

Analisis Kerugian Energi pada Saluran Udara Transmisi Ekstra Tinggi 500 kv Gandul-Kembangan

Auliya Nabila¹

¹Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia
auliyanabila@poliupg.ac.id

Abstract: *Transmission lines are an important component in the distribution of electrical energy. The distance between power plants and loads depends on the length of the transmission line used. If the transmission line used is longer, the greater energy losses that occur and cause the energy reaching the loads decrease. The analysis of energy losses on the 500 kV extra high voltage transmission system from Gandul to Kembangan substation. The method is to calculate the induced voltage and induced current on the ground wire with transmission lines data using Carson Formula equation to determine the energy losses that occur on the Gandul-Kembangan 500 kV transmission lines. The results show that the energy losses are 831,2485 kW.*

Keywords: *Transmission, Losses, Energy*

Abstrak: Saluran transmisi merupakan komponen penting dalam penyaluran energi listrik. Jarak antara pembangkit ke pusat-pusat beban tergantung dengan panjang saluran transmisi yang digunakan. Semakin panjang saluran transmisi yang digunakan, maka kerugian energi yang terjadi semakin besar dan menyebabkan energi yang sampai ke pusat-pusat beban berkurang. Analisis perhitungan kerugian energi dilakukan pada sistem transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV pada Gardu Induk Gandul ke Gardu Induk Kembangan. Metode yang digunakan adalah melakukan perhitungan terhadap induksi tegangan dan induksi arus pada kawat tanah dengan data saluran transmisi menggunakan persamaan Carson Formula untuk menentukan hasil kerugian energi yang terjadi pada saluran transmisi 500 kV Gandul-Kembangan. Hasil dari analisis kerugian energi diperoleh bahwa kerugian energi sebesar 831,248 kW.

Kata kunci: *Transmisi, Kerugian, Energi*

Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan zaman, kehadiran listrik menjadi suatu kebutuhan bagi masyarakat. Semakin banyak penggunaan listrik di suatu negara, maka akan menunjukkan semakin besar kebutuhan manusia akan listrik. Dengan memanfaatkan energi listrik secara penuh, maka masyarakat dapat dibantu dengan penggunaan sistem kelistrikan yang efektif (Fery Praditama, dkk). Keandalan dari sistem kelistrikan yang dimiliki oleh PLN sangat menentukan tingkat kepuasan masyarakat terhadap pelayanan yang diberikan. Kualitas energi sudah menjadi isu penting di dunia, banyak penelitian dan bahasan yang membahas mengenai kualitas pelayanan dalam ketersediaan energi listrik (Syamsuri, dkk, 2020).

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat, mensyaratkan ketersediaan energi listrik yang efisien dan berkualitas. Efisien dalam arti energi yang dibangkitkan dapat didistribusikan secara maksimal kepada konsumen tanpa kehilangan energi, seperti pada sistem jaringan maupun peralatan listrik (Marsudi Djiten, 2015). Sistem transmisi tenaga listrik pada umumnya memiliki tiga urutan yang penting, yaitu pusat pembangkit, transmisi, dan distribusi untuk dibagikan pusat beban. Pembangkit yang menghasilkan energi listrik disalurkan melalui jaringan transmisi yang meliputi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dan Saluran

Udara Tegangan Tinggi (SUTT) untuk disalurkan ke sistem distribusi. Letak antara pembangkit ke Gardu Induk dan Gardu Induk ke Gardu Induk lainnya memiliki jarak yang jauh, sehingga menyebabkan kerugian energy dan jatuh tegangan. Penggunaan jenis konduktor merupakan salah satu cara untuk menurunkan rugi-rugi listrik dalam proses penyalurannya (O. Handayani, dkk, 2019).

Sistem kelistrikan antar pusat-pusat pembangkit dan pusat-pusat beban pada umumnya terpisah dalam ratusan hingga ribuan kilometer, sehingga energi listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui kawat-kawat saluran transmisi. Proses penyaluran energi listrik memiliki beberapa masalah, diantaranya yaitu terdapat kerugian energi (Sujatmiko H., 2009).

Kerugian energi adalah kebocoran energi atau energi yang hilang di sepanjang jalur penyaluran energi listrik yang disebabkan oleh resistansi yang ada pada bahan pembentuk konduktor. Kondisi ini perlu diperhatikan pada jalur distribusi energi listrik, karena indikator baik atau tidaknya kualitas daya yang diterima pusat-pusat beban dipengaruhi oleh besarnya tegangan jatuh (Syamsuri, dkk, 2020). Kerugian energi yang disebabkan beban reaktif induktif bisa dikurangi dengan arus kapasitif yang diperoleh dengan memasang rangkaian paralel dengan beban efisiensi energi listrik untuk memperbaiki kualitas energi. Kualitas energi yang baik akan memperbaiki jatuh tegangan, faktor daya, rugi-rugi daya, dan kapasitas daya (Kartika, 2017).

