

PENGARUH JARAK KONDUKTOR BERKAS TERHADAP RUGI DAYA PADA SUTET 275 KV KILIRAN JAO - PAYAKUMBUH

GUSTINEL DAWATI¹, ERHANELI², SEPANNUR BANDRI³, ARFITA YUANA DEWI⁴
ZULKARNAINI⁵

Teknik, Institut Teknologi Padang

2021310063.gustinel@itp.ac.id, erhanelimarzuki@gmail.com, sepannurb@yahoo.com,
arfitarachman.itp@gmail.com, ulkarnainieva@gmail.com

Abstract: The goal of the research on the effect of beam conductor distance on power losses on the 275 kV Kiliran Jao to Payakumbuh SUTET's 126.4 km long line is to determine the inductive reactance value based on power losses on inductive resistance and reactance rather than distance. The inductive reactance value is not based on the beam conductor distance of $X_L = 0,3111$ km with a total inductive reactance value of $X_{total} = 39,323 \Omega/\text{km}$, according to the findings of the calculations performed. Based on the beam conductor distances of $XR = 0.238$ km on distance (s) = 0.06m, $X_L = 0,3111 \Omega/\text{km}$ on phase distance (s) = 0.26m (distance at system), and $X_L = 0,2931 \Omega/\text{km}$ on distance (s) = 0.46m, the inductance reactance value is calculated. In the meantime, inductive reactance has a value of 34,8 MW in power loss, resistance has a value of 122 MW in power losses and capacitive reactance has a value 31,5MW in power loss. According to the calculation's findings, large currents and resistance can affect the amount of power lost in resistance, whereas the radius of the conductor wire, the spacing between conductors, and the number of layers of conductor wire can affect the amount of power lost in inductive reactance.

Keywords : Conducting wire, Inductive reactance value, Power losses.

Abstrak: Penelitian tentang Pengaruh Jarak Konduktor Berkas Terhadap Rugi Daya pada SUTET 275 kV Kiliran Jao ke Payakumbuh dengan panjang saluran 126,4 km bertujuan menghitung nilai reaktansi induktif tidak berdasarkan jarak, berdasarkan jarak konduktor berkas dan rugi-rugi daya pada resistansi serta reaktansi induktif. Berdasarkan hasil perhitungan yang di lakukan nilai reaktansi induktif tidak berdasarkan jarak konduktor berkas sebesar $X_L = 0,3111 \Omega/\text{km}$ dengan nilai reaktansi induktif total bernilai $X_{total} = 39,323 \Omega/\text{km}$. Nilai reaktansi induktansi berdasarkan jarak konduktor berkas sebesar $X_L = 0,3571 \Omega/\text{km}$ pada jarak (s) = 0.06m yaitu jarak minimum, $X_L = 0,3111 \Omega/\text{km}$ pada jarak (s) = 0.26m (jarak pada sistem), dan $X_L = 0,2931 \Omega/\text{km}$ pada jarak (s) = 0.46m yaitu jarak maksimum. Sedangkan nilai rugi-rugi daya pada resistansi 122 MW dan pada reaktansi induktif bernilai 34,8 MW serta reaktansi kapasitif bernilai 31,5MW. Dari hasil perhitungan disimpulkan bahwa parameter yang dapat mempengaruhi besar nilai rugi-rugi daya pada resistansi yaitu arus dan tahanan yang besar sedangkan rugi-rugi daya pada reaktansi induktif di pengaruhi oleh radius kawat penghantar, jarak antar penghantar, dan jumlah lapisan kawat penghantar.

Kata Kunci : Kawat penghantar, Nilai reaktansi induktif, Rugi-rugi daya.

A. Pendahuluan

Konsumsi listrik semakin meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan pesatnya perkembangan zaman dan perkembangan teknologi, ekonomi, dan industri yang mengiringi pertumbuhan penduduk. Dengan pendekatan terhadap era digital, semua bidang kehidupan diarahkan untuk mempersiapkan era teknologi dan industri. Semua kegiatan industri dapat berjalan dengan baik apabila energi listrik tersedia dengan baik. Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat, PT. PLN (Persero) sebagai pemasok tenaga listrik memegang peranan penting dalam menjaga kuantitas, kualitas dan ketersediaan layanan listrik. (Dewi, 2020). Hal ini menyebabkan dibangunnya pembangkit listrik dari berbagai sumber energi, baik konvensional, baru maupun terbarukan (Wardana, 2022).

Penyaluran energi listrik ke konsumen dimulai dari unit pembangkit yang terhubung ke saluran transmisi dan distribusi dan berakhir di konsumen (Anggoro et al., 2020). Konstruksi transmisi meliputi dua jenis saluran udara dan kabel, seperti saluran udara tegangan tinggi

(SUTT) (Rifal et al., 2020), saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) (Tamam et al., 2017) dan kabel tanah tegangan tinggi (SKTT). Karena tanah tidak selalu datar dan terkadang jalur transmisi harus melintasi bukit, jalur udara lebih banyak digunakan dari pada jalur bawah tanah. (Nawir et al., 2019). SUTET 275 kV Kiliran Jao-Payakumbuh merupakan saluran transmisi listrik yang dibangun untuk memberikan daya yang sangat tinggi di wilayah Sumatera pada umumnya dan Sumatera Barat pada khususnya. Menggunakan tegangan yang sangat tinggi ini dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi penurunan tegangan, tetapi menyebabkan korona (Zaki & Dewi, 2022).

