

Susut Tegangan pada Penghantar ACCC di Saluran Transmisi 150 kV di PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru

Wellington Octary¹, Hamzah Eteruddin², Abrar Tanjung³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning
Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324
Email: wellington@wnpepc.com, hamzah@unilak.ac.id, abrar@unilak.ac.id

ABSTRAK

Sistem jaringan transmisi memegang peranan penting untuk operasional dalam penyaluran sistem tenaga listrik, khususnya pada saluran transmisi 150 kV. Pada tahun 2013 terjadi penggantian penghantar tipe ACSR ke ACCC disaluran transmisi 150 kV Garuda Sakti-Balai Pungut dikarenakan pembangkit listrik di Riau sudah semakin banyak dan penyaluran listrik ditiap penghantar akan memasok arus yang lebih besar, pada saat penghantar diberi arus yang besar, ACCC mampu menghantarkan Arus dua kali lipat dibandingkan dengan ACSR. Single line diagram Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru, data saluran GI Garuda Sakti-Balai Pungut data penghantar dan beban adalah data-data yang diperlukan untuk perhitungan pada penghantar konduktor tipe ACCC pada saluran transmisi 150 kV GI Garuda Sakti-Balai Pungut. Hasil dari perhitungan tersebut akan diperoleh suatu kesimpulan banyak susut tegangan rugi-rugi daya dan andongan dari penghantar ACCC sebesar 5,098 kV kerugian daya sebesar 479,187 kW dan nilai andongan sebesar 6,950 m, dan akan dibandingkan dengan penghantar lama yaitu tipe ACSR sebesar 7,517 kV kerugian daya sebesar 828,863 dan nilai andongan sebesar 9,010 m disaluran transmisi 150 kV di PT. PLN Persero Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru.

Kata Kunci: Saluran Transmisi, Konduktor, Susut Tegangan, Andongan

ABSTRACT

Power transmission network system plays an important role in distributing power, especially in 150 kV power transmission lines. In 2013, there was a change in term of conductor type in 150 kV transmission lines of Garuda Sakti – Balai Pungut, from ACSR to ACCC, because of the growing number of power plants in Riau and power distribution in every conductor supplying higher current, when given higher current, ACCC conductor is capable of transmitting power twice the ACSR conductor. The single line diagram of UPT Pekanbaru, data from power station (GI) Garuda Sakti – Balai Pungut, conductor data and load data are all data necessary for the study and calculation on ACCC conductor. The result shows that the amount of voltage drop power losses of ACCC conductor is 5.098 kV, while the power loss is 479,187 with the sagging value is 6.950 m, compared to the old conductor, the ACSR type, with the voltage drop of 7.517 kV, power loss of 828.863 kW, and the sagging value of 9.010 m, all measured in 150 kV power transmission lines of PT. PLN Persero UPT Pekanbaru.

Keywords: Power Transmission Network, Conductor, Voltage Drop, Sagging

1. PENDAHULUAN

Penyaluran energi listrik dari pembangkit ke pusat beban. Konduktor merupakan bagian yang sangat penting dalam penyaluran energi

listrik dari pusat pembangkit ke konsumen. Oleh karena itu, konduktor yang digunakan harus memiliki kemampuan hantar arus yang besar dan mempunyai karakteristik temperatur yang tinggi. Transmisi bertegangan tinggi

menjadi pilihan utama penyaluran daya listrik, hal ini dilakukan untuk menekan biaya pembangunan jaringan listrik dengan kapasitas daya yang sangat besar. Transmisi bertegangan tinggi memiliki batas penyaluran daya sedangkan kebutuhan energi listrik masyarakat semakin hari semakin bertambah.

Konduktor tembaga memiliki kelebihan dibanding kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Kelemahannya, untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat daripada aluminium dan juga lebih mahal. Oleh karena itu konduktor aluminium telah menggantikan kedudukan konduktor tembaga [1].

