

DESAIN PEMODELAN ANDONGAN DAN KETEGANGAN UNTUK SALURAN TRANSMISI 275 kV MENGGUNAKAN METODE CATENARY

Dicky Novriandi¹⁾, Azriyenni Azhari Zakri²⁾, Edy Ervianto³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email: dicky.novriandi@student.unri.ac.id; azriyenni@eng.unri.ac.id; edyervianto@gmail.com

ABSTRACT

This research develops a method for determining catenary sag and tension analysis on 275 kV transmission line conductors. Catenary method is a function of the weight equation conductor, wires maximum tensile stress, long-span, and the maximum sag of the conductor. Processing methods was is used to determine the value of the sag and tension with the design of the model using statistical software AutoCAD, as well as determining the value of sag and tension of the influence of temperature conductor due to the current flow and ambient temperature using data conductor types A1/SAIA (ACSR/AS), the results of this research for the same tower height is obtained sag of 6.86 m, with a value of 4610.83 kg tension and conductor length of 401.06 m, while sag value for the tower which is placed at the high of 35.22 m, and sag for tower which is placed on the lower section of 0.48 m, the value of tension obtained for towers placed at a high part is 4657 kg while the tension value for towers placed in the lower part is 4600.75 kg, and the value change in conductor length by 401,882 m. Any increase in the current then sag value will increase, when the minimum current generated sag value of 6.8621 m, when the maximum current the resulting sag value increases to 8.31 m. While the value of tension obtained will be reduced, when the minimum current value of the tension is 4610,538 kg, when the maximum current value of tension is 3811,159 kg, Any increase in ambient temperature sag value will increase, when the minimum temperature is 20°C the resulting sag value of 6.8621 m then when the maximum temperature is 40°C the resulting sag value increased to 7.793492 m, While the value of the tension will decrease, when the minimum temperature value amounted tension 20°C 4610.538 kg, when the maximum temperature is 40°C tension value of 4062.345 kg.

Keywords: ACSR, Catenary, Sag, Tension, Transmission Line.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik dan perluasan kapasitas pusat-pusat pembangkit di Indonesia khususnya di pulau sumatera menyebabkan perlu penambahan kapasitas saluran transmisi. Upaya untuk meningkatkan kapasitas penyaluran dengan cara mengoptimalkan saluran transmisi sesuai dengan kemampuan kuat hantar arusnya. Saluran transmisi yang baik harus mampu menyediakan tenaga listrik yang ekonomis secara andal dan dengan tegangan yang cukup baik. Untuk bisa membangun saluran transmisi yang demikian diperlukan pengetahuan teknis yang cukup, baik teoritis maupun praktis.

Kerangka suatu sistem tenaga listrik sangat luas dan kompleks, komponennya mencakup

sistem pembangkit, sistem penyaluran dan sistem distribusi yang merupakan dasar dari industri perusahaan tenaga listrik. Oleh karena itu perlu diketahui bagaimana sistem pelaksanaan pekerjaan saluran tegangan tinggi, mulai dari pekerjaan, persiapan, perakitan dan pemasangan saluran transmisi. Dilihat dari pentingnya pelaksanaan pekerjaan pemasangan saluran transmisi sangat berpengaruh pada penyediaan tenaga listrik, maka pengaruh andongan dan ketegangan merupakan dua hal yang sangat penting dipertimbangkan pada saluran transmisi.

Andongan adalah jarak titik terendah dari sebuah konduktor dengan garis lurus konduktor tersebut yang dibentangkan pada dua titik.

Sedangkan ketegangan adalah kemampuan menahan suatu konduktor yang dibentangkan pada dua titik. (Muhammad Ihsan, 2017).

Panjang kawat akan tergantung pada panjang gawang (jarak antara dua menara transmisi) dan besarnya andongan yang diizinkan. Sedangkan andongan itu sendiri tergantung pada panjang kawat, ketegangan dan temperatur dimana ketiga besaran tersebut akan saling mempengaruhi satu sama lain. Karena tegangan kerja dari kawat konduktor yang digunakan untuk saluran transmisi tenaga listrik umumnya tinggi maka andongan kawat yang terlalu besar akan dapat menimbulkan bahaya bagi semua objek yang berada dibawah dan disepanjang saluran transmisi serta juga kawat konduktor itu sendiri.

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.

Pada penelitian ini akan mengembangkan suatu metode *catenary* untuk menentukan analisis andongan dan ketegangan pada penghantar saluran transmisi 275 kV. Metode *catenary* dalam penelitian ini adalah sebuah fungsi persamaan dari berat konduktor, tegangan tarik maksimum kawat penghantar, panjang span, dan maksimum andongan pada konduktor. Pengolahan metode ini akan digunakan untuk menentukan besar nilai andongan dan ketegangan dengan desain model menggunakan bantuan *software* yaitu Autocad, serta menentukan nilai andongan dan ketegangan terhadap pengaruh temperatur konduktor akibat arus saluran dan temperatur lingkungan.

