

Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Tegangan Tarik dan Andongan pada Sutet 500 KV di Zona Krian

Stephanus Antonius Ananda, Emmy Hosea, Vicky Chandra

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro – Universitas Kristen Petra

email : ananda@petra.ac.id, emmyho@petra.ac.id, vichan81@yahoo.com

Abstrak

Saluran transmisi udara umumnya menggunakan konduktor jenis ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yang memiliki batas temperatur kerja yang diizinkan sebesar 90°C. Mempertimbangkan peningkatan kebutuhan tenaga listrik yang pesat akhir-akhir ini, maka usaha untuk meningkatkan kapasitas saluran transmisi dilakukan dengan mengoptimalkan kapasitas hantaran arus dari saluran transmisi yang telah ada. Permasalahan utama dari peng-optimalkan saluran transmisi tersebut adalah tegangan tarik dan andongan yang timbul pada konduktor tersebut menjadi lebih besar, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik perubahan arus saluran terhadap tegangan tarik dan andongan konduktor, dengan demikian diharapkan dari hasil penelitian ini akan berguna untuk membangun struktur konstruksi saluran transmisi yang sesuai dengan sifat dari konduktor tersebut. Sebagai model simulasi digunakan saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV jalur Paiton-Krian dengan menggunakan data-data konduktor ACSR yang sesuai dengan yang ada di lapangan. Temperatur konduktor dihitung berdasarkan persamaan keseimbangan panas. Metode *Ruling Span* digunakan untuk menentukan panjang *span equivalen*. Sementara itu metoda *Catenary* digunakan untuk menghitung tegangan tarik dan andongan konduktor tersebut. Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya perubahan arus saluran dari 10 Ampere menjadi 850 Ampere mengakibatkan terjadinya peningkatan temperatur konduktor sebesar 125.94 % dan penurunan tegangan tarik sebesar 36.38 % serta terjadi peningkatan pada andongan sebesar 26.82 %.

Kata kunci: kuat hantar arus, saluran transmisi, ACSR.

Abstract

The transmission lines generally using conductor with ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) which has limited temperature until 90 degrees. In this present time, the need of electricity is increasing rapidly; considering from that problem, we need to increase the capacity of transmission line by optimizes the capacity of line conductor from the transmission line before. The main problem of optimizing the transmission line are the tension and sagging of the conductors become bigger. Based from this situation the research is conducted to know about the characteristic of the alteration of current line to tension and sagging of the conductors. Therefore, the result of the research can be useful in designing the structure construction of transmission line which suitable to the conductor's characteristic. As a simulation model, Paiton-Krian 500 kV transmission line is used. The data, including the data of ACSR conductor, are collected from the field. The conductor's temperature is calculated using heat-balance method. Ruling Span method is used to measure the length of equivalent span. Mean while the Catenary method is used to measure the conductor's tension and sagging. In conclusion, it can be seen that the alteration of line current from 10 Ampere to 850 Ampere will cause the conductor temperature increase 125.94%, the tension decrease 36,38% and the sagging increase 26.82%.

Keywords: current carrying capacity, transmission line, ACSR.

Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan tenaga listrik yang pesat akhir-akhir ini menyebabkan perlu ditambah kapasitas saluran transmisi seiring dengan perluasan kapasitas pusat-pusat pembangkit, akan tetapi memerlukan biaya yang sangat tinggi. Salah satu upaya meningkatkan kapasitas penyaluran adalah

dengan mengoptimalkan saluran transmisi sesuai dengan kemampuan kuat hantar arusnya. Titik berat permasalahan dalam penelitian ini adalah dengan meningkatnya kemampuan hantar arus tersebut dapat menimbulkan bertambahnya tegangan tarik dan andongan, oleh karena itu perlu diteliti masalah unjuk kerja mekanis sebagai akibat perubahan arus saluran, agar dapat diketahui karakteristiknya yang akan berguna untuk perancangan konstruksi saluran transmisi. Permasalahan terhadap unjuk kerja mekanis meliputi bagaimana pengaruh arus saluran

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2006. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 6, nomor 2, September 2006.

terhadap perubahan temperatur, tegangan tarik horizontal, tegangan tarik, dan andongan konduktor.

Saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan konduktor jenis ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yang memiliki batas temperatur kerja yang diijinkan sebesar 90°C. Mempertimbangkan peningkatan kebutuhan tenaga listrik yang pesat akhir-akhir ini, maka usaha untuk meningkatkan kapasitas saluran transmisi dilakukan dengan mengoptimalkan kapasitas hantar arus dari saluran transmisi yang ada.

Kalau sebuah kawat konduktor direntangkan diantara dua buah titik A dan B maka kawat tersebut akan mengikuti garis lengkung AB yang karena beratnya sendiri akan melengkung kebawah. Besar lengkung ini akan sangat tergantung dari berat dan panjang kawat. Berat kawat ini yang akan menimbulkan tegangan tarik dalam satuan kg/mm² pada penampang kawat tersebut. Jika tegangan tarik yang dialami oleh kawat konduktor ini terlampau besar maka akan mengakibatkan kawat konduktor putus atau dapat juga mengakibatkan menara penyangga menjadi rusak dan roboh karena tidak dapat menahan tegangan yang timbul. Tegangan tarik yang timbul bukan saja disebabkan oleh berat kawat saja tetapi juga dipengaruhi oleh bermacam-macam beban yang timbul pada kawat tersebut seperti beban angin, beban salju yang melekat pada kawat didaerah yang bercuaca dingin dan lain sebagainya.

Menurut hukum Stokes adanya beban tegangan tarik ini akan mengakibatkan bertambah panjangnya kawat sesuai dengan modulus elastisitasnya. Hal lain yang akan mengakibatkan pertambahan panjang adalah pemuaian karena suhu yang tinggi yang timbul pada konduktor. Suhu yang tinggi ini dapat diakibatkan oleh banyak hal, salah satunya adalah karena timbulnya rugi-rugi tembaga karena arus beban yang lewat pada konduktor tersebut. Semakin besar arus beban yang lewat akan menyebabkan kerugian berupa panas semakin tinggi yang pada akhirnya akan menambah beban berupa panas pada kawat konduktor tersebut.

Panjang kawat akan tergantung pada panjang gawang (jarak antara dua menara transmisi) dan besarnya andongan yang diijinkan. Sedangkan andongan itu sendiri tergantung pada panjang kawat, tegangan tarik dan temperatur dimana ketiga besaran tersebut akan saling mempengaruhi satu sama lain.

Karena tegangan kerja dari kawat konduktor yang digunakan untuk transmisi tenaga listrik umumnya

tinggi maka andongan kawat yang terlalu besar akan dapat menimbulkan bahaya bagi semua objek yang berada di bawahnya dan juga kawat konduktor itu sendiri. Menurut standar normalisasi yang berlaku tinggi kawat konduktor di atas tanah (*Ground Clearance*) haruslah sebesar 7 sampai 8 meter atau dapat di hitung dengan persamaan *Safety Code Formula* sebagai berikut:

$$20 \text{ ft} + (KV-50)0,5'' + 0,75 (b_{t,maks} - b_{t,kerja})$$

di mana:

$b_{t,maks}$ = andongan pada temperatur maksimum

$b_{t,kerja}$ = andongan pada temperatur kerja

KV = tegangan kerja

Jadi sekarang dalam hal ini mempunyai dua batasan harga untuk merentangkan suatu kawat yaitu:

- Tegangan tarik tidaklah boleh melebihi tegangan tarik yang diijinkan pada keadaan apapun. Tegangan tarik maksimum akan terjadi pada saat temperatur terendah dan ada beban angin.
- Jarak kawat ketanah tidak boleh lebih kecil dari jarak terkecil yang diijinkan. Andongan terbesar terjadi pada saat temperatur maksimum dan pada beban maksimum.

Perhitungan Temperatur Konduktor Akibat Perubahan Arus Saluran

Besarnya arus yang mengalir pada konduktor menyebabkan timbulnya rugi-rugi berupa panas. Hal ini menyebabkan suhu dari konduktor akan meningkat seiring dengan kenaikan arus beban pada konduktor tersebut. Untuk menghitung besarnya panas konduktor akibat dari kenaikan arus beban ini digunakan persamaan keseimbangan panas pada saluran transmisi udara yang menyatakan bahwa jumlah panas yang yang dibangkitkan dalam konduktor adalah sama dengan jumlah panas yang disebarkan. Oleh karena itu perlu dicari besarnya jumlah panas dari kedua ruas persamaan.