Saat ini terdapat konduktor jenis baru yaitu *Alumunium Conductor Composite Core* (ACCC). Konduktor ini merupakan jenis konduktor yang digunakan sebagai penghantar pada sebagian sistem Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) Riau pada jaringan transmisi dari Gardu Induk (GI) Garuda Sakti sampai GI Duri.

Sistem Tenaga Listrik

Menurut jenisnya, arus terbagi atas 2 yaitu arus bolak balik (AC atau Alternating Current) dan arus searah (DC atau Direct Current). Dalam sistem arus bolak balik, untuk menaikkan ataupun menurunkan tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan transformator. Pada saat ini, umumnya saluran transmisi menggunakan arus bolak balik (AC). Pada sistem arus bolak balik ada sistem satu fasa dan sistem 3 fasa. Sistem tiga fasa memiliki kelebihan dari pada sistem satu fasa, karena [1]:

- Daya yang disalurkan lebih besar.
- Harga sesaatnya (*Instantaneous Value*) konstan.
- Magnet putarnya mudah dihilangkan.

Ada 2 kategori saluran transmisi yaitu saluran udara (*Overhead Line*) dan saluran kabel bawah tanah (*Underground Cable*). Kedua cara penyaluran tersebut mempunyai untung dan rugi masing-masing, dibandingkan dengan saluran udara, saluran bawah tanah tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, angin topan, hujan, petir dan lain sebagainya. Saluran bawah tanah lebih estetis karena tidak mengganggu pandangan, karena alasan terakhir ini saluran kabel bawah tanah lebih disukai terutama untuk daerah padat penduduknya. Namun biaya yang dibutuhkan untuk

pembangunannya jauh lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara dan perbaikannya lebih sulit bila terjadi gangguan [2].

Transmisi Tenaga Listrik

Untuk daya yang sama, efisiensi penyaluran akan meningkat karena rugi-rugi transmisi menurun. Namun peningkatan tegangan transmisi berarti juga menaikkan biaya pada isolasi, biaya peralatan dan gardu induk. Oleh karena itu, pemilihan tegangan pada saluran transmisi dilakukan dengan memperhitungkan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jarak penyaluran, keandalan (Reability), biaya peralatan untuk tegangan tertentu, serta tegangan yang ada dan yang akan direncanakan [1].

Meskipun tidak jelas menyebutkan keperluannya sebagai tegangan transmisi, di indonesia pemerintah telah menyelaraskan deretan tegangan tinggi sebagai berikut ini [2], [3]:

- Tegangan nominal sistem (kV); 30 – 66 – 110 – 150 – 220 – 220 – 380 – 500
- Tegangan tertinggi untuk perlengkapan (kV); 36 – 72,5 – 170 – 245 – 420 – 525

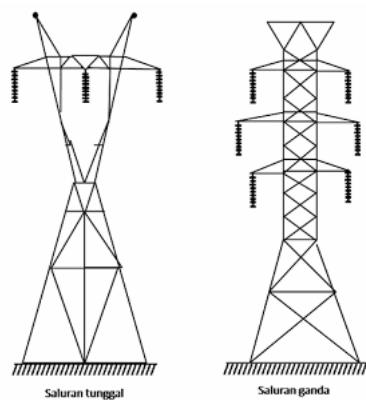
Komponen Utama Saluran Udara

Komponen-komponen utama dari saluran udara adalah sebagai berikut :

- Menara transmisi serta pondasinya.
- Isolator
- Kawat penghantar (Conductor)
- Kawat tanah (Ground Wires)

1. Menara Transmisi

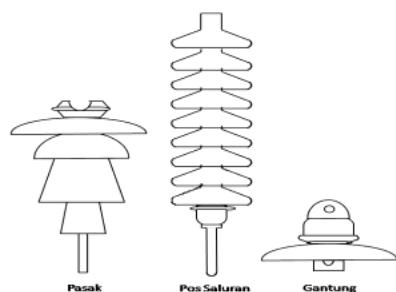
Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi, yang bisa berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang, dan tiang kayu. Tiang-tiang baja, beton, atau kayu pada umumnya digunakan pada saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (dibawah 70 kV) sedangkan untuk saluran transmisi tegangan tinggi atau ekstra tinggi digunakan menara baja, seperti pada Gambar 1. Menara baja dibagi sesuai fungsinya, yaitu menara dukung, menara sudut, menara ujung, menara pencabangan dan menara transposisi [1].