Menurut Yoseph Mekonnen Abebe dan P. Mallikarjuna Rao melakukan penelitian yang membahas andongan dan ketegangan menggunakan metode *Affine Arithmetic* (AA). Metode AA adalah salah satu algoritma *self validate* (SV) yang dikembangkan untuk mengatasi masalah *Interval Arithmetic* (IA) yang berhasil diterapkan untuk beberapa masalah dengan pengukuran nilai yang tidak pasti atau masukan

data matematika secara interval yang telah digunakan sebelumnya. Metode AA telah diuji dalam 7 (tujuh) kasus pada suhu yang berbeda yang sesuai tekanan angin dan ketebalan salju yang tidak pasti. Penelitian mereka dilakukan di luar ruangan, hubungan antara ketebalan salju dan suhu berbanding terbalik. Setiap kali suhu meningkat, maka ketebalan salju menurun dan begitu sebaliknya. Relasi yang sama berlaku untuk tekanan angin dan suhu disekitar. Metode AA menghasilkan data yang lebih konservatif dalam semua kasus yang telah diberikan (Rao, 2015).

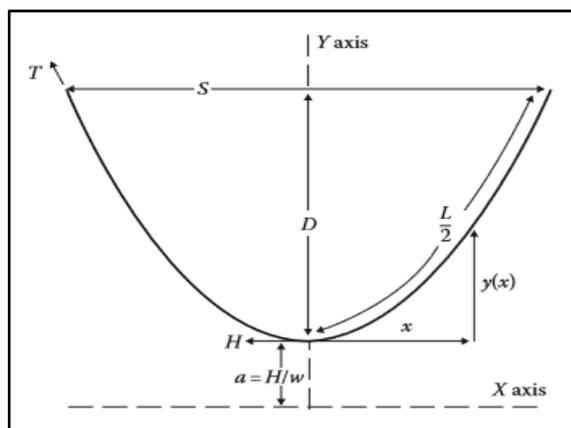
Kemudian Shaun McCarthy dan Nirmal-Kumar C. Nair melakukan penelitian yang membahas andongan dan ketegangan dengan menggunakan metode *Quadratic Error Method* (QEM). Metode QEM digunakan untuk mengevaluasi andongan maksimum secara langsung pada saluran konduktor udara dengan memecahkan persamaan umum perubahan pada keadaan yang non linear. Dalam penelitian ini menghitung dua studi kasus dalam pengujian metode QEM. Studi kasus pertama pada tegangan 230 kV menggunakan konduktor jenis *All Aluminium Conductor* (AAC) dengan luas penampang 1140 mm², ketegangan awal 6.7% CBL, panjang span 48.8 m dengan suhu 115°C, kemudian studi kasus kedua pada tegangan 230 kV menggunakan konduktor jenis *Aluminium Conductor Steel Reinforced* (ACSR) dengan luas penampang 469 mm², ketegangan awal 20% CBL, panjang span 183 m dengan suhu 60°C. Hasil dari penelitian ini menunjukkan andongan serupa dengan nilai andongan yang sebenarnya untuk ketiga kedudukan desimal. Selain andongan, metode QEM juga memberikan ketegangan akhir yang serupa dengan nilai yang sebenarnya untuk ketiga kedudukan desimal. Kemudian metode QEM dalam pendekatan andongan, memilih tingkat kesalahan sebesar 1 cm dari andongan yang sebenarnya dengan kesalahan 0,25% (Nair, 2015).

Pada penelitian selanjutnya dilakukan oleh Xiaoyuan Dong yang berkaitan dengan andongan dan ketegangan dengan menggunakan *Incremental Method* (IM). Metode IM ini digunakan untuk melihat karakteristik dari sebuah konduktor sehingga hasilnya memberikan pengetahuan yang besar dalam memahami perilaku mekanik konduktor, yang digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kelainan dan kegagalan konduktor yang diamati di lapangan dan laboratorium (Dong, 2016).

Oleh sebab itu, berdasarkan penelitian yang berkaitan untuk perhitungan dan permodelan andongan dan ketegangan pada saluran transmisi udara 275 kV. Maka penelitian ini akan mengembangkan suatu metode *catenary* yaitu sebuah fungsi persamaan dari berat konduktor, tegangan tarik maksimum kawat penghantar, panjang span, dan maksimum andongan pada konduktor. Pengolahan metode ini akan digunakan untuk menentukan besar nilai andongan dan ketegangan serta menentukan analisis andongan dan ketegangan dengan desain model menggunakan bantuan perangkat lunak yaitu Autocad. Model ini akan disimulasikan untuk perhitungan andongan dan ketegangan penghantar di transmisi 275 kV. Hasil penerapan metode *catenary* diharapkan dapat dibandingkan dengan hasil metode lainnya.