Banyak penelitian yang telah dilakukan terkait rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV di gardu induk (Hariyadi, 2017) (Dani, 2021), menganalisis perhitungan rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi (Rifai, 2019), analisis proteksi relay jarak pada saluran transmisi (Asman, dkk, 2018), dan lainnya. Berdasarkan dari hal ini, maka dilakukan perhitungan kerugian energi pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV dari Gardu Induk Gandul ke Gardu Induk Kembangan.

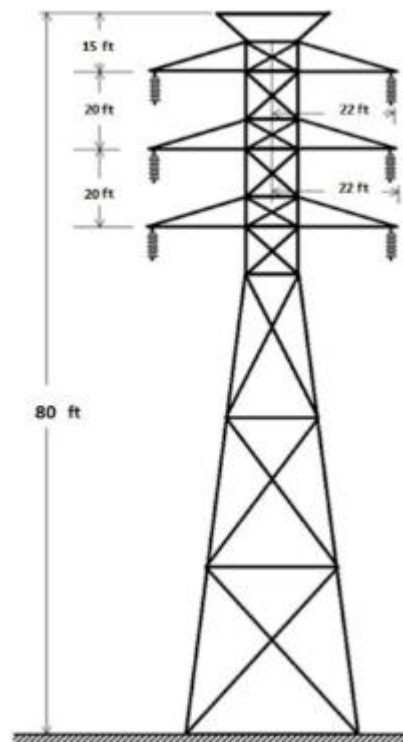
Metode

Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) merupakan saluran utama untuk menyalurkan sistem tenaga listrik Jawa-Bali dengan tegangan 500 kV. Penggunaan saluran transmisi udara dengan tegangan ekstra tinggi diperoleh berbagai keuntungan. Namun dalam penyalurannya menimbulkan adanya induksi medan magnet listrik oleh tegangan.

Energi yang ditransmisikan melalui jaringan SUTET adalah berupa arus listrik melalui konduktor. Di sekitar kawat yang dialiri arus listrik akan timbul medan listrik dan medan magnet. Medan listrik adalah suatu medan yang dapat menimbulkan gaya pada benda-benda magnet bermuatan listrik. Medan magnet adalah medan tertutup yang berpusat pada penghantar yang berarus listrik tersebut.

Adanya medan magnet pada tanah menimbulkan induksi tegangan dan induksi arus pada

kawat tanah melalui tiang. Oleh karena itu, metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan menghitung induksi tegangan dan induksi arus, sehingga dapat diperoleh kerugian energi berdasarkan data yang didapatkan pada SUTET 500 kV Gandul-Kembangan. Dari Gardu Induk Gandul ke Gardu Induk Kembangan memiliki saluran transmisi ganda 500 kV dengan total panjang saluran 30,14 km.



Gambar 1. Konfigurasi Saluran Transmisi Ganda 500 kV

1. Induksi Tegangan

Untuk menghitung induksi tegangan pada saluran ganda dengan kawat tanah ganda, maka diasumsikan bahwa besar arus yang mengalir pada sisi kiri sama dengan besar arus pada sisi kanan saluran dan begitu juga untuk pasangan arus yang lainnya.

$$I_a = I_a'$$

$$I_b = I_b'$$

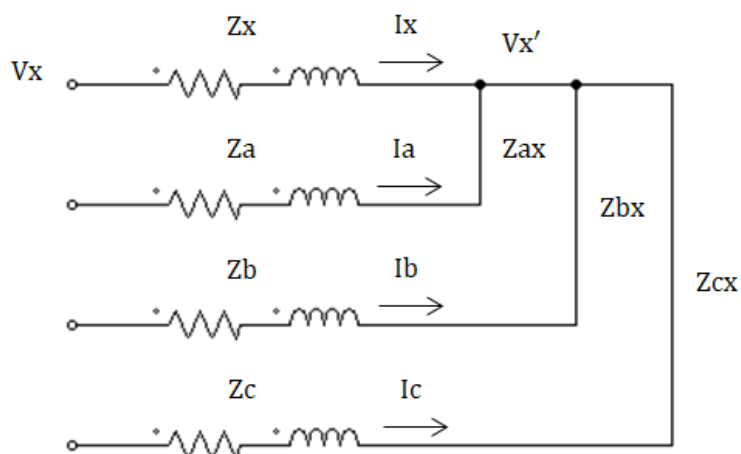
$$I_c = I_c'$$

Dimana:

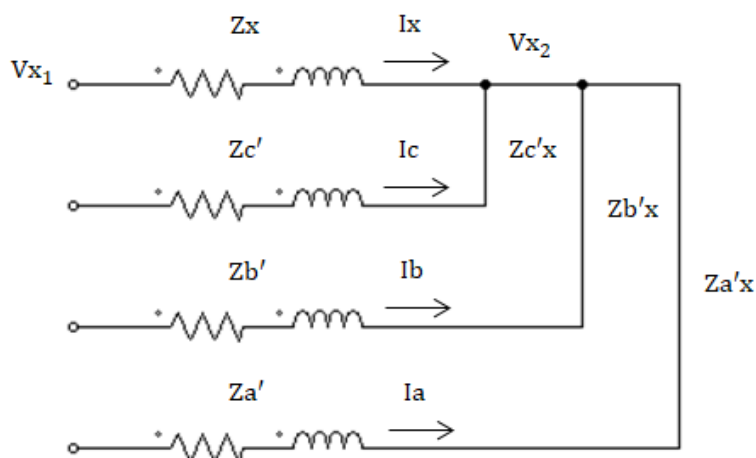
I_a = arus yang mengalir pada penghantar fasa a (Ampere)

I_b = arus yang mengalir pada penghantar fasa b (Ampere)

I_c = arus yang mengalir pada penghantar fasa c (Ampere)



Gambar 2 Rangkaian Tegangan Pada Kawat Tanah (Sirkuit 1)



Gambar 3 Rangkaian Tegangan Pada Kawat Tanah (Sirkuit 2)

Jadi besarnya induksi tegangan pada kawat tanah adalah:

$$V_x = (Z_{ax} + Z_{a'x})I_a + (Z_{bx} + Z_{b'x})I_b + (Z_{cx} + Z_{c'x})I_c \text{ Volt/m} \quad (1)$$

$$V_y = (Z_{ay} + Z_{a'y})I_a + (Z_{by} + Z_{b'y})I_b + (Z_{cy} + Z_{c'y})I_c \text{ Volt/m} \quad (2)$$

Pada saluran ganda dengan kawat tanah, perhitungan impedansi bersama penghantar terhadap kawat tanah dilakukan dengan anggapan bahwa arus fasa terdistribusi secara merata pada penghantar. Untuk mencari impedansi bersama antar penghantar dengan kawat tanah adalah dengan menggunakan Formula Carson, yaitu:

$$Z_{xy} = \left[0,987f + j1,257f \ln \ln \frac{D_e}{D} \right] \times 10^{-6} \text{ Ohm/m} \quad (3)$$

Dimana:

f = frekuensi saluran transmisi (Hz)

D = jarak antara kawat tanah x dan y (meter)

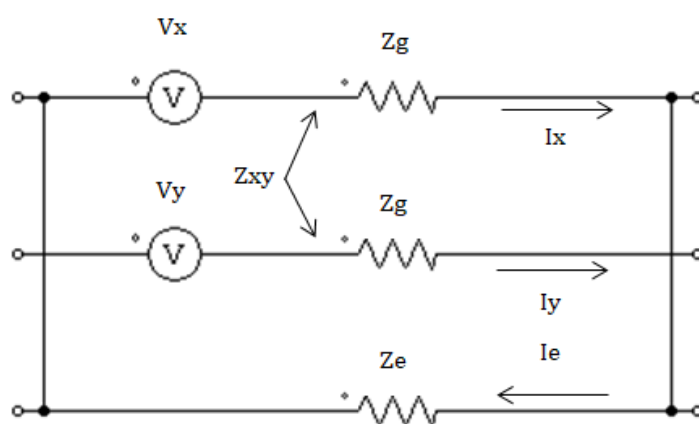
$$De = 655 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ (meter)}$$

Z_e = impedansi ekivalen bumi (Ohm/m)