Gambar 1. Menara Transmisi saluran tunggal dan ganda

2. Isolator

Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya dikenal tiga jenis isolator yaitu isolator pasak, isolator jenis pos-saluran dan isolator gantung. Seperti pada Gambar 2 berikut [1]:



Gambar 2. Isolator pasak, isolator pos-saluran, dan gantung

Isolator jenis pasak dan pos-saluran digunakan pada transmisi dengan tegangan kerja relatif rendah (kurang 22-33 kV), sedangkan isolator gantung dapat digandeng menjadi rentengan isolator yang jumlahnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan [4].

3. Konduktor Penghantar

Penghantar aluminium paduan mempunyai kuat tarik (*Tensile strength*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan penghantar aluminium biasa. Awalnya jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (CU 97,5%) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%) [2], [5]. Umumnya Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) ataupun Saluran Udara Ekstra

Tegangan tinggi (SUTET) menggunakan konduktor pilin (Stranded), guna mempermudah dalam penanganannya. Berikut beberapa jenis konduktor saluran udara; All-Aluminium Conductor (AAC), All-Aluminium-Alloy Conductor (AAAC), Aluminium-Conductor Steel Reinforced (ACSR), Aluminium Conductor Alloy Reinforced (ACAR), Aluminium Conductor Composite Core (ACCC), High Voltage Composite Reinforced Conductor (HVCRC) [4], [6], [7]. Beberapa penelitian telah dilakukan pada saluran transmisi maupun saluran distribusi [8]–[10].

Impedansi (Z) terdiri dari resistansi (R) dan reaktansi (X), impedansi merupakan parameter utama pada saluran transmisi. Impedansi merupakan suatu besaran komplek yang terdiri dari besaran ril (resistansi) dan besaran imaginer (reaktansi). Penulisan impedansi komplek yang menunjukkan besaran ril dan imajiner disebut dengan penulisan rectangular, impedansi saluran suatu sistem tenaga listrik dari resistansi dan reaktansi saluran diformulasikan sebagai persamaan [11]

$$Z = R + jX \quad (1)$$

Keterangan :

Z = Impedansi Saluran (Ohm)

R = Tahanan Saluran (Ohm)

X = Reaktansi Saluran (Ohm)

Nilai tahanan pada saluran ditentukan oleh resistivitas konduktor (ρ), panjang saluran (l), dan luas penampang konduktor (A). Dapat ditunjukkan seperti persamaan dibawah ini [2]:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

Umumnya, yang digunakan adalah konduktor pilin (*stranded conductors*) maka sebagai faktor koreksi akibat pengaruh dari pilin tersebut, panjang konduktor dikalikan dengan 1,02 [2]. Sementara tahanan konduktor juga dipengaruhi oleh perubahan temperatur, dalam batas temperatur 10 °C sampai 100 °C, untuk Aluminium dan tembaga digunakan persamaan berikut [2].

$$R_{t_2} = R_{T_1} [1 + \alpha_{t_2} (t_2 - t_1)] \quad (3)$$

$$\alpha_{t_2} = \frac{1}{T_0 + t_1} \quad (4)$$

Keterangan :

