

TUGAS AKHIR

ANALISA PENGARUH ARUS DAN TEMPERATUR PADA KAWAT PENGHANTAR TERHADAP ANDONGAN DAN TEGANGAN TARIK PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 kV GI BELAWAN – GI SEI ROTAN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

M. REZA ARDIANDIKA
1507220095



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISA PENGARUH ARUS DAN TEMPERATUR PADA KAWAT
PENGHANTAR TERHADAP ANDONGAN DAN TEGANGAN TARIK
PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150kV GI BELAWAN –
GI SEI ROTAN

*Diajukan Guna Melengkapi Tugas – tugas dan Sebagai Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Telah Diuji dan Disidangkan Pada Tanggal :
06 Maret 2020

Oleh :
M. Reza Ardiandika
1507220095

Pembimbing I



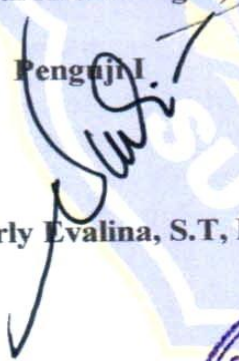
(Ir. Zul Arsil Siregar)

Pembimbing II



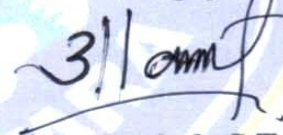
(Rohana, S.T, M.T)

Penguji I



(Noorly Evalina, S.T, M.T)

Penguji II



(Dr. M. Fitra Zambak, S.T, M.Sc)



Telah Diuji dan Disahkan
Ketua Program Studi Teknik Elektro

Maisal Fasan Pasaribu, S.T, M.T

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : M. Reza Ardiandika
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 25 Juni 1998
NPM : 1507220095
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“ANALISA PENGARUH ARUS DAN TEMPERATUR PADA KAWAT PENGHANTAR TERHADAP ANDONGAN DAN TEGANGAN TARIK PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 kV GI BELAWAN- GI SEI ROTAN”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 06 Maret 2020

Saya yang menyatakan,



Reza Ardiandika

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan energi listrik dalam lingkungan masyarakat menjadikan sistem energi listrik menjadi kunci dalam memenuhi kebutuhan energi. Sistem saluran transmisi menjadi salah satu komponen penting dalam penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban atau masyarakat. Saluran transmisi udara tegangan 150kV umumnya menggunakan konduktor ACSR, penggunaan konduktor ACSR dapat menimbulkan andongan dan tegangan tarik. Menurut standarisasi PLN batas maksimum andongan untuk tinggi menara 30 meter adalah 17 meter dan batas tegangan tarik maksimum sebesar 20 persen lebih besar dari tegangan tarik kawat nominalnya. Andongan dan tegangan tarik dapat meningkat akibat beberapa faktor seperti arus beban puncak dan temperatur lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh arus beban puncak saluran transmisi dan temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai andongan maksimum akibat pengaruh arus beban puncak saluran transmisi terjadi pada bulan April tahun 2019 sebesar 7,0129 meter dan tegangan tarik maksimum akibat pengaruh arus beban puncak terjadi pada bulan April tahun 2019 sebesar 15454,9707 kg. Nilai andongan maksimum akibat pengaruh temperatur lingkungan terjadi pada bulan Agustus tahun 2019 sebesar 1,7442 meter sedangkan nilai tegangan tarik maksimum akibat pengaruh temperatur lingkungan terjadi pada bulan Desember tahun 2019 sebesar 14797,648 kg. Pengaruh arus beban puncak dan temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik pada penelitian kali ini masih dalam batas standarisasi Perusahaan Listrik Negara yang artinya masih aman bagi kawat penghantar maupun objek yang berada disekitar menara trasnmisi.

Kata kunci : Saluran Transmisi, Andongan, Tegangan Tarik, Arus Beban Puncak

ABSTRACT

The increasing need for electrical energy in a community environment requires the electrical energy system to be key in meeting energy needs. The transmission line system becomes one of the important components in the distribution of electrical energy from the power plant to the community load center. The general 150kV voltage transmission line uses ACSR conductors, the use of ACSR conductors can use trays and tensile voltages. According to standardization the maximum limit for the 30 meter high tower is 17 meters and the maximum tensile stress limit is 20 percent greater than the nominal tensile wire tension. Andongan and tensile stress can increase several factors such as peak load currents and ambient temperature. This study discusses the amount of current in the transmission line and the ambient temperature of the load and tensile stress. The results of this study indicate the fact and the maximum value that affects peak currents in April 2019 amounted to 7.0129 meters and the maximum tensile stress due to peak currents occurred in April 2019 amounted to 15454.9707 kg. The maximum andongan value due to environmental temperature occurred in August 2019 amounted to 1.7442 meters while the maximum voltage value due to environmental temperature occurred in December 2019 amounted to 14797,648 kg. The influence of peak load currents and ambient temperature on the carriage and tensile stress in this study is still within the limits of the standard of the State Electricity Company which means it is still safe for conveying wires and objects located in transmission towers.

Keywords: *Transmission Line, Andongan, Tensile Voltage, Peak Load Current*

KATA PENGANTAR



Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi alam semesta. Shalawat berangkaikan salam kita ucapkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW karena beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawakan kita pesan ilahi untuk dijadikan pedoman hidup agar dapat selamat hidup di dunia hingga nanti kembali ke akhirat.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah **“ANALISA PENGARUH ARUS DAN TEMPERATUR PADA KAWAT PENGHANTAR TERHADAP ANDONGAN DAN TEGANGAN TARIK PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV GI BELAWAN – GI SEI ROTAN”**

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Mu saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Ayahanda (I Nyoman Suena) dan ibunda (Almh. Yusnita Nasution) tercinta, yang dengan cinta kasih & sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik, dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.

3. Bapak Munawar Alfansury, S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Partaonan Harahap, S.T,M.T, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Ir. Zularsil Siregar, selaku Dosen Pembimbing I Skripsi yang selalu sabar membimbing, memberikan arahan serta motivasi kepada penulis.
7. Ibu Rohana, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing II Skripsi yang telah memberi ide-ide dan masukkan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.
8. Segenap Bapak & Ibu dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kepada teman seperjuangan Fakultas Teknik yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu serta Keluarga Besar Teknik Elektro 2015 A1 PAGI yang selalu memberikan semangat, kebersamaan yang luar biasa.
10. Juga terima kasih kepada para pegawai Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah membantu dari proses awal kuliah sampai saya menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
11. Serta semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih

Medan, 11 Januari 2020

Penulis



M. REZA ARDIANDIKA
1507220095

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
PERNYATAAN KEASLIAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penulisan	3
1.6 Metodologi Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2 Landasan Teori	10
2.2.1 Saluran Transmisi.....	10
2.2.2 Kategori Saluran Transmisi.....	13
2.3 Komponen Utama Saluran Transmisi	15
2.3.1 Menara Transmisi.....	15
2.3.1.1 Komponen – Komponen Menara Transmisi.....	17
2.3.2 Isolator.....	19
2.3.3 Kawat Penghantar	21
2.3.4 Kawat Tanah	22

2.4 Rentang Vertikal Saluran Trasn misi	23
2.5 Temperatur Konduktor	25
2.5.1 Panas Oleh Faktor Arus Saluran	25
2.5.2 Panas Konduktor Oleh Penyerapan Panas Matahari	26
2.5.3 Penyebaran Panas Konduktor Oleh Faktor Radiasi	26
2.5.4 Penyebaran Panas Konduktor Oleh Faktor Konveksi	27
2.5.5 Persamaan Keseimbangan Panas	27
2.6 Andongan Dan Tegangan Tarik	28
2.6.1 Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik	32
2.6.2 Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik	34
2.7 Span Equivalen.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Tempat Penelitian.....	37
3.2 Jadwal Penelitian.....	37
3.3 Data Penelitian	37
3.4 Metode Penelitian.....	39
3.5 Teknik Analisa Data	41
3.6 Diagram Alir Penelitian	43
BAB IV ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN.....	44
4.1 Analisa Data Perhitungan.....	44
4.2 Analisa Pengaruh Arus Beban Puncak Saluran Transmisi Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik	44
4.2.1 Karakteristik Grafik Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Andongan	61
4.2.2 Karakteristik Grafik Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Tegangan Tarik	63
4.3 Analisa Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik	66

4.3.1 Karakteristik Grafik Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan.....	88
4.3.2 Karakteristik Grafik Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Tegangan Tarik.....	90
BAB V PENUTUP	93
5.1 Kesimpulan.....	93
5.2 Saran.....	94

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ketentuan jarak antar tiang atau menara SUTT dan SUTET.....	16
Tabel 2. Koefisien tahanan temperatur	26
Tabel 3. Data karakteristik kawat penghantar	37
Tabel 4. Data Beban Puncak Dan Temperatur Konduktor	38
Tabel 5. Data temperatur lingkungan	39
Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Pengaruh Arus Beban Puncak	60
Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Pengaruh Temperatur Lingkungan	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Rangkaian ekuivalen saluran transmisi pendek	11
Gambar 2. Rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah T	12
Gambar 3. Rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah π	12
Gambar 4. Saluran udara (<i>Overhead Lines</i>)	14
Gambar 5. Saluran kabel bawah tanah (<i>Underground Cable</i>)	14
Gambar 6. Jenis – jenis isolator	20
Gambar 7. Rentang vertikal	23
Gambar 8. Rentangan vertikal berdasarkan pergeseran titik terendah	24
Gambar 9. Permukaan rata atau sama tinggi	30
Gambar 10. Permukaan tidak rata atau tidak sama tinggi	31
Gambar 11. Diagram alir	43
Gambar 12. Karakteristik Grafik Arus Beban Puncak Terhadap Andongan	61
Gambar 13. Karakteristik Grafik Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Tegangan Tarik	63
Gambar 14. Karakteristik Grafik Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan.....	88
Gambar 15. Karakteristik Grafik Temperatur Lingkungan Terhadap Tegangan Tarik	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Balasan Riset PT. PLN (Persero)

Lampiran 2. Data Karakteristik Kawat Penghantar

Lampiran 3. Data Arus Beban Puncak Dan Temperatur Konduktor

Lampiran 4. Data Temperatur Lingkungan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan energi listrik dalam lingkungan masyarakat menjadikan sistem tenaga listrik menjadi kunci dalam memenuhi kebutuhan energi listrik. Hal ini disebabkan oleh tingkat pertumbuhan pada masyarakat yang semakin tinggi menggunakan energi listrik. PT PLN sebagai perusahaan nasional yang bergerak dibidang ketenagalistrikan berusaha mengembangkan dan meningkatkan seluruh potensi untuk menghasilkan energi listrik serta diharapkan mengatasi kebutuhan energi listrik yang aman, handal, dan ekonomis bagi masyarakat.