Andongan Kawat Transmisi Untuk Menara Sama Tinggi

Wilayah yang memiliki topografi permukaan yang rata akan memiliki menara transmisi yang sama tinggi sehingga kawat yang dibentangkan pada menara juga akan sama tinggi. Gambar 1 merupakan bentuk kurva *catenary* untuk menara sama tinggi dengan panjang span (S), andongan maksimum (D), panjang konduktor (L), Tegangan tarik kawat penghantar (H), berat konduktor (w), dan tegangan spesifik kawat (a).



Gambar 1. Kurva *Catenary* Untuk Menara Sama Tinggi

Persamaan *catenary* yang tepat menggunakan fungsi hiperbolik. Relatif terhadap titik rendah kurva *catenary* yang ditunjukkan pada Gambar 1, ketinggian konduktor, $y(x)$, di atas titik rendah ini diberikan oleh persamaan berikut (Thrash, 2012).

$$y(x) = \frac{H}{w} \cosh\left(\left(\frac{w}{H}x\right) - 1\right) \quad (1)$$

substitusikan $x = S/2$, sehingga didapatkan persamaan (2) (Thrash, 2012).

$$D = \frac{H}{w} \cosh\left(\left(\frac{wS}{2H}\right) - 1\right) \quad (2)$$

Persamaan untuk menghitung ketegangan pada menara sama tinggi dapat menggunakan persamaan (3) (Thrash, 2012).

$$T = H + wD \quad (3)$$

Sehingga untuk menghitung nilai perubahan panjang kawat penghantar akibat andongan dapat menggunakan persamaan (4) (Thrash, 2012).

$$L(S) = \frac{H}{w} \times \sinh\left(\frac{w \times S}{H}\right) \quad (4)$$

dimana :

S = Panjang gawang/span (m)

H = Kekuatan tarik (kg)

w = Berat kawat per-satuan panjang (kg/m)

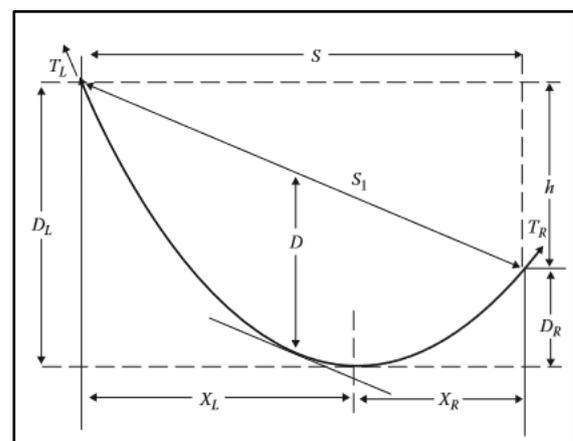
D = Andongan/sag (m)

T = Kekuatan tarik kawat (kg)

L = Panjang Kawat Penghantar (m)

Andongan Kawat Transmisi Untuk Menara Tidak Sama Tinggi

Wilayah dengan topografi permukaan yang tidak rata memiliki menara transmisi yang tidak sama tinggi, sehingga kawat yang dibentangkan pada menara tidak akan sama tinggi. Dua buah menara yang tidak sama tinggi dapat diilustrasikan seperti Gambar 2 yang menunjukkan kawat yang dibentang pada dua titik tumpu, titik T_L dan T_R yang tidak sama tinggi.



Gambar 2. Kurva *Catenary* Untuk Menara Tidak Sama Tinggi

Rentang dianggap terdiri dari dua bagian terpisah diantaranya 1 (satu) pada menara yang

ditempatkan pada bagian yang tinggi dan 1 (satu) menara lainnya di tempatkan pada bagian yang rendah. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sehingga untuk menghitung jarak horizontal (x_L), dari titik tertinggi pada menara yang ditempatkan pada bagian yang tinggi ke titik rendah pada *catenary* menggunakan persamaan (5) (Thrash, 2012).

$$x_L = \frac{S}{2} \left(1 + \frac{h}{4D} \right) \quad (5)$$

Jarak horizontal (x_R), dari titik tertinggi pada menara yang ditempatkan pada bagian yang rendah ke titik rendah pada *catenary* menggunakan persamaan (6) (Thrash, 2012).

$$x_R = \frac{S}{2} \left(1 - \frac{h}{4D} \right) \quad (6)$$

Untuk menghitung perubahan panjang kawat akibat andongan diberikan persamaan (7) (Thrash, 2012).

$$L = S + (x^3_1 + x^3_2) \frac{w^2}{6 \times H^2} \quad (7)$$

Sehingga untuk menghitung andongan untuk menara tidak sama tinggi diberikan persamaan (8) dan persamaan (9) (Thrash, 2012).

$$D_R = \frac{w x_R^2}{2H} \quad (8)$$

$$D_L = \frac{w x_L^2}{2H} \quad (9)$$

Maka untuk menghitung ketegangan pada andongan untuk menara tidak sama tinggi diberikan persamaan (10) dan persamaan (11) (Thrash, 2012).

$$T_R = H + w D_R \quad (10)$$

$$T_L = H + w D_L \quad (11)$$

dimana :

S = Jarak horizontal antara titik-titik pendukung (m).