Menaikkan tegangan pada saluran transmisi listrik mengurangi rugi-rugi daya, tetapi meningkatkan tegangan transmisi menyebabkan terjadinya korona pada saluran transmisi (ELGANAI, 2019). Korona ini dapat menyebabkan hilangnya daya (Dani, 2021), (Chairani, 2022) dan gangguan komunikasi radio (Nababan, 2014). Salah satu cara untuk mengurangi efek korona adalah dengan menggunakan konduktor bundel pada saluran transmisi. Selain untuk mengurangi efek korona, penghantar sinar juga ini juga mengurangi reaktansi induktif saluran, yang mengurangi reaktansi Disebabkan oleh peningkatan GMR dari berkas. Dalam penyaluran daya listrik akan terjadi reaktansi dalam sebuah saluran transmisi dan rugi-rugi daya penyaluran yang besarnya sebanding dengan panjang saluran (Nurdin & Azis, 2018), (Cahyadi et al., 2022) dan (Dalila, 2022).

Penelitian ini dilakukan pada SUTET 275 kV dari GI Kiliran Jao ke Payakumbuh yang memiliki panjang saluran 126,4 km dengan dua saluran, khusus saluran Kiliran Jao yang memiliki dua saluran (kanan dan kiri). Pada penelitian ini akan dikaji dampaknya Jarak reaktansi induktif antara berkas subkonduktor dan saluran transmisi di SUTET 275 kV GI Kiliran Jao ke Payakumbuh, Kajian ini penulis tuangkan dalam penulisan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Jarak Konduktor Berkas Terhadap Rugi Daya Pada SUTET 275 kV Kiliran Jao - Payakumbuh”.

Penelitian ini bertujuan menghitung nilai reaktansi induktif saluran transmisi pada SUTET 275 kV GITET Kiliran Jao ke GITET Payakumbuh, mengetahui nilai reaktansi induktif berdasarkan jarak konduktor berkas pada SUTET 275 kV GITET Kiliran Jao ke GITET Payakumbuh dan mengetahui rugi-rugi daya yang di sebabkan oleh resistansi dan reaktansi induktif serta reaktansi kapasitif pada SUTET 275 kV GITET Kiliran Jao ke GITET Payakumbuh.

Saluran yang termasuk ke dalam bagian sistem tenaga listrik yang dapat menghubungkan sub-sistem pembangkit dengan sub-sistem distribusi dari *outgoing* gardu induk (penaik tegangan) dan *incoming* gardu induk (penurunan tegangan) disebut dengan saluran transmisi. Saluran transmisi terdiri dari 2 jenis saluran yaitu saluran udara (*over ground*) serta saluran tanah (*underground*). Dalam proses menyalurkan energi listrik, saluran udara dengan konduktor berkas yang digantung di tiang menara dengan insulator sedangkan bawah tanah menggunakan kabel (penghantar yang berisolasi). Saluran transmisi udara lebih banyak dijumpai masalah seperti mudah disambar petir, layang-layang anak-anak tersangkut, pohon, bencana (longsor jika menara di bukit) dan tidak memberi kesan keindahan. Sedangkan untuk saluran bawah tanah, bebas dari sambaran petir, berbagai kondisi cuaca, hewan, dan sebagainya tetapi biaya operasionalnya mahal bisa 2 kali lipat bahkan lebih dari biaya operasional saluran udara. Ada juga saluran transmisi bawah laut (*submarine*) contohnya dari Jawa – Madura dan Jawa – Bali.

Saluran transmisi terdiri dari 2 jenis berdasarkan klasifikasi kapasitas tegangan yang ditetapkan sebagai berikut: 1) Tegangan ekstra tinggi (EHV) terdiri dari SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) dengan berkapasitas 500 kV dan 275 kV; dan 2) Tegangan tinggi (HV), yang terdiri dari 2 jenis yaitu saluran udara dan saluran bawah tanah dengan kapasitas 150 kV dan 70 kV.

Untuk tegangan ultra tinggi (UHV berkisar ≥ 1000 kV) belum dikembangkan di Indonesia dengan patokan dari biaya untuk peningkatan tegangan dari 500 kV ke 1000 kV biayanya begitu besar. Sedangkan tegangan menengah (MHV) terdiri dari jaringan distribusi primer (20 kV) dan tegangan rendah (LV) terdiri dari jaringan distribusi sekunder (380/220

V). Saluran transmisi memiliki beberapa kriteria panjang saluran yaitu < 80 km (saluran pendek), $80 - 240$ km (saluran sedang), dan > 240 km (saluran panjang).

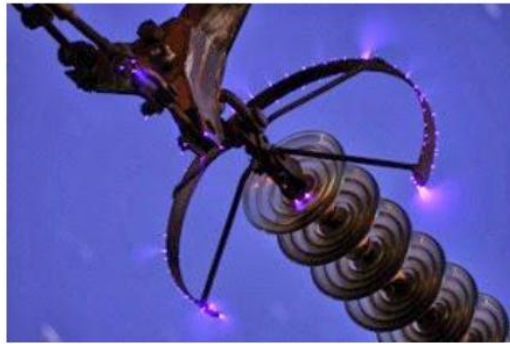


Gambar 1. SUTET 275 kV pada GITET

Untuk saluran transmisi dalam perhitungan atau dalam analisa menggunakan diagram pengganti, Diagram pengganti terbagi dalam tiga kelas yaitu:

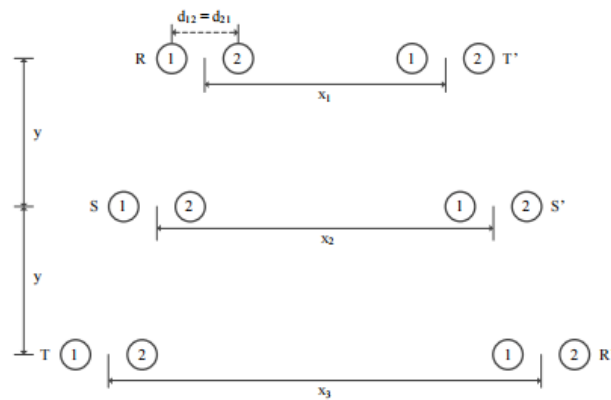
- a) Saluran Transmisi Pendek. Saluran transmisi pendek didefinisikan sebagai saluran transmisi panjangnya kurang dari 80 kilometer. Dalam model ini, kapasitansi ke pentanahan sangat kecil, sehingga arus bocor ke pentanahan lebih kecil dibandingkan dengan arus beban, sehingga dalam hal ini, kapasitansi ke ground dapat diabaikan.
- b) Saluran Transmisi menengah. Saluran transmisi menengah didefinisikan saluran yang memiliki Panjangnya dari 80 km hingga 250 km. Dalam model ini menyalurkan kapasitansi besar ke tanah tidak bisa diabaikan. Admitansi shunt dari semua saluran dipusatkan pada cabang shunt, dan terbagi menjadi dua mode pada saluran transmisi menengah.
- c) Saluran Transmisi Panjang. Saluran transmisi yang lebih panjang dari 250 km termasuk saluran transmisi panjang, besarnya kapasitansi dan konduktansi paralel kecil, dan arus bocornya besar. Jadi dalam saluran panjang ini, semua parameter R, L, C dan G dihitung sebagai distribusi sepanjang saluran. Saluran transmisi terdiri beberapa komponen-komponen yaitu tower, penghantar, isolator, kawat tanah dan pentanahan.

Peristiwa korona adalah pelepasan muatan listrik disebabkan adanya tekanan medan listrik yang sebagian menimbulkan sinar warna ungu seperti pekerja las yang sedang mengelas besi, hal itu dapat di tandai terjadinya peristiwa ionisasi (molekul yang bertabrakan) di sekitar konduktor disaat gradien tegangan permukaan konduktor nilainya besar dari nilai kuat medan listrik. Peristiwa korona ini, berdampak munculnya suara bising dan berbau ozon. Korona ini semakin jelas terlihat di permukaan yang runcing, kasar dan kotor. Efek yang disebabkan oleh pelepasan muatan, akan mempengaruhi operasi saluran transmisi, investasi dan biaya operasi tahunan saluran transmisi (Lu et al., 2011). Kehadiran muatan bebas mengubah medan listrik di sekitar saluran yang menghasilkan gradien permukaan konduktor serta menyebabkan arus konduksi antara konduktor kutub yang berbeda, antar konduktor dan tanah (Corbellini & Pelacchi, 1996). Adapun beberapa faktor yang menyebabkan gejala korona muncul sebagai berikut: 1) Kondisi cuaca (atmosfer); 2) Jarak konduktor antar fasa; 3) Kondisi permukaan konduktor; 4) Diameter konduktor; dan 5) Tegangan system



Gambar 2. Korona pada isolator saluran transmisi 275 kV
Akibat yang ditimbulkan karena adanya korona sebagai berikut (Masarrang et al., 2019).

1. Rugi-rugi Daya. Ion dan elektron bergerak jika diberikan percepatan energi kinetik. Energi kinetik diperoleh dari sistem dimana energi tersebut merupakan energi hilang. Energi tersebut terdisipasi sebagai panas, suara dan cahaya itulah yang dikenalkan dengan rugi-rugi korona.
 2. Rugi-rugi tegangan. Rugi tegangan (*drop* tegangan) merupakan besar penurunan nilai tegangan yang terjadi pada konduktor yang tidak sesuai dengan tegangan normal (nominal). Ada beberapa faktor yang menyebabkan *drop* tegangan yaitu panjang kabel penghantar, besar arus, tahanan jenis (ρ) dan luas penampang penghantar.
 3. Gangguan suara bising (berisik). Gangguan berisik merupakan bunyi yang dihasilkan oleh korona yang terjadi pada SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi). Gangguan tersebut semakin besar terjadi disaat hujan dimana korona semakin besar disebabkan butiran air hujan berkumpul di penghantar.
 4. Radio Interference. Gangguan sunyal radio merupakan gangguan yang timbul disebabkan oleh adanya induksi medan elektromagnetik dan medan elektrostatik yang terjadi pada penghantar. Hal itu dapat menyebabkan sinyal radio terganggu.
 5. Peredaman surja tegangan lebih. Korona dapat memberikan dampak positif terhadap SUTET jika terjadi surja petir menyambar penghantar SUTET dengan melakukan peredaman injeksi surja sehingga mencegah terjadinya *Over Voltage* terjadi.
 6. Televisi interference. Sinyal televisi terganggu (sekitar transmisi) dari gangguan yang terjadi di sekitar transmisi dikarenakan 3 hal yaitu pelepasan korona pada permukaan konduktor, pelepasan kontak yang kurang baik dan pelepasan ada permukaan isolator
 7. Kerusakan peralatan. Korona dapat menimbulkan gas ozon (O_3), jika itu terjadi dalam cukup lama gas ozon (O_3) tersebut akan mengikat atom hydrogen dan membentuk senyawa nitrat sehingga bisa menyebabkan kerusakan pada penghantar atau konduktor seperti korosif ditambah dalam kondisi cuaca hujan (buruk).
- GMR* dari konduktor berkas di mana sub konduktor mempunyai jarak-jarak yang sama dan terletak pada suatu lingkaran dengan radius R , dapat diturunkan sebagai berikut



