

Pengaruh Suhu dan Angin Terhadap Andongan dan Kekuatan Tarik Konduktor Jenis ACCC Lisbon

Muhammad Ihsan^{#1}, Ira Devi Sara^{*2}, Rakhmad Syafutra Lubis^{#3}

[#] *Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Abdul Rauf No. 7, Darussalam, banda Aceh 23111 Indonesia*

¹muhamamdihsan10104@gmail.com

²ira.sara@gmail.com

³rakhmadslubis@gmail.com

Abstrak— Konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*) Lisbon dapat menghantarkan arus maksimal terus-menerus sebesar 1218 ampere dan mampu bekerja dengan suhu maksimal 175^oC. Permasalahan saluran transmisi adalah andongan dan kekuatan tarik. Besarnya tegangan tarik dan andongan akan mempengaruhi kapasitas hantaran arus. Konduktor ACCC Lisbon merupakan solusi yang tepat karena bersifat HTLS (*High Tension Low Sagging*) / mampu bekerja dengan tegangan tarik yang besar dan andongan yang rendah. Tegangan tarik dan andongan juga dipengaruhi faktor suhu dan angin. Pengaruh tersebut akan dihitung dengan metode *catenary* dan menggunakan *software octave 4.2.0*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh terbesar andongan dan kekuatan tarik adalah akibat arus saluran. Setiap kenaikan arus sebesar 10 ampere maka andongan akan bertambah sebesar 0,0106 meter atau 0,135 % sedangkan kekuatan tarik berkurang sebesar 2,5446 kg atau 0,136 %. Setiap kenaikan suhu 1^oC maka andongannya akan bertambah sebesar 0,0534 meter atau 0,7106 % dan kekuatan tarik akan berkurang sebesar 13,64 kg atau 0,69839 %. Setiap kenaikan kecepatan angin sebesar 1 m/s maka andongan akan bertambah sebesar 0,0013 meter atau 0,0024 % sedangkan kekuatan tarik akan bertambah sebesar 0,0025 kg atau 0,000124 %.

Kata Kunci— Andongan dan kekuatan tarik, ACCC Lisbon, Pengaruh arus saluran, suhu lingkungan dan angin, *catenary*, *octave 4.2.0*.

I. PENDAHULUAN

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.

Menaikkan tegangan pada jaringan transmisi menjadi salah satu pilihan untuk meningkatkan kapasitas daya yang akan disalurkan, namun hal ini membutuhkan biaya yang sangat besar, selain harus menggantikan peralatan di semua Gardu Induk (GI) juga harus menggantikan tower transmisi

jaringan listrik. Setiap konduktor yang digunakan sebagai penghantar saluran transmisi harus memiliki besar kekuatan tarik (*tension*) dan andongan (*sag*) tertentu agar penyaluran daya optimal dan aman dari pengaruh-pengaruh eksternal diantaranya temperatur dan angin.

Arus yang diperbolehkan untuk saluran transmisi udara dibatasi oleh kenaikan suhu yang disebabkan oleh mengalirnya arus dalam saluran tersebut. Pemuluran dan andongan yang terjadi tidak boleh melebihi batas aman dari ruang dan jarak bebas minimum [7].

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 [2].

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, kekuatan 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.[2]

Saat ini terdapat konduktor jenis baru yaitu ACCC Lisbon. Konduktor ini merupakan salah satu jenis konduktor yang digunakan sebagai penghantar pada sistem SUTT dan SUTET, konduktor ini terbuat dari Aluminium jenis Annealed berinti composite yang memiliki daya tarik mencapai 93,2 kN [3].

II. DASAR TEORI

Saluran Udara Tegangan Tinggi merupakan salah satu jenis saluran tenaga listrik yang digunakan untuk keperluan transmisi tenaga listrik dalam jarak yang sangat jauh dari pusat pembangkit energi listrik ke pusat beban. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) menggunakan tegangan 150 kV dalam proses penyaluran tenaga listrik ke pusat beban dari stasiun pembangkit energi listrik [1].

Andongan adalah jarak titik terendah dari sebuah konduktor dengan garis lurus konduktor tersebut yang

dibentangkan pada dua titik. Sedangkan kekuatan tarik adalah kemampuan menahan suatu konduktor yang dibentangkan pada dua titik.

Kawat konduktor yang dipasang antara dua titik struktur pendukung menara transmisi tidak akan berbentuk suatu andongan lurus horizontal, melainkan akan membentuk suatu andongan (sag). Besar andongan tergantung dari suhu udara sekeliling saluran. Pada siang hari, karena terik panas matahari, kawat juga akan menjadi panas dan sedikit memanjang dan andongan akan menjadi lebih besar, sebaliknya pada malam hari dengan kondisi udara yang lebih dingin, kawat akan menjadi lebih pendek sehingga mengencang dan andongan akan mengecil [4].

Andongan dan kekuatan tarik pada konduktor merupakan dua hal yang sangat penting dipertimbangkan pada saluran transmisi dan saluran distribusi hantaran udara (overhead) karena kekuatan tarik pada konduktor dapat menambah beban mekanik pada menara transmisi. Apabila kekuatan tarik terlalu besar maka dapat menyebabkan kegagalan mekanik pada konduktor itu sendiri. Faktor yang mempengaruhi andongan dan kekuatan tarik pada konduktor adalah [5] :

- Berat konduktor per satuan panjang
- Span (jarak antara dua menara transmisi)
- Temperatur

Apabila sebuah kawat konduktor direntangkan di antara dua buah titik A dan B seperti pada gambar 2.1 maka kawat tersebut akan melengkung. Besar lengkungan ini akan sangat tergantung pada berat dan panjang kawat. Berat kawat ini yang akan menimbulkan kekuatan tarik pada penampang kawat tersebut. Jika kekuatan tarik kawat besar dapat menyebabkan kawat putus, atau dapat merusak tiang pengikat kawat tersebut [6]. Menurut hukum Stokes, adanya beban kekuatan tarik ini akan mengakibatkan bertambah panjangnya kawat sesuai dengan modulus elastisitasnya [6]. Apabila modulus elastisitasnya kecil, pemuluran kawat menjadi tinggi. Perubahan panjang kawat yang kecil mempunyai efek yang besar terhadap andongan dan kekuatan tarik kawat [5]. Hal lain yang dapat menambah panjang adalah pemuaiannya akibat suhu yang tinggi yang diakibatkan oleh arus yang mengalir pada konduktor.