H = Kekuatan Tarik (kg) .

D_R = Andongan pada menara yang ditempatkan pada titik tertinggi (m).

D_L = Andongan pada menara yang ditempatkan pada titik terendah (m).

T_R = Tegangan pada menara yang ditempatkan pada titik tertinggi (kg).

T_L = Tegangan pada menara yang ditempatkan pada titik terendah (kg).

Pengaruh Arus Saluran

Untuk menghitung kemampuan hantar arus pada konduktor harus memenuhi persamaan-

persamaan keseimbangan panas pada saluran transmisi udara yang menyatakan bahwa jumlah yang dibangkitkan oleh konduktor seperti panas rugi-rugi listrik ditambah dengan panas akibat penyerapan matahari adalah sama dengan jumlah panas yang disebarkan. Oleh karena itu perlu dicari besarnya jumlah panas dari kedua ruas persamaan

Panas Yang dibangkitkan Oleh Konduktor

Ukuran panas konduktor saluran tergantung dari besarnya arus dan resistansi pada temperatur konduktor yang berlaku. Besar resistansi saluran akibat perubahan suhu dapat dihitung dengan persamaan (12) (Hutauruk, 1985).

$$R_2 = R_1 (1 + \alpha_0 (t_1 - t_0)) \quad (12)$$

Sehingga panas yang dibangkitkan oleh konduktor meliputi panas yang ditimbulkan oleh rugi-rugi listrik dihitung menggunakan persamaan (13) dan tahanan dihitung menggunakan persamaan (14) (Begamudre, 1987).

$$W_c = i^2 \times R \quad (13)$$

$$R_m = \frac{1 + \alpha t}{1 + 20\alpha} \times R_{20} \quad (14)$$

dimana ;

W_c = Rugi-rugi listrik (W/m)

I = Arus (A)

R = Tahanan (Ohm/m)

α = Koefisien temperatur

Selain itu panas yang juga ditimbulkan oleh penyerapan panas dari matahari terhadap konduktor dihitung menggunakan persamaan (15) (Begamudre, 1987).

$$W_s = \alpha \cdot E \cdot dc \quad (15)$$

dimana :

α = koefisien serap matahari

$\alpha = 1$, untuk benda hitam;

$\alpha = 0,6$, konduktor baru

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

dc = diameter konduktor (mm²)

Panas Yang dibangkitkan Oleh Konduktor

Panas yang dibangkitkan didalam 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 dengan dihitung menggunakan persamaan (16) (Begamudre, 1987).

$$W_r = \tau e(T_c^4 - T_a^4)\pi dc \quad (16)$$

dimana :

τ = konstanta Stefan Bolzman (5.702×10^{-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 + ta.

Sehingga persamaan (16) untuk menghitung jumlah panas tersebar oleh radiasi dapat ditulis menjadi persamaan (17) (Thrash, 2012).

$$W_r = 17.9 \times 10^{-8} \cdot e \cdot (T_c^4 - T_a^4) \cdot dc \quad (16)$$

Sedangkan panas yang disebabkan secara konveksi diberikan persamaan (17) (Begamudre, 1987).

$$W_k = 5.73 \sqrt{p \cdot V_m / dc} \cdot \Delta t \quad (17)$$

dimana :

p = tekanan udara (atmosfir)

V_m = kecepatan angin (m/detik)

Δt = kenaikan temperatur (°C)

= t - ta

Jika panjang konduktor memiliki luas $\pi \cdot dc$ m², maka persamaan (17) dapat disederhanakan menjadi persamaan (18) (Begamudre, 1987).

$$W_k = 18 \cdot \Delta t \sqrt{p \cdot V_m \cdot dc} \quad (18)$$

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 dalam persamaan (19) (Begamudre, 1987):

$$W_c + W_s = W_k + W_r \quad (19)$$

$$I^2 R + \alpha \cdot E \cdot dc = 18 \cdot \Delta t \sqrt{p V_m dc} + 17.9 \times 10^{-8} \cdot e \cdot (T_c^4 - T_a^4) \cdot dc \quad (20)$$

Dari persamaan (20) dapat diuraikan ke dalam bentuk persamaan polynomial orde empat untuk mencari besarnya temperatur konduktor T_c Bentuk persamaan polynomial orde empat adalah:

$$C_3 \Delta t^4 + 4C_3 T_a \Delta t^3 + 6C_3 T_a^2 \Delta t^2 + (4C_3 T_a^3 + C_2) \cdot \Delta t - I^2 R - C_1 = 0 \quad (21)$$

C_1 merupakan panas yang ditimbulkan oleh penyerapan panas dari matahari terhadap

konduktor dihitung menggunakan persamaan (22) (Begamudre, 1987).