Gambar 3. Saluran Ganda Konduktor Berkas Dengan Dua Sub Konduktor

Berdasarkan gambar 2.30, maka nilai GMR dari konduktor sub-konduktor berkas dapat ditentukan dengan jumlah sub konduktor 2, jadi $n = 2$, yaitu:

$$r_1' = r \epsilon^{-1/4} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

r_1' = GMR dari sub-konduktor berkas (m)

r = jari-jari dari konduktor berkas (m)

$$\epsilon^{-1/4} = 0,7788$$

$$R = \frac{S}{2}$$

Dimana:

S/d = jari-jari dari konduktor berkas

$n = 2$ (jumlah sub konduktor berkas)

kemudian dapat ditentukan GMR dari konduktor berkas, jika $d_{12} = d_{21}$, maka

$$GMR_{fasa} = R \sqrt[2]{2 \frac{r_1'}{R}} \dots\dots\dots(2)$$

)

Sehingga GMR dari konduktor berkas per fasa adalah :

$$GMR = \sqrt[3]{GMR_1 \cdot GMR_2 \cdot GMR_3}$$

GMD (Geometric Mean Distance) merupakan jarak rata-rata geometris dari ketiga jarak penghantar. Untuk mendapatkan nilai *GMD*, maka terlebih dahulu harus menentukan *GMD* tiap kelompok fasa (R-S, S-T, T-R) untuk mendapatkan *GMD* dari konduktor berkas per fasa. Maka *GMD* dari konduktor berkas per fasa adalah:

$$GMD = \sqrt[3]{GMD_{RS} \cdot GMD_{ST} \cdot GMD_{RT}}$$

Tahanan dari suatu kawat penghantar yang terdapat di sepanjang Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dapat dihitung besar nilainya dengan persamaan sebagai berikut. (T

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

ρ = Resistivitas (Ω -m)

l = Panjang kawat (m)

A = Luas penampang kawat (m^2)

Nilai induktansi (L) setiap fasa saluran transmisi loop ganda dengan dua konduktor berkas dapat ditentukan (Hutaaruk, 1996)

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{GMR}{GMD} \text{ H/m/konduktor} \dots\dots\dots(4)$$

Nilai reaktansi induktif per fase dapat ditentukan (Hutaaruk, 1996):

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi f \cdot L \text{ } \Omega/\text{m/konduktor} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (4) kedalam persamaan (5), maka nilai reaktansi induktif per fase untuk konduktor berkas menjadi (Hutaaruk, 1996):

$$X_L = 0,14467 \log \frac{GMR}{GMD} \Omega/\text{km/konduktor} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

L = Induktansi (H/m/konduktor)

X_L = Reaktansi Induktif ($\Omega/\text{m/konduktor}$)

ω = frekuensi sudut ($2\pi f$)

GMR = Radius Rata-rata Geometri

GMD = Jarak Rata-rata Geometri

Nilai kapasitansi (C) per fase saluran transmisi sirkit ganda dengan dua konduktor berkas dapat ditentukan (Hutaaruk, 1996):

$$C = \frac{2\pi k}{\ln \frac{GMD}{GMR}} \text{ Farad/m/konduktor} \dots\dots\dots(7)$$

Nilai reaktansi kapasitif per fase dapat ditentukan:

$$X_C = - \frac{1}{\omega.C} = - \frac{1}{2\pi f.C} \Omega/\text{m/konduktor} \dots\dots\dots(8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.9) kedalam persamaan (2.10), maka nilai reaktansi kapasitif per fase untuk konduktor berkas menjadi (Hutaaruk, 1996):

$$X_C = -0,1317 \log \frac{GMD}{GMR} \text{ M}\Omega/\text{km/konduktor} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana: C = Kapasitansi (*Farad*/m/konduktor)

X_C = Reaktansi Kapasitif ($\text{M}\Omega/\text{km/konduktor}$)

Resistansi dan induktansi itu secara seragam tersebar sepanjang saluran dalam bentuk impedansi seri (series impedance). Nilai impedansi pada saluran transmisi dapat ditentukan (Hutaaruk,1996):

$$Z = z l = (R+jX_L) l \dots\dots\dots(10)$$

Dimana: Z = impedansi dari saluran transmisi (Ω/km)

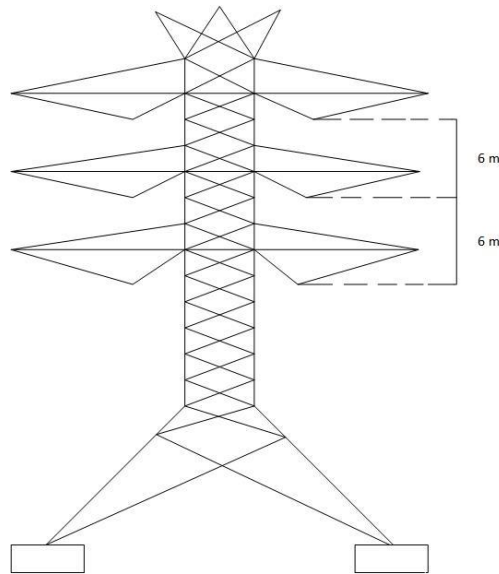
R = resistansi saluran transmisi (Ω/km)

X_L = reaktansi induktif saluran transmisi (Ω/km)

l = panjang saluran transmisi (Ω/km)