Energi listrik yang di salurkan dari pusat pembangkit ke pusat beban pada umumnya disalurkan melalui saluran transmisi yakni Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang merupakan sarana diatas tanah untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke Gardu Induk (Erhaneli 2019). Salah satu komponen untuk menyalurkan energi listrik terdiri dari kawat atau konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang melalui isolator-isolator dengan sistem tegangan tinggi 150 kV. Saluran transmisi udara dengan tegangan 150 kV umumnya menggunakan konduktor ACSR. Penggunaan konduktor ACSR dapat mengoptimalkan saluran transmisi dalam menghantarkan energi listrik.

Pengoptimalan pada saluran transmisi dapat menimbulkan tegangan tarik dan andongan yang timbul dikawat konduktor (Hari Anna Lastya 2014). Tegangan tarik dan andongan semakin meningkat karena adanya beberapa

pengaruh salah satunya adalah arus dan temperatur lingkungan. Pengaruh arus beban puncak pada saluran transmisi akan mengakibatkan bertambahnya berat pada konduktor sehingga nilai andongan dan tegangan tarik yang akan terjadi akan semakin besar. Sedangkan pengaruh temperatur lingkungan akan menyebabkan bertambahnya panjang konduktor sehingga panjang andongan akan bertambah dan tegangan tarik berkurang, hal ini diakibatkan karena berubahnya tegangan kawat yang diakibatkan perubahan pada temperatur lingkungan.

Menurut Standar Perusahaan Listrik Negara untuk saluran transmisi 150 kV, tinggi kawat diatas tanah minimal 9 meter(SPLN 1996). Jadi apabila tinggi suatu menara transmisi sebesar 30 meter dan memiliki jarak tinggi kawat diatas tanah sebesar 13 meter maka andongan maksimum yang dapat terjadi adalah 17 meter sedangkan untuk tegangan tarik maksimum yang diizinkan sebesar 20% lebih besar dari tegangan tarik kawat nominalnya.

Berdasarkan penelitian di atas, maka penulis akan melakukan penelitian dengan memperhatikan salah satu faktor yaitu perubahan arus beban puncak dan temperature lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik. Penulis akan melakukan penelitian dengan judul Analisa Pengaruh Arus Dan Temperatur Pada Kawat Penghantar Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV GI BELAWAN – GI SEI ROTAN.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh arus beban puncak pada kawat penghantar terhadap andongan dan tegangan tarik ?
2. Bagaimana pengaruh temperatur lingkungan pada kawat penghantar terhadap andongan dan tegangan tarik ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh arus beban puncak pada kawat penghantar terhadap andongan dan tegangan tarik.
2. Menganalisis pengaruh temperatur lingkungan pada kawat penghantar terhadap andongan dan tegangan tarik.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya menganalisa tentang pengaruh arus beban puncak dan temperatur lingkungan pada kawat penghantar terhadap andongan dan tegangan tarik .
2. Hasil analisa yang didapat yaitu andongan dan tegangan tarik akan dibandingkan dengan standard PLN Vol 121 tahun 1996 .
3. Data yang digunakan merupakan data dari PT. PLN Persero unit GI Belawan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan ilmu dan pemahaman yang lebih dalam tentang analisa pengaruh arus beban puncak dan temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik.
2. Menjadi referensi data acuan bagi PT PLN (Persero) untuk menjaga kontinuitas saluran transmisi.
3. Menjadi referensi penelitian bagi mahasiswa lainnya.

1.6 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur/Pustaka

Pada tahapan ini dilakukan pedalaman materi untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan, selain itu juga dilakukan studi literature dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung penyelesaian pengolahan data penelitian, informasi, studi literatur juga sangat di perlukan untuk pelaksanaan penelitian.

2. Riset

Riset/Pengambilan data dilakukan penulis guna untuk melengkapi berbagai macam data- data dari tulisan yang akan diselesaikan oleh penulis agar lebih akurat dan dapat dipertanggung jawabkan.

3. Bimbingan

Bimbingan merupakan komunikasi antara penulis terhadap dosen pembimbing guna untuk memperbaiki tulisan penulis bila ada kekurangan maupun kesalahan didalam penulisan.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman, maka sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penyusunan tugas akhir, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penulisan, metodologi penelitian serta sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori yang berupa pengertian dan defenisi yang diambil dari kutipan buku yang berkaitan dengan penyusunan skripsi serta beberapa literatur review yang berhubungan dengan penelitian tentang pengaruh arus dan temperatur terhadap andongan dan tegangan tarik.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini akan menerangkan mengenai lokasi dilaksanakannya penelitian, jenis penelitian, jadwal penelitian, serta jalannya penelitian.

BAB 4. ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini berisikan laporan rinci pelaksanaan kegiatan dalam mencapai hasil-hasil penelitian, serta menjelaskan analisa sistem yang diimplementasikan, serta pembahasan secara detail elisitasi yang ada di bab sebelumnya, dijabarkan satu persatu.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan analisa dan optimalisasi sistem berdasarkan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya oleh beberapa peneliti di bidang teknik elektro, yakni :

Saluran transmisi udara umumnya menggunakan konduktor jenis ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) yang memiliki batas temperatur kerja yang diizinkan sebesar 90°C. Permasalahan utama dari penggunaan konduktor ACSR adalah timbulnya andongan dan tegangan tarik. Andongan dan tegangan tarik dapat meningkat akibat arus saluran, tekanan angin dan temperatur lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh arus saluran, temperatur lingkungan, dan tekanan angin terhadap andongan dan tegangan tarik konduktor. Metode yang digunakan untuk menentukan andongan dan tegangan tarik adalah metode catenary. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa andongan dapat meningkat sebesar 0,00012% akibat pengaruh 1 Ampere arus saluran, 0,415% akibat pengaruh 1°C temperatur lingkungan, dan 0,0002% akibat pengaruh 1 m/s kecepatan angin. Tegangan tarik tidak berubah apabila dipengaruhi kenaikan 1 ampere arus saluran, tetapi dapat meningkat 0,000001% apabila dipengaruhi 1 m/s kecepatan angin. Sebaliknya, setiap kenaikan temperatur 1oC, tegangan tarik berkurang 0,0407% (Hari Anna Lastya, 2014).

Saluran transmisi merupakan proses penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju konsumen dengan menggunakan konduktor ACSR. Permasalahan yang terjadi pada penggunaan konduktor ACSR adalah berubahnya andongan dan tegangan tarik. Tegangan tarik dan andongan akan meningkat oleh

pengaruh arus saluran, suhu dan tekanan angin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh arus saluran, suhu, dan tekanan angin terhadap andongan dan tegangan tarik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai andongan dan tegangan tarik meningkat akibat pengaruh arus saluran pada bulan Februari 2017 sebesar 13,556 m dan tegangan tariknya sebesar 9407,139 kg. Dan akibat pengaruh temperatur andongan meningkat pada bulan Maret 2017 sebesar 1,954 m sedangkan tegangan tariknya sebesar 8720,836 kg. Dan akibat pengaruh tekanan angin andongan meningkat pada bulan Maret 2017 sebesar 2,7936 m sedangkan tegangan tariknya sebesar 9294,9746 kg (Erhaneli, 2019).

Saluran transmisi udara 150 kV pada umumnya menggunakan konduktor ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yang mempunyai titik kerja suhu yang terbatas. Saluran transmisi udara akan mengalami titik jenuh seiring meningkatnya kebutuhan listrik. Dengan menyempitnya lahan dan masalah investasi maka saluran yang telah ada perlu dioptimalkan dengan melakukan *reconductoring* menggunakan konduktor HTLS (*High Temperature Low Sag*). Konduktor HTLS mempunyai titik kerja suhu yang tinggi dibandingkan konduktor ACSR. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas hantar arus serta untuk memenuhi kehandalan N-1 dari saluran transmisi udara dengan memilih konduktor jenis HTLS yang meliputi ACCC, ACCR dan TACSR yang sesuai dengan struktur jaringan transmisi. Dengan menggunakan metode keseimbangan panas dalam menghitung *ampacity* dan metode *catenary* dalam menghitung andongan dan tegangan tarik maka akan diketahui konduktor yang sesuai dengan struktur yang telah ada. Dari hasil penelitian menunjukkan konduktor ACCC jauh lebih handal dengan mampu menaikkan kapasitas hantar

arus hingga 96,3 % sedangkan ACCR sebesar 83,9 % dan TACSR sebesar 40,7%. Dan andongan maksimal ACCC sebesar 4,692 m, ACCR sebesar 6,550 m dan TACSR sebesar 8,076 m dengan tegangan tarik yang dibutuhkan pada andongan maksimal berturut-turut sebesar 12,825 kN; 9,086 kN dan 8,119 kN (Rahmad Yusuf Desprianto, 2017).