Andongan minimum dan maksimum yang mungkin terjadi pada saluran transmisi dapat dilihat pada Gambar 2.1. Menurut standar Perusahaan Listrik Negara untuk saluran transmisi 150 kV, tinggi kawat diatas tanah adalah 9 meter dan andongan maksimum adalah 12 meter. Sedangkan untuk tegangan tarik maksimum sebesar 1800 kg [8]. Ada dua batasan harga untuk merentangkan suatu kawat yaitu [6] :

- Kekuatan tarik tidak boleh melebihi kekuatan tarik yang diijinkan pada keadaan apapun. Kekuatan tarik maksimum akan terjadi pada saat temperatur terendah dan ada beban angin.
- Jarak kawat ke tanah tidak boleh lebih kecil dari jarak terkecil. Andongan terbesar terjadi pada saat temperatur maksimum dan pada beban maksimum.

Andongan dan kekuatan tarik selain dipengaruhi oleh faktor internal, juga dipengaruhi oleh faktor eksternal. Faktor-faktor eksternal terdiri dari [6]:

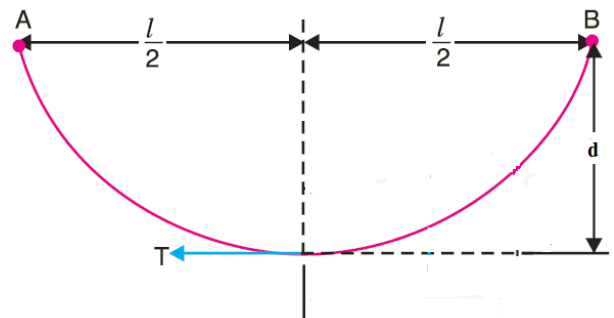
- Temperatur
- Tekanan angin
- Abu (terdapat di daerah gunung berapi dan di daerah industri tetapi pengaruhnya terhadap karakteristik mekanis kecil dan dapat diabaikan).

Selain keempat faktor yang telah disebutkan di atas, kondisi topografi suatu wilayah juga mempengaruhi besar andongan suatu penghantar. Berdasarkan topografi perhitungan andongan dapat dibedakan menjadi dua yaitu untuk permukaan rata (sama tinggi) dan tidak rata (tidak sama tinggi) [6].

A. *Andongan Kawat Transmisi Pada Permukaan Yang Rata.*

Naskah anda harus menggunakan ukuran halaman sesuai dengan ukuran kertas A4s yaitu 215mm (8.46") lebar dan 297mm (11.69") panjang. Pinggirnya harus diatur sebagai berikut:

Wilayah yang memiliki topografi permukaan yang rata akan memiliki menara transmisi yang sama tinggi sehingga kawat yang dibentangkan pada menara juga akan sama tinggi. Besar andongan dan tegangan tarik dapat dihitung dengan menggunakan metode *catenary* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Kawat yang dibentang pada menara yang sama tinggi.

Gambar 1 menunjukkan sepotong kawat yang ditumpu pada titik A dan titik B yang sama tinggi. Andongan kawat tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut [5] :

Menghitung andongan :

$$d = \frac{ws^2}{8H} \tag{1}$$

Menghitung kekuatan tarik :

$$T_{AB} = H + \frac{s^2w^2}{8H} = H \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{sw}{H} \right)^2 \right] \tag{2}$$

Menghitung perubahan panjang kawat akibat andongan :

$$L = S \left(1 + \frac{8d^2}{3s^2} \right) \tag{3}$$

Menghitung tahanan kawat :

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{4}$$

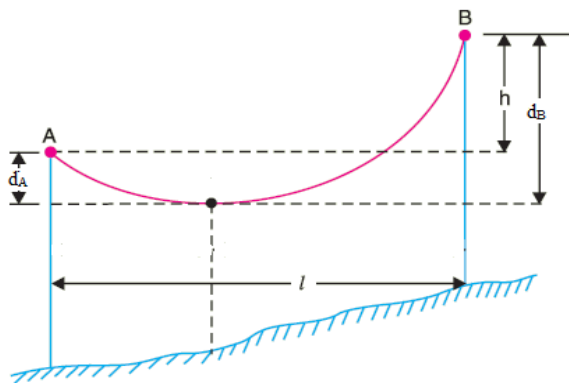
dimana :

- S : Panjang gawang/span (meter)
- H : Kekuatan tarik (kg)

- w : Berat kawat per satuan panjang (kg/m)
- d : Andongan/sag (meter)
- T_{AB} : Kekuatan tarik kawat (kg)
- A : Luas Penampang kawat (mm²)
- L : Perubahan panjang kawat akibat andongan (m)
- R : Tahanan kawat (Ω)
- ρ : Hambatan jenis (Ωm)

B. Andongan Kawat Tranmisi Pada Permukaan Yang Tidak Rata.

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 dibentangkan pada dua titik tumpu, titik A dan B yang tidak sama tinggi.



Gambar 2 Kawat yang dibentangkan pada menara yang tidak sama tinggi [6].