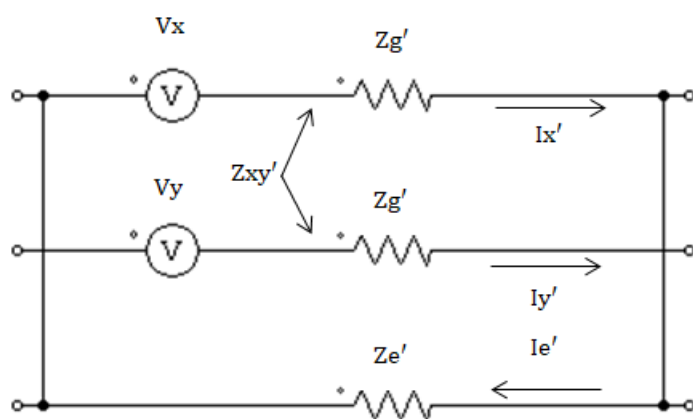
ρ = tahanan jenis tanah (Ohm/m)

2. Induksi Arus

Untuk mengetahui besarnya induksi arus yang mengalir pada kawat tanah, maka digunakan metode konvensional. Pada metode konvensional kawat tanah dikuburkan pada tiap menara. Fungsi utama kawat tanah ini adalah untuk melindungi kawat fasa dari gangguan sambaran kilat.



Gambar 4 Rangkaian Arus Pada Kawat Tanah (Sirkuit 1)



Gambar 5 Rangkaian Arus Pada Kawat Tanah (Sirkuit 2)

Besar arus yang mengalir melalui penghantar kawat tanah x dan y adalah:

$$\begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (Z_e + Z_g) & (Z_e - Z_{xy}) \\ (Z_e - Z_{xy}) & (Z_e + Z_g) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dimana:

Z_e = impedansi ekivalen bumi (Ohm/m)

Z_g = impedansi kawat tanah persatuan panjang (Ohm/m)

Z_{xy} = impedansi bersama antara kawat tanah x dan y (Ohm/m)

3. Kerugian Energi

Kerugian energi pada kawat tanah dua sirkit dalam satuan panjang adalah:

$$P_{total} = P_1 + P_2$$

$$P_{total} = [|I_x|^2 + |I_y|^2] R_g + [|I_x|^2 + |I_y|^2] R_g \text{ kW/km} \quad (5)$$

Hasil dan Pembahasan

Konfigurasi SUTET yang digunakan adalah saluran transmisi ganda 500 kV Gandul-Kembangan dengan data sebagai berikut:

Jenis konduktor	: ACSR – Gannet
Tegangan fasa ke fasa	: 500 kV
Jumlah konduktor berkas	: 4 buah
Tahanan konduktor	: 0,085 Ohm/km
Kapasitas hantar arus	: 2800 Ampere
Panjang saluran	: 30,14 km
Luas penampang kawat tanah	: 56,29 mm ²
Jarak antara kawat tanah x dan y	: 16,4 m
Tahanan kawat tanah	: 2,3 Ohm/mil (Gonen)
Induktansi kawat tanah	: 0,7049 Ohm/mil

1. Induksi Tegangan

Untuk menghitung induksi tegangan, maka perlu dihitung nilai impedansi bersama. Perhitungan impedansi bersama penghantar terhadap kawat tanah dilakukan dengan anggapan bahwa arus fasa terdistribusi secara merata pada kawat penghantar. Impedansi bersama pada penghantar fasa dengan kawat tanah x dan y adalah:

$$\begin{aligned} Z_{ax} &= 0,000271 \text{ Ohm/m} & Z_{a'x} &= 0,000202 \text{ Ohm/m} \\ Z_{ay} &= 0,000243 \text{ Ohm/m} & Z_{a'y} &= 0,000207 \text{ Ohm/m} \\ Z_{bx} &= 0,000231 \text{ Ohm/m} & Z_{b'x} &= 0,000221 \text{ Ohm/m} \\ Z_{by} &= 0,000221 \text{ Ohm/m} & Z_{b'y} &= 0,000231 \text{ Ohm/m} \\ Z_{cx} &= 0,000207 \text{ Ohm/m} & Z_{c'x} &= 0,000243 \text{ Ohm/m} \\ Z_{cy} &= 0,000202 \text{ Ohm/m} & Z_{c'y} &= 0,000271 \text{ Ohm/m} \end{aligned}$$

Besar induksi tegangan pada kawat tanah x dan y berdasarkan persamaan (1) dan (2) dengan kapasitas hantar arus 2800 Ampere adalah:

$$\begin{aligned}
 V_x &= (Z_{ax} + Z_{a'x})I_a + (Z_{bx} + Z_{b'x})I_b + (Z_{cx} + Z_{c'x})I_c \\
 &= (0,000271 + 0,000202)2800 + (0,000231 + 0,000221)2800 + \\
 &\quad (0,000207 + 0,000243)2800 \\
 &= (1,3244) + (1,2656) + (1,26) \\
 &= 3,85 \text{ Volt/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_y &= (Z_{ay} + Z_{a'y})I_a + (Z_{by} + Z_{b'y})I_b + (Z_{cy} + Z_{c'y})I_c \\
 &= (0,000243 + 0,000207)2800 + (0,000221 + 0,000231)2800 + \\
 &\quad (0,000202 + 0,000271)2800 \\
 &= (1,26) + (1,2656) + (1,3244) \\
 &= 3,85 \text{ Volt/m}
 \end{aligned}$$