Kualitas dan kontinuitas dari sumber energi listrik di sepanjang saluran (baik itu pada saluran distribusi, subtransmisi ataupun transmisi) tergantung pada unjuk kerja mekanis saluran berupa tegangan tarik dan andongan. Nilai dari tegangan tarik dan andongan harus tetap terjaga dalam batas yang diizinkan demi menghindari gangguan mekanik seperti hubung singkat akibat *swing* antar konduktor maupun pengaruh medan elektromagnetik saluran terhadap lingkungan sekitar. Temperature, Panas saluran dan kondisi cuaca mempengaruhi nilai dari tegangan tarik dan andongan. Persamaan kesetimbangan panas pada kondisi *non-steady-state* yang mengacu pada standar IEEE no.738 digunakan dalam menghitung panas pada konduktor. Metode *Catenary* dan *Rulling Span* digunakan untuk menghitung nilai tegangan tarik dan andongan pada saluran. Dari hasil penelitian diperoleh andongan sebesar 10,91 m pada beban panas maksimal dan 10,81 m pada beban panas rata – rata yang dipengaruhi oleh penambahan berat konduktor sebesar 2,28 % pada kondisi beban panas maksimal dan 1,68 % pada kondisi beban panas rata – rata. Tekanan angin menambah berat konduktor sebesar 0,846 % pada kecepatan angin maksimal 3,06 m/s sehingga andongan terjadi sebesar 10,81 m. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan unjuk kerja mekanik saluran masih didalam batas SNI 04-6918-2002 dan tidak berpengaruh buruk terhadap saluran dan lingkungan sekitar (Reza Fahlevi Siregar, 2018).

Saluran transmisi udara umumnya menggunakan konduktor jenis ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yang memiliki batas temperatur kerja yang diizinkan sebesar 90°C. Mempertimbangkan peningkatan kebutuhan tenaga listrik yang pesat akhir-akhir ini, maka usaha untuk meningkatkan kapasitas saluran transmisi dilakukan dengan mengoptimalkan kapasitas hantaran arus dari saluran transmisi yang telah ada. Permasalahan utama dari peng-optimalan saluran transmisi tersebut adalah tegangan tarik dan andongan yang timbul pada konduktor tersebut menjadi lebih besar, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik perubahan arus saluran terhadap tegangan tarik dan andongan konduktor, dengan demikian diharapkan dari hasil penelitian ini akan berguna untuk membangun struktur konstruksi saluran transmisi yang sesuai dengan sifat dari konduktor tersebut. Sebagai model simulasi digunakan saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV jalur Paiton-Krian dengan menggunakan data-data konduktor ACSR yang sesuai dengan yang ada di lapangan. Temperatur konduktor dihitung berdasarkan persamaan keseimbangan panas. Metode *Ruling Span* digunakan untuk menentukan panjang *span equivalen*. Sementara itu metoda *Catenary* digunakan untuk menghitung tegangan tarik dan andongan konduktor tersebut. Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya perubahan arus saluran dari 10 Ampere menjadi 850 Ampere mengakibatkan terjadinya peningkatan temperatur konduktor sebesar 125.94 % dan penurunan tegangan tarik sebesar 36.38 % serta terjadi peningkatan pada andongan sebesar 26.82 % (Stephanus Antonius Ananda, 2006).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Saluran Transmisi

Pusat-pusat listrik, biasa juga disebut sentral-sentral listrik (*electric power station*). Pusat listrik biasanya jauh dari tempat-tempat dimana tenaga listrik digunakan. Oleh karena itu, energi listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui saluran-saluran transmisi. Pemakaian saluran transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat-pusat pembangkit listrik ke pusat beban. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi transmisi akibat jatuh tegangan. Secara umum saluran transmisi dibagi dua bagian yaitu saluran udara dan saluran bawah tanah. Saluran udara menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantungkan pada menara transmisi, sedangkan saluran bawah tanah menyalurkan tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanam didalam tanah.

Saluran bawah tanah tidak terpengaruhi oleh cuaca buruk seperti hujan, petir, pohon tumbang dan sebagainya, namun biaya pembangunannya jauh lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara, sehingga untuk saluran transmisi yang panjang lebih ekonomis.

Untuk memudahkan analisa, saluran transmisi biasanya dibagi dalam beberapa klasifikasi :

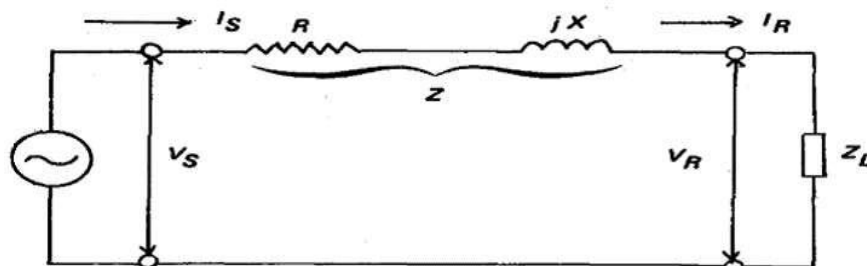
1. Klasifikasi Menurut Panjang Saluran
 - a. Saluran transmisi pendek (kurang dari 80 km)
 - b. Saluran transmisi menengah (80-250 km)
 - c. Saluran transmisi panjang (250 km)
2. Klasifikasi Menurut Tegangan Kerja

- a. Tegangan menengah yaitu 20 kV
 - b. Tegangan tinggi standart yaitu 70 kV, 150 kV, dan 275 kV
 - c. Tegangan ekstra tinggi (EHV) yaitu 500 kV
 - d. Tegangan ultra tinggi (UHV) yaitu antara 1000 kV sampai 1500 kV
3. Klasifikasi Menurut Fungsinya
- a. Transmisi adalah penyaluran daya besar dari pusat–pusat pembangkit ke daerah beban
 - b. Sub-transmisi adalah transmisi percabangan dari saluran yang tinggi ke saluran yang lebih rendah
 - c. Distribusi adalah penyaluran daya kepada konsumen–konsumen

Dibawah ini merupakan penjelasan mengenai saluran transmisi panjang saluran.

1. Saluran Transmisi Pendek

Pada saluran transmisi pendek, nilai kapasitansi penghantar dapat diabaikan sehingga penghantar dimodelkan dengan impedansi (R dan X_L), maka rangkaian ekivalen saluran transmisi pendek dimodelkan pada gambar dibawah ini.

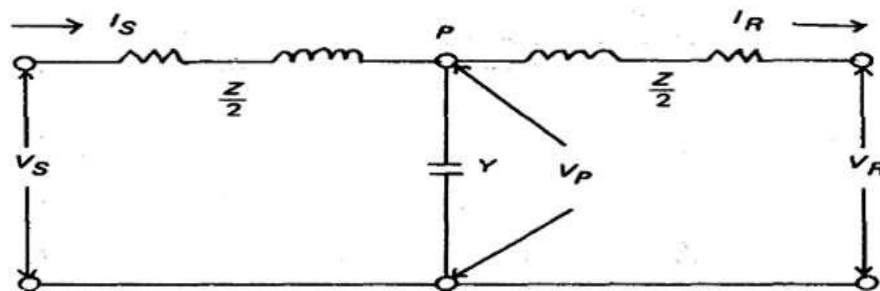


Gambar 1. Rangkaian Ekivalen Saluran Transmisi Pendek

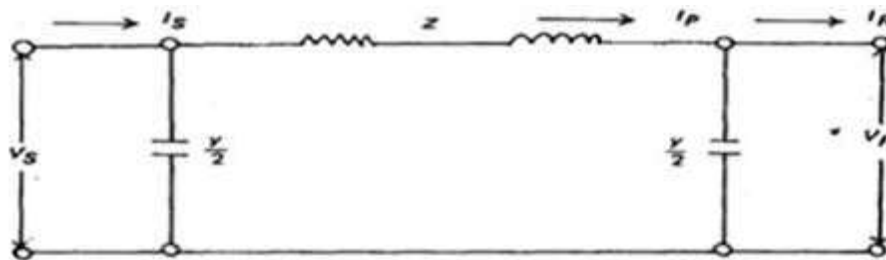
Oleh karena pengaruh kapasitansi dan konduktansi bocor dapat diabaikan pada saluran transmisi pendek, maka saluran tersebut dapat dianggap sebagai rangkaian impedansi yang terdiri dari tahanan dan induktansi.

2. Saluran Transmisi Menengah

Saluran transmisi jarak menengah dapat dianggap sebagai rangkaian T atau rangkaian π , pada saluran transmisi menengah, nilai kapasitansi penghantar tidak dapat diabaikan sehingga penghantar dimodelkan dengan impedansi penghantar (R dan XL) dan kapasitansi yang dapat dimodelkan dalam bentuk rangkaian ekuivalen saluran transmisi menengah rangkaian T pada gambar 2 dan rangkaian ekuivalen saluran transmisi rangkaian π terdapat pada gambar 3.



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen Saluran Transmisi Menengah T



Gambar 3. Rangkaian Ekuivalen Saluran Transmisi Menengah π

3. Saluran Transmisi Panjang

Saluran transmisi panjang adalah saluran transmisi yang panjang salurannya lebih dari 250 Km. Pada saluran ini parameter saluran baik impedansi seri maupun paralelnya tidak boleh lagi dianggap terpusat karena parameter saluran tersebut tersebar secara merata sepanjang salurannya.