Bila lengkung kawat BA diteruskan sampai ke titik A' sehingga titik B dan A' sama tinggi [6], maka besar andongan pada menara A dan B sebesar [2] :

$$d_A = d \left(\frac{h}{4d} - 1 \right)^2 \tag{5}$$

$$d_B = d \left(\frac{h}{4d} + 1 \right)^2 \tag{6}$$

dimana :

- d : Andongan pada menara sama tinggi (m)
- h : Tinggi menara (m)

Sedangkan untuk kekuatan tarik kawat diperoleh dari persamaan berikut ini [2] :

$$T_A = H + (w \times d_A) \tag{7}$$

$$T_B = H + (w \times d_B) \tag{8}$$

dimana :

- H : Kekuatan tarik kawat (kg)
- w : Berat kawat (kg/m)

C. Pengaruh Arus Saluran

Perhitungan kemampuan hantar arus pada saluran transmisi harus 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 [7].

$$W_e + W_s = W_c + W_r \tag{9}$$

$$W_e = I^2 R \tag{10}$$

$$W_s = \alpha \cdot E \cdot d \tag{11}$$

dimana :

- W_e : Rugi listrik (W/m)
- I : Arus (A)
- R : Tahanan (Ohm/m)
- W_s : Panas yang diserap dari matahari (W/m)
- α : Koefisien serap matahari (1 untuk konduktor lama, 0,6 untuk konduktor baru)
- E : Intensitas radiasi matahari (1000-1500 W/m²)
- d : Diameter konduktor (m)

Panas dari penghantar menyebar secara radiasi dan konveksi. Secara radiasi sesuai dengan hukum Stefan Boltzman yang menyatakan bahwa jumlah panas tersebar oleh radiasi berbanding pangkat empat dari suhu mutlak penghantar [7].

$$W_r = 17,9 \cdot 10^{-8} e(T_c^4 - T_a^4) d \tag{12}$$

Sedangkan secara konveksi :

$$W_c = 18 \Delta t \sqrt{p V m d} \tag{13}$$

dimana :

- W_r : Panas radiasi (W/m)
- W_c : Panas Konveksi (W/m)
- e : emisivitas relatif permukaan konduktor yang bernilai antara 0,2-1,0 (untuk benda hitam=1 dan untuk Al atau Cu=0,5)
- T_c : Temperatur Konduktor (°C)
- T_a : Temperatur sekeliling (°C)
- p : Tekanan udara (atm)
- Vm : Kecepatan angin (m/s)
- Δt : Kenaikan temperatur (°C)
- d : Diameter konduktor (m)

Sehingga persamaan (9) menjadi :

$$I^2 R + \alpha \cdot E \cdot d = 18 \Delta t \sqrt{p V m d} + 17,9 \cdot 10^{-8} e(T_c^4 - T_a^4) d \tag{14}$$

Persamaan tersebut dapat digunakan untuk mengetahui nilai kenaikan temperatur sehingga dapat menghitung andongan dan kekuatan tarik akibat pembebanan arus saluran.

D. Pengaruh Temperatur Terhadap Andongan dan Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik kawat dapat berubah sesuai dengan temperatur di sekitar kawat. Kenaikan temperatur dapat

menambah panjang konduktor sehingga panjang andongan dapat bertambah dan kekuatan tarik dapat berkurang [5]. Panjang konduktor bergantung pada perubahan temperatur di sekitar konduktor, apabila temperatur di sekitar konduktor meningkat maka akan menyebabkan pemuluran konduktor [7]. Perubahan kekuatan tarik kawat akibat perubahan suhu dapat ditentukan dengan persamaan berikut [6] :

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^3 = B \tag{15}$$

$$A = \frac{L^2\gamma^2}{24\sigma^2} E + \alpha E (t_2 - t_1) - \sigma \tag{16}$$

$$B = \frac{L^2\gamma^2 E}{24} \tag{17}$$

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 gawang (m)
- q : Luas permukaan kawat (mm²)
- 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 t⁰C (kg/mm²)
- A,B : variabel titik A dan B

Setelah nilai σ_t diketahui , maka tegangan tarik kawat dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$H_t = \sigma_t q \tag{18}$$

dimana :

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

Besar andongan dan tegangan tarik kawat akibat perubahan temperatur dapat dihitung dengan persamaan berikut [6] :

$$d = \frac{S^2 w}{8H_t} \tag{19}$$

$$T_{AB} = H_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{S w}{H_t} \right)^2 \right] \tag{20}$$

E. Pengaruh Tekanan Angin Terhadap Andongan Dan Kekuatan Tarik

Tekanan angin juga merupakan faktor eksternal yang berpengaruh pada besar andongan dan kekuatan tarik kawat. Tekanan angin mempengaruhi berat spesifik kawat. Berat kawat bekerja vertikal sedang tekanan angin dianggap seluruhnya bekerja horizontal. Resultan dari keduanya merupakan berat total spesifik dari kawat. Secara umum tekanan angin dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut [5] :

$$P = p d$$

$$P = 0,1 v^2 d \tag{21}$$

$$w_{tot} = \sqrt{w^2 + P^2} \tag{22}$$

dimana :

- P : Tekanan angin (kg/m)
- p : Tekanan angin pada bidang pipih (kg/mm²)
- v : Kecepatan angin (m/detik)
- d : Diameter konduktor (m)
- w : Berat sendiri kawat (kg/m)
- w_{tot} : Berat total kawat (kg/m)

Adanya tekanan angin menyebabkan perubahan berat spesifik kawat dimana tergantung pada berat kawat itu sendiri dan berat karena adanya tekanan angin. Besar andongan dan kekuatan tarik kawat akibat pengaruh tekanan angin ditentukan dengan persamaan berikut:

$$d = \frac{S^2 w_{tot}}{8H} \tag{23}$$

$$T_{AB} = H \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{S w_{tot}}{H} \right)^2 \right] \tag{24}$$

F. Pengaruh Temperatur Dan Tekanan Angin Terhadap Andongan Dan Kekuatan Tarik

Apabila temperatur berubah maka akan menyebabkan tegangan spesifik kawat (σ) berubah menjadi tegangan spesifik kawat pada t°C (σ_t) dan tekanan angin akan menyebabkan perubahan pada berat spesifik kawat (γ) menjadi berat total spesifik kawat (γ_{tot}), sehingga besar andongan dan tegangan tarik dapat dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$d = \frac{S^2 w_{tot}}{8H_t} \tag{25}$$

$$T_{AB} = H_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{S w_{tot}}{H_t} \right)^2 \right] \tag{26}$$