$$C_1 = \alpha \cdot E \cdot dc \quad (22)$$

C_2 merupakan panas yang tersebar secara konveksi dihitung menggunakan persamaan (23) (Begamudre, 1987).

$$C_2 = \sqrt{p \cdot V_m} \cdot dc \quad (23)$$

C_3 merupakan panas yang tersebar secara radiasi dihitung menggunakan persamaan (24) (Begamudre, 1987).

$$C_3 = 17.9 \times 10^{-8} \cdot e \quad (24)$$

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

Pengaruh Temperatur Lingkungan

Kekuatan tarik kawat dapat berubah sesuai dengan temperatur sekitar kawat. Kenaikan temperatur dapat menambah panjang konduktor sehingga panjang andongan dapat bertambah dan kekuatan tarik dapat berkurang (Gonen, 1988), panjang kawat konduktor tergantung pada perubahan suhu sekitar, ketika suhu meningkat maka pemanjangan konduktor akan bertambah, begitu juga pada ketegangan kawat akibat suhu yang di berikan oleh persamaan (25) sampai persamaan (30) (Hutauruk, 1985).

$$\sigma_t^3 + A \sigma_t^2 = B \quad (25)$$

$$A = \frac{L^2 \gamma^2}{24 \sigma^2} E + \sigma E (t_2 - t_1) - \sigma \quad (26)$$

$$B = \frac{L^2 \gamma^2 E}{24} \quad (27)$$

dimana :

α = Koefisien muai panjang kawat (°C)

E = Modulus elastisitas kawat (kN/mm²)

t_1 = Temperatur mula-mula (°C)

t_2 = Temperatur akhir (°C)

S = Panjang *Span* (m)

q = Luas Permukaan Kawat (mm²)

T = Kuat tarik kawat penghantar (kg)

σ = Tegangan spesifik kawat (kg/mm²) = T/q

H = Kekuatan tarik kawat (kg)

γ = Berat spesifik kawat (kg/m/mm²) = w/q

W = Berat kawat (kg/m)

σ_t = Tegangan spesifik kawat pada t°C (kg/mm²)

A,B= variabel titik A dan B

Setelah nilai σ_t didapatkan maka tegangan tarik kawat dapat dihitung dengan persamaan (28) (Hutauruk, 1985).

$$H_t = \sigma_t q \quad (28)$$

dimana :

H_t = Kekuatan tarik kawat pada t°C (kg/mm²)

Sehingga besarnya nilai andongan dan ketegangan akibat perubahan temperatur sekeliling dapat dihitung dengan persamaan (29) dan (30) (Hutauruk, 1985).

$$d = \frac{S^2 w}{8H_t} \quad (29)$$

$$T_{AB} = H_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{Sw}{H_t} \right) \right] \quad (30)$$

dimana ;

d = Andongan (m)

S = Panjang sapan (m)

T = Kuat tarik kawat penghantar (kg)

w = Berat konduktor (kg/m)

H_t = Kekuatan tarik kawat pada t°C (kg/mm²)

II. METODA PENELITIAN

Pada penulisan artikel ini dilakukan penelitian dengan data sistem penelitian dengan data spesifikasi konduktor yang di dapatkan dari SPLN T3.001-1:2007.

Sebelum pengambilan data langkah pertama yang dilakukan yaitu penentuan data parameter seperti jenis konduktor, berat konduktor, tarikan kerja maksimum kawat penghantar, jarak gawang rata-rata, dan tinggi menara transmisi, setelah data parameter ditentukan kemudian dilakukan pengambilan data-data tersebut, data parameter yang didapatkan kemudian diolah menggunakan *software* Microsoft Exel untuk mendapatkan nilai andongan, kemudian data yang telah diolah tadi dimasukkan ke dalam *software* Autocad, kemudian lakukan analisis terhadap hasil desain yang didapatkan.

Untuk pengaruh temperatur akibat pembebanan arus saluran langkah pertama dilakukan yaitu pengambilan data parameter, setelah data parameter didapatkan, kemudian untuk menghitung kemampuan hantar arus pada konduktor harus memenuhi persamaan-persamaan keseimbangan panas pada saluran transmisi udara yang menyatakan bahwa jumlah yang dibangkitkan oleh konduktor seperti panas rugi-rugi listrik ditambah dengan panas akibat penyerapan matahari adalah sama dengan jumlah panas yang disebarkan. Oleh karena itu perlu dicari besarnya

jumlah panas dari kedua ruas persamaan, setelah hasil keseimbangan panas didapatkan langkah selanjutnya menentukan nilai temperatur akibat dari pembebanan arus saluran, kemudian dilakukan analisis pengaruh temperatur akibat pembebanan arus saluran terhadap andongan dan ketegangan.