2.2.2 Kategori Saluran Transmisi

Kategori saluran transmisi dibedakan atas 2 jenis yaitu saluran udara dan saluran kabel bawah tanah.

A. Saluran Udara

Saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antara menara atau tiang transmisi disebut saluran udara (*Overhead Lines*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Adapun kelebihan dan kekurangan dari saluran udara antara lain :

Kelebihan :

- a. Mudah dalam perbaikan.
- b. Mudah dalam perawatan.
- c. Mudah mengetahui letak gangguan.
- d. Lebih murah (ekonomis).

Kekurangan :

- a. Karena berada diruang yang terbuka, maka cuaca sangat berpengaruh terhadap keandalannya. Dengan kata lain mudah terjadi gangguan dari luar seperti gangguan hubung singkat, gangguan tegangan bila tersambar petir dan lain sebagainya.
- b. Dari segi estetika/keindahan, saluran udara merusak pandangan sehingga bukan pilihan yang ideal untuk di dalam kota.



Gambar 4. Saluran Udara (*Overhead Lines*)

B. Saluran Kabel Bawah Tanah

Saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang ditanam didalam tanah (*Underground Cable*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Kategori saluran kabel bawah tanah ini favorit untuk pemasangan di dalam kota, karena berada didalam tanah maka tidak mengganggu keindahan dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat cuaca namun tetap memiliki kekurangan, antara lain seperti mahal dalam instalasi dan investasi serta sulitnya menentukan titik gangguan dan perbaikannya.



Gambar 5. Saluran Kabel Bawah Tanah (*UnderGround Cable*)

2.3 Komponen Saluran Transmisi

Komponen saluran transmisi adalah beberapa perangkat pendukung yang menjadikan saluran transmisi memiliki kontinuitas kinerja yang baik sehingga kualitas energi listrik yang disampaikan ke konsumen tetap terjaga. Adapun komponen – komponen saluran transmisi adalah menara transmisi, isolator, kawat penghantar, kawat tanah, dan lain-lain nya.

2.3.1 Menara Transmisi

Pada suatu sistem tenaga listrik, energi listrik yang dibangkitkan dari pusat pembangkit listrik ditransmisikan ke pusat-pusat pengatur beban melalui suatu saluran transmisi. Saluran transmisi dapat berupa saluran udara dan saluran bawah tanah namun pada umumnya berupa saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya dan untuk menyanggah/merentang kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara/tower. Antara menara/tower listrik dan kawat penghantar disekat oleh isolator.

Konstruksi tower besi baja merupakan jenis konstruksi saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT) ataupun saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET) yang paling banyak digunakan di jaringan PLN karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya, harganya relatif lebih murah dibandingkan dengan penggunaan saluran bawah tanah serta pemeliharaannya yang mudah. Namun perlu pengawasan yang

instensif karena besi-besinya rawan terhadap pencurian. Suatu menara/tower listrik harus kuat terhadap beban yang bekerja padanya, antara lain :

- a. Gaya berat tower dan kawat penghantar (gaya tekan).
- b. Gaya tarik akibat rentangan kawat.
- c. Gaya angin akibat terpaan angin pada kawat maupun badan tower.

Adapun dalam tabel 1 diberikan ketentuan jarak antar tiang atau menara transmisi antara SUTT dan SUTET.

Tabel 1. Ketentuan Jarak Antar Tiang Atau Menara SUTT Dan SUTET

Saluran Udara	Jarak Antar Tiang atau Menara (m)
SUTT 66 kV Tiang Baja	160
SUTT 66 kV Tiang Beton	60
SUTT 66 kV Menara	300
SUTT 150 kV Tiang Baja	200
SUTT 150 kV Tiang Beton	80
SUTT 150 kV Tiang Menara	350
SUTET 275 kV Sirkuit Ganda	400
SUTET 500 kV Sirkuit Tunggal	450
SUTET 500 kV Sirkuit Ganda	450

Menurut fungsinya, menara atau tiang listrik dibagi atas 7 macam yaitu :

1. Dead end tower, yaitu tiang akhir yang berlokasi di dekat gardu induk.
Tower ini hampir sepenuhnya menanggung gaya tarik.
2. Section tower, yaitu tiang penyekat antara sejumlah tower penyangga dengan sejumlah tower penyangga lainnya karna alasan kemudahan saat

pembangunan (penarikan kawat), umumnya mempunyai sudut belokan yang kecil.

3. Suspension tower, yaitu tower penyangga. Tower ini hampir sepenuhnya menanggung gaya berat, umumnya tidak mempunyai sudut belokan.
4. Tension tower, yaitu tower penegang. Tower ini menanggung gaya tarik yang lebih besar daripada gaya berat, umumnya mempunyai sudut belokan.
5. Transposition tower, yaitu tower tension yang digunakan sebagai tempat melakukan perubahan posisi kawat fasa guna memperbaiki impedansi transmisi.
6. Gantry tower, yaitu tower berbentuk portal yang digunakan pada persilangan antara dua saluran transmisi. Tiang ini dibangun di bawah saluran transmisi existing.
7. Combined tower, yaitu tower yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya.

Menurut konfigurasi kawat, menara atau tiang terdiri dari 3 jenis yaitu :

1. Jenis delta, digunakan pada konfigurasi horizontal/ mendatar.
2. Jenis piramida, digunakan pada konfigurasi vertikal/ tegak.
3. Jenis zig – zag, yaitu kawat fasa tidak berada pada satu sisi lengan

2.3.1.1 Komponen – Komponen Menara Transmisi

Secara umum komponen – komponen menara transmisi terdiri atas :

1. Pondasi, yaitu suatu konstruksi beton bertulang untuk mengikat kaki tower (stub) dengan bumi.
2. Stub, yaitu bagian paling bawah dari kaki tower, dipasang bersamaan

dengan pemasangan pondasi dan diikat menyatu dengan pondasi.

3. Leg, yaitu kaki tower yang terhubung antara stub dengan *body* tower. Pada tanah yang tidak rata perlu dilakukan penambahan atau pengurangan tinggi leg sedangkan *body* harus tetap sama tinggi permukaannya.
4. Common body, badan tower bagian bawah yang terhubung antara leg dengan badan tower bagian atas (super structure). Kebutuhan tinggi tower dapat dilakukan dengan pengaturan tinggi common body dengan cara penambahan atau pengurangan.
5. Super structure, badan tower bagian atas yang terhubung dengan common body dan cross arm kawat fasa maupun kawat petir. Pada tower jenis delta tidak dikenal istilah super structure namun digantikan dengan “K” frame dan brigde.
6. Cross arm, bagian tower yang berfungsi untuk tempat menggantungkan atau mengaitkan isolator kawat fasa serta clamp kawat petir. Pada umumnya cross arm berbentuk segitiga kecuali tower jenis tension yang mempunyai sudut belokan besar berbentuk segi empat.
7. “K” frame bagian tower yang terhubung antara common body dengan brigde maupun cross arm. “K” frame terdiri atas sisi kiri dan kanan yang simetri. “K” frame tidak dikenal di tower jenis piramida.
8. Brigde, yaitu penghubung antara cross arm kiri dan cross arm tengah. Pada tengah-tengah brigde terdapat kawat penghantar fasa tengah. Brigde tidak dikenal di tower jenis piramida.
9. Rambu tanda bahaya, berfungsi untuk member peringatan bahwa instalasi SUTT/SUTET mempunyai resiko bahaya. Rambu ini bergambar petir dan

tulisan “AWAS BERBAHAYA TEGANGAN TINGGI”. Rambu ini dipasang di kaki tower lebih kurang 5 meter diatas tanah sebanyak dua buah, dipasang disisi yang menghadap tower nomor kecil dan sisi yang menghadap nomor besar.

10. Rambu identifikasi tower dan penghantar berfungsi untuk memberitahukan identitas tower seperti : nomor tower, urutan fasa, penghantar/jalur dan nilai tahanan pentanahan kaki tower.
11. Anti Climbing Device (ACD), berfungsi untuk menghalangi orang yang tidak berkepentingan untuk naik ke tower. ACD dibuat runcing berjarak 10 cm dengan yang lainnya dan dipasang di setiap kaki tower dibawah rambu tanda bahaya.
12. Step bolt, yaitu baut panjang yang dipasang dari atas ACD ke sepanjang badan tower hingga super structure dan arm kawat petir. Berfungsi untuk pijakan petugas sewaktu naik maupun turun tower.
13. Halaman tower, daerah tapak tower yang luasnya diukur dari proyeksi keatas tanah galian pondasi. Biasanya antara 3 sampai 8 meter di luarstrib tergantung pada jenis tower.

2.3.2 Isolator

Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut konstruksi dan penggunaannya dapat dikenal tiga jenis isolator, yaitu:

- A. Isolator jenis pasak.
- B. Isolator jenis pos saluran.
- C. Isolator gantung.

Isolator jenis pasak dan pos saluran digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan kerja relatif rendah (kurang dari 22 – 33 kV) sedangkan isolator gantung dapat digandeng menjadi rentengan isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan. Jenis-jenis isolator ini dapat dilihat seperti ditunjukkan pada gambar 6.



A. Isolator Pasak



B. Isolator Pos Saluran



C. Isolator Gantung

Gambar 6. Jenis – Jenis Isolator

Beberapa persyaratan yang perlu diperhatikan pada isolator adalah sebagai berikut:

- a. Memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi.
- b. Mempunyai nilai resistivitas yang tinggi untuk memperkecil arus bocor yang terjadi.

