

KAJIAN MEKANIS PENGGUNAAN PENGHANTAR TERMAL ACCR PADA SUTET 500KV

Suprihadi Prasetyono

Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik, Universitas Jember, Jember 68111, Indonesia

E-mail: shabri_prasetyo@yahoo.com

Abstrak

Dengan meningkatnya kebutuhan daya listrik yang semakin pesat akhir-akhir ini, keadaan lahan yang makin terbatas serta biaya investasi yang tinggi, menjadikan penggunaan penghantar termal (*conductor thermal resistance*) dianggap sebagai salah satu alternatif pemecah kebuntuan masalah dalam bidang transmisi daya listrik. Dewasa ini telah dikembangkan penghantar termal ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*) yang dapat beroperasi sampai pada temperatur 240°C, sehingga dapat menaikkan kapasitas penyaluran dua sampai tiga kali lebih besar dari pada menggunakan penghantar konvensional ACSR. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pembebanan arus terhadap unjuk kerja mekanis konduktor ACCR yang meliputi tegangan tarik, panjang pemuluran dan andongan, sehingga akan diketahui struktur konstruksi saluran transmisi yang sesuai dengan sifat konduktor ACCR. Hasil simulasi memperlihatkan, bahwa dengan mempertahankan ROW dan tower yang ada, penggunaan konduktor ACCR dapat meningkatkan kapasitas penyaluran sistem transmisi sekitar 100 % dibanding konduktor konvensional ACSR.

Abstract

Mechanical Study on using of ACCR Thermal Conductor at 500 kV SUTET. At the height of electricity demand increasing recently, circumstance of environment more limited and also expense of high investment, making thermal conductor (*conductor thermal resistance*) considered to be one of alternative in the electricity transmission bottlenecks. These days it has been developed thermal conductor ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*) which can operate with temperature up to 240°C, so that making the current carrying capacity being higher than conventional conductor. This research aimed to study load current leading to mechanical characteristic ACCR conductor included tension, length of elongation and sag of conductor. Its expected to be good for develop in construction structure of transmission line which is appropriate to ACCR conductor characteristic. Based on this research it can be concluded that application of ACCR conductor improves transmission line capacities by 100 % on existing ROW and tower.

Keywords: Mechanical performance, Transmission line, ACSR and ACCR.

1. Pendahuluan

Perencanaan dan pengembangan penghantar sebagai salah satu komponen utama sistem transmisi saluran udara pada umumnya dititik beratkan pada peningkatan konduktivitas listrik, kekuatan mekanis dan pertimbangan biaya yang ekonomis. Akan tetapi akhir-akhir ini, ketika kebutuhan daya listrik semakin meningkat, keadaan lahan yang semakin terbatas serta biaya investasi yang tinggi, maka pemilihan konduktor lebih ditujukan pada peningkatan kemampuan hantar arus yang semakin besar. Untuk meningkatkan kemampuan hantar arus tersebut, maka penghantar yang digunakan harus dibuat dari bahan dengan karakteristik temperatur yang tinggi (*thermal resistance*).

Kawat penghantar yang biasa digunakan (konvensional) untuk saluran transmisi udara adalah kawat penghantar aluminium jenis ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yaitu kawat berlilit dengan inti serat baja di tengah yang dikelilingi oleh lapisan-lapisan serat aluminium [1]. Konduktor jenis ini mempunyai sifat tahan panas yang terbatas walaupun konduktivitas listriknya tinggi, karena menggunakan bahan aluminium jenis EC grade sehingga tidak dapat memberikan peningkatan kemampuan hantar arus. Pada umumnya konduktor konvensional mempunyai batas temperatur yang diijinkan tidak melebihi 75°C pada pembebanan harian dan pada keadaan beban darurat boleh meningkat sampai 90°C.