Panas Yang Dibangkitkan Oleh Konduktor

Panas yang dibangkitkan oleh konduktor meliputi panas yang ditimbulkan oleh rugi-rugi listrik yaitu [2]:

$$W_c = I^2 R_m \text{ (Watt/meter)} \quad (1)$$

dengan:

I = arus penghantar (A)

R_m = hambatan dari konduktor pada temperatur maksimal (Ω /meter)

$$= \frac{1 + \alpha t}{1 + 20\alpha} R_{20}$$

Selain itu juga akan timbul panas yang disebabkan oleh penyerapan panas dari matahari terhadap konduktor sebesar :

$$W_s = \alpha.E.dc \text{ (W/m)} \quad (2)$$

dengan:

α = koefisien serap matahari

$\alpha = 1$, untuk benda hitam;

$\alpha = 0.6$, untuk konduktor baru

E = intensitas radiasi matahari (1000 ~ 1500 W/m²)

dc = diameter konduktor (m)

Penyebaran Panas Konduktor

Panas yang dibangkitkan dalam konduktor akan disebarkan secara radiasi dan konveksi. Panas yang disebarkan secara radiasi sesuai dengan hukum Stefan Boltzman yang menyatakan bahwa jumlah panas tersebar oleh radiasi berbanding pangkat empat dari suhu mutlak penghantar [2].

$$W_r = \tau e (T_c^4 - T_a^4) \pi dc \text{ (W/m)} \quad (3)$$

dengan:

τ = konstanta Stefan Boltzman (5.702 x 10⁻⁸ Watt/m²)

e = emisivitas relatif permukaan konduktor yang bernilai antara 0.2 ~ 1.0

= 1, untuk benda hitam

= 0.5, untuk Al atau Cu teroksidasi

T_c = temperatur konduktor (°K)

= 273 + t.

T_a = temperatur sekeliling (°K)

= 273 + t_a

Sehingga persamaa panas diatas dapat dituliskan menjadi:

$$W_r = 17.9 \times 10^{-8}.e. (T_c^4 - T_a^4).dc \quad (4)$$

Sementara itu panas yang disebarkan secara konveksi adalah:

$$W_k = 5.73 \sqrt{p.Vm/dc} .\Delta t \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (5)$$

dengan:

p = tekanan udara (atmosfir)

Vm = kecepatan angin (m/detik)

Δt = kenaikan temperatur (°C)

= t - t_a

Apabila panjang konduktor memiliki luas $\pi.dc$ m², maka :

$$W_k = 18. \Delta t. \sqrt{p.Vm.dc} \text{ (W/m)} \quad (6)$$

Persamaan Keseimbangan Panas

Persamaan keseimbangan panas menyatakan bahwa jumlah panas yang dibangkitkan dalam konduktor adalah sama dengan panas yang disebarkannya, oleh

karena itu persamaan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut [2]:

$$W_c + W_s = W_k + W_r \quad (7)$$

$$I^2R + \alpha.E.dc = 18. \Delta t. \sqrt{p.Vm.dc} + 17.9 \times 10^{-8}.e. (T_c^4 - T_a^4).dc \quad (8)$$

Dari persamaan (8) dapat diuraikan ke dalam bentuk persamaan polynomial orde empat untuk mencari besarnya temperatur konduktor T_c. Bentuk persamaan polynomial orde empat adalah:

$$C_3 \Delta t^4 + 4 C_3 T_a \Delta t^3 + 6 C_3 T_a^2 \Delta t^2 + (4 C_3 T_a^3 + 18 C_2) .\Delta t - I^2 R - C_1 = 0 \quad (9)$$

dengan:

$$C_1 = \alpha.E.dc$$

$$C_2 = \sqrt{p.Vm.dc}$$

$$C_3 = 17.9 \times 10^{-8}.e$$

Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menentukan temperatur kerja konduktor sebagai akibat perubahan arus saluran.

