5	0,39	0,39	0,39	20	0,37	0,38	0,38
6	0,39	0,4	0,4	21	0,38	0,38	0,39
7	0,4	0,4	0,4	22	0,4	0,4	0,4
8	0,39	0,39	0,39	23	0,39	0,39	0,39
9	0,37	0,37	0,37	24	0,37	0,38	0,38
10	0,39	0,39	0,39	25	0,37	0,38	0,38
11	0,37	0,37	0,38	26	0,37	0,38	0,38
12	0,38	0,39	0,39	27	0,37	0,38	0,38
13	0,39	0,39	0,39	28	0,37	0,37	0,38
14	0,38	0,38	0,38	29	0,38	0,38	0,38
15	0,39	0,4	0,4	30	0,37	0,37	0,38



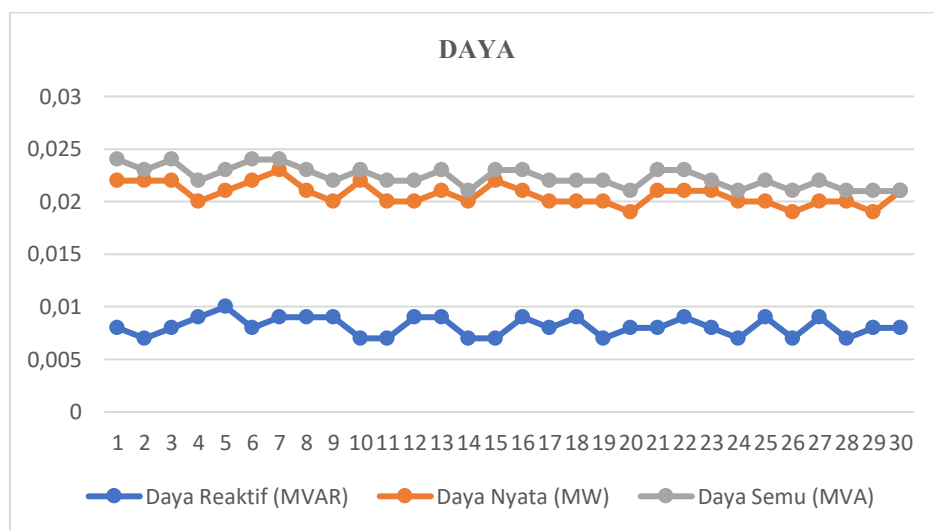
Gambar 9. Grafik Regulasi Tegangan

Grafik regulasi tegangan menunjukkan bahwa perbedaan antara tegangan kirim dan tegangan terima pada saluran transmisi 150 kV GI Surabaya Selatan – GI Kalisari berada pada rentang 0,37% hingga 0,40%. Nilai ini menunjukkan bahwa regulasi tegangan meningkat seiring bertambahnya jarak antar sub-konduktor. Konfigurasi dengan jarak sub-konduktor paling panjang menghasilkan regulasi tegangan yang lebih tinggi, menandakan penurunan efisiensi transmisi.

Table 5. Data perhitungan daya Selama Bulan Januari 2025 di GI SS – GI Kalisari

Hari	Daya Reaktif (MVAR)	Daya Nyata (MW)	Daya Semu (MVA)
1	0,008	0,022	0,024
2	0,007	0,022	0,023
3	0,008	0,022	0,024
4	0,009	0,020	0,022
5	0,010	0,021	0,023
6	0,008	0,022	0,024
7	0,009	0,023	0,024
8	0,009	0,021	0,023
9	0,009	0,020	0,022
10	0,007	0,022	0,023
11	0,007	0,020	0,022
12	0,009	0,020	0,022
13	0,009	0,021	0,023
14	0,007	0,020	0,021
15	0,007	0,022	0,023
16	0,009	0,021	0,023
17	0,008	0,020	0,022
18	0,009	0,020	0,022
19	0,007	0,020	0,022

20	0,008	0,019	0,021
21	0,008	0,021	0,023
22	0,009	0,021	0,023
23	0,008	0,021	0,022
24	0,007	0,020	0,021
25	0,009	0,020	0,022
26	0,007	0,019	0,021
27	0,009	0,020	0,022
28	0,007	0,020	0,021
29	0,008	0,019	0,021
30	0,008	0,021	0,021