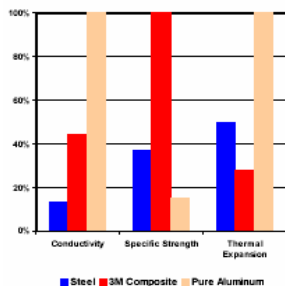
Kriteria unjuk kerja mekanis penghantar adalah penghantar harus tahan terhadap perubahan temperatur akibat arus yang dilewatkan dan harus tahan terhadap segala gaya-gaya atau tekanan/tarikan yang ada padanya akibat pembebanan mekanik maupun elektrik. Arus yang diperbolehkan (*allowable current*) untuk saluran transmisi udara dibatasi oleh kenaikan suhu yang disebabkan oleh mengalirnya arus dalam saluran tersebut [2]. Pemuluran (*creep*) dan andongan (*sag*) yang terjadi tidak boleh melebihi batas aman dari ruang dan jarak bebas minimum (*Clearence*). Dengan mengetahui pengaruh pembebanan arus saluran terhadap unjuk kerja mekanis konduktor ACCR yang meliputi tegangan tarik konduktor, andongan dan panjang pemuluran konduktor, diharapkan akan berguna dalam perencanaan dan pembangunan struktur konstruksi saluran transmisi udara yang sesuai dengan sifat dari konduktor ACCR.

Konduktor ACCR

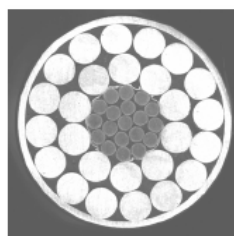
Diawal abad 21 ini telah dikembangkan penghantar termal ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*). Penghantar berlilit ini mempunyai inti serat paduan aluminium-matrik yang dikelilingi oleh serat aluminium dengan kandungan zirkonium (Zr).

Aluminium dengan kandungan zirkonium mempunyai sifat konduktivitas dan ketahanan panas (*thermal resistance*) yang tinggi sedangkan paduan aluminium-matrik yang berada ditengah akan mengasikkan kekuatan tarik yang tinggi tetapi lebih ringan dan konduktivitas yang lebih baik dari pada baja. Serat inti ini terdiri atas ribuan serat aluminium oksida (*Nextel 3M's 650 ceramic*) dengan diameter yang sangat kecil.

Konduktor ACCR sangat berpeluang untuk menggantikan konduktor konvensional yang ada, konduktor ACCR dapat dipasang dengan cepat dan mudah menggantikan konduktor konvensional dengan ROW (*Rights of way*) yang tersedia dengan sedikit



(a)



(b)

Gambar 1. Penghantar ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*) (a) Perbandingan unsur penyusun penghantar, (b) Penampang penghantar ACCR dengan inti Al-Matrik komposit dikelilingi serat Al-Zr.

ataupun tanpa perubahan pada tower dan alat-alat pendukung lainnya. Konduktor ACCR dapat beroperasi secara kontinyu pada temperatur 210°C dan 240°C pada kondisi darurat, sehingga akan menaikkan kapasitas penyaluran dua sampai tiga kali lebih besar dari pada menggunakan penghantar konvensional [3]. Teknologi konduktor ACCR telah diakui oleh *Research & Development Magazine* dalam penghargaan *R&D 100 Award* dan oleh *Minnesota High Tech Association* dalam *Tekne Award* untuk bidang pengembangan inovasi teknologi [4]. Beberapa pemasangan konduktor ACCR telah dilakukan antara lain; *Xcel Energy's* pada sistem 115kV di Minneapolis untuk menaikkan kapasitas penyaluran menggantikan konduktor ACSR dengan *clearence* dan tower yang tetap, *Hawaiian Electric* di North Shore pulau Oahu pada sistem 46 kV untuk menaikkan kapasitas penyaluran dengan menggunakan 72% ROW yang ada, WAPA (*Western Area Power Administration*) di Fargo, North Dakota telah membangun sistem transmisi 230kV baru dengan menggunakan konduktor ACCR untuk kondisi lingkungan es dan angin yang berat.