G. Konduktor ACCC Lisbon

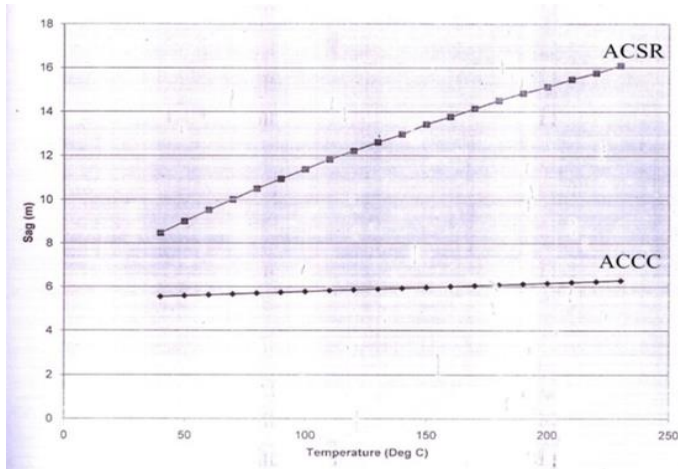
Perencanaan suatu jaringan juga meliputi penentuan ukuran dan tipe konduktor. Ukuran dan tipe konduktor ditentukan oleh arus yang lewat melalui konduktor, karena besar penampang konduktor berbanding lurus dengan kapasitas kuat arusnya. Semakin besar penampang pada saluran transmisi maka semakin besar pula daya yang mampu dikirim oleh saluran transmisi.

Saluran transmisi udara dengan tegangan 150 kV pada umumnya menggunakan konduktor ACSR yang memiliki batas temperatur kerja yang diijinkan sebesar 90°C. Penggunaan konduktor ACSR dapat mengoptimalkan penyaluran arus saluran transmisi. Namun penggunaannya dapat menimbulkan masalah penambahan kekuatan tarik (tension) dan andongan (sagging) [2].

Perbandingan terbesar ACSR dengan ACCC terletak pada pemuaihan konduktor yang mempengaruhi andongan disetiap kenaikan suhu. ACSR yang menggunakan baja sebagai inti konduktor mengalami pemuaihan yang besar pada setiap kenaikan suhu, sehingga memiliki keterbatasan dalam mensuplai daya listrik dengan arus yang besar. Sedangkan ACCC menggunakan inti yang terbuat dari campuran *fiber carbon* dan *fiber glass clad* yang memiliki daya tahan terhadap suhu tinggi sehingga hanya akan mengalami

pemuaian yang sangat kecil pada setiap kenaikan suhu dan tahan hingga mencapai suhu 175°C [3].

Berikut ini merupakan grafik perbandingan pemuaian terhadap kenaikan suhu antara ACSR dengan ACCC.



Gambar 3 Grafik perbandingan perbandingan *sagging* terhadap temperatur antara ACSR dengan ACCC [3].

Berikut merupakan data perbandingan karakteristik konduktor antara ACSR Hawk dengan ACCC Lisbon

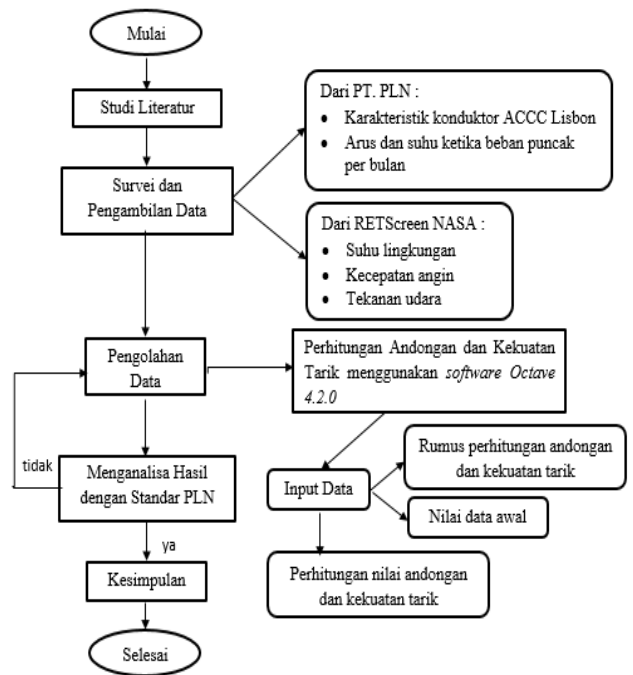
TABLE I
PERBANDINGAN ACSR DENGAN ACCC [3].

PENGHANTAR		ACSR HAWK	ACCC LISBON
Diameter keseluruhan (mm)	konduktor	21,79	21,78
	inti	8,01	7,11
Isi keseluruhan (mm ²)	konduktor	241,68	318,7
	inti	39,42	39,7
	Total	281,1	358,4
Berat (kg/km)	konduktor	670	804,6
	inti	308	76
	Total	978	880,6
Daya Tarik (kN)	Total	86,65	93,2
Modulus of Elasticity (kg/mm ²)	konduktor	8360	7040
	inti	2100	11938
Suhu Maksimum saat Beroperasi (°C)	Terus-menerus	90	175
Kapasitas Arus (A)	Terus-menerus	645	1218

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Tahapan – tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :



.Gambar 4 Tahapan Penelitian

B. Pengambilan Data

Pada tahap pengambilan data ini merupakan tahapan untuk mencari dan mengumpulkan data yang akurat yang bersumber dari PT.PLN (Persero) dan Website NASA. Data yang diambil merupakan data pada bulan januari sampai desember tahun 2016.

Data awal yang diambil dari PT. PLN berupa :

- Panjang Rute : 78,47 km
- Panjang sirkit : 156,54 kms
- Jenis konduktor : ACCC Lisbon
- Hambatan jenis aluminium (ρ) : $2,8 \cdot 10^{-8} \Omega m$
- Diameter konduktor (d) : 21,78 mm
- Luas penampang konduktor (q) : 358,4 mm²
- Kekuatan tarik(H) : 2000 kg
- Tegangan kawat spesifik (σ) : 5,5804 kg/mm²
- Berat per meter (w) : 0,957 kg/m
- Berat kawat spesifik (γ) : 0,00267 kg/m/mm²
- Jarak gawang rata-rata (S) : 350 m
- Modulus Elastisitas (E) : 7040 kN/mm²
- Koefisien muai panjang (α) : $23 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$
- Temperatur operasi maks : 175°C
- Jumlah menara transmisi : 235
- Tinggi menara (h) : 30 m

TABLE III
DATA BEBAN PUNCAK DAN TEMPERATUR KONDUKTOR.