B. Metodologi Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini dilakukan secara kualitatif yaitu metode yang dilakukan berdasarkan landasan teori dan deskriptif. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai rugi-rugi daya, reaktansi induktif pada SUTET 275kV GI Kiliran Jao ke GI Payakumbuh. Tempat yang dipilih sebagai lokasi penelitian tugas akhir dilakukan di sepanjang SUTET 275 kV dari GI Kiliran Jao ke GI Payakumbuh yang ada di Kabupaten Sijunjung. Penelitian dilakukan dalam waktu 6 bulan mulai dari sesudah seminar proposal bulan juni sampai bulan agustus (seminar hasil). Proses penelitian akan dilakukan sesuai dengan peraturan pedoman tugas akhir dengan secara bertahap mulai dari pengajuan proposal, seminar proposal, penelitian, bimbingan dengan dosen pembimbing dan seminar hasil. Data yang diperlukan dalam penyelesaian penelittian ini, untuk melakukan perhitungan-perhitungan dengan persamaan Peterson dan Peek sebagai berikut: 1) Data teknis SUTET 275 kV GI Kiliran jao ke GI Payakumbuh; dan 2) Data Beban Harian SUTET 275kV GI Kliranjao ke GI Payakumbuh. Penelitian ini menggunakan metode analisis data statistik. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan studi literatur tentang korona, rugi-rugi daya, serta reaktansi induktif dan selanjutnya melakukan pengumpulan data. Pengumpulan data meliputi data primer dan sekunder. Data primer yaitu mengambil data yang sesuai dengan data di lapangan, untuk data sekunder didapatkan dari studi literatur baik berupa buku, jurnal-jurnal, dan sumber lainnya.



Gambar 7. Jarak antar *phasa* SUTET 275 kV Kiliran Jao – Payakumbuh

Gambar 7 merupakan bentuk 2 dimensi SUTET 275 kV Payakumbuh – Kiliran Jao dimana saluran tersebut terdiri dari 2 jalur Kiliran Jao 1 dan Kiliran Jao 2. Kiliran Jao 1 terdiri dari 2 saluran yaitu saluran sebelah kanan dan kiri dimana setiap *phasa double* dihubungkan dengan *spacer*. Begitu juga pada Kiliranjao 2 sama seperti pada kiliranjao 1.

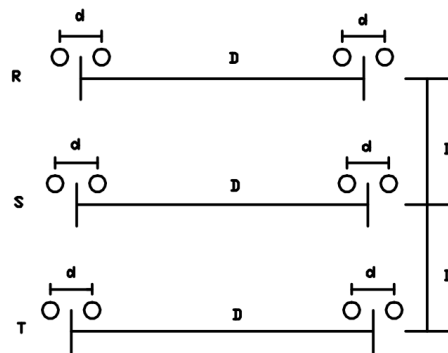
Data teknis SUTET 275 kV GI Kiliran Jao ke GI Payakumbuh diperoleh dari PT. PLN (Persero) UIP3BS UPT Padang ULTG yang sesuai dengan data penelitian yang dilakukan ke lokasi penelitian di GITET 275 kV Kiliran Jao.

Tabel 2. Data teknis SUTET 275 kV GI Kiliran Jao – GI Payakumbuh (PLN, 2023)

No.	Jenis Data Teknis	Keterangan
	Konstruksi menara	
1	Tipe menara	Saluran Ganda
2	Panjang <i>bottom cross arm</i> (x_1)	14,3 m
3	Panjang <i>middle cross arm</i> (x_2)	13,8 m
4	Panjang <i>upper cross arm</i> (x_3)	13,4 m
5	Ketinggian <i>bottom cross arm</i>	28,0 m
6	Jarak antar <i>cross arm</i> (y)	6,00 m
7	Jenis menara	<i>Latice</i>
	Isolator	
8	Panjang rantai isolator	3,95 m
9	Andongan (D_{max})	9,50 m
	Kawat Penghantar	
10	Tipe	<i>Twin Zebra</i> , (ACSR 435/55 mm ²)
11	Diameter	28,8 mm = 2,88 cm
12	Jarak antar berkas (s/d_{12})	26,0 cm = 0,26 m
13	Susunan	Dua berkas
14	Luas penampang nominal	430 mm ²
15	KHA	900 A
16	Jari-jari konduktor (r)	14,4 mm = 0,0144 m
17	Banyak urat aluminium	54 urat
18	Banyak urat steel	7 urat
	Data Transmisi	
19	Panjang Saluran	126,4 km
20	Cos Phi	0.95Ω

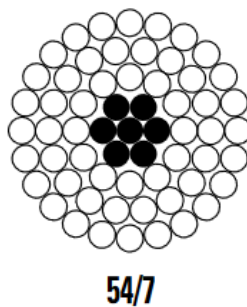
21	Daya	56,9 MW
22	Impedansi	26,641
23	Tegangan yang dikirim	277,0 kV
24	Tegangan yang diterima	277,5 kV

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membahas kasus rugi-rugi daya yang terjadi di SUTET 275 kV terhadap jumlah konduktor berkas yang di analisis dengan perhitungan menggunakan persamaan yang ada di BAB 2. Kawat penghantar yang digunakan berupa ACSR (*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*) 54/7 mm² (berintikan tembaga) dengan jumlah urat aluminium 54 dan urat steel 7 urat. Untuk konstruksi tower atau menara transmisi berjenis piramida dengan panjang sisi *upper*, *middle*, dan *bottom* tidak sama panjang dengan jumlah konduktor berkas setiap fasa berjumlah 2. Untuk jarak antar konduktor berkas dan antar fasa dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