Perhitungan Temperatur Konduktor

Perhitungan kemampuan hantar arus pada saluran transmisi udara menurut IEEE Std.738 (1993) memenuhi persamaan keseimbangan panas, yaitu panas yang dibangkitkan oleh konduktor (panas rugi-rugi listrik + panas penyerapan matahari) sama dengan panas yang dilepaskan konduktor secara konveksi dan radiasi [5].

$$W_e + W_s = W_c + W_r \quad (1)$$

$$\text{Untuk, } W_e = I^2 R \text{ (Watt/meter)} \quad (2)$$

dengan : W_e = rugi listrik

I = Arus penghantar (A)

R = Tahanan (Ohm/meter)

Panas yang diserap dari matahari W_s diberikan oleh rumus :

$$W_s = \alpha \cdot E \cdot d \text{ (Watt/meter)} \quad (3)$$

dengan :

α = Koefisien serap matahari (1 untuk konduktor lama, 0,6 untuk konduktor baru)

E = Intensitas radiasi matahari (1000 – 1500 Watt/m²)

d = Diameter konduktor (meter)

Panas menyebar dari penghantar dengan cara 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.

$$W_r = 17,9 \times 10^{-8} e(T_c^4 - T_a^4)d \quad (4)$$

dengan:

σ = konstanta Stefan Boltzman (5,702 x 10⁻⁸ Watt/m²)

e = emisivitas relatif permukaan konduktor yang

bernilai antara 0,2-1,0 (untuk benda hitam = 1 dan

Al atau Cu = 0,5)
 T_c = temperatur konduktor ($^{\circ}$ K)
 T_a = temperatur sekeliling (*ambient temperature*) ($^{\circ}$ K)

Penyebaran panas secara konveksi, hubungan umumnya adalah:

$$W_c = 18. \Delta t \sqrt{p.V_m.d} \quad (\text{Watt/meter}) \quad (5)$$

dengan : p = tekanan udara (atm)
 V_m = kecepatan angin (m/detik)
 Δt = kenaikan temperatur ($^{\circ}$ C)
 d = diameter konduktor (m)

Sehingga persamaan (1) menjadi :

$$I^2 R + \alpha.E.d_c = 18.\Delta t. \sqrt{p.V_m.d_c} + 17,9.10^{-8} e(T_c^4 - T_a^4)d_c \quad (6)$$

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

Perhitungan tegangan tarik dan andongan konduktor.

Untuk menghitung tegangan tarik dan andongan pada kawat penghantar dapat diperoleh dari persamaan dibawah ini [6]:

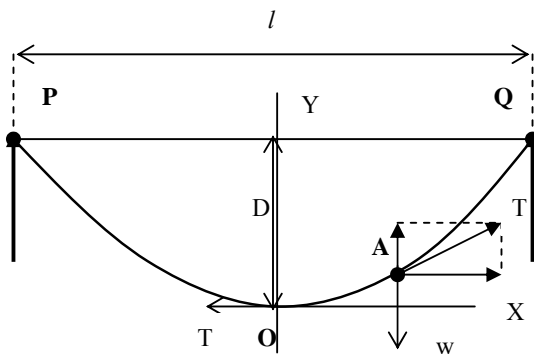
$$\sigma_{i2}^3 + A\sigma_{i2}^2 = B \quad (7)$$

$$A = \frac{l^2 \delta_m^2}{24\sigma_{i1}^2} E + \alpha E(t_2 - t_1) - \sigma_{i1} \quad (8)$$

$$B = \frac{l^2 \delta_m^2 E}{24} \quad (9)$$

dengan :

l = panjang kawat penghantar (m)
 δ_m = berat total spesifik kawat ($\text{kg. m}^{-1}.\text{mm}^{-2}$).
 Δt = $t_2 - t_1$ = perubahan temperatur ($^{\circ}$ C)



Gambar 2. Konduktor dibentang pada dua tiang penyangga

Tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan tarik nominal kawat pada keadaan temperatur t_1 , sehingga,

$$\sigma_{i1} = \frac{T_r}{k.q} \quad (10)$$

dengan:

T_r = tegangan tarik nominal (kg)
 σ_{i1} = tegangan tarik spesifik awal (kg.mm^{-2})
 k = faktor keamanan (2 - 5)
 q = luas penampang penghantar (mm^2)

Dengan demikian tegangan tarik horisontal pada temperatur t_2 dapat dihitung sebagai berikut:

$$T_{o12} = \sigma_{i2}.q \quad (11)$$

Tegangan tarik pada temperatur t_2 adalah :

$$T_{i2} = T_{o12} + \frac{l^2 w^2}{8T_{o12}} \quad (12)$$

Panjang kawat penghantar pada temperatur t_2 adalah:

$$L_{i2} = l + \frac{l^3 w^2}{24T_{o12}^2} \quad (13)$$

Andongan pada temperatur t_2 adalah :

$$D_{i2} = \frac{l^2 w}{8T_{o12}} \quad (14)$$

dengan :

