

## Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan dan Kekuatan Tarik konduktor Jenis ACCC Lisbon di KNO Sumut

Rastra Furqaranda<sup>1\*</sup>

Email: [rastrafurqaranda@gmail.com](mailto:rastrafurqaranda@gmail.com)

Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Jl. Denai No.217 Medan, Sumatera Utara

Darma Yulianti Purba<sup>2</sup>

Email: [yuliantipurba@yahoo.com](mailto:yuliantipurba@yahoo.com)

Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Jl. Denai No.217 Medan, Sumatera Utara

Suwarno<sup>3</sup>

Email: [suwarno@umsu.ac.id](mailto:suwarno@umsu.ac.id)

Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Jl. Denai No.217 Medan, Sumatera Utara

### ABSTRAK

Konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*) Lisbon dapat menghantarkan arus maksimal terus menerus sebesar 1218 ampere dan mampu bekerja dengan suhu maksimal 175<sup>0</sup>C. 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<sup>0</sup>C 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** : kekuatan tarik konduktor, ACCC lisbon

### 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[1] . 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[2,3]. Perkembangan industri pariwisata terutama di Bali bagian selatan, seperti pembangunan hotel – hotel berbintang, banyaknya penyelenggaraan kegiatankegiatan nasional maupun internasional menyebabkan kebutuhan listrik di daerah Bali bagian selatan meningkat dengan beban puncak sekitar 670 MW. Penambahanpenambahan pasokan sumber listrik terus diupayakan seperti pembangunan Pembangkit Celukan Bawang, penambahan 3

buah kabel laut, rencana SUTET 500 kV termasuk mengefisienkan pemanfaatan saluran transmisi 150 kV yang sudah memenuhi kebutuhan akan listrik di Bali[3]. Upaya mengefisienkan pemanfaatan saluran transmisi 150 kV dilakukan dengan uprating saluran transmisi. Uprating saluran transmisi tegangan tinggi pada jurnal ini merupakan peningkatan penampang yang sebelumnya menggunakan ACSR 240 mm<sup>2</sup> dengan KHA 600 A menjadi ACCC Lisbon 300 mm<sup>2</sup> dengan KHA 1250 A[4]. Adanya uprating saluran transmisi menyebabkan terjadinya perubahan nilai impedansi dari saluran transmisi sebelumnya. Akibat dari perubahan nilai impedansi, settingrele jarak yang lama akan berbeda nilainya dengan setting rele jarak setelah dilakukan uprating, sehingga perlu dilakukan setting pengaman ulang secara keseluruhan pada rele jarak agar tidak salah kerja[5]. Dari permasalahan diatas, akan dibahas besar nilai setting rele jarak setelah uprating antara GI Kapal – GI Padang Sambian – GI Pesanggaran, yang pernah terjadi malfunction [6]. Malfunction terjadi karena belum dilakukannya resetting pada rele jarak setelah uprating sehingga pernah terjadi trouble dibus 150kV Pesanggaran pada tanggal 10 Juli 2013. Kesalahan tersebut direle jarak GI Kapal yang melepas saluran Kapal – Padang Sambian, yang seharusnya bekerja pada saat itu adalah rele jarak GI Padang sambian melepas saluran Padang Sambian – Pesanggaran tetapi karena terjadi malfunction maka rele jarak GI Kapal yang bekerja dan melebihi zona pengamannya. Akibat dari dilepasnya saluran Kapal – Padang Sambian maka terjadi overload di GI yang lainnya dan mengakibatkan blackout di GI Padang Sambian, GI Pesanggaran, dan GI Nusa Dua

### **Dasar Teori**

#### **Rele Jarak (distance relay)**

Rele jarak digunakan sebagai pengaman utama (main protection) pada SUTT/SUTET dan sebagai backup untuk seksi di depan. Rele jarak bekerja menggunakan pengukuran tegangan dan arus untuk mendapatkan impedansi saluran yang harus diamankan. Jika impedansi yang terukur di dalam batas setting-nya, maka rele akan bekerja. Disebut rele jarak, karena impedansi pada saluran besarnya akan sebanding dengan panjang saluran. Jika impedansi yang terukur di dalam batas settingnya, maka rele akan bekerja. Rele jarak tidak tergantung oleh besarnya arus gangguan yang terjadi, tetapi tergantung pada jarak gangguan yang terjadi terhadap rele proteksi [7].