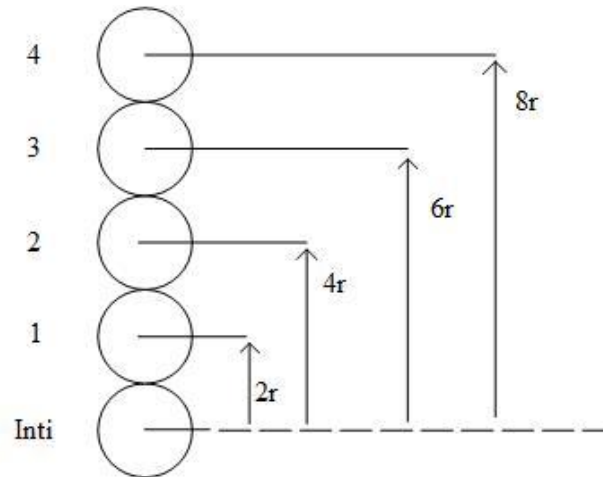
Gambar 8. Jarak konduktor berkas

Gambar di atas menjelaskan tentang jarak antar konduktor tiap fasa, jumlah konduktor berkas dan jarak antar fasa baik secara vertikal maupun secara horizontal. Dari gambar di atas di jelaskan d = jarak antar konduktor berkas, D = jarak antar konduktor secara vertikal dan horizontal. Untuk nilai dapat dilihat pada tabel 4.1 yang dapat digunakan dalam proses perhitungan analisis dan pembahasan. Lapisan konduktor ACSR dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 9. Lapisan kawat penghantar ACSR SUTET 275 kV

Dengan keterangan atau uraian dari gambar di atas dapat dijelaskan dengan gambar dibawah ini untuk menjelaskan lapisan-lapisan yang ada pada kawat konduktor. Mulai dari lapisan awal sampai lapisan akhir dengan patokan dari jumlah inti kawat.



Gambar 10. Lapisan konduktor ACSR

Lapisan konduktor ACSR terdiri dari inti dan 4 lapisan dimana inti dan lapisan 1 merupakan *steel*. Lapisan 2, 3 dan 4 merupakan aluminium. Untuk menentukan jumlahnya r bernilai 3.

Inti = 1 (*steel*)

Lapisan 1 = $2r$
 = $2(3)$
 = 6 (*steel*)

Lapisan 2 = $4r$
 = $4(3)$
 = 12 (aluminium)

Lapisan 3 = $6r$
 = $6(3)$
 = 18 (aluminium)

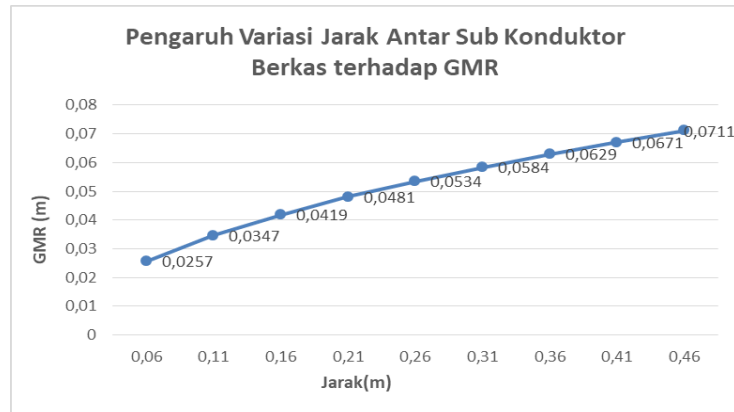
Lapisan 4 = $8r$
 = $8(3)$
 = 24 (aluminium)

$$\text{Dengan susunan} = \frac{1 + 6}{\text{Steel}} + \frac{12 + 18 + 24}{\text{Aluminium}} = 61 \text{ elemen}$$

Selanjutnya merupakan hasil perhitungan GMR dan GMD dengan variasi jarak konduktor berkas sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan *GMR* dan *GMD* dengan variasi jarak konduktor berkas

Jarak (m)	GMR	GMD
0,06	0,0257	7,5595
0,11	0,0347	7,5595
0,16	0,0419	7,5595
0,21	0,0481	7,5595
0,26	0,0534	7,5595
0,31	0,0584	7,5595
0,36	0,0629	7,5595
0,41	0,0671	7,5595
0,46	0,0711	7,5595



Gambar 11. Grafik Pengaruh Variasi Jarak Terhadap Nilai *GMR*

Menurut tabel 3, diketahui bahwa perubahan jarak antar sub-konduktor memiliki pengaruh terhadap perubahan nilai *GMR* dan pada *GMD* tidak berpengaruh. Pada gambar 4.7 saat jarak antar sub konduktor dinaikkan maka akan terjadi kenaikan nilai *GMR*. Berdasarkan hasil perhitungan *GMR* dengan variasi jarak antar sub-konduktor sebagai perbandingan, pada jarak terdekat 0.06m yaitu sebesar 0,0257m, pada jarak 0,26m (jarak pada sistem) sebesar 0,0534m, dan pada jarak terjauh 0,46 memiliki nilai sebesar 0,0711. Hasil perhitungan *GMR* dan *GMD* digunakan dalam perhitungan reaktansi Induktif dan reaktansi kapasitif per fasa sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Reaktansi Induktif dan Reaktansi Kapasitif per Fasa