L = lebar gawang (*span*) (m)
 D = andongan (*sag*) (m)
 w = berat konduktor per satuan panjang (kg.m^{-1})
 T = tegangan tarik konduktor (kg)
 T_o = tegangan tarik horisontal (kg)

Metode span ekuivalen (*Rulling Span*)

Metode *rulling span* diperkenalkan pertama kali oleh Thayer [7], adalah berguna untuk menghitung andongan dan tegangan tarik pada struktur dua *dead end* yang terdiri atas multi span yang berjarak tak sama. Jika ada n span dengan panjang $L_1, L_2, L_3, L_4, \dots, L_n$ pada setiap bagian dan L_e adalah ekuivalen span atau dinamakan *rulling span* pada setiap bagian. Panjang total dari jarak antar menara adalah:

$$L_e = (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n)$$

$$L_e = \sqrt{\left(\frac{L_1^3 + L_2^3 + L_3^3 + \dots + L_n^3}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n} \right)} \quad (15)$$

Pengaruh temperatur

Panjang konduktor bergantung kepada perubahan temperatur konduktor, apabila temperatur konduktor

meningkat maka akan menyebabkan pemuluran (*creep*) konduktor.

Misalkan :

l_0 = panjang kawat tidak ditegang pada 0C .

l_t = panjang kawat tidak ditegang pada temperatur t^0C .

L_0 = panjang kawat ditegang pada 0C .

L_t = panjang kawat ditegang pada t^0C .

α = koefisien muai panjang.

ϵ_i = perpanjangan ideal kawat karena tegangan pada t^0C .

E = modulus elastisitas kawat.

t = temperatur kawat 0C .

σ_t = tegangan spesifik kawat pada t^0C .

Maka , $l_t = l_0 (1 + \alpha t_1)$ dan

$$l_{t_2} = l_0 (1 + \alpha t_2)$$

Perubahan panjang kawat karena perubahan temperatur,

$$l_{t_2} - l_{t_1} = l_0 \alpha (t_2 - t_1)$$

Perubahan temperatur akan menyebabkan perubahan tegangan (*stress*) dalam kawat sesuai dengan hukum Hooke,

$$L_t = l_t (1 + \epsilon_i) = l_t (1 + \sigma_i/E) \\ = l_0 (1 + \alpha t_i) (1 + \sigma_i/E)$$

Perubahan kawat yang ditegang karena perubahan temperatur dari t_1 ke t_2 adalah ;

$$L_{t_2} - L_{t_1} = l_0 (1 + \alpha t_2) (1 + \sigma_{i2}/E) - l_0 (1 + \alpha t_1) (1 + \sigma_{i1}/E)$$

$$L_{t_2} - L_{t_1} = l_0 \left[\alpha (t_2 - t_1) + \frac{1}{E} (\sigma_{i2} - \sigma_{i1}) + (\alpha/E)(t_2 \sigma_{i2} - t_1 \sigma_{i1}) \right] \quad (16)$$

Suku baris kedua dari persamaan terakhir ini kecil sekali sehingga dapat diabaikan. Jadi secara pendekatan,

$$L_{t_2} - L_{t_1} = l_0 \left[\alpha (t_2 - t_1) + \frac{1}{E} (\sigma_{i2} - \sigma_{i1}) \right] \quad (17)$$

Pengaruh tekanan angin

Tekanan angin akan mempengaruhi berat spesifik kawat. Berat sendiri kawat bekerja vertikal sedang tekanan angin dianggap seluruhnya bekerja horizontal. Jumlah vektoris kedua gaya ini menjadi berat total spesifik kawat. Tekanan angin dinyatakan oleh:

$$P = f.p.F \quad (18)$$

dengan:

P = tekanan angin (kg)

f = factor bentuk.

p = tekanan angin spesifik (kg/mm²)
= $v^2/16$ kg/mm²

v = kecepatan angin (m/dt)

F = Luas permukaan kawat yang tegak lurus arah angin (m²)

Karena tekanan angin tidak merata maka digunakan koefisien ketidaksamaan ($d=0.75$ di Indonesia) , jadi:

$$P = f.d.p.F \quad (19)$$

dengan p bergantung dari tinggi kawat penghantar diatas permukaan tanah dan f bergantung dari diameter kawat penghantar.