#### **Prinsip Kerja Rele Jarak**

Rele jarak mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan yang terlihat dari rele, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat ditentukan. Rele jarak didesain untuk bekerja jika impedansi jangkauan (reach) yang dideteksi oleh rele lebih kecil dari impedansi setting-nya. Pada dasarnya rele jarak yang berfungsi untuk mengamankan saluran transmisi memiliki 4 komponen dasar [1] :

1. Elemen starting yaitu suatu komponen didalam rele jarak yang berfungsi sebagai pembatas gangguan sehingga apabila terjadi gangguan diluar dari zonenya maka rele tidak boleh kerja.
2. Elemen power directional merupakan rangkaian yang mengijinkan suatu pengaman bekerja bila ada gangguan dengan arah dari bus ke saluran transmisi yang diamankan.
3. Elemen distance merupakan rangkaian yang bertanggung jawab terhadap perbandingan tegangan dan arus ( $V_r/I_r$ ) sehingga diperoleh harga impedansi yang kemudian secara benar mengukur jarak dari pengaman ke titik gangguan yang terjadi.
4. Elemen time delay merupakan rangkaian waktu dimana nilainya tergantung dari jarak pengaman ke titik gangguan yang terjadi

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 [8].

Kawat konduktor yang dipasang antara dua titik struktur pendukung menara transmisi

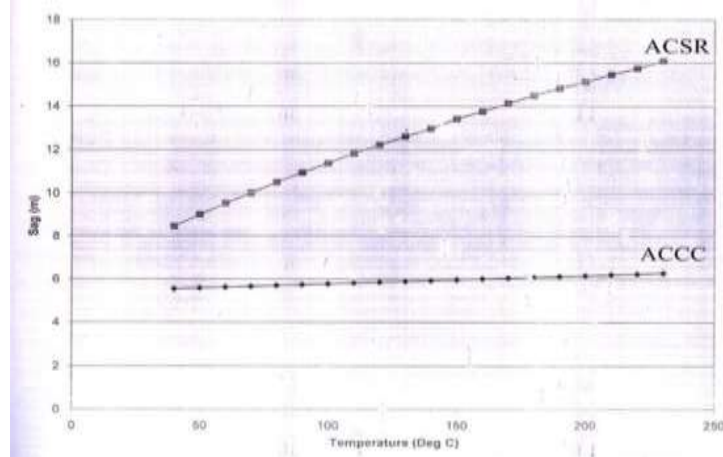
tidak akan berbentuk suatu garis lurus horizontal, melainkan akan membentuk suatu andongan (sag). Besar andongan tergantung dari suhu udara sekeliling saluran. Pada siang hari, karena terik panas matahari, kawat juga akan menjadi panas dan sedikit memanjang dan andongan akan menjadi lebih besar, sebaliknya pada malam hari dengan kondisi udara yang lebih dingin, kawat akan menjadi lebih pendek sehingga mengencang dan andongan akan mengecil [9]. 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 [10] :

- 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. 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 pemuaian akibat suhu yang tinggi yang diakibatkan oleh arus yang mengalir pada konduktor.

### **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<sup>0</sup> C. Penggunaan konduktor ACSR dapat mengoptimalkan penyaluran arus saluran transmisi. Namun penggunaannya dapat menimbulkan masalah penambahan kekuatan tarik (tension) dan andongan (sagging). Perbandingan terbesar ACSR dengan ACCC terletak pada pemuaian konduktor yang mempengaruhi andongan disetiap kenaikan suhu. ACSR yang menggunakan baja sebagai inti konduktor mengalami pemuaian 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. Berikut ini merupakan grafik perbandingan pemuaian terhadap kenaikan suhu antara ACSR dengan ACCC [6,7,9].



Gambar 1. Grafik perbandingan sagging terhadap temperature antara ACSR dengan ACCC

Tabel 1 Pebrandingan ACSR dengan ACCC

PENGHANTAR		ACSR	ACCC
		HAWK	LISBON
Diameter keseluruhan (mm)	Konduktor	21,79	21,78
	Inti	8,01	7,11
Isi keseluruhan (mm <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	Konduktor	8360	7040
	Inti	2100	11938
Suhu Maksimum saat Beroperasi (°C)	Terus-menerus	90	175
Kapasitas Arus (A)	Terus-menerus	645	1218

## METODE PENELITIAN

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 alumunium ( $\rho$ ) :  $2,8 \cdot 10^{-8} \Omega m$
- Diameter konduktor (d) : 21,78 mm
- Luas penampang konduktor (q) : 358,4 mm<sup>2</sup>
- Kekuatan tarik(H) : 2000 kg
- Tegangan kawat spesifik ( $\sigma$ ) : 5,5804 kg/mm<sup>2</sup>
- Berat per meter (w) : 0,957 kg/m
- Berat kawat spesifik ( $\gamma$ ) : 0,00267 kg/m/mm<sup>2</sup>
- Jarak gawang rata-rata (S) : 350 m
- Modulus Elastisitas (E) : 7040 kN/mm<sup>2</sup>

- Koefisien muai panjang ( $\alpha$ ) :  $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Temperatur operasi maks :  $175^\circ\text{C}$
- Jumlah menara transmisi : 235
- Tinggi menara (h) : 30 m

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

Tabel 2. Data temperature bulanan dan kecepatan angina Daerah KNO Sumut

Bulan	Temperatur ( $^\circ\text{C}$ )	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

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.