R_{t2} = Tahanan pada temperatur t_2

R_{t1} = Tahanan pada temperatur t_1

α_{t1} = Koefisien temperatur dari tahanan pada temperatur t_1 °C

T_0 = temperatur dimana tahanan konduktor akan menjadi nol,

Dengan menggunakan persamaan linier akan diperoleh nilai T_0 merupakan temperatur absolut (-273 °K). Untuk tembaga (Cu) yang memiliki konduktivitas 100%, maka koefisien temperatur dari tahanan pada suhu 20 °C adalah [2]:

$$\alpha_{20} = 0,00393$$

$$T_0 = \frac{1}{0,00393} - 20 = 234,5^\circ\text{C} \quad (5)$$

2. METODE PENELITIAN

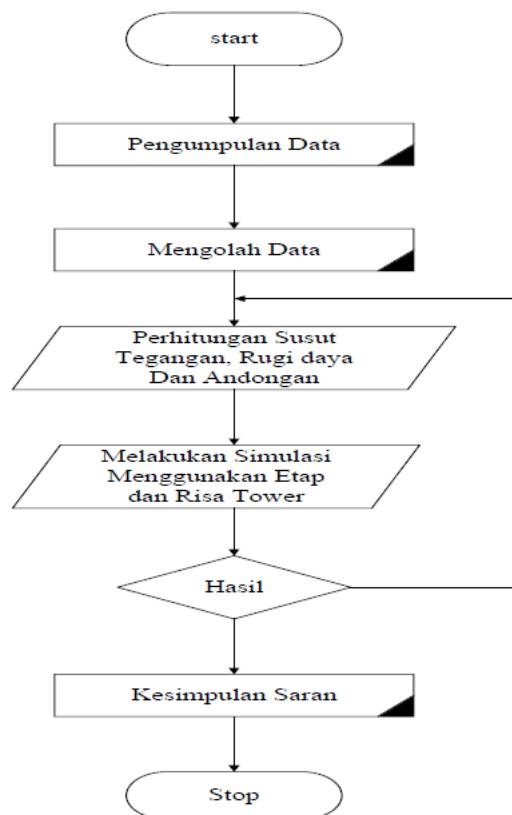
Data yang ada pada artikel ini diperoleh dari PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi (UPT) Pekanbaru Gardu Induk Garuda Sakti dan Gardu Induk Balai Pungut. Tahapan penelitian (*flowchart*) adalah sebagaimana terlihat pada Gambar 3.

Metode Pengumpulan Data

Mekanisme pengumpulan data dalam penyelesaian penelitian berupa data primer diperoleh langsung dari lapangan pada salah satu menara transmisi dan gardu induk. Juga dengan melakukan diskusi terbuka terhadap pegawai maupun teknisi terkait agar lebih memahami data data yang diperoleh. Sementara Data sekunder diperoleh melalui pengajuan permohonan data resmi ke PT. PLN (persero), dan pengumpulan referensi dari artikel ilmiah, serta katalog pendukung dari konduktor *Aluminium Conductor Composite Core* (ACCC) [7], [12].

Susut Tegangan Pada Saluran Transmisi

Susut tegangan (ΔV) merupakan selisih tegangan kirim (V_K) dan tegangan terima (V_T). Susut tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Atau besar arus yang mengalir pada masing-masing konduktor dikalikan dengan impedansinya.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Dalam persamaan dapat dituliskan sebagai berikut [1], [13], [14]:

$$\Delta V = V_K - V_T \quad (6)$$

$$\Delta V = I_{Sal} \times Z_{Sal} \quad (7)$$

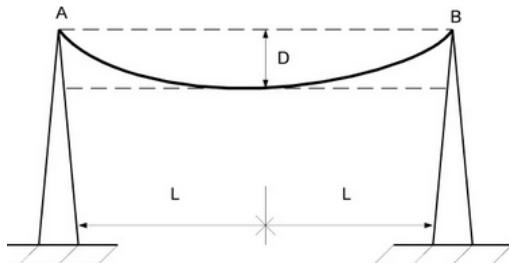
Andongan Kawat Penghantar

Konduktor yang direntangkan antara dua menara transmisi tidak akan mengikuti garis lurus. Nilai andongan (*sagging*) akan dipengaruhi oleh berat, jarak antara tiang (menara), temperatur, dan kuat tarik konduktor yang digunakan [13]. Ada beberapa cara untuk menghitung andongan, diantaranya adalah; metode *catenary*, Iterasi Newton–Raphson, metode parabolik [15], [16]. Metode yang terakhir inilah yang digunakan pada artikel ini. Dengan mengacu pada Gambar 4, dimana kedua konduktor berada pada tinggi yang sama, maka Andongan (D) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [2], [15].