Perhitungan Tegangan Tarik dan Andongan Konduktor

Tegangan tarik horizontal konduktor dapat diketahui dari persamaan (10) dibawah ini [9]:

$$(f_2)^2 \{ f_2 - [K - (\alpha \times t \times E)] \} = M \quad (10)$$

$$K = f_1 - \frac{\delta^2 x q_1^2 x s^2 x E}{24 x f_1^2} \quad (11)$$

$$M = \frac{\delta^2 x q_1^2 x s^2 x E}{24} \quad (12)$$

$$\delta = \frac{W}{A} \quad (13)$$

$$q_1 = \frac{W_a}{W} \quad (14)$$

$$f_1 = \frac{T}{A} \quad (15)$$

dengan:

W = berat dari konduktor (kg/m).

A = Luas penampang konduktor (mm²).

W_a = berat akhir dari konduktor (kg/m).

T = tegangan atau *tension* (Kg).

s = jarak antar menara (m).

E = Modulus elastis (kg/mm²).

Selanjutnya dapat dihitung tegangan tarik konduktor sebagai berikut:

- Menara yang sama tingginya.

Untuk mencari perhitungan andongan dan tegangan tarik dari 2 menara transmisi yang sama tingginya adalah sebagai berikut :

$$T = f_2 \times A \quad (16)$$

$$d = \frac{Wxs^2}{8T} \quad (17)$$

$$L = s \left[1 + \frac{1}{24} \left(\frac{Wxs^2}{T} \right)^2 \right] \quad (18)$$

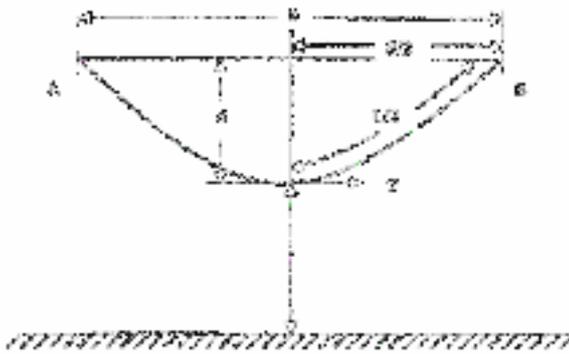
$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{Wxs}{T} \right)^2 \right] \quad (19)$$

dengan:

d = andongan (m).

L = panjang konduktor (m).

T_{AB} = tegangan tarik horisontal (Kg).



Gambar 1. Menara Sama Tinggi

- Menara yang beda tingginya.

Untuk mencari perhitungan andongan dan tegangan tarik dari 2 menara transmisi yang tidak sama tingginya adalah sebagai berikut:

$$T = f_2 \times A \quad (20)$$

$$d = \frac{Wxs^2}{8T} \quad (21)$$

$$d_A = d \left(\frac{h}{4d} - 1 \right)^2 \quad (22)$$

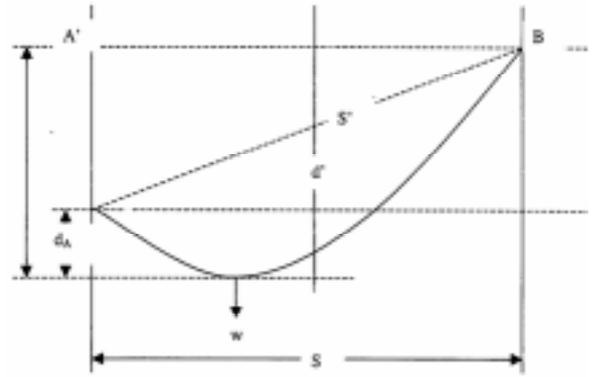
$$d_B = d \left(\frac{h}{4d} + 1 \right)^2 \quad (23)$$

$$L = s \left[1 + \frac{1}{24} \left(\frac{Wxs^2}{T} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{s} \right)^2 \right] \quad (24)$$

$$T_{AB} = T + (W \times d_{AB}) \quad (25)$$

$$T_A = T + (W \times d_A) \quad (26)$$

$$T_B = T + (W \times d_B) \quad (27)$$



Gambar 2. Menara yang Tidak Sama Tinggi

Perhitungan Span Equivalen

Mengingat panjang span dari masing-masing menara tidak sama, maka span equivalen dihitung dengan menggunakan metoda *Ruling Span* yaitu [4]:

$$L_e = \sqrt{\left(\frac{L_1^3 + L_2^3 + L_3^3 + \dots + L_n^3}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n} \right)} \quad (28)$$

dengan:

L_n = panjang span ke-n

L_e = panjang span equivalen

Pengaruh Tekanan Angin

Berat spesifik dari kawat juga dipengaruhi tekanan yang ditimbulkan oleh angin. Dimana tekanan angin dianggap bekerja secara horisontal terhadap kawat sedangkan berat kawat itu sendiri dianggap bekerja secara vertikal. Resultan dari keduanya merupakan berat total spesifik dari kawat. Secara umum tekanan angin dinyatakan dengan rumus [6]:

$$P = fpF$$

dengan:

P = tekanan angin (kg)

f = factor bentuk

p = tekanan angin spesifik (kg/mm²)

= v²/16 (kg/mm)

v = kecepatan angina (m/detik)

F = luas permukaan kawat yang tegak lurus dengan arah angina (m²)

Oleh karena tekanan angin tidak merata maka digunakanlah suatu koefesien ketidak-samaan : d (di Indonesia di ambil d=0.75) sehingga persamaan tersebut akan berubah menjadi [6] :

$$P = fdpF$$

Nilai daripada p akan bergantung dari tinggi kawat diatas permukaan tanah. Besar nilai p dapat dilihat pada tabel 1 [6]:

Tabel 1. Tekanan Angin Spesifik

Tinggi Kawat di Atas Tanah (m)	P (kg/m ²)	v (m/detik)
0-25	60	31
25-60	70	33.5
60-100	90	38
100-250	115	43
150-200	130	43.5

Besarnya faktor bentuk (f) bergantung pada diameter kawat. Nilai faktor bentuk (f) ini dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini [6]:

Tabel 2. Faktor Bentuk

Diameter Kawat (mm)	Faktor Bentuk (f)
sampai 12 mm	1.2
12-16 mm	1.1
dias 16 mm	1.0

Untuk nilai F adalah sebesar panjang kawat x diameter kawat. Maka:

$$\gamma_w = \text{tekanan angin spesifik} = \frac{P}{\text{meter}} = \frac{q}{q}$$

$$\gamma = \text{berat sendiri spesifik kawat} = G/q \text{ (kg/m/mm}^2\text{)}$$

$$\gamma_{tot} = \sqrt{\gamma^2 + \gamma_w^2}$$

Metodologi Penelitian

Sebagai bahan penelitian adalah SUTET 500 kV di zona Krian pada lokasi Paiton-Krian menggunakan konduktor ACSR Gannet sepanjang 145 km. Adapun konduktor ACSR yang digunakan mempunyai data spesifik sebagai berikut:

- Panjang sirkuit [8]: 2 x 144,24 kms.
- Panjang rute [8]: 145 km.
- Jenis [8]: ACSR Gannet.
- Diameter konduktor [10]: 25.75 mm.
- Ratio Al/Steel [10]: 26/7.
- Material [10]: Kombinasi aluminium dengan baja.
- Diameter Aluminium [10]: 4.067 mm.
- Diameter Baja [10]: 3.162 mm.
- Tegangan kawat [10],[7]: 2380 Kg.
- Jumlah per-fasa [8]: 4.
- Jumlah spacer per-fasa [8]: 8.
- Jarak gawang rata-rata [8]: 350 m.
- Berat per-kilometer [10]:1365 kg.
- Tahanan maksimal/km/20°C [10]: 0.08551 ohm.
- Modulus elastis [5]: 8.360 x 10³ kg/mm².

Saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV jalur Paiton-Krian yang mempunyai dua dead-end span terletak pada menara 184 sampai dengan 349 [8].