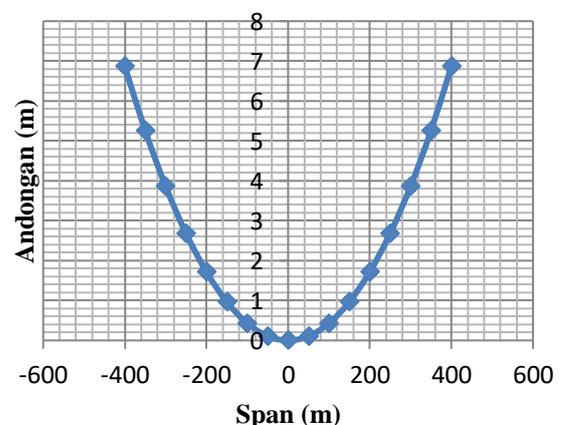
Untuk pengaruh temperatur lingkungan langkah pertama dilakukan yaitu pengambilan data parameter, setelah data parameter didapatkan, kemudian hitung nilai koefisien muai panjang, setelah nilai koefisien muai panjang didapatkan maka tegangan tarik kawat penghantar dapat dihitung, setelah hasil tegangan tarik didapatkan maka besar nilai andongan dan ketegangan akibat perubahan temperatur lingkungan dapat dihitung, kemudian dilakukan analisis andongan dan ketegangan akibat perubahan temperatur lingkungan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sub bab ini akan menjelaskan hasil desain andongan dan ketegangan untuk menara sama tinggi, hasil desain andongan dan ketegangan untuk menara tidak sama tinggi untuk saluran transmisi 275 kV, serta hasil pengaruh temperatur akibat pembebanan arus saluran terhadap andongan dan ketegangan, dan hasil pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan ketegangan.

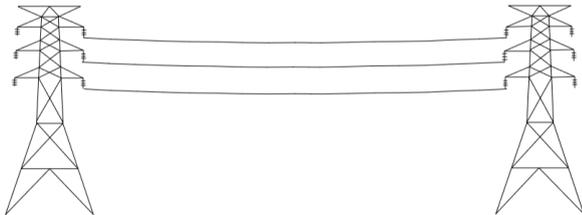
Hasil Desain Andongan dan Ketegangan Untuk Menara Sama Tinggi

Untuk mendesain andongan untuk menara sama tinggi menggunakan persamaan (2), dengan hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Andongan Untuk Menara Sama Tinggi

Gambar 3 adalah hasil perhitungan nilai andongan yang didapatkan sebesar 6,86 m, dengan panjang span 400 m, sehingga hasil desain andongan untuk menara sama tinggi dapat dilihat pada Gambar 4.

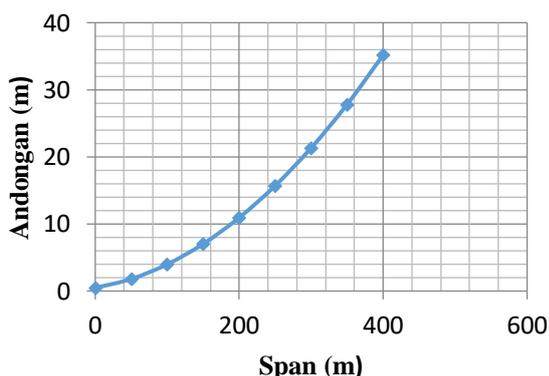


Gambar 4. Desain Andongan Untuk Menara Sama Tinggi Menggunakan Metode *Catenary*

Untuk nilai ketegangan pada menara sama tinggi didapatkan hasil sebesar 4610,83 kg sehingga nilai ketegangan peningkatan sebesar 10,83 kg dan untuk hasil panjang konduktor sebesar 401,06 m juga mengalami pemanjangan sebesar 1,06 m.

Hasil Desain Andongan dan Ketegangan Untuk Menara Sama Tinggi

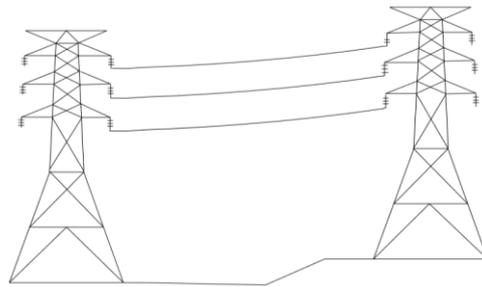
Dalam mendesain andongan untuk menara tidak sama tinggi rentang dianggap terdiri dari dua bagian terpisah diantaranya 1 (satu) pada menara yang ditempatkan pada bagian yang tinggi dan 1 (satu) menara lainnya di tempatkan pada bagian yang rendah.