- c. Tahan terhadap masuknya gas-gas ataupun cairan-cairan ke dalam bahan isolator.
- d. Tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu.

Adapun fungsi dari isolator terdiri dari dua aspek, yaitu :

1. Fungsi isolator dari aspek litrik
 - a. Mengisolasi antara kawat fasa dengan tanah.
 - b. Mengisolasi antara kawat fasa dengan kawat fasa.
2. Fungsi isolator dari aspek mekanik
 - a. Menahan berat kawat dari kawat penghantar.
 - b. Mengatur jarak dan sudut antara kawat dan kawat.
 - c. Menahan adanya perubahan kawat akibat adanya perbedaan temperatur dan angin.

2.3.3 Kawat Penghantar

Kawat penghantar adalah kawat yang berfungsi untuk menyalurkan tegangan dari satu titik ke titik yang lain. Kawat penghantar yang baik yaitu kawat yang memiliki resistansi yang kecil sehingga minimnya nilai rugi-rugi tegangan agar dapat tegangan sampai ke beban dengan maksimal. Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah :

- a. Tembaga dengan konduktivitas 100 % (Cu 100%)
- b. Tembaga dengan konduktivitas 97,5 % (Cu 97,5 %)
- c. Aluminium dengan konduktivitas 61 % (Al 61 %)

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium, karena konduktivitas dan kuat tariknya yang

lebih tinggi. Tetapi juga memiliki kelemahan, yaitu untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dan lebih mahal dari aluminium. Oleh karena itu kawat penghantar aluminium telah mulai menggantikan kedudukan kawat penghantar tembaga.

Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium, digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran–saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara/tiang berjauhan mencapai ratusan meter, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

Kawat penghantar aluminium, terdiri dari berbagai jenis, dengan lambang sebagai berikut :

- a. AAC (*All–Aluminium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- b. AAAC (*All–Aluminium Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- c. ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
- d. ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

2.3.4 Kawat Tanah

Kawat tanah atau ground wires juga disebut dengan kawat pelindung (*shield wire*) gunanya untuk melindungi kawat-kawat penghantar atau kawat fasa terhadap sambaran petir. Jadi kawat tanah ini dipasang diatas kawat fasa.

Sebagian kawat tanah umumnya dipakai kawat baja (*steel wires*) yang lebih murah tetapi tidak jarang digunakan ACSR.

2.4 Rentang Vertikal Saluran Transmisi

Rentang vertikal adalah jarak antara dua titik terendah lengkungan penghantar yang berurutan, pada menara dengan ketinggian yang sama seperti pada gambar 7.

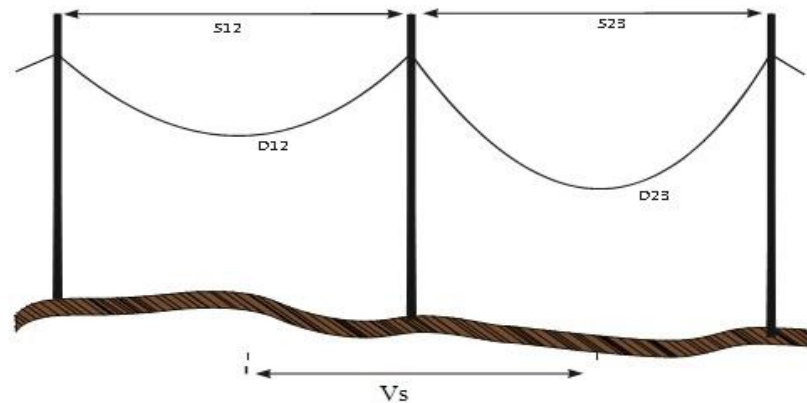
$$V_s = \frac{1}{2} (S_{12} + S_{23})$$

dimana :

V_s = rentang vertical (m)

S_{12} = rentang menara 1 dan 2 (m)

S_{23} = rentang menara 2 dan 3 (m)



Gambar 7. Rentangan Vertikal

Pergeseran rentangan vertikal dapat dinyatakan dengan rumus :

$$\Delta S = \frac{HT}{WS}$$

$$\text{atau : } H = \frac{T}{\Delta S \times W \times S}$$

Dimana :

ΔS = Pergeseran titik terendah (kg)

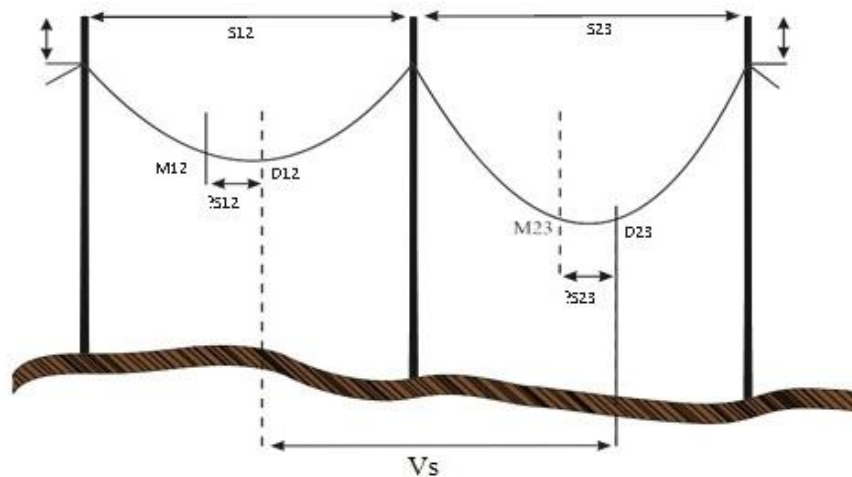
T = Gaya tarik horizontal (kg)

H = Selisih ketinggian menara (m)

W = Berat Penghantar persatuan panjang (kg/m)

S = Rentang menara (m)

Maka ΔS pada rentangan menara yang lain dipakai dalam suatu persamaan untuk menghitung rentangan vertikal, pada gambar 8 ditarik garis horizontal melalui puncak menara 2 garis ini dipakai sebagai garis referensi.



Gambar 8. Rentangan Vertikal Berdasarkan Pergeseran Titik Terendah

aplikasi diketahui :

S_{12} = rentangan menara 1 dan 2 (m)

S_{23} = rentangan menara 2 dan 3 (m)

ΔS_{12} = pergeseran titik terendah lengkungan menara 1 dan 2 (m)

ΔS_{23} = pergeseran titik terendah lengkungan menara 1 dan 2 (m)

H_{12} = selisih ketinggian menara 1 dan 2 (m)

H_{23} = selisih ketinggian 2 dan 3 (m)

Maka Persamaan menara vertikal V_s :

$$V_s = \frac{1}{2} S_{12} - \Delta S_{12} + \frac{1}{2} S_{23} + \Delta S_{23}$$

$$\text{atau : } V_s = \frac{1}{2} (S_{12} + S_{23}) - \frac{T}{W} \left(\frac{H_{12}}{S_{12}} + \frac{H_{23}}{S_{23}} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

2.5 Temperatur Konduktor

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

2.5.1 Panas Oleh Faktor Arus Saluran

Ukuran panas konduktor saluran tergantung dari besarnya arus dan resistansi pada temperatur konduktor yang berlaku. Dan sebuah metode atau persamaan untuk mencari panas saluran pada konduktor dengan inti baja yang diakibatkan oleh arus saluran adalah sebagai berikut :

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan :

W_c = Rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran (Watt/ meter)

I = Arus Penghantar (A)

R = Resistansi Konduktor pada temperatur 20°C (Ω)

α = Koefisien temperatur

Untuk nilai α untuk berbagai bahan materi pada berbeda temperatur dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Koefisien Tahanan Temperatur

Material	T_0 °C	Koefisien Temperatur dari Tahanan $\times 10^{-3}$					
		α_{20}	α_{25}	α_{50}	α_{75}	α_{80}	α_{100}
Cu 100%	234,5	3,93	3,85	3,52	3,25	3,18	2,99
Cu 75%	241,0	3,83	3,76	3,44	3,16	3,12	2,93
Al61%	228,1	4,03	3,95	3,60	3,30	3,25	3,05

2.5.2 Panas Konduktor Oleh Penyerapan Panas Matahari

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

$$W_s = \alpha \cdot E \cdot dc \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

W_s = Penyerapan panas matahari (W/m)

α = Koefisien serap matahari bernilai 1 untuk benda hitam;

= 0.6 untuk konduktor baru

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

dc = Diameter Konduktor (m)

2.5.3 Penyebaran Panas Konduktor Oleh Faktor Radiasi

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.

$$W_r = \tau \cdot e (T_c^4 - T_a^4) \pi \cdot dc \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan :

W_r = Penyebaran panas radiasi (W/m)

τ = konstanta Stefan Boltzman (5.702×10^{-8} Watt/m²)

e = emisivitas relatif permukaan konduktor yang bernilai 0.2- 1.0 (untuk benda hitam = 1 dan Al atau Cu = 0.5)

T_c = Temperatur konduktor (°K)

T_a = Temperatur sekeliling (°K)

2.5.4 Penyebaran Panas Konduktor Oleh Faktor Konveksi

Panas yang disebarkan sebarakan secara konveksi dengan rumus adalah :

$$W_k = 5.73 \sqrt{p \cdot Vm/dc} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

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

$$W_k = 18 \cdot \Delta t \cdot \sqrt{p \cdot Vm \cdot dc} \text{ (W/m)} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan :

W_k = Penyebaran panas konveksi (W/m)

P = tekanan udara (atmosfir)

Vm = kecepatan angin (m/detik)

Δt = kenaikan temperatur (°C)

2.5.5 Persamaan Keseimbangan Panas

Persamaan keseimbangan panas menyatakan bahwa jumlah panas yang dibangkitkan dalam konduktor adalah sama dengan panas yang disebarkannya, oleh karena itu persamaan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$W_c + W_s = W_k + W_r \dots\dots\dots(2.6)$$

$$I^2R + \alpha.E.dc = 18.\Delta t.\sqrt{p.Vm.dc} + 17,9 \times 10^{-8}.e.(T_c^4 - T_a^4) dc$$

Untuk mencari temperatur konduktor T_c maka persamaan diatas dapat diuraikan kedalam bentuk polynominal orde empat sebagai berikut :

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

Dengan :

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

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

$$C_3 = 17,9 \times 10^{-8}.e$$

2.6 Andongan Dan Tegangan Tarik

Kawat penghantar yang direntangkan antara dua menara transmisi tidak akan mengikuti garis lurus, tetapi karena beratnya sendiri akan melengkung kebawah. Itulah yang dikatakan dengan andongan. Besar lengkungan ini tergantung dari berat dan panjang dari kawat penghantar itu sendiri. Secara matematis, lengkungan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan tertentu sesuai dengan keadaan dan kondisi menara. Sedangkan berat dari konduktor atau kawat penghantar akan menimbulkan tegangan tarik pada penampang kawat konduktor. Tegangan tarik tergantung dari berat konduktor dan beban- beban lain yang bekerja pada kawat penghantar, misalnya angin, es, dan temperatur lingkungan.