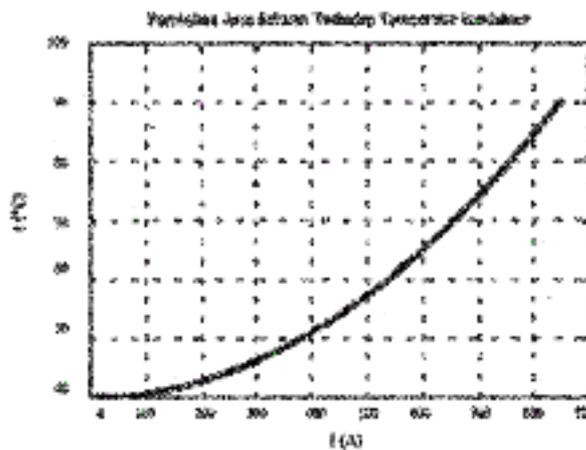
Alat Yang Digunakan

Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah satu set komputer pribadi dengan spesifikasi RAM 32 MB dan mikro prosesor pentium 233 MHz dibantu dengan perangkat lunak (software) Matlab 5.3 untuk perhitungan-perhitungannya.

Pembahasan Hasil Penelitian

Pengaruh Perubahan Arus Saluran Konduktor Terhadap Temperatur

Panas yang dibangkitkan oleh konduktor dipengaruhi oleh temperatur ambient dan rugi-rugi listrik sebagai akibat mengalirnya arus pada konduktor. Sesuai dengan karakteristik konduktor yang diperoleh berdasarkan data dari *Sumitomo and Hitachi Cable*. Untuk temperatur ambient dalam simulasi ini diambil 40 derajat Celcius. Perhitungan awal dalam penelitian ini adalah menggunakan konduktor jenis ACSR dengan data spesifik sesuai dilapangan yaitu 392,7 mm². Grafik 1 menunjukkan hasil perhitungan yang menyatakan hubungan pengaruh perubahan arus beban pada saluran transmisi terhadap temperatur konduktor. Dapat dilihat dari grafik bahwa kenaikan arus akan diikuti dengan kenaikan temperatur secara eksponensial. Jika dianggap temperatur maksimum yang diijinkan mengalir pada konduktor adalah sebesar 90°C maka besar arus maksimum yang diijinkan mengalir adalah 850 Ampere.

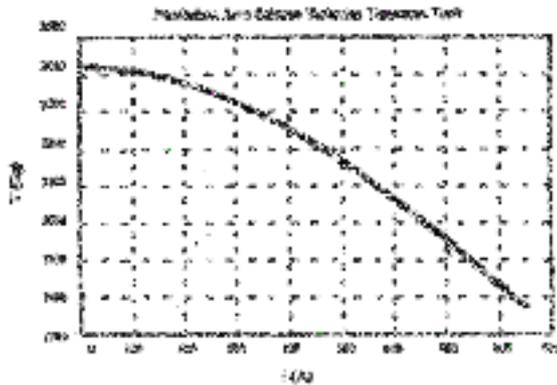


Grafik 1. Hubungan antara kenaikan arus terhadap temperatur konduktor ACSR

Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Tegangan Tarik Konduktor

Kenaikan arus pada saluran konduktor akan mengakibatkan menurunnya tegangan tarik konduktor. Hal ini disebabkan karena kenaikan arus akan menyebabkan kenaikan temperatur sedangkan kenaikan temperatur akan menyebabkan pemuaian pada konduktor ACSR yang mengakibatkan

andongan meningkat. Meningkatnya andongan akan menyebabkan tegangan tarik antar menara transmisi akan jadi turun. Hal ini dapat dilihat pada Grafik 2 yang menunjukkan hasil simulasi perhitungan tegangan tarik konduktor.

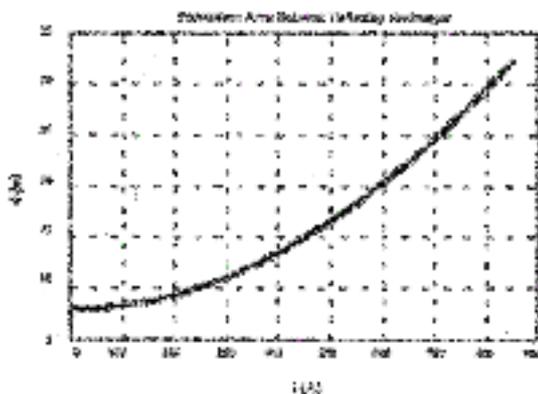


Grafik 2. Hubungan antara kenaikan arus saluran terhadap tegangan tarik konduktor ACSR

Dengan mempertimbangkan batas temperatur maksimum yang diizinkan untuk jenis konduktor tersebut, maka besarnya penurunan tegangan tarik konduktor maksimum akan terjadi pada saat konduktor ACSR dialiri arus saluran sebesar 850 Ampere yang akan menyebabkan tegangan tarik ACSR menjadi 1783.58646 Kg.

Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Andongan Konduktor

Seperti telah dibahas diatas bahwa kenaikan arus akan mengakibatkan kenaikan temperatur konduktor dan hal ini akan menyebabkan pemuaiannya pada konduktor yang digunakan. Pemuaiannya atau pertambahan panjang konduktor ini akan menyebabkan kenaikan andongan konduktor. Apabila arus bertambah besar maka akan mengakibatkan andongan pada konduktor bertambah besar pula, sebagaimana terlihat dari hasil simulasi yang ditunjukkan dalam grafik 3.



Grafik 3. Hubungan antara kenaikan arus saluran terhadap andongan konduktor ACSR

Berdasarkan pada batas temperatur kerja maksimum yang diizinkan pada konduktor ACSR yaitu sebesar 90°C, maka batas andongan maksimum dicapai pada nilai 40.1505 meter.

Kesimpulan

- Pembebanan arus saluran akan menyebabkan kenaikan temperatur konduktor. Kemampuan hantar arus konduktor ACSR adalah 850 Ampere (pada temperatur maksimum 90°C), mengakibatkan terjadinya peningkatan temperatur konduktor sebesar 125.94 %.
- Meningkatnya perubahan arus akan menyebabkan menurunnya tegangan tarik konduktor. Berdasarkan pada temperatur maksimum yang diizinkan, tegangan tarik konduktor minimum pada menara antara 280-281 untuk konduktor ACSR adalah 1678.162112 Kg.
- Kenaikan arus saluran akan mengakibatkan andongan bertambah besar. Batas maksimum andongan pada konduktor ACSR menara antara 280-281, yang dihitung berdasarkan temperatur maksimum yang diizinkan, nilai andongannya mencapai 6.7053 meter. Jadi terlihat bahwa sebagai dampak dari meningkatnya kemampuan hantar arus akan mengakibatkan pemuluran konduktor yang lebih panjang.
- Semakin panjang jarak span di antara dua menara, maka semakin tinggi nilai andongan yang terjadi. Pada menara antara 216-217 yang merupakan *span* dengan jarak terpanjang (565.8 meter), nilai andongannya mencapai 40.1505 meter.

Saran

Dalam penelitian ini belum dibahas mengenai bagaimana pengaruh waktu terhadap perubahan karakteristik mekanik konduktor tersebut, sehingga penelitian ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut.

Daftar Pustaka

- [1] Arismunandar, A. Dan Kuwahara, S., *Teknik Tenaga Listrik*, Vol.II, Jakarta: Pradnya Paramita, 1990.
- [2] Begamudre, Rakosh Das., *Extra High Voltage AC Transmission Engineering*, India: Kanpur, 1987.
- [3] Despande, D.V., *Electrical Power System Design*, New Delhi: Tata Mc. Graw Hill, 1984.
- [4] Gonen, Turan, *Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*, USA: John Wiley & Sons Inc., 1988.

- [5] Hitachi, *Hitachi AS Wire*.
- [6] Hutahuruk, T.S., *Transmisi Daya Listrik*, Jakarta: Erlangga, 1999.
- [7] Mehta, V.K., Rohit Mehta, *Principles Of Power System*, New Delhi: S. Chand & Company LTD, 2002.
- [8] PLN-ABB/MEWK/BBS Consortioum, *Tower Schedule: Line Section Paiton-Krian*, 1993.
- [9] Starr, A.T. *Generation, Transmission and Utilization Of Electrical Engineering*, New York: Sir Isaac Pitman and Sons (Canada) Ltd., 1961.
- [10] Sumitomo Electric, *ACSR*.