Bulan	Beban puncak arus saluran (A)	Temperatur konduktor (°C)
Januari	323	38,30
Februari	226	26,8
Maret	248	29,4

April	365	43,28
Mei	394	46,72
Juni	312	36,99
Juli	375	44,47
Agustus	309	36,64
September	293	34,75
Oktober	304	36,05
November	282	33,44
Desember	380	45,06

Sedangkan data awal yang diperoleh dari RETScreen NASA berupa data temperatur bulanan dan kecepatan angin daerah Langsa dan sekitarnya.

TABLE III

DATA TEMPERATUR BULANAN DAN KECEPATAN ANGIN DAERAH LANGSA.

Bulan	Temperatur (°C)	Kecepatan angin (m/s)	Tekanan Udara (kPa)
Januari	23,4	2,9	96,3
Februari	23,8	2,4	96,2
Maret	24,1	2,1	96,2
April	24,5	1,6	96,1
Mei	24,8	1,9	96,1
Juni	25,2	2,4	96,1
Juli	25,1	2,4	96,1
Agustus	25,3	2,7	96,2
September	24,7	2,3	96,2
Oktober	24,3	2,1	96,2
November	23,8	2,3	96,2
Desember	23,5	3,0	96,3

C. Pengolahan Data

Setelah semua data yang diperlukan didapatkan maka tahapan selanjutnya adalah melakukan pengolahan data. Pada tahapan ini data yang telah kita peroleh dihitung menggunakan rumus – rumus pada bab 2. Rumus-rumus tersebut dimasukkan ke dalam *software octave 4.2.0*. Yang pertama dilakukan menghitung andongan dan kekuatan tarik pada kondisi tanpa pengaruh internal dan eksternal. Perhitungannya dilakukan hanya menggunakan data karakteristik konduktor dengan persamaan 1 dan 2.

Kemudian dilakukan perhitungan andongan dan kekuatan tarik akibat arus saluran dengan menggunakan persamaan 14 sampai 20.. Sedangkan untuk menghitung andongan dan kekuatan tarik karena pengaruh suhu lingkungan menggunakan persamaan 15 sampai 20. Perhitungan akibat pengaruh angin dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 21 sampai 24. Sedangkan untuk pengaruh gabungan yaitu suhu lingkungan, angin dan arus saluran perhitungannya menggunakan persamaan 25 dan 26.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Andongan dan Kekuatan Tarik pada Kondisi Tanpa Pengaruh Internal dan Eksternal.

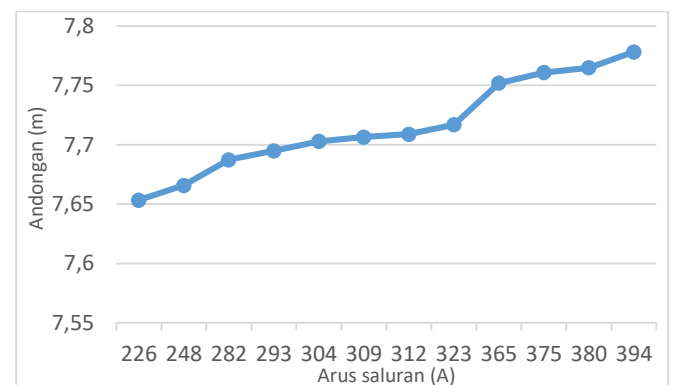
Nilai andongan tanpa dipengaruhi faktor apapun sebesar 7,32703 meter dan bernilai konstan untuk setiap bulannya

karena dalam perhitungannya hanya menggunakan karakteristik dari konduktornya saja. Nilai ini akan berguna untuk mengetahui sejauh mana perubahan andongan apabila dipengaruhi faktor-faktor tertentu. Begitu juga dengan kekuatan tarik tanpa pengaruh internal dan eksternal yaitu sebesar 2007,012 kg. Nilai ini sama untuk setiap bulannya, karena dalam perhitungannya sama seperti nilai andongan yang hanya menggunakan karakteristik konduktor. Nilai ini dapat digunakan untuk melihat sejauh mana perubahan kekuatan tarik jika dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal.

Perhitungan nilai panjang kawat tanpa pengaruh arus saluran, suhu lingkungan dan kecepatan angin yaitu sebesar 350,41 meter. Nilai ini juga akan digunakan untuk melihat sejauh mana perubahan panjang kawat yang disebabkan oleh faktor-faktor tersebut dan juga menentukan faktor apa yang membuat perubahan panjang kawat semakin besar. Demikian pula dengan hasil perhitungan tahanan kawat. Pada gambar tersebut terlihat nilai tahanan setiap bulannya tidak berubah yaitu 0,027376 Ω . Hal ini terjadi karena perhitungan tahanan kawat tanpa dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal sehingga nilainya tetap.

B. Perubahan Andongan dan Kekuatan Tarik Akibat Arus Saluran

Gambar di bawah ini adalah hasil perhitungan andongan akibat aliran arus saluran:

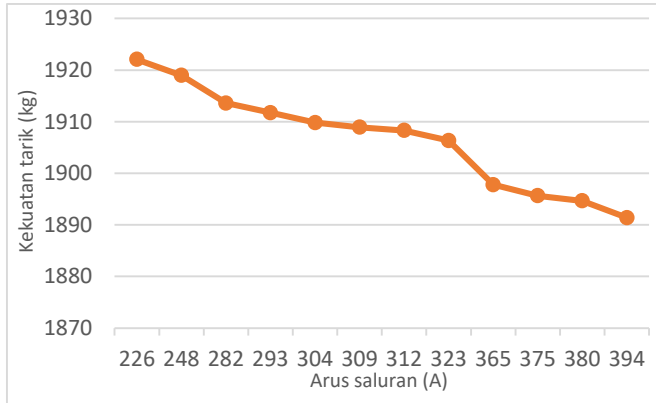


Gambar 5 Andongan akibat pengaruh arus saluran.