Nilai dari F diambil = panjang kawat dikalikan dengan diameter kawat konduktor. Sehingga berat total spesifik kawat penghantar (Kg/m/mm²) adalah sebagai berikut:

$$\delta_m = \sqrt{\delta^2 + \delta_w^2} \quad (20)$$

dengan:

δ_w = tekanan angin spesifik
= P/q (kg.m⁻¹.mm⁻²).

δ = berat sendiri spesifik kawat
= W/q (kg.m⁻¹.mm⁻²).

δ_m = berat total spesifik kawat (kg. m⁻¹.mm⁻²).

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menghitung besarnya temperatur, tegangan tarik, panjang dan andongan akibat perubahan arus yang mengalir pada kawat penghantar dengan menggunakan alat bantu perangkat lunak (*software*) Matlab.7.0 terhadap penghantar konvensional ACSR dan penghantar ACCR. Perhitungan terhadap penghantar ACSR dengan ukuran diameter yang mendekati sama dengan penghantar ACCR juga dilakukan dengan tujuan sebagai referensi/pembandingan dalam analisis. Sebagai simulasi digunakan tower 46 sampai dengan tower 57 yaitu tower yang memiliki struktur dua *dead-end* pada saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV Paiton-Kediri. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan persamaan keseimbangan panas (IEEE Std.738, 1993) untuk mendapatkan hubungan kemampuan hantar arus dengan temperatur konduktor. Sementara untuk menghitung unjuk kerja mekanis konduktor meliputi tegangan tarik, panjang konduktor dan andongan menggunakan metode Catenary dan metode Rulling span. Sebagai bahan penelitian adalah:

- Dua buah konduktor dengan data spesifik sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1 [3-8].
- Saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500kV jalur Paiton – Kediri yang memiliki struktur dua *dead-end* yaitu pada span nomer 47 sampai dengan 56 [8] .

Tabel 1. Spesifikasi Konduktor

Spesifikasi Konduktor	ACSR	ACCR
1. Diameter	25,75 mm	25,2 mm
2. Luas penampang	392,80 mm ²	374 mm ²
3. Berat Konduktor	1300 kg/km	1067 kg/km
4. Resistans DC (20°C)	0,0813 ohm/km	0,0854 ohm/km
5. Tegangan tarik spesifik initial	5,95 kg/mm ²	15,22 kg/mm ²
6. Modulus Elastisitas	75,51 kN/mm ²	77 kN/mm ²
7. Koef. Muai Panjang	18,9. 10 ⁻⁶ /°C	16,6. 10 ⁻⁶ /°C
8. Temp. operasi maks	90°C	240°C

3. Hasil dan Pembahasan

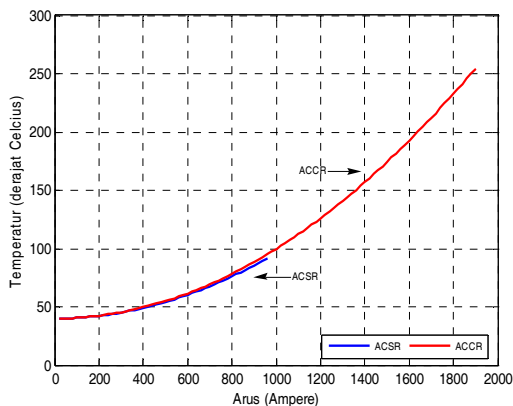
Pengaruh pembebanan arus terhadap temperatur konduktor

Temperatur pada kawat penghantar dipengaruhi oleh temperatur sekeliling (*ambient temperature*) dan rugi-rugi listrik. Temperatur sekeliling pada simulasi ini diambil 40°C dan kecepatan angin dianggap tetap sebesar 25 m/detik. Pada Gambar 2 memperlihatkan, apabila arus konduktor bertambah akan menyebabkan kenaikan temperatur pada konduktor. Hal ini terjadi karena arus yang mengalir dalam penghantar akan menimbulkan rugi-rugi listrik berupa energi panas yang besarnya berbanding dengan kuadrat arusnya. Dengan batas temperatur operasi maksimal pada konduktor ACCR sebesar 240°C dan ACSR sebesar 90°C, maka arus maksimal yang diijinkan pada konduktor ACCR adalah 1840 ampere dan untuk konduktor ACSR adalah 940 ampere.