Menurut hukum Stokes, karena adanya tegangan tarik ini, konduktor akan bertambah panjang, tergantung modulus elastisitas dan panjang konduktor itu sendiri. Sedang karena perubahan-perubahan temperatur yang terjadi di sekitar

konduktor, akan menyebabkan memuai atau menyusut tergantung besarnya perubahan temperatur, koefisien muai dan panjang konduktor. Panjang konduktor ditentukan oleh panjang gawang (*span*) dan besarnya andongan (*sag*). Sebaliknya, andongan tergantung dari panjang konduktor, tegangan tarik dan temperatur konduktor dan ketiga besaran ini saling mempengaruhi satu sama lain.

Menurut Standar Perusahaan Listrik Negara untuk saluran transmisi 150 kV, tinggi kawat diatas tanah minimal 9 meter. Jadi apabila tinggi suatu menara transmisi sebesar 30 meter dan memiliki jarak tinggi kawat diatas tanah sebesar 13 meter maka andongan maksimum yang dapat terjadi adalah 17 meter, sedangkan untuk tegangan tarik maksimum yang diizinkan sebesar 20% lebih besar dari tegangan tarik kawat nominalnya.

Kondisi topografi suatu wilayah juga mempengaruhi besar andongan dan tegangan tarik suatu penghantar. Berdasarkan topografi perhitungan andongan dan tegangan tarik dapat dibedakan menjadi dua yaitu permukaan rata (sama tinggi) dan tidak rata (tidak sama tinggi).

1. Permukaan rata (sama tinggi)

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

$$T = f_2 \times A$$

$$d = \frac{W \times L^2}{8T} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$l = L \left[1 + \frac{1}{24} \left(\frac{W \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = s \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{W \times L}{T} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan :

d = Andongan (m)

l = Panjang Konduktor (m)

T_{AB} = Kuat Tarik Horizontal (kg)

F_2 = Tegangan Tarik Terhadap andongan (kg/mm^2)

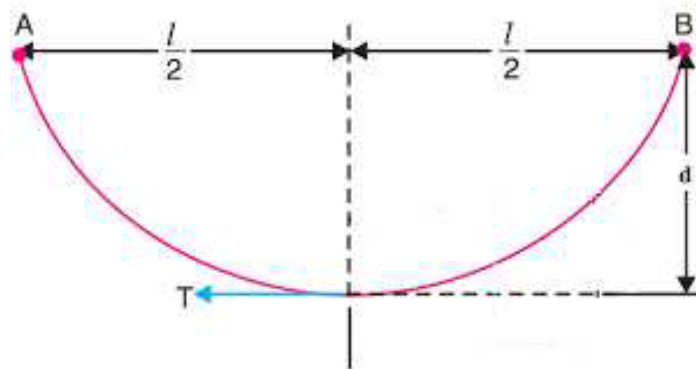
W = Berat dari Konduktor (kg/m)

A = Luas Peampang konduktor (mm^2)

L = Jarak antar *Menara/ span* (m)

T = Tegangan atau *tension* (kg)

E = Modulus elastis (kg/mm^2)



Gambar 9. Permukaan Rata Atau Sama Tinggi

2. Permukaan Tidak Rata (Tidak Sama Tinggi)

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

$$T = f_2 \times A$$

$$d = \frac{W \times L^2}{8T}$$

$$d_A = d \left(\frac{h}{4d} - 1 \right)^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

$$d_B = d \left(\frac{h}{4d} + 1 \right)^2 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$l = L \left[1 + \frac{1}{24} \left(\frac{w \times L}{T} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]$$

$$T_A = T \times (w \times d_A)$$

$$T_B = T \times (w \times d_B)$$

$$T_{AB} = T \times (w \times d_{AB}) \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

d_A = Andongan tiang A

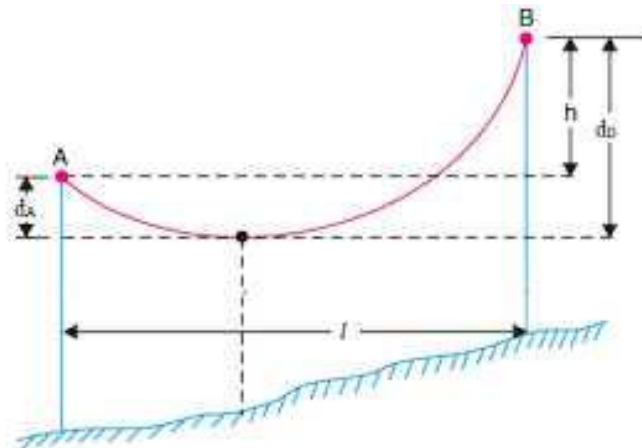
d_B = Andongan tiang B

T_A = Kuat Tarik menara A (kg)

T_B = Kuat Tarik menara B (kg)

h = Selisih tinggi menara A ke menara B

l = Panjang konduktor (m)



Gambar 10. Permukaan Tidak Rata Atau Tidak Sama Tinggi

Terjadinya andongan dan tegangan tarik juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti :

- a. Arus Beban Puncak
- b. Temperatur Lingkungan
- c. Tekanan Angin

- d. Abu (terdapat didaerah gunung berapi dan didaerah industri tetapi pengaruhnya terhadap karakteristik mekanis kecil dan dapat diabaikan)

2.6.1 Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik

Kriteria untuk kerja mekanis penghantar adalah penghantar harus tahan terhadap perubahan temperatur akibat arus yang dilewatkan dan harus tahan terhadap segala gaya atau tekanan /tarikan yang ada padanya akibat pembebanan mekanik maupun elektrik. Adanya perubahan arus pada kawat penghantar salah satu pengaruh yang menyebabkan perubahan andongan dan tegangan tarik.

Arus yang diperbolehkan untuk saluran transmisi udara dibatasi oleh kenaikan suhu yang disebabkan oleh mengalirnya arus dalam saluran tersebut. Besarnya arus yang mengalir pada konduktor menyebabkan timbulnya rugi – rugi berupa panas. Besarnya rugi – rugi pada kawat konduktor dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2. Perubahan temperatur pada konduktor di interval waktu (ΔT) dapat dihitung menggunakan persamaan panas *non-steady-state*.

$$mc\Delta T = W_c$$

Perubahan temperatur konduktor terhadap perubahan temperatur lingkungan rata- rata menghasilkan pertambahan berat pada konduktor tersebut. Pertambahan berat pada konduktor disimbolkan dengan m massa per unit panjang dan c adalah kalor jenis dapat ditentukan dengan kapasitas panas pada konduktor yang diperoleh dengan rumus :

$$mc = m_a c_a + m_s c_s$$

Sehingga persamaan menjadi :

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = Wc \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

m = Pertambahan berat yang dihasilkan panas konduktor (kg/m)

Wc = Rugi-Rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran (Watt/meter)

c_a = Kalor jenis alumunium (900 J/kg °C)

c_s = Kalor jenis baja (450 J/kg °C)

T_c = Temperatur konduktor (°C)

T_a = Temperatur lingkungan rata- rata (°C)

Sehingga pertambahan berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m \dots\dots\dots(2.13)$$

Sedangkan mencari nilai andongan akibat perubahan arus saluran dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

d = Andongan (m)

L = panjang gawang / *span* (m)

T = Tegangan kawat (kg)

w_{tot} = Berat kawat total (kg/m)

T_{AB} = Tegangan tarik kawat (kg)

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan panjang kawat, panjang kawat dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$l = L \left(1 + \frac{8d^2}{3L^2} \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

l = Panjang kawat (meter)

Sedangkan untuk mencari nilai tegangan tarik yang diakibatkan oleh arus saluran dapat ditentukan dengan persamaan :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(2.16)$$

2.6.2 Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik

Besarnya rugi- rugi yang diakibatkan arus pada kawat penghantar menyebabkan temperatur pada konduktor juga ikut naik. Selain kenaikan temperatur pada konduktor itu sendiri ternyata andongan dan tegangan tarik dapat berubah- ubah sesuai dengan temperatur lingkungan. Kenaikan temperatur lingkungan dapat menambah panjang konduktor sehingga panjang andongan dapat bertambah dan tegangan tarik dapat berkurang.