Gambar 5. Kurva Andongan Untuk Menara Tidak Sama Tinggi

Gambar 5 menunjukkan hasil nilai andongan untuk menara tidak sama tinggi, dengan panjang span 400 m didapatkan hasil andongan untuk menara yang ditempatkan pada bagian yang tinggi sebesar 35,22 m, sedangkan nilai andongan untuk

menara yang ditempatkan pada bagian yang rendah yaitu sebesar 0,48 m

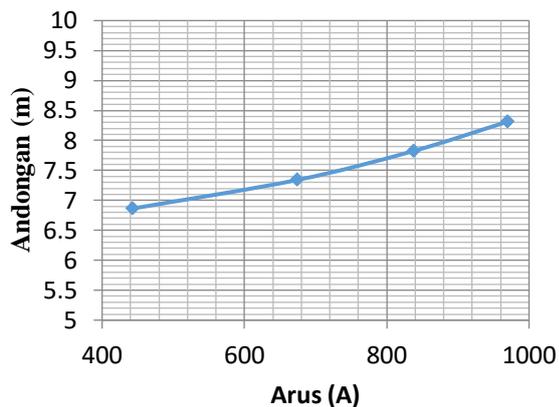


Gambar 6. Desain Andongan Untuk Menara Tidak Sama Tinggi Menggunakan Metode *Catenary*

Gambar 6 merupakan hasil desain andongan untuk menara tidak sama tinggi, kemudian untuk hasil perhitungan nilai ketegangan untuk menara yang ditempatkan pada bagian yang tinggi sebesar 4657 kg dimana nilai ketegangan tersebut meningkat sebesar 57 kg, sedangkan hasil perhitungan nilai ketegangan untuk menara yang ditempatkan pada bagian yang rendah sebesar 4600,75 kg dimana nilai ketegangan meningkat sebesar 0,75 kg, sehingga nilai ketegangan pada menara yang ditempatkan pada bagian yang tinggi lebih besar dari pada menara yang ditempatkan pada bagian yang rendah, sedangkan hasil nilai perubahan panjang konduktor mengalami pemanjangan sebesar 1,882 m.

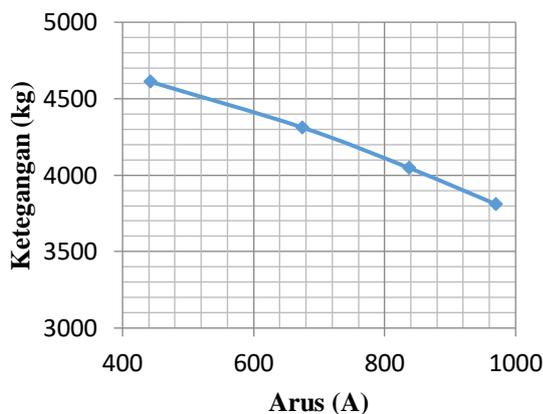
Hasil Pengaruh Temperatur Akibat Arus Saluran Terhadap Andongan dan Ketegangan Untuk Saluran Transmisi 275 kV.

Setiap kenaikan arus saluran akan menyebabkan meningkatnya temperatur pada konduktor, sehingga konduktor akan mengalami pemuaian dan pemanjangan akibatnya nilai andongan akan bertambah besar seiring dengan kenaikan temperatur yang disebabkan oleh kenaikan arus saluran, Akan tetapi nilai ketegangan pada konduktor berbanding terbalik terhadap kenaikan arus saluran, setiap nilai kenaikan arus maka nilai ketegangan yang didapatkan akan berkurang, dan sebaliknya ketika nilai arus berkurang maka nilai ketegangan yang didapatkan akan semakin bertambah. Gambar 7 merupakan hasil perhitungan hubungan arus terhadap andongan, dapat dilihat bahwa pada saat arus minimum yaitu 442,6 A nilai andongan yang dihasilkan sebesar 6,8621 m kemudian pada saat arus maksimum yaitu 969,36 A nilai andongan yang dihasilkan bertambah menjadi 8,31 m.



Gambar 7 Kurva Hubungan Arus Terhadap Andongan

Gambar 8 menunjukkan hasil hubungan kenaikan arus terhadap ketegangan dapat dilihat ketika nilai arus minimum 442,6 A nilai ketegangan yang dihasilkan sebesar 4610.538 kg, kemudian pada saat arus maksimum yaitu 969.36 A nilai ketegangan yang dihasilkan berkurang menjadi 3811.159 kg.

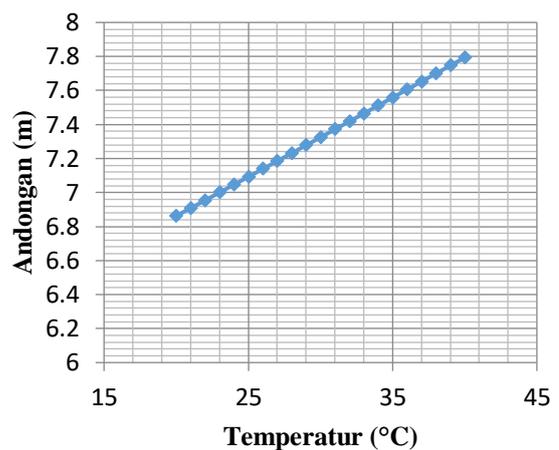


Gambar 8 Kurva Hubungan Arus Terhadap Ketegangan

Hasil Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan dan Ketegangan Untuk saluran Transmisi 275 kV.