Dalam perhitungan andongan akibat arus saluran sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin. Namun dalam penelitian ini kecepatan angin konstan yaitu 2,342 m/s yang merupakan kecepatan angin rata-rata pada tahun 2016. Andongan maksimum yang terjadi akibat arus saluran yaitu sebesar 7,7783 meter. Untuk mengetahui sejauh mana perubahan

andongan akibat arus saluran maka dalam perhitungannya kecepatan angin dan suhu lingkungannya harus dianggap konstan. Dengan demikian, maka setiap kenaikan arus sebesar 10 ampere andongan akan bertambah sebesar 0,0055 meter atau 0,0718 %.

Dapat disimpulkan bahwa ketika kecepatan angin dianggap tetap maka semakin besar arus saluran akan mengakibatkan andongan konduktor semakin besar pula. Berikut ini merupakan gambar hasil perhitungan kekuatan tarik akibat arus saluran:

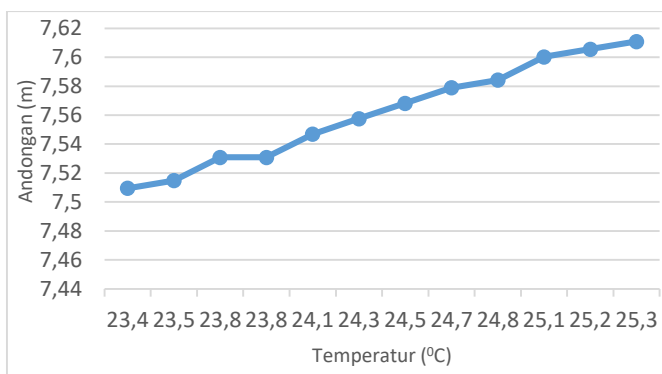


Gambar 6 Kekuatan tarik akibat pengaruh arus saluran.

Gambar 6 adalah hasil perhitungan kekuatan tarik akibat pengaruh arus saluran. Kekuatan tarik berbanding terbalik dengan andongan. Semakin besar andongan yang terjadi maka kekuatan tarik akan semakin berkurang. Hal ini sesuai dengan hasil yang terlihat pada gambar 5 dan 6. Pada saat nilai andongannya besar maka kekuatan tariknya kecil begitu pula sebaliknya ketika andongannya kecil maka kekuatan tarik akan bertambah. Sama halnya dengan perhitungan andongan, dalam perhitungan kekuatan tarik kecepatan angin juga dianggap konstan. Setiap kenaikan arus 10 ampere akan mengakibatkan kekuatan tarik berkurang sebesar 1,3781 kg atau 0,0717 %.

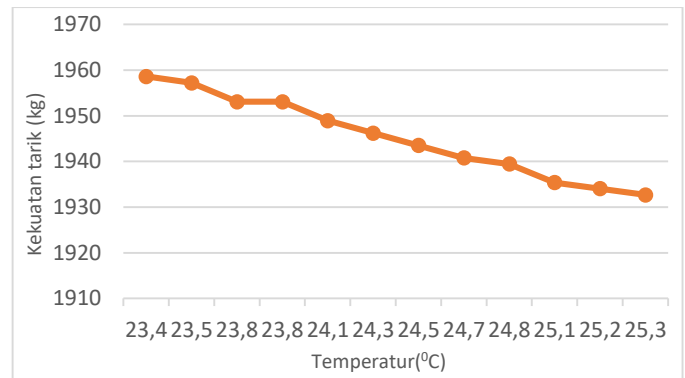
C. Perubahan Andongan dan Kekuatan Tarik Akibat Suhu Lingkungan

Gambar di bawah ini merupakan hasil perhitungan andongan akibat suhu lingkungan :



Gambar 7 Andongan akibat pengaruh suhu lingkungan.

Jika dibandingkan dengan arus saluran, andongan yang disebabkan oleh suhu lingkungan lebih kecil daripada andongan karena pengaruh arus saluran.. Seperti pada gambar 7 terlihat bahwa suhu lingkungan yang tinggi akan membuat andongan menjadi lebih besar. Suhu lingkungan tertinggi terjadi pada bulan agustus begitu pula dengan andongannya, andongan maksimum karena suhu lingkungan yang terjadi adalah sebesar 7,6109 meter. Dari hasil perhitungan setiap kenaikan suhu 1°C maka andongannya akan bertambah sebesar 0,0534 meter atau 0,7106 %. Di bawah ini adalah gambar hasil perhitungan kekuatan tarik akibat suhu lingkungan.

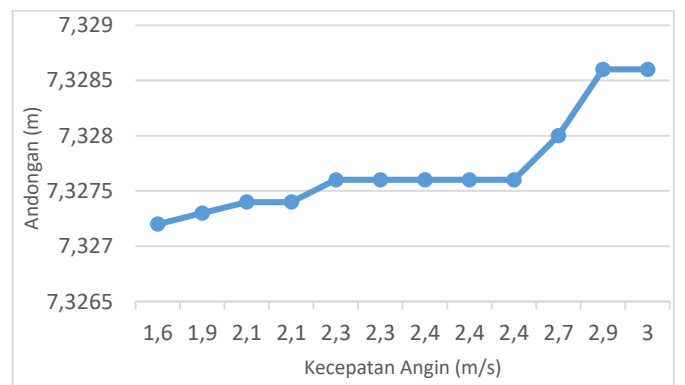


Gambar 8 Kekuatan tarik akibat pengaruh suhu lingkungan.