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan spesifik kawat konduktor ikut berubah. Perubahan tegangan spesifik kawat akibat perubahan temperatur lingkungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan metode *catenary* sebagai berikut :

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 - B = 0 \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

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

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

Keterangan :

A dan B = Nilai koefisien metode *catenary*

α = Koefisien muai panjang kawat

E	=	Modulus elastis kawat
t ₁	=	Temperatur lingkungan minimum (°C)
t ₂	=	Temperatur lingkungan maksimum (°C)
L	=	Panjang gawang (m)
q	=	Luas Permukaan kawat (mm ²)
σ	=	Tegangan spesifik kawat (kg/mm ²) : $\frac{T}{q}$
T	=	Tegangan kawat (kg)
γ	=	Berat Spesifik kawat (kg/m/mm ²) : $\frac{w}{q}$
w	=	Berat kawat (kg/m)
σ _t	=	Tegangan kawat spesifik pada t°C (kg/mm ²)

Setelah nilai σ_t diketahui, maka nilai tegangan kawat akan berubah dikarenakan perubahan temperatur lingkungan dan dapat dihitung dengan persamaan:

$$T_t = \sigma_t \cdot q \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

T_t = Tegangan kawat pada t°C (kg)

Sehingga untuk mencari nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan dapat digunakan persamaan :

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t} \dots\dots\dots(2.19)$$

Sedangkan untuk mencari nilai tegangan tarik yang diakibatkan pengaruh temperatur lingkungan dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(2.20)$$

2.7 Span Equivalen

Mengingat panjang span dari masing – masing menara tidak sama, maka span equivalen dihitung dengan menggunakan metode *Ruling Span* yaitu :

$$Le = \sqrt{\left(\frac{L1^3+L2^3+L3^3+\dots+Ln^3}{L1+L2+L3+\dots+Ln}\right)} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan :

Ln = panjang span ke-n

Le = Panjang span equivalen

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan dengan mengambil data di GI Belawan PT PLN (Persero) Jalan Belawan – Sicanang, Sei Mati, Kecamatan Medan Labuhan, Kota Medan, Sumatera Utara, 20252.

3.2 Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian yang dilakukan di GI Belawan berlangsung dari tanggal 12 Februari 2020 sampai dengan 21 Februari 2020.

3.3 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT PLN PERSERO GI Belawan terdiri dari data karakteristik kawat penghantar, data beban puncak arus saluran transmisi dan temperatur konduktor sedangkan data temperatur lingkungan didapatkan dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Sumatera Utara.

a. Data karakteristik kawat penghantar

Tabel 3. Data Karakteristik Kawat Penghantar

Panjang Rute	26,387 km
Jenis Konduktor	ACSR
Diameter Konduktor (d)	30,4 mm
Luas Penampang Konduktor (q)	483,4 mm ²
Tahanan Konduktor (R)	0,05973 ohm/km

Tegangan Tarik Kawat (T)	15400 kg
Tegangan Kawat Spesifik (σ)	$15400 / 483,4 = 31,85767 \text{ kg/mm}^2$
Berat per meter (w)	1,837 kg/m
Berat Kawat Spesifik (γ)	$1,837 / 483,4 = 0,0038 \text{ kg/m/mm}^2$
Jarak Gawang Rata- Rata (L)	332 m
Modulus Elastisitas (E)	7700 kN/mm ²
Koefisien Muai Panjang (α)	$23 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Tinggi Menara (h)	30 m
Jumlah Menara Transmisi	84

b. Data beban puncak arus saluran transmisi dan temperatur konduktor

Tabel 4. Data Beban Puncak Dan Temperatur Konduktor

Bulan	Arus (A)	Temperatur Konduktor($^\circ\text{C}$)
Januari	490	34
Februari	488	33,2
Maret	715	38,7
April	1213	48,4
Mei	1125	46
Juni	739	39
Juli	1208	47,6
Agustus	764	40,1
September	1046	43,6
Oktober	751	39,4
November	961	40,8
Desember	778	40

c. Data temperatur lingkungan tahun 2019 di Kota Medan dan sekitarnya

Tabel 5. Data Temperatur Lingkungan

Bulan	Temperatur minimum(°C)	Temperatur maksimum(°C)	Temperatur rata-rata(°C)
Januari	23,13	32,60	27,10
Februari	22,73	33,04	26
Maret	23,77	34,16	28,06
April	24,14	34,40	28,46
Mei	24,22	33,52	28,02
Juni	24,03	33,88	28
Juli	23,79	33,57	27,74
Agustus	23,67	34,41	28,12
September	23,45	33,02	27,34
Oktober	23,16	31,69	26,66
November	23,67	32,10	26,79
Desember	23,54	30,85	26,55

3.4 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan suatu cara dalam menganalisa atau pun perhitungan yang dilakukan dalam rangka mencapai nilai suatu tujuan dalam penelitian.

Untuk menyelesaikan tugas akhir maka dilakukan beberapa metode :

1. Study Literatur

Dilakukan dengan membaca dari berbagai sumber seperti buku maupun jurnal yang berkaitan dengan analisa pengaruh arus beban puncak dan

temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik guna mendukung penyelesaian tugas akhir.

2. Pengumpulan Data

Penelitian dan pengumpulan data dilaksanakan pada tanggal 12 Februari 2020 - 21 Februari 2020 bertempat di GI Belawan atau Sicanang. Pengumpulan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yaitu pengambilan data yang di ambil sesuai dengan kondisi di lapangan, sedangkan data sekunder di dapatkan dari studi literatur baik berupa buku, jurnal- jurnal, rekap pembukuan, melalukan konsultasi dan diskusi dengan pembimbing akademik pegawai PT PLN (PERSERO) bagian GI (gardu induk) yang bersangkutan data yang di peroleh pada penelitian ini berupa data kualitatif dan kuantitatif.

3. Analisa Data

Adapun analisa data yang dilakukan adalah dengan cara metode menghitung nilai andongan dan tegangan tarik dan membandingkan hasil yang didapat dengan standard PLN yang berlaku. Sehingga dapat ditentukan sistem saluran saluran transmisi masih dalam keadaan aman atau tidak.

4. Kesimpulan

Berupa hasil atau nilai yang telah dianalisis apakah dalam kondisi standard PLN sehingga ditentukan sistem saluran transmisi masih dalam keadaan aman atau tidak.

3.5 Teknik Analisa Data

Adapun teknik analisa data yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Melakukan pengumpulan data

Data pendukung untuk penulisan tugas akhir ini di dapatkan di PT PLN (PERSERO) GI Belawan. Data yang diambil merupakan data sekunder yang sudah ada di arsip PT PLN (PERSERO) GI Belawan. Data yang diambil yaitu :

1. Data karakteristik kawat penghantar
 2. Data arus beban puncak saluran transmisi dan temperatur konduktor
- Sedangkan data temperatur lingkungan selama tahun 2019 didapatkan melalui BMKG Sumatera Utara. Data yang diambil yaitu :

1. Data temperatur maksimum
2. Data temperatur minimum
3. Data temperatur rata - rata

2. Pengolahan data

Data yang sudah di kumpulkan atau di dapatkan akan diolah untuk mencari nilai dari rugi- rugi panas yang diakibatkan oleh arus beban puncak dengan menggunakan persamaan 2.2 yaitu $W_c = R(1 + \alpha(T - 20))^2 I^2$, mencari nilai pertambahan berat pada konduktor akibat pengaruh arus beban puncak menggunakan persamaan 2.12 yaitu $m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = W_c$, mencari nilai tegangan spesifik kawat menggunakan persamaan ekuivalen $\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 - B = 0$, dan mencari nilai tegangan tarik kawat nominal pada temperatur lingkungan tertentu

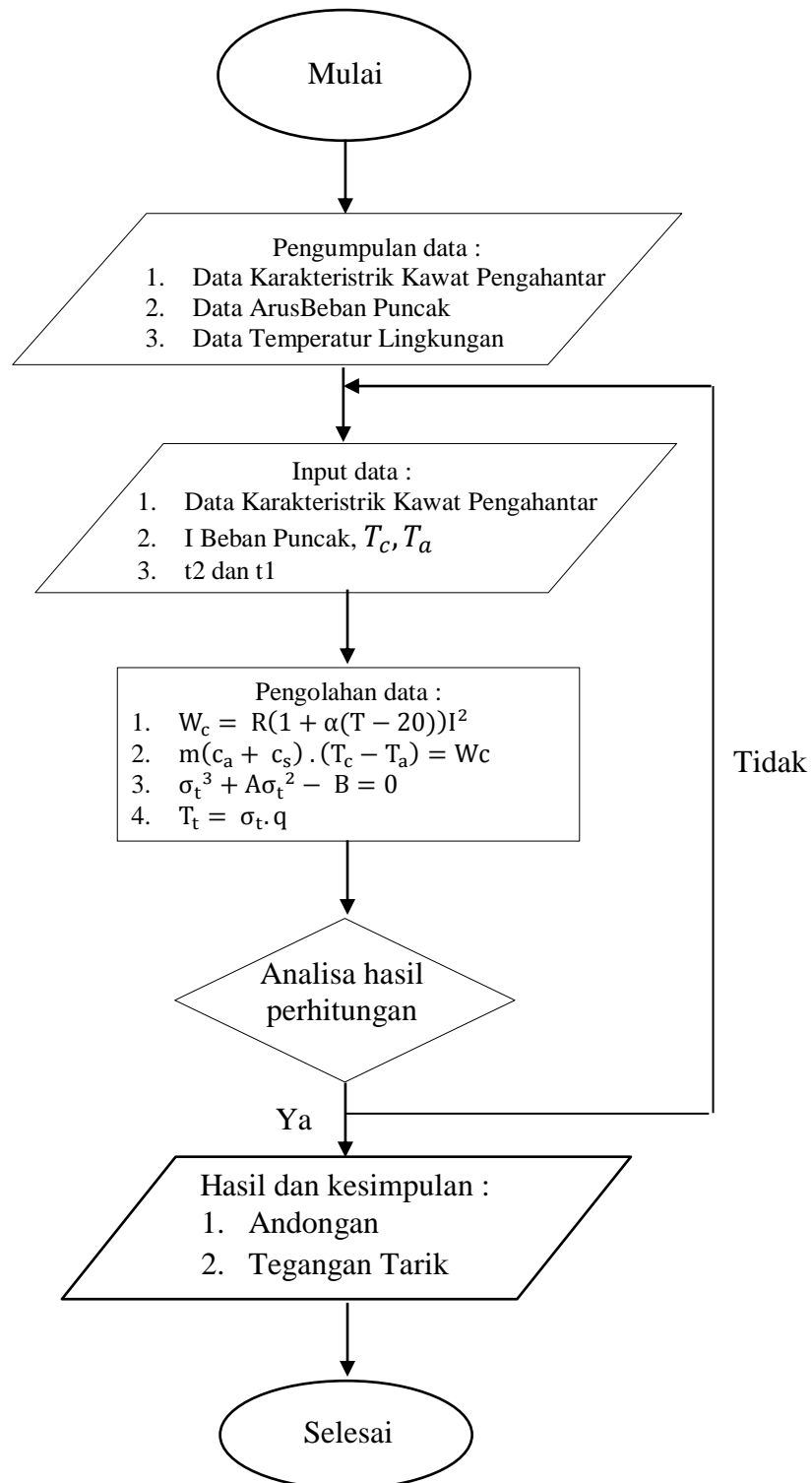
yang diakibatkan oleh pengaruh temperatur lingkungan dengan persamaan 2.18 yaitu $T_t = \sigma_t \cdot q$.