$$D = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot T_t} \quad (8)$$

Dimana :

w = Berat Konduktor
 L = Jarak Span Rata-rata
 T_t = Tegangan tension konduktor



Gambar 4. Andongan Konduktor

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, bahwa temperatur akan mempengaruhi andongan kawat. Untuk menghitung andongan kawat ekonomis, yaitu andongan paling kecil pada temperatur maksimum, tetapi tegangan kawat pada keadaan sejelek-jeleknya (yaitu pada temperatur minimum) tidak melebihi tegangan maksimum yang diizinkan. Tegangan tarik tidaklah boleh melebihi tegangan tarik yang diijinkan pada keadaan apapun. Tegangan maksimum terjadi pada saat temperatur terendah [2]

Untuk menghitung andongan akibat pengaruh temperatur dibutuhkan nilai tegangan konduktor. Dari rumus andongan diatas maka perlu ada besaran-besaran yang harus dicari terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai andongan maksimum (D) dari data yang diketahui diatas maka dapat dicari nilai berat spesifik konduktor dengan menggunakan rumus [2]

$$\gamma = w \cdot A \quad (9)$$

Dimana :

γ = Berat Spesifik Konduktor

W = Berat Konduktor

A = Luas Penampang

Setelah didapat nilai berat spesifik konduktor (γ) dan juga tegangan kerja kawat penghantar (σt) maka dapat dicari nilai andongan akibat pengaruh temperatur dengan mencari nilai luas penampang (A) menggunakan [2] :

$$A = \frac{L^2 + y^2}{24\sigma^2} = E + \alpha E(t - tm) - \sigma \quad (10)$$

Sementara untuk memperoleh nilai B dengan persamaan)

$$B = \frac{L^2 \cdot y^2}{24} \quad (11)$$

Dimana :

γ = berat spesifik konduktor

σ = tegangan konduktor spesifik

E = modulus elastisitas

α = koefisien elastisitas

t = temperatur

tm = temperatur minimum

sehingga $\sigma t^3 + A \sigma t^3 = B$ maka tegangan tension akibat pengaruh temperatur $Tt = \sigma t \cdot q$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Impedansi Saluran 150 kV GI Garuda Sakti - GI Balai Pungut. Panjang saluran penghantar 150 kV dari GI Garda Sakti sampai GI Balai Pungut dengan jenis konduktor ACCC Amsterdam adalah sejauh 77,1 km dengan luas penampang konduktor 240 mm² dan 360 mm², maka :

$$\begin{aligned} Z &= 77,108960 (R+j X) \\ &= 77,108960 (0,134+j0,316) \\ &= 77,108960 \times (0,343 \angle 67,02^\circ) \\ &= 26,467 \angle 67,02^\circ \text{ Ohm} \\ &= 10,33+j24,366 \\ &= 26,467 \angle 67,02^\circ \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= 77,108960 (R+j X) \\ &= 77,108960 (0,0761+j0,220) \\ &= 77,108960 \times (0,232 \angle 70,919^\circ) \\ &= 17,889 \angle 70,919^\circ \text{ Ohm} \\ &= 5,847+j16,906 \\ &= 17,95 \angle 70,919^\circ \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Untuk menghitung tahanan total pada saluran 150 kV dengan luas penampang 240 mm² dari Garuda Sakti ke Balai Pungut adalah :

$$\begin{aligned} R_{\text{Total}} &= R \times \text{jarak} \\ &= 0,134 \text{ Ohm} \times 77,108 \text{ km} \\ &= 10,33 \text{ Ohm/km} \end{aligned}$$

Untuk menghitung tahanan total pada saluran 150 kV dengan luas penampang 360 mm² dari Garuda Sakti ke Balai Pungut adalah :

$$\begin{aligned} R_{\text{Total}} &= R \times \text{jarak} \\ &= 0,0761 \text{ Ohm} \times 77,108 \text{ km} \\ &= 5,867 \text{ Ohm/km} \end{aligned}$$