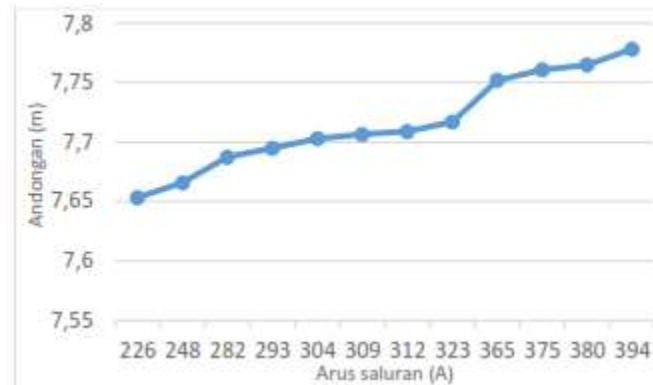
Kemudian dilakukan perhitungan andongan dan kekuatan tarik akibat arus saluran dengan menggunakan persamaan 14 sampai 20.. Sedangkan untuk menghitung andongan dan kekuatan tarik karena pengaruh suhu lingkungan menggunakan persamaan 15 sampai 20. Perhitungan akibat pengaruh angin dapat diketahui dengan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

## 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.

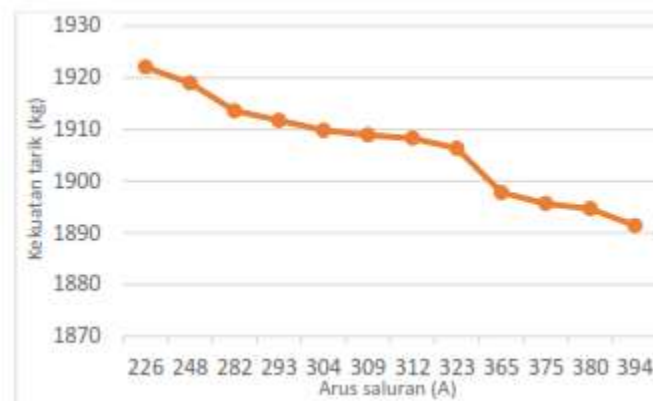
Perhitungan nilai panjang kawat tanpa pengaruh arus saluran, suhu lingkungan dan kecepatan angin yaitu sebesar 350,41 meter. Nilai ini juga akan digunakan untuk melihat sejauh mana perubahan panjang kawat yang disebabkan oleh faktor-faktor tersebut dan juga menentukan faktor apa yang membuat perubahan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



Gambar 2. Andongan akibat pengaruh arus aliran

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 3. Kekuatan tarik akibat arus saluran.

Gambar 3 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 %.

Perubahan Andongan dan Kekuatan Tarik Akibat Suhu Lingkungan dan Kecepatan Angin  
Tabel 3 di bawah ini merupakan hasil perhitungan andongan, kekuatan tarik, panjang dan tahanan kawat akibat pengaruh suhu lingkungan dan kecepatan angin



Tabel 3 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 3 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 **Perubahan andongan dan kekuatan tarik akibat arus saluran, suhu lingkungan dan kecepatan angin.**

Tabel 4 di bawah ini merupakan hasil perhitungan andongan 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 andongannyapun 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.

## **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 andongannyapun 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 kekuatan tariknya 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

## **Daftar Pustaka**

- [1] Titarenko ; I.Noskov-Dukelsky. 1987. Protective Relaying In Electric Power System. Moscow : Peace Publishers.
- [2] Halomoan, C.N. 2008. Rele Jarak Sebagai Proteksi Saluran Transmisi. Depok : Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [3] Kadir, A. 1998. Transmisi Tegangan Listrik. Jakarta : Universitas Indonesia.
- [4] Gonen, T. 1988. Modern Power System Analysis. California : California state University.
- [5] 2006. Pemeliharaan Dan Pengujian Relai Jarak .Jakarta : PT. PLN
- [6] Walton, Tom J, *ACCC Conductor Instalation Guidelines*, USA : CTC Corporation, 2010.
- [7] Stephanus A. Ananda,dkk, “Pengaruh Perubahan Arus Saluran Tegangan tarik dan Andongan pada Sutet 500 KV di Zona Krian.
- [8] R. Ā. Gupta, A. Biswas, and K. K. Sharma, “Comparative study of a three-bucket



- Savonius rotor with a combined three-bucket Savonius – three-bladed Darrieus rotor,” vol. 33, pp. 1974– 1981, 2008.
- [9] A. Ghosh, A. Biswas, K. K. Sharma, and R. Gupta, “Computational analysis of flow physics of a combined three bladed Darrieus Savonius wind rotor,” *J. Energy Inst.*, vol. 88, no. 4, pp. 425–437, 2015.
- [10] Turan Gonen, *Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*, USA: John Willey & Sons Inc., 1988.
- [11] Doughlass, D.A. dan Thrash, Ridley “*Sag and Tension of Conductor*” , Taylor dan Francis Group, LLC, 2006.