Pengaruh pembebanan arus terhadap panjang konduktor

Kenaikan arus saluran akan mengakibatkan kawat penghantar bertambah panjang/terjadi pemuluran sebagaimana terlihat pada Gambar 3.

Dari hasil simulasi juga menunjukkan bahwa konduktor ACCR mempunyai panjang kawat yang lebih pendek pada saat harga arus sama, hal ini disebabkan konduktor ACCR mempunyai karakteristik tegangan tarik yang lebih besar, berat kawat yang lebih ringan dibanding konduktor ACSR sehingga dalam pemasangannya tidak memerlukan andongan yang terlalu besar dan panjang kawat konduktor menjadi lebih pendek.



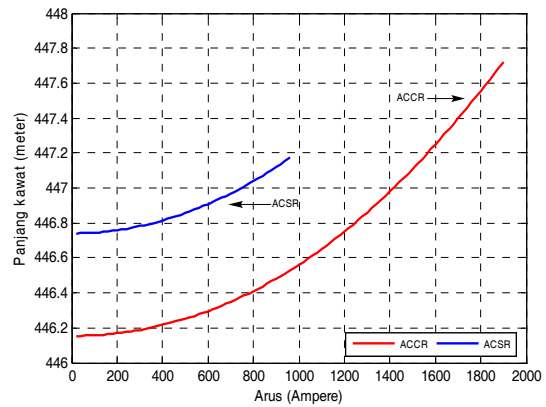
Gambar 3. Hubungan pembebanan arus terhadap temperatur konduktor

Pengaruh pembebanan arus terhadap tegangan tarik konduktor

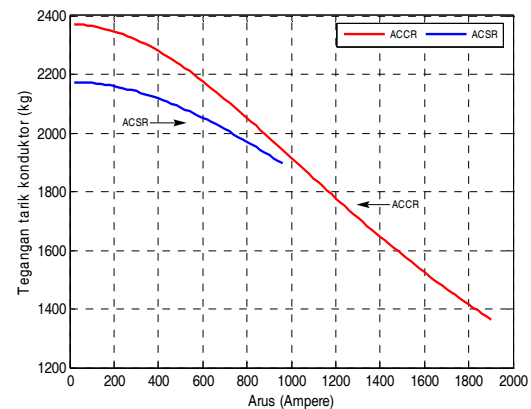
Dengan terjadinya pemuaiian/pemuluran pada konduktor akan menyebabkan regangan (*strain*) pada kawat penghantar turun sehingga tegangan tarik konduktor juga akan menurun. Sehingga terlihat pada Gambar 4 bahwa kenaikan arus pada konduktor akan mengakibatkan menurunnya tegangan tarik konduktor. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa untuk arus yang sama maka konduktor ACCR memiliki tegangan tarik yang lebih tinggi dari pada konduktor ACSR, hal ini disebabkan konduktor ACCR memiliki kekuatan tarik nominal lebih besar. Sesuai data karakteristik masing-masing konduktor, tegangan tarik spesifik permulaan (*initial specific tension*) untuk konduktor ACCR adalah 15,22 kg/mm² dan ACSR adalah 5,95 kg/mm².