- a. Perhitungan susut tegangan pada penghantar ACSR dengan panjang saluran 77,108960 dengan impedansi (Z) $26,466 \angle 67,02^\circ \Omega$ dengan luas penampang 240 mm^2

$$\begin{aligned}\Delta V &= \sqrt{3} \times I \text{ saluran } 150 \text{ kV} \times Z \text{ total} \\ &= \sqrt{3} \times 164 \text{ Amp} \times 26,466 \text{ Ohm} \\ &= 7,517 \text{ Volt} = 7,517 \text{ kV}\end{aligned}$$

Maka tegangan terima diperoleh

$$\begin{aligned}V_t &= V_k - V_d \\ &= 150 - 7,517 \\ &= 142,483 \text{ kV}\end{aligned}$$

- b. Perhitungan susut tegangan pada penghantar ACCC dengan panjang saluran 77,108960 dengan impedansi (Z) $17,95 \angle 70,919^\circ \Omega$ dengan luas penampang 360 mm^2 yang terpakai pada saat ini

$$\begin{aligned}\Delta V &= \sqrt{3} \times I \text{ saluran } 150 \text{ kV} \times Z \text{ total} \\ &= \sqrt{3} \times 164 \text{ Amp} \times 17,95 \text{ Ohm} \\ &= 5,098 \text{ Volt} = 5,098 \text{ kV}\end{aligned}$$

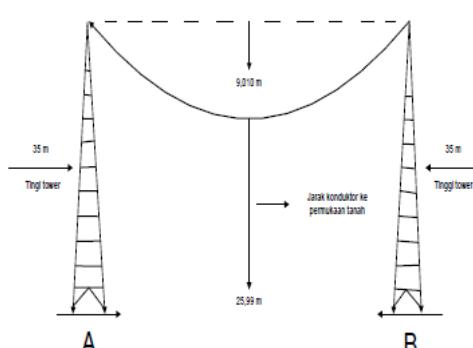
Maka tegangan terima diperoleh

$$\begin{aligned}V_t &= V_k - V_d \\ &= 150 - 5,098 \text{ kV} \\ &= 144,902 \text{ kV} \text{ dengan panjang saluran}\end{aligned}$$

240 dan 360 mm^2 akibat pengaruh temperatur

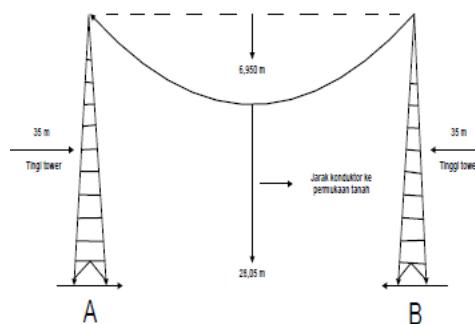
Pada perhitungan ini yang dicari adalah mencari andongan sebelum dan dilakukan pergantian pada saluran transmisi 150 kV Garuda Sakti-Balai Pungut

$$\begin{aligned}a. D &= \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot T_t} = \frac{1,110 \times 350^2}{8 \times 1886,4} \\ &= 9,010 \text{ m (sebelum pergantian)}\end{aligned}$$



Gambar 5. Sebelum Penggantian

$$\begin{aligned}b. D &= \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot T_t} = \frac{1,138 \times 350^2}{8 \times 1402,224} \\ &= 6,950 \text{ m (setelah pergantian)}\end{aligned}$$