Sama dengan kekuatan tarik akibat arus saluran, kekuatan tarik akibat suhu lingkungan juga akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya suhu. Pertambahan suhu akan menimbulkan panas pada konduktor yang mengakibatkan terjadinya pemuaian dan menyebabkan pertambahan andongan, dengan bertambahnya andongan maka kekuatan taripun akan berkurang. Jadi, semakin besar suhu lingkungan maka kekuatan tarik akan semakin berkurang. Setiap kenaikan suhu 1°C maka kekuatan tarik akan berkurang sebesar 13,64 kg atau 0,69839 %

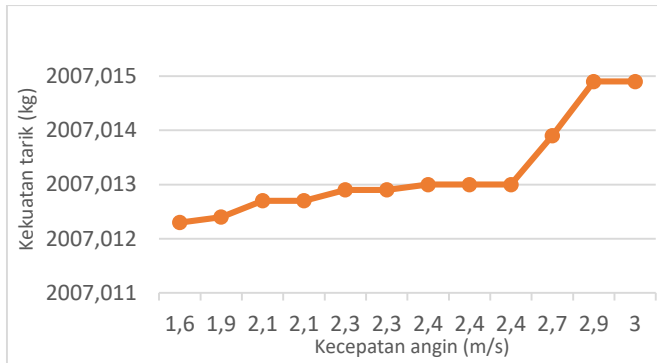
D. Perubahan Andongan dan Kekuatan Tarik Akibat Kecepatan Angin.

Gambar di bawah ini adalah gambar hasil perhitungan andongan akibat kecepatan angin :



Gambar 9 Andongan akibat pengaruh kecepatan angin.

Jika dibandingkan dengan dua pengaruh sebelum ini yaitu arus saluran dan suhu lingkungan maka pengaruh kecepatan angin merupakan pengaruh yang menyebabkan andongan paling kecil. Bahkan, nilai andongan yang dihasilkan hampir menyamai nilai andongan tanpa pengaruh faktor apapun. Namun, apabila kecepatan angin bertambah maka andonganyapun ikut bertambah walau hanya sedikit. Setiap kenaikan kecepatan angin sebesar 1 m/s maka andongan akan bertambah sebesar 0,0013 meter atau 0,0024 %. Oleh karena pengaruh angin terlalu kecil maka pengaruh kecepatan angin terhadap andongan dapat diabaikan. Di bawah ini adalah hasil perhitungan kekuatan tarik akibat pengaruh kecepatan angin:



Gambar 10 Kekuatan tarik akibat pengaruh kecepatan angin.

Sama dengan nilai andongan akibat pengaruh angin, nilai kekuatan tariknyapun hampir sama dengan nilai kekuatan tarik tanpa pengaruh internal dan eksternal. Kecepatan angin berbanding lurus dengan kekuatan tarik. Jadi semakin besar kecepatan angin maka kekuatan tarik juga semakin besar. Setiap kenaikan kecepatan angin sebesar 1 m/s maka kekuatan tarik akan bertambah sebesar 0,0025 kg atau 0,000124 %. Namun sama halnya dengan andongan, perubahan kekuatan tarik yang terjadi karena pengaruh kecepatan angin tidak terlalu besar maka dapat diabaikan.

E. Perubahan Andongan dan Kekuatan Tarik Akibat Suhu Lingkungan dan Kecepatan Angin.

Tabel IV di bawah ini merupakan hasil perhitungan andongan, kekuatan tarik, panjang dan tahanan kawat akibat pengaruh suhu lingkungan dan kecepatan angin.

TABLE IV
HASIL PERHITUNGAN ANDONGAN DAN KEKUATAN TARIK AKIBAT PENGARUH SUHU LINGKUNGAN DAN KECEPATAN ANGIN

Temperatur lingkungan (°C)	Kecepatan angin (m/s)	Andongan akibat suhu dan angin (m)	Kekuatan tarik akibat suhu dan angin (kg)
23,4	2,9	7,5108	1958,5972
23,5	3,0	7,5164	1957,2133
23,8	2,4	7,5315	1953,0683
23,8	2,3	7,5314	1953,0691
24,1	2,1	7,54731	1948,952
24,3	2,1	7,5580	1946,2132
24,5	1,6	7,5684	1943,499
24,7	2,3	7,5795	1940,7863
24,8	1,9	7,5845	1939,4286
25,1	2,4	7,6010	1935,3592
5,2	2,4	7,6062	1934,038
25,3	2,7	7,6120	1932,6821

Dari tabel IV dapat diketahui bahwa andongan akibat pengaruh suhu lingkungan dan kecepatan angin masih lebih kecil nilainya dibandingkan dengan andongan akibat arus saluran. Namun, andongannya lebih besar daripada andongan akibat pengaruh suhu lingkungan saja. Walaupun begitu nilai suhu lingkungan masih lebih berpengaruh daripada kecepatan angin. Pertambahan nilai andongan karena faktor ini sesuai dengan pertambahan suhu lingkungan. Setiap kenaikan suhu 1°C dan kecepatan angin 1 m/s maka andongan akan bertambah sebesar 0,3295 meter atau 4,385 %.

Berbeda dengan pengaruh tanpa digabungkan dengan pengaruh angin. Kekuatan tarik akibat pengaruh suhu lingkungan dan pengaruh angin akan bertambah lebih besar daripada kekuatan tarik akibat pengaruh suhu lingkungan saja padahal andongannya pun ikut bertambah. Itulah yang membedakan perhitungan andongan dan kekuatan tarik apabila dipengaruhi oleh dua faktor, walaupun nilai andongan dan kekuatan tariknya masih berbanding terbalik. Setiap kenaikan suhu 1°C dan kecepatan angin 1 m/s maka kekuatan tarik akan berkurang sebesar 6,4047 kg atau 0,32793 %.

Panjang dan tahanan kawat juga dipengaruhi oleh nilai andongan. Seperti terlihat pada tabel 4.1 yang menunjukkan bahwa semakin besar andongannya maka panjang kawat juga akan semakin bertambah. Sama halnya dengan panjang kawat, tahanan juga akan semakin besar apabila panjang kawat semakin bertambah

F. Perubahan Andongan dan Kekuatan Tarik Akibat Arus Saluran, Suhu Lingkungan dan Kecepatan Angin.

Tabel V di bawah ini merupakan hasil perhitungan andongan akibat pengaruh internal dan eksternal.