2. Induksi Arus

Untuk mengetahui besarnya arus yang mengalir pada kawat tanah, maka perlu dicari terlebih dahulu impedansi bersama antara kawat tanah x dan y menggunakan persamaan (3).

$$Z_e = 0,000432 \text{ Ohm/m}$$

$$Z_g = 0,001495 \text{ Ohm/m}$$

$$Z_{xy} = 0,000258 \text{ Ohm/m}$$

Besar arus yang mengalir melalui kawat tanah x dan y seperti persamaan (4) adalah:

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} (Z_e + Z_g) & (Z_e - Z_{xy}) \\ (Z_e - Z_{xy}) & (Z_e + Z_g) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} (0,000432 + 0,001495) & (0,000432 - 0,000258) \\ (0,000432 - 0,000258) & (0,000432 + 0,001495) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 3,85 \\ 3,85 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0,001927 & 0,000174 \\ 0,000174 & 0,001927 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 3,85 \\ 3,85 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 2,1962 \\ 2,1962 \end{bmatrix} \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

3. Kerugian Energi

Kerugian energi total pada kawat tanah dua sirkit dengan tahanan kawat tanah sebesar 1,4295 Ohm/km seperti pada persamaan (5) adalah:

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= P_1 + P_2 \\
 &= [|I_x|^2 + |I_y|^2]R_g + [|I_x|^2 + |I_y|^2]R_g \\
 &= [(2,1962)^2 + (2,1962)^2] 1,4295 + [(2,1962)^2 + (2,1962)^2] 1,4295 \\
 &= 13,78979 + 13,78979 \\
 &= 27,57958 \text{ kW/km}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, maka kerugian energi pada kawat tanah sepanjang saluran transmisi menjadi 27,57958 kW/km x 30,14 km = 831,2485 kW.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kerugian energi di gardu induk Gandul ke gardu induk Kembangan dengan menghitung induksi tegangan dan induksi arus adalah sebesar 831,2485 kW di sepanjang saluran transmisi. Besarnya kerugian energi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain panjang saluran, jenis penghantar (material), dan diameter penampang penghantar.

Referensi

- Praditama, Fery, Utomo, Teguh, Shidiq, M. (n.d.). Analisis Keandalan dan Nilai Ekonomis di Penyulang Pujon PT. PLN (Persero) Area Malang. 1-8
- Marsudi Djiteng. (Nolki Jonal Hontong Maickel Tuegeh, dan Lily S. Patras, 2015). Operasi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Sujatmiko, Hermawan. 2009. Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV di PT. PLN (Persero) Penyaluran & Pusat Pengaturan Beban (P3B) Jawa Bali Regional Jawa Tengah & DIY Unit Pelayanan Transmisi Semarang. Jurnal Teknik Elektro. Universitas Negeri Semarang.
- Syamsuri, C. Paripurna, W. Adipradana, dan Herlina, Seminar Nasional AVoER XII 2020 Palembang, 18-19 November 2020, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- Hariyadi, Shahlan. (2017). Analisis Rugi-Rugi Daya dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV pada Gardu Induk Palur – Masaran. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rifai, Utomo, S.B., Haddin, M. (2019). Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen dengan Menggunakan ETAP 12.6.0. Konferensi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) 2, Semarang.
- O. Handayani, T. Darmana, dan C. Widyastuti. (2019). Analisis Perbandingan Efisiensi Penyaluran Listrik Antara Penghantar ACSR dan ACCC pada Sistem Transmisi 150 kV. Energi & Kelistrikan, 11(1), 37-45.
- Kartika, Irine. (2017). Analisa Rugi-Rugi Daya Diakibatkan Arus Kapasitif. Jurnal Surya Energi, 1(2), 100-111.
- Asman, Hari, Eteruddin, Hamzah, dan Arlenny. (2018). Analisis Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Transmisi 150 kV Garuda Sakti – Pasir Putih Menggunakan PSCAD. SainETIn. 2(1), 27-36.
- Dani, Ahmad. (2021). Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi 150 kV Pada Gardu Induk KIM. Jurnal Indonesia Sosial Teknologi, 2(11).