Gambar 6. Setelah Penggantian

4. KESIMPULAN

- Hasil perhitungan impedansi penghantar Garuda Sakti- Balai Pungut 150 kV:
 - Pada data saluran penghantar diketahui panjang saluran penghantar GI Garuda Sakti – GI Balai Pungut (Z) sejauh 77,108960 km dengan luas penampang 240 mm^2 (ACSR) sehingga di dapat Z total $26,466 \angle 67,02^\circ \Omega$
 - Pada data saluran penghantar diketahui panjang saluran penghantar GI Garuda Sakti – GI Balai Pungut (Z) sejauh 77,108960 km dengan luas penampang 360 mm^2 (ACCC) sehingga di dapat Z total $17,95 \angle 70,919^\circ \Omega$
- Hasil perhitungan Susut Tegangan penghantar Garuda Sakti- Balai Pungut 150 kV :
 - perhitungan susut tegangan pada penghantar ACSR dengan panjang saluran 77,108960 dengan impedansi (Z) $26,466 \angle 67,02^\circ \Omega$ dengan luas penampang 240 mm^2 7,517 kV
 - perhitungan susut tegangan pada penghantar ACCC dengan panjang saluran 77,108960 dengan impedansi (Z) $17,95 \angle 70,919^\circ \Omega$ dengan luas penampang 360 mm^2 yang terpakai pada saat ini adalah 5,098 kV
- Hasil perhitungan Andongan penghantar sebelum dilakukan pergantian di Garuda Sakti-Balai Pungut 150 kV dengan luas penampang 240 mm^2 akibat pengaruh temperatur adalah 9,010 m.
- Hasil perhitungan Andongan penghantar yang terpakai saat ini di Garuda Sakti- Balai Pungut 150 kV dengan luas penampang 360 mm^2 akibat pengaruh temperatur adalah 6,950 m.
- Hasil perhitungan rugi-rugi daya pada penghantar yang terpakai saat ini dengan

- luas penampang 360 mm^2 ACCC pada saluran transmisi 150 kV GI Garuda Sakti-Balai Pungut adalah 23,493 kW.
6. Hasil perhitungan rugi-rugi daya pada penghantar yang terpakai saat ini dengan luas penampang 240 mm^2 ACSR pada saluran transmisi 150 kV GI Garuda Sakti-Balai Pungut adalah 41,422 kW.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Cekdin and T. Barlian, *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta: Andi, 2013.
- [2] T. S. Hutaurok, *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [3] A. Arismunandar and S. Kuwahara, *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Jilid II Saluran Transmisi*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2004.
- [4] T. Gonon, *Modern Power System Analysis*, 2nd ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 2013.
- [5] J. J. Grainger and W. D. Stevenson Jr, *Power System Analysis*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [6] P. Gevorkian, *Large-Scale Solar Power Systems: Construction and Economics*. New York: Cambridge University Press, 2012.
- [7] J. E. Mack, T. M. Shoemaker, and J. E. Mack, *The Lineman's and Cableman's Handbook*, 13th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2017.
- [8] I. Gunawan, H. Eteruddin, and U. Situmeang, "Analisis Transien Pada Sistem Transmisi 150 kV Riau Setelah Beroperasinya PLTU Tenayan Raya Menggunakan Powerworld Simulator," *J. Tek.*, vol. 14, no. 2, pp. 223–231, 2020.
- [9] H. Eteruddin, D. Setiawan, and P. P. P. Hutagalung, "Evaluasi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Pada Feeder 7 Peranap PT. PLN Persero Rayon Taluk Kuantan," in *Seminar Nasional Pakar*, 2020, pp. 1.4.1-1.4.6.
- [10] H. Asman, H. Eteruddin, and Arlenny, "Analisis Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Transmisi 150 kV Garuda Sakti – Pasir Putih Menggunakan PSCAD," *SainETIn*, vol. 2, no. 1, pp. 27–36, 2018.
- [11] A. Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita, 1990.
- [12] Y. Chen, *Engineering Energy Aluminum Conductor Composite Core (ACCC) and Its Application*. London: Elsevier Science, 2019.
- [13] T. Gonon, *Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*, 3rd ed. Sacramento: Taylor & Francis, 2014.
- [14] T. A. Short, *Electric Power Distribution Handbook*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [15] B. Wareing, *Wood Pole Overhead Lines*. London: IET, 2008.
- [16] L. L. Grigsby, *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution*, 3rd ed. CRC Press, 2012.