Gambar 10. Grafik Daya

Berdasarkan hasil pengolahan data selama 30 hari, grafik menunjukkan bahwa nilai daya nyata (MW) lebih besar dibandingkan daya reaktif (MVAR), sedangkan daya semu (MVA) merupakan gabungan dari keduanya. Rata-rata daya nyata berkisar antara 0,019 hingga 0,023 MW, sedangkan daya reaktif antara 0,007 hingga 0,010 MVAR. Daya semu berada pada kisaran 0,021 hingga 0,024 MVA. Grafik ini mencerminkan kestabilan sistem transmisi, di mana fluktuasi ketiga jenis daya tergolong kecil dan tidak signifikan dari hari ke hari, yang mengindikasikan sistem bekerja dalam kondisi normal dan efisien.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis selama penelitian, disimpulkan bahwa rugi-rugi daya pada saluran transmisi 150 kV GI Surabaya Selatan – GI Kalisari dipengaruhi secara signifikan oleh konfigurasi jarak antar sub-konduktor. Peningkatan jarak antar sub-

konduktor menyebabkan kenaikan rugi-rugi daya dan regulasi tegangan. Hasil perhitungan manual selama 30 hari menunjukkan bahwa konfigurasi dengan jarak optimal mampu mengurangi rugi-rugi daya secara signifikan dibandingkan dengan jarak yang lebih besar. Selain itu, selisih antara tegangan kirim dan tegangan terima mengindikasikan pentingnya regulasi tegangan dalam menjaga efisiensi sistem transmisi.

REFERENSI

- Colin Bayliss and Brian Hardy, "Transmission and Distribution Electrical Engineering Book".
- Turan Gunen, "Electrical Power Transmission System Engineering Book" Pers CRC, 2015.
- "Electrical Engineering Transmission and Distribution Reference book" Exford and IBH Publishing Company.
- A. Nurdin and A. Azis, "Pengaruh Jarak Antar Sub-Konduktor Berkas Reaktansi Induktif Saluran Terhadap Transmisi 150KV Dari Gardu Induk Keramasan Ke Gardu Induk Mariana," vol. 3, no. 2, 2018.
- Dio Alfajri*. "Analisa Pengaruh Kerapatan Udara dan Tegangan Kritis Kawat Penghantar Terhadap Rugi Rugi Daya Corona SUTET 275 kV".
- Fathoni Azis, I Nengah Sumerti, Ngadirin. "Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi EHV (EXTRA HIGH VOLTAGE) Di PT. PLN PERSERO PENYALURAN DAN PUSAT PENGATURAN BEBAN JAWA BALI REGIONAL JAWA TENGAH DAN DIY UNIT PELAYANAN TRANSMISI UNGARAN".
- Sugianto, Ariman, Veriah Hadi, dkk. "Studi Analisa Pengukuran Jarak Kelistrikan Gardu Induk 150kV".
- Bayu Andik Anggoro, Sukarno Budi Utomo, dan Ida Widiastuti³). "Analisa Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi 150 kV GI Pati Bay GI Jekulo".
- M. Dwi Chandra.P "Optimasi efektif dengan menggunakan metode Differential Evolution pada saluran transmisi 150kv".
- M Haikal Ismawan, Dian Budhi Santoso. "Analisa Meningkatnya Rugi-Rugi Daya Akibat Jatuh Tegangan Pada Proses Transmisi 150 KV Maligi-Indoliberty".
- Dena Seffinal , Edy Sumarno. "Analisa *Power Balance* Pada Sistem Jaringan Listrik Di PT. SUKSES MANTAP SEJAHTERA".
- Abdul Azis, Irine Kartika Pebrianti. "Analisis Penyaluran Daya Listrik Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150KV Dari PLTU Bukit Asam Ke Gardu Induk Keramasan Palembang".
- Immanuel A. Tuwaidan, Lily S. Patras, Novi M. Tulung. "Analysis of Transmission Condition on The 150kV Lopana-GIS Teling Transmission Line".
- (M.Toni Prasetyo dan Andika Akhmad). "EFEKTIFITAS PEMAKAIAN REAKTOR *SHUNT* GITET UNGARAN DALAM MENGKOMPENSIR DAYA REAKTIF SUTET 500 KV UNGARAN – BANDUNG SELATAN".

Reza Sarwo Widagdo, I Made Kastiawan, Imam Suri Tauladan. "Analysis of Voltage Regulation and Power Losses on 500 kV Transmission Line Extra High Voltage Main Substation Krian-Grati".

Reza Sarwo Widagdo, Puji Slamet, Indra Budi Hermawan, Juan Pradana Surya. "Analysis of Power Losses and Voltage Regulation on 500 kV Transmission Line: Case in Krian-Ungaran Main Substation".

Sumanto, Iftitah Ruwana, I Nyoman Sudiasa. "Pengaruh Elastisitas dan Kekerasan Terhadap Konduktivitas Listrik Untuk Aluminium Alloy 2024".

Gustinel Dawati, Erhaneli, Sepannur Bandri. "PENGARUH JARAK KONDUKTOR BERKAS TERHADAP RUGI DAYA PADA SUTET 275 KV KILIRAN JAO – PAYAKUMBUH".

Yanto Duha. "ANALISIS RUGI TEGANGAN PADA SISTEM TRANSMISI SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV".

Ir. T.S. Hutauruk, M.Sc. "Transmisi Daya Listrik".