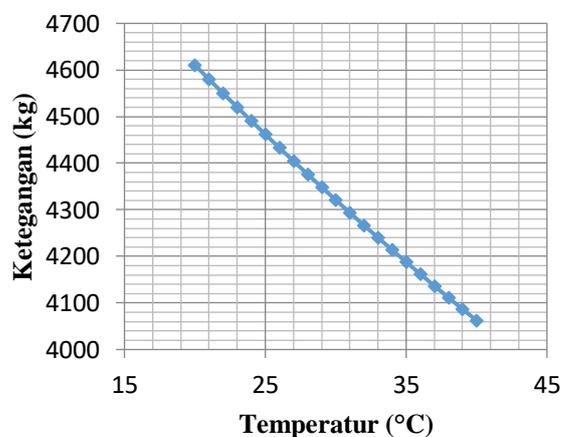
Setiap kenaikan temperatur lingkungan akan menyebabkan pemuaian dan pemanjangan pada konduktor, dimana pemuaian dan pemanjangan pada konduktor akan menyebabkan bertambah besarnya nilai andongan, Akan tetapi nilai ketegangan pada konduktor berbanding terbalik terhadap kenaikan temperatur lingkungan, setiap nilai kenaikan temperatur lingkungan maka nilai ketegangan yang didapatkan akan berkurang, dan sebaliknya ketika nilai temperatur lingkungan

berkurang maka nilai ketegangan yang didapatkan akan semakin bertambah. Gambar 9 merupakan hasil perhitungan pengaruh temperatur lingkungan terhadap perubahan nilai andongan dan ketegangan dimana dapat dilihat bahwa pada saat temperatur minimum yaitu 20°C nilai andongan yang dihasilkan sebesar 6,8621 m kemudian pada saat temperatur maksimum yaitu 40°C nilai andongan yang dihasilkan bertambah menjadi 7.793492 m.



Gambar 9 Kurva Hubungan Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan

Gambar 10 menunjukkan hasil hubungan kenaikan temperatur lingkungan terhadap nilai ketegangan, dapat dilihat bahwa pada saat temperatur minimum yaitu 20°C nilai ketegangan yang dihasilkan sebesar 4610.538 kg, kemudian pada saat temperatur maksimum yaitu 40°C nilai ketegangan yang dihasilkan berkurang menjadi 4062.345 kg.



Gambar 10 Kurva Hubungan Temperatur Lingkungan Terhadap Ketegangan

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil desain andongan untuk menara sama tinggi didapatkan nilai andongan 6,86 m, ketegangan 4610,83 kg dan panjang konduktor 401,06 m. Rentang andongan untuk menara tidak sama tinggi dianggap terdiri dari dua bagian terpisah yaitu untuk menara yang ditempatkan pada bagian yang tinggi nilai andongan 35,22 m, dengan ketegangan 4657 kg, kemudian untuk menara yang ditempatkan pada bagian yang rendah nilai andongan sebesar 0,48 m, ketegangan 4600,75 kg, dan perubahan panjang konduktor sebesar 401,882 m. Nilai arus saluran dan temperatur lingkungan sebanding dengan nilai andongan dan berbanding terbalik terhadap ketegangan, dapat dilihat saat arus minimum nilai andongan 6,8621 m, ketegangan 4610.538 kg. kemudian pada saat arus maksimum nilai andongan 8.31 m, dan ketegangan 3811.159 kg, untuk temperatur lingkungan kondisi minimum nilai andongan 6,8621 m, dan ketegangan 4610.538 kg, kemudian pada saat temperatur lingkungan kondisi maksimum nilai andongan 7.793492 m, dan ketegangan 4062.345 kg.

DAFTAR PUSTAKA

- Begamudre, R. D. (1987). *Extra High Voltage AC Transmission Engineering* (3rd ed.). India, Kanpur.
- Dong, X. (2016). *Analytic Metode to Calculate and Characterize the Sag and Tension of Overhead Lines*. IEEE.
- Gonen, T. (1988). *Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*. USA: John Willey & Sons Inc.
- Hutauruk, T. (1985). *Transmisi Daya Listrik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Muhammad Ihsan, I. D. (2017). *Pengaruh Suhu dan Angin Terhadap Andongan dan Kekuatan Tarik Konduktor Jenis ACCC Lisbon*. KITEKTRO, 2, 42-50.
- Nair, S. M.-K. (2015). *Final Tension Approximation Method for Determining the Maximum Sag of Bare Overhead Conductor*. IET, 9(3), 249-225.
- Rao, Y. M. (2015). *Overhead Transmition Line, Sag and Tension and Length Calculation using Affine Arithmetic*. IEEE.
- Thrash, D. A. (2012). *Sag and Tension of Conductor*. (L. I. Grigsby, Ed.) in chapter 15 of *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution Third Edition*.