Jarak (m)	X_L (Ω /km/fasa)	X_C (M Ω /km/fasa)
0,06	0,3571	0,3251
0,11	0,3386	0,3079
0,16	0,3264	0,2971
0,21	0,3177	0,2892
0,26	0,3111	0,2832
0,31	0,3198	0,2781
0,36	0,3008	0,2739
0,41	0,2968	0,2702
0,46	0,2931	0,2669



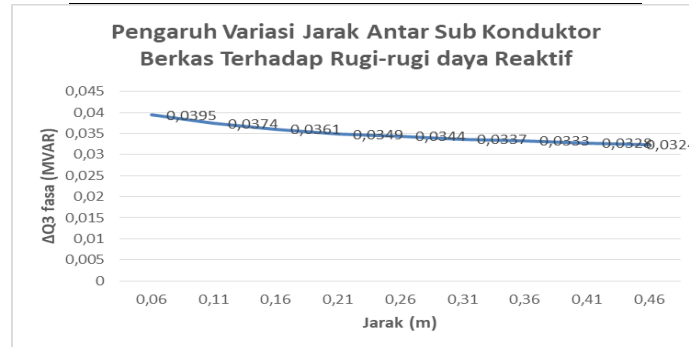
Gambar 12. Grafik Pengaruh Variasi Jarak Terhadap Reaktansi Induktif (X_L)

Pada tabel 4 di atas dapat dilihat hasil perhitungan nilai Reaktansi Induktif (X_L) dengan perubahan jarak antar konduktor berkas yang semakin besar serta *GMR* (*Geometric Mean Radius*). Pada gambar 4.8 saat jarak antar sub konduktor dinaikkan maka akan terjadi kenaikan nilai Reaktansi Induktif (X_L). Berdasarkan hasil perhitungan X_L dengan variasi jarak antar sub-konduktor sebagai perbandingan, pada jarak terdekat 0.06m yaitu sebesar 0,3571(Ω /km/fasa), pada jarak 0,26m (jarak pada sistem) sebesar 0,3111 (Ω /km/fasa), dan pada jarak terjauh 0,46 memiliki nilai sebesar 0,2931(Ω /km/fasa). Hasil perhitungan reaktansi induktif dapat digunakan dalam perhitungan rugi-rugi daya reaktif dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Rugi-rugi Daya Reaktif

Jarak (m)	X_L (Ω /km/fasa)	$\Delta Q_{3 \text{ fasa}}$ (MVAR)
0,06	0,3571	0,0395
0,11	0,3386	0,0374

0,16	0,3264	0,0361
0,21	0,3177	0,0349
0,26	0,3111	0,0344
0,31	0,3055	0,0337
0,36	0,3008	0,0333
0,41	0,2968	0,0328
0,46	0,2931	0,0324

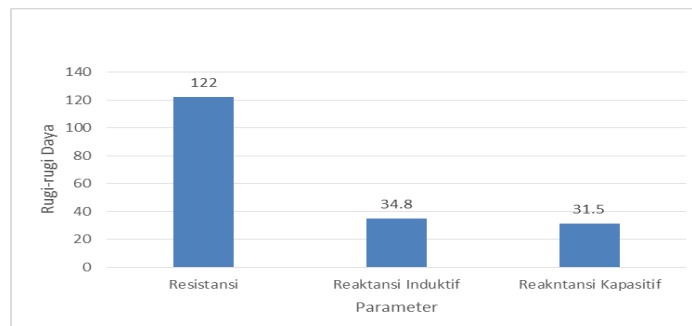


Gambar 13. Grafik Pengaruh Variasi Jarak Antar Sub Konduktor Berkas Terhadap Rugi-rugi Daya Reaktif

Pada tabel 4 di atas dapat dilihat hasil perhitungan nilai rugi-rugi daya reaktif ($\Delta Q_{3 \text{ fasa}}$) dengan perubahan jarak anatar konduktor berkas yang semakin besar serta X_L (reaktansi induktif). Pada gambar 4.8 saat jarak antar sub konduktor dinaikkan maka akan terjadi kenaikan nilai rugi-rugi daya reaktif ($\Delta Q_{3 \text{ fasa}}$). Berdasarkan hasil perhitungan ($\Delta Q_{3 \text{ fasa}}$) dengan variasi jarak antar sub-konduktor sebagai perbandingan, pada jarak terdekat 0,06m yaitu sebesar 0,0395MVAR, pada jarak 0,26m (jarak pada sistem) sebesar 0,0344MVAR, dan pada jarak terjauh 0,46 memiliki nilai sebesar 0,0324MVAR.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Rugi-rugi Daya Reaktif Tanpa berdasarkan jarak

No	Parameter	Rugi-rugi Daya
1	Resistansi	122 MW
2	Reaktansi Induktif	34,8 MW
3	Reaktansi Kapasitif	31,5 MW



Gambar 14. Grafik Rugi-rugi Daya pada SUTET 275 kV Kiliran Jao ke Payakumbuh

Besar rugi-rugi daya pada resistansi di sebabkan oleh besarnya nilai tahanan pada saluran sehingga mengakibatkan rugi-rugi daya jadi tinggi. Sedangkan nilai tahanan pada saluran kecil maka rugi-rugi daya pada resistansi jadi kecil. Sehingga di simpulkan bahwa rugi-rugi daya dengan tahanan pada saluran selaras. Besar rugi-rugi daya (QC dan QL) di sebabkan oleh besarnya nilai reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif pada saluran sehingga mengakibatkan rugi-rugi daya jadi tinggi. Sedangkan nilai reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif pada saluran kecil maka rugi-rugi daya pada reaktansi induktif dan kapasitif jadi kecil. Sehingga di simpulkan bahwa rugi-rugi daya dengan reaktansi induktif dan kapasitif pada saluran selaras. Di tambah lagi dengan faktor lain yaitu nilai arus. Besar/kecil nilai arus yang mengalir pada saluran sangat mempengaruhi terjadi rugi-rugi daya.