Pengaruh pembebanan arus terhadap andongan

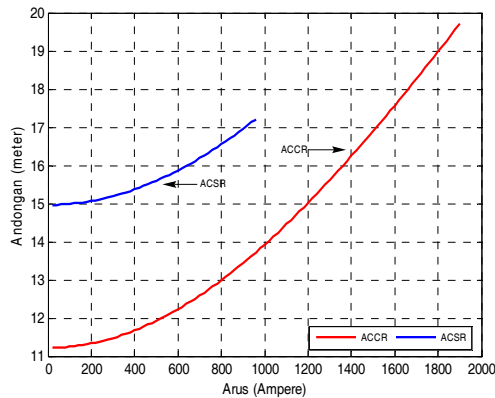
Perubahan arus saluran akan menyebabkan berubahnya andongan kawat penghantar, dengan terjadinya



Gambar 4. Hubungan pembebanan arus terhadap panjang konduktor



Gambar 5. Hubungan pembebanan arus terhadap tegangan tarik konduktor



Grafik 6. Hubungan pembebanan arus terhadap andongan konduktor

pemuaihan/pemuluran akan mengakibatkan kawat penghantar bertambah panjang sehingga andongan akan berubah menjadi lebih besar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Jika pada kedua jenis konduktor tersebut dibebani oleh arus yang sama besar maka andongan pada konduktor ACCR lebih kecil dibanding dengan konduktor ACSR, hal ini disebabkan konduktor ACCR mempunyai karakteristik tegangan tarik yang lebih besar, berat kawat yang lebih ringan dibanding konduktor ACSR sehingga dalam pemasangannya tidak memerlukan andongan yang terlalu besar. Dari hasil simulasi memperlihatkan, bahwa dengan mempertimbangkan ketinggian tower, jarak bebas (*clearance*) dan nilai andongan maksimum dari konduktor ACSR, maka penggunaan konduktor ACCR, dapat menaikkan kapasitas hantar arus dari 780 ampere jika menggunakan konduktor ACSR menjadi 1560 ampere (kondisi pembebanan harian). Atau dapat ditingkatkan menjadi dua kali lebih besar (100 %).

4. Kesimpulan

Kemampuan hantar arus untuk konduktor ACSR berpenampang $392,8 \text{ mm}^2$ adalah 940 ampere pada temperatur kerja maksimum 90°C dan 780 ampere pada temperatur pembebanan harian 75°C . Sementara untuk konduktor ACCR berpenampang 374 mm^2 adalah 1840

ampere pada temperatur kerja maksimum 240°C dan 1680 ampere pada temperatur pembebanan harian 210°C . Jadi dengan menggunakan konduktor ACCR kapasitas penyaluran pada pembebanan harian/pemakaian kontinyu dapat ditingkatkan sebesar 115,30%, dengan ukuran konduktor ACCR yang lebih kecil (selisih $18,77 \text{ mm}^2$) dibanding konduktor ACSR. Konduktor ACCR memiliki spesifikasi kekuatan tarik nominal lebih besar dan berat yang lebih ringan, sehingga dalam pemasangannya memerlukan panjang kawat dan andongan yang lebih pendek dibanding konduktor ACSR. Dengan mempertahankan ROW dan tower yang ada, maka penggunaan konduktor ACCR dengan ukuran penampang yang lebih kecil dibanding konduktor ACSR (selisih $18,77 \text{ mm}^2$), dapat menaikkan kapasitas penyaluran sistem transmisi menjadi dua kali lebih besar (sebesar 100 %).

Daftar Acuan

- [1] William D. Stevenson Jr., Analisis Sistem Tenaga Listrik, Erlangga, Jakarta, 1990, p.38.
- [2] A. S. Pabla, Sistem Distribusi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, 1994, p.181.
- [3] 3M corporation.. Conductor and Accessory Testing. Aluminum Conductor Composite Reinforced (ACCR) Technical Notebook, <http://www.3M.com/ACCR.pdf>, 2003.
- [4] Prairie Business Magazine, Composite Conductor Planned for Minnesota. Staff Report. (2005.) <http://www.prairiebizmag.com/article.asp?id=704-21k.html>, 2005.
- [5] IEEE Std. 738, Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors, IEEE Power Engineering Society, 1993.
- [6] T.S.Hutauruk, Transmisi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, 1999, p.152.
- [7] Thayer, E.S.1924. Computing Tension in Transmission Line, Electrical World Magazine, p. 72-73.
- [8] PT. PLN, Lot 1: Paiton – Kediri, Vol. 3, 500kV Transmission Lines Paiton – Kediri – Klaten Projects, 1997.