TABLE V
HASIL PERHITUNGAN ANDONGAN DAN KEKUATAN TARIK AKIBAT
PENGARUH INTERNAL DAN EKSTERNAL

I (A)	Tc (°C)	Ta (°C)	Vm (m/s)	Andongan akibat arus, suhu dan angin (m)	Kekuatan tarik akibat arus, suhu dan angin (kg)
226	26,8	23,8	2,4	7,6497	1923,1124
248	29,4	24,1	2,1	7,685	1914,2937
282	33,44	23,8	2,3	7,6909	1912,8661
293	34,75	24,7	2,3	7,6985	1911,00958
304	36,05	24,3	2,1	7,7238	1904,7616
309	36,64	25,3	2,7	7,6813	1915,3661
312	36,99	25,2	2,4	7,7045	1909,5458
323	38,30	23,4	2,9	7,6788	1916,11689
365	43,28	24,5	1,6	7,8393	1876,8454
375	44,47	25,1	2,4	7,7554	1897,1223
380	45,06	23,5	3,0	7,7151	1907,19156
394	46,72	24,8	1,9	7,8265	1879,915

Dari tabel hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa pengaruh ini merupakan pengaruh terbesar terhadap andongan, nilai andongannya pun lebih tinggi daripada nilai andongan akibat pengaruh arus saluran saja walaupun hanya sedikit.

Kekuatan tarik akibat pengaruh ini juga sama dengan kekuatan tarik akibat pengaruh suhu dan angin. Nilai kekuatan tariknya bukan merupakan nilai terendah sedangkan andongannya merupakan andongan maksimum. Bahkan yang menjadi nilai kekuatan tarik terendah adalah saat dipengaruhi arus saluran saja, namun andongannya bukan merupakan andongan maksimum. Hal ini juga karena perhitungan yang dilakukan dengan beberapa faktor sekaligus. Walaupun demikian, perbandingan andongan dan kekuatan tariknya masih tetap berbanding terbalik.

Panjang kawat akibat pengaruh ini juga dipengaruhi oleh nilai andongan. Semakin besar andongannya maka panjang kawat juga akan semakin bertambah. Begitu pula dengan tahanan apabila panjang kawat semakin bertambah, maka tahanannya juga akan semakin besar.

REFERENSI

- [1] Aslimeri, dkk. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2*. Jakarta: Dikti, 2008
- [2] Stephanus A. Ananda, dkk, "Pengaruh Perubahan Arus Saluran Tegangan tarik dan Andongan pada Sutet 500 KV di Zona Krian", [online]. Available: <http://www.petra.ac.id/~puslit/journals/dir.php?DepartmentID=ELK>, 2006.
- [3] Walton, Tom J, *ACCC Conductor Installation Guidelines*, USA : CTC Corporation, 2010
- [4] Abdul Kadir., *Transmisi Tenaga Listrik*, Jakarta: Universitas Indonesia , 1998.
- [5] Turan Gonen, *Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*, USA: John Willey & Sons Inc., 1988.
- [6] Hutaaruk, T.S., "Transmisi Daya Listrik", Jakarta: Erlangga, 1999.
- [7] Supriyadi Prasetyono, "Analisis Unjuk Kerja Konduktor ACCR Akibat Perubahan Arus saluran", [online]. Available: <http://www.petra.ac.id/~puslit/journals/dir.php?DepartmentID=ELK>, 2007.
- [8] Standar Perusahaan Listrik Negara, "Konstruksi Saluran Udara Tegangan Tinggi 70 kV Dan 150 kV dengan Tiang Beton Baja" vol .121-7: 1996.
- [9] Doughlass, D.A. dan Thrash, Ridley "Sag and Tension of Conductor" , Taylor dan Francis Group, LLC, 2006.

V. KESIMPULAN

Setiap kenaikan kecepatan angin sebesar 1 m/s maka andongan akan bertambah sebesar 0,0013 m atau 0,0024 %. Dibandingkan dengan kecepatan angin andongan lebih dipengaruhi oleh suhu lingkungan, semakin tinggi suhu lingkungan maka andongannya pun semakin besar. Setiap kenaikan suhu 1°C maka andongannya akan bertambah sebesar 0,0534 m atau 0,7106 %. Untuk pengaruh suhu lingkungan dan kecepatan angin secara bersamaan setiap kenaikan suhu 1°C dan kecepatan angin 1 m/s maka andongan konduktornya akan bertambah sebesar 0,3295 m atau 4,385 %.

Setiap kenaikan kecepatan angin sebesar 1 m/s maka kekuatan tarik akan bertambah sebesar 0,0025 kg atau 0,000124 %. Sedangkan setiap kenaikan suhu 1°C maka kekuatan tarik akan berkurang sebesar 13,64 kg atau 0,69839 %. Sementara setiap kenaikan suhu 1°C dan kecepatan angin 1 m/s maka kekuatan tarik akan berkurang sebesar 6,4047 kg atau 0,32793 %.

Dengan kecepatan angin konstan maka setiap kenaikan arus sebesar 10 ampere maka andongan akan bertambah sebesar 0,0055 meter atau 0,0718 % sedangkan kekuatan tarik berkurang sebesar 1,3781 kg atau 0,0717 %.

Jika dibandingkan andongan maksimum yang terjadi dengan andongan tanpa pengaruh internal dan eksternal maka pertambahannya yaitu sebesar 0,51227 meter atau 6,535 %. Sedangkan kekuatannya berkurang sebesar 130,167 kg atau 6,4856 %.

Andongan sebanding dengan suhu lingkungan dan kecepatan angin. Andongan juga sebanding dengan arus saluran jika kecepatan angin dianggap tetap. Kekuatan tarik sebanding dengan kecepatan angin dan berbanding terbalik dengan suhu lingkungan dan arus saluran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Secara khusus penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Ira Devi Sara, S.T., M.Eng.Sc selaku pembimbing I, dan Bapak Dr. Rakhmad Syafutra Lubis S.T.,M.T selaku pembimbing II yang telah membimbing penulis dalam penulisan karya ilmiah ini.