D. Penutup

Dari hasil perhitungan dan analisa beberapa nilai parameter tentang jarak konduktor berkas terhadap rugi-rugi daya pada SUTET 275 kV Kiliranjao ke Payakumbuh dengan panjang saluran 126,4 km berdasarkan konduktor berkas dengan jarak maksimum, dan minimum dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: 1) Hasil perhitungan nilai reaktansi induktif pada SUTET 275 kV Kiliran Jao ke Payakumbuh sebesar $X_L = 0,3111 \Omega/km$ dengan nilai reaktansi induktif total bernilai $X_{total} = 39,323 \Omega$. Nilai reaktansi induktif berdasarkan jarak konduktor berkas yang diperoleh dari hasil perhitungan sebesar $X_L = 0,3571 \Omega/km$ pada jarak (s)= 0.06m yaitu jarak minimum, $X_L = 0,3111 \Omega/km$ pada jarak (s)= 0.26m (jarak pada sistem), dan $X_L = 0,2931 \Omega/km$ pada jarak (s)= 0.06m yaitu jarak maksimum. Rugi-rugi daya pada resistansi bernilai 122 MW dan pada reaktansi induktif bernilai 34,8 MW serta reaktaksi kapasitif bernilai 31,5MW yang diperoleh dari hasil perhitungan.

Daftar Pustaka

- Anggoro, B. A., Utomo, S. B., & Widiastuti, I. (2020). Analisa Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi 150 kV GI Pati Bay GI Jekulo Menggunakan ETAP 12.6.0. *Elektrika*, 12(2), 80.
- Cahyadi, C. I., Atmia, K., & Fitriani, A. (2022). Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Transmisi 150 kV Menggunakan. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4, 8–12.
- Chairani, D. (2022). Analisis Pengaruh Korona Terhadap Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi. *Jurnal Pendidikan Sains Dan Komputer*, 2(2), 2809–476.
- Corbellini, U., & Pelacchi, P. (1996). Corona losses in HVdc bipolar lines. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11(3), 1475–1481. <https://doi.org/10.1109/61.517506>
- Dalila, S. L. (2022). Analisa Rugi - Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Dari Gardu Induk PLN Bireun Ke Gardu Induk PLN Banda Aceh. 7(1), 23.
- Dani, A. (2021). ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV PADA GARDU INDUK KIM. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(11), 1892–1901.
- Dewi, A. (2020). Studi Analisa Pengaruh Temperatur Dan Tekanan Udara Terhadap Rugi Daya Korona SUTT 150 kV. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 9(1), 47–53. <https://doi.org/10.21063/jte.2020.3133909>
- ELGANAI, A. A. M. (2019). The Corona Effect on High Voltage Transmission Lines. *IJSETR, International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 08(December 2019), 29–31.
- Lu, F., You, S., Liu, Y., & Zhu, L. (2011). Harmonic wave analysis of conductor corona current based on wide frequency band measurement. *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, ICECE 2011 - Proceedings*, 121058, 2258–2261. <https://doi.org/10.1109/ICECENG.2011.6057380>
- Masarrang, R., Patras, L. S., Tumaliang, H., & Transmisi, A. P. S. (2019). Efek Korona pada Saluran Transmisi Gardu Induk Tello Sulawesi Selatan. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 8(2), 67–74.
- Nababan, A. P. (2014). GANGGUAN BERISIK DAN INTERFERENSI RADIO PADA SALURAN TRANSMISI UDARA TEGANGAN EKSTRA TINGGI 275 kV.
- Nawir, H., Suharti, F., & Kamil, I. (2019). Simulasi Pengaruh Variasi Konduktor Berkas Terhadap Gangguan Berisik Dan Radio Interferensi Pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 275kV. 17(2), 139–149.
- Nuridin, A., & Azis, A. (2018). Pengaruh Jarak Antar Sub Konduktor Berkas Reaktansi Induktif Saluran Terhadap Transmisi 150 Kv Dari Gardu Induk Keramasan Ke Gardu Induk Mariana. *Jurnal Ampere*, 3(2), 145. <https://doi.org/10.31851/ampere.v3i2.2395>
- Rifal, R., Utomo, S. B., & Haddin, M. (2020). Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Gardu Induk Tambak Lorok – Bawen dengan menggunakan Etap 12.6.0. *Prosiding Konferensi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) Klaster Engineering*, 0(0), 234–243. [146](http://lppm-</p></div><div data-bbox=)

- unissula.com/jurnal.unissula.ac.id/index.php/kimueng/article/view/8592
- Tamam, I. B., Koerniawan, T., & Ichsan, M. N. (2017). ANALISA PEMBANGUNAN SALURAN TRANSMISI 275 kV ANTARA GI KILIRANJAO DAN GI PAYAKUMBUH. *Energi & Kelistrikan*, 9(1), 93–99.
- Wardana, A. (2022). Kajian Rugi-Rugi Daya Dengan Menggunakan Software Powerworld Versi 12 Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 Kv Pada Gardu Induk Payageli-Gardu Induk Glugur. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, 2(2), 1–8.
- Zaki, A., & Dewi, A. Y. (2022). ANALISIS PENGARUH KORONA TERHADAP AUDIBLE NOISE PADA SUTET 275 KV KILIRAN JAO-PAYAKUMBUH. 357–365.