3. Analisa hasil perhitungan

Hasil dari pengolahan data akan dianalisa menggunakan metode perhitungan guna mendapatkan hasil dari nilai andongan yang diakibatkan pengaruh arus beban puncak dan temperatur lingkungan dengan persamaan $d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$ dan $d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$ sedangkan untuk mendapatkan nilai tegangan tarik yang dipengaruhi oleh arus beban puncak dan temperatur lingkungan menggunakan persamaan $T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$ dan $T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$. Hasil tersebut akan dibandingkan dengan standarisasi PLN vol 121 tahun 1996 yang berkaitan dengan jarak bebas kawat penghantar ke tanah. Sehingga dapat dikategorikan masih dalam keadaan aman atau tidak kondisi pada sistem saluran transmisi.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir dari proses metodologi penelitian :



Gambar 11. Diagram Alir

BAB IV

ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data Perhitungan

Hasil dari penelitian sistem transmisi ini berupa nilai andongan dan nilai tegangan tarik akibat pengaruh arus beban puncak saluran transmisi dan pengaruh temperatur lingkungan pada setiap bulannya di tahun 2019 dengan cara menghitung nilai rugi-rugi arus listrik pada saluran transmisi, mencari nilai total berat kawat konduktor, dan mencari nilai tegangan tarik kawat pada temperatur lingkungan tertentu.

4.2 Analisa Pengaruh Arus Beban Puncak Saluran Transmisi Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik

Menghitung nilai andongan dan tegangan tarik yang diakibatkan oleh arus beban puncak pada saluran transmisi GI Belawan- GI Sei Rotan pada bulan Januari – Desember tahun 2019.

1. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Januari

Terlebih dahulu menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))490^2$$

$$W_c = 26362,98 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung penambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = Wc$$

$$m(900 + 450) \cdot (34 - 27,10) = 26362,98$$

$$m = 2,8301 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 2,8301 = 4,6671 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan Januari menggunakan persamaan 2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{4,6671 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 4,1755 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan Januari menggunakan persamaan 2.16 adalah :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{4,6671 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15419,4877 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 4,1755^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,14 \text{ meter}$$

2. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Februari :

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))488^2$$

$$W_c = 26148,2112 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = W_c$$

$$m(900 + 450) \cdot (33,2 - 26) = 26148,2112$$

$$m = 2,6901 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 2,6901 = 4,5271 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan Februari menggunakan persamaan 2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{4,5271 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 4,0502 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan Februari menggunakan persamaan 2.16 adalah :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{4,5271 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15414,6768 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 4,0502^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,1318 \text{ meter}$$

3. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Maret

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))715^2$$

$$W_c = 56132,505 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = Wc$$

$$m(900 + 450) \cdot (38,7 - 28,06) = 56132,505$$

$$m = 3,9078 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 3,9078 = 5,7448 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan Maret menggunakan persamaan 2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{5,7448 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 5,1397 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan Maret menggunakan persamaan 2.16 adalah :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{5,7448 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15423,6345 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 5,1397^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,2122 \text{ meter}$$

4. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan April

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))1213^2$$

$$W_c = 161556,3162 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = W_c$$

$$m(900 + 450) \cdot (48,4 - 28,46) = 161556,3162$$

$$m = 6,0015 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 6,0015 = 7,8385 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan April menggunakan persamaan 2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{7,8385 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 7,0129 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan April menggunakan persamaan 2.16 adalah:

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{7,8385 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15454,9707 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 7,0129^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,3950 \text{ meter}$$

5. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Mei

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))1125^2$$

$$W_c = 138965,625 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = Wc$$

$$m(900 + 450) \cdot (46 - 28,02) = 138965,625$$

$$m = 5,7251 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 5,7251 = 7,5621 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan Mei menggunakan persamaan 2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{7,5621 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 6,7656 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan Mei menggunakan persamaan 2.16 adalah :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{7,5621 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15451,1623 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 6,7656^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,3676 \text{ meter}$$

6. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Juni

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))739^2$$

$$W_c = 59964,0858 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = Wc$$

$$m(900 + 450) \cdot (39 - 28) = 59964,0858$$

$$m = 4,0379 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 4,0379 = 5,8749 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan Juni menggunakan persamaan 2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{5,8749 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 5,2561 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan Juni menggunakan persamaan 2.16 adalah :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{5,8749 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15430,8792 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 5,2561^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,2120 \text{ meter}$$

7. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Juli

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))1208^2$$

$$W_c = 160227,1872 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = W_c$$

$$m(900 + 450) \cdot (47,6 - 27,64) = 160227,1872$$

$$m = 5,9462 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 5,9462 = 7,7832 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan Juli menggunakan persamaan 2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{7,7832 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 6,9634 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan Juli menggunakan persamaan 2.16 adalah :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{7,7832 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15443,3823 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 6,9634^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,3895 \text{ meter}$$

8. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Agustus:

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))764^2$$

$$W_c = 64089,8208 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = Wc$$

$$m(900 + 450) \cdot (40,1 - 28,12) = 64089,8208$$

$$m = 3,9627 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 3,9627 = 5,7997 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan Agustus menggunakan persamaan

2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{5,7997 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 5,1889 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan Agustus menggunakan persamaan 2.16

adalah :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{5,7997 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15424,0884 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 5,1889^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,2162 \text{ meter}$$

9. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan September:

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))1046^2$$

$$W_c = 120133,9368 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = Wc$$

$$m(900 + 450) \cdot (43,6 - 27,74) = 120133,9368$$

$$m = 5,6108 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 5,6108 = 7,4478 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan September menggunakan persamaan 2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{7,4478 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 6,6633 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan September menggunakan persamaan 2.16 adalah :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{7,4478 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15449,6274 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 6,6633^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,3566 \text{ meter}$$

10. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Oktober

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))751^2$$

$$W_c = 61927,3098 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = Wc$$

$$m(900 + 450) \cdot (39,4 - 26,66) = 61927,3098$$

$$m = 3,6006 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 3,6006 = 5,4376 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan Oktober menggunakan persamaan 2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{5,4376 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 4,8649 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan Oktober menggunakan persamaan 2.16 adalah

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{5,4376 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15426,4533 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 4,8649^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,1900 \text{ meter}$$

11. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan November

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.6.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))961^2$$

$$W_c = 101402,6058 \text{ W/m}$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = W_c$$

$$m(900 + 450) \cdot (40,8 - 26,79) = 101402,6058$$

$$m = 5,3613 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 5,3613 = 7,1983 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan November menggunakan persamaan

2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{7,1983 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 6,4401 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan November menggunakan persamaan 2.16

adalah :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{7,1983 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15437,1070 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 6,4401^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,3331 \text{ meter}$$

12. Pengaruh arus saluran terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan

Desember

Menghitung nilai rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran menggunakan persamaan 2.2.

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

$$W_c = 0,05973(1 + 4,03 \times 10^{-3}(228,1 - 20))778^2$$

$$W_c = 66460,1832W/m$$

Lalu menghitung pertambahan berat yang dihasilkan panas arus konduktor dengan menggunakan persamaan *non steady state* seperti persamaan 2.12.

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = Wc$$

$$m(900 + 450) \cdot (40 - 26,55) = 66460,1832$$

$$m = 3,6602 \text{ kg/m}$$

Sehingga berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

$$w_{total} = 1,837 + 3,6602 = 5,4972 \text{ kg/m}$$

Menentukan nilai andongan pada bulan Desember menggunakan persamaan 2.14.

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

$$d = \frac{5,4972 \times 332^2}{8 \times 15400}$$

$$d = 4,9182 \text{ meter}$$

Nilai Tegangan tarik pada bulan Desember menggunakan persamaan 2.16 adalah :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15400 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{5,4972 \times 332}{15400} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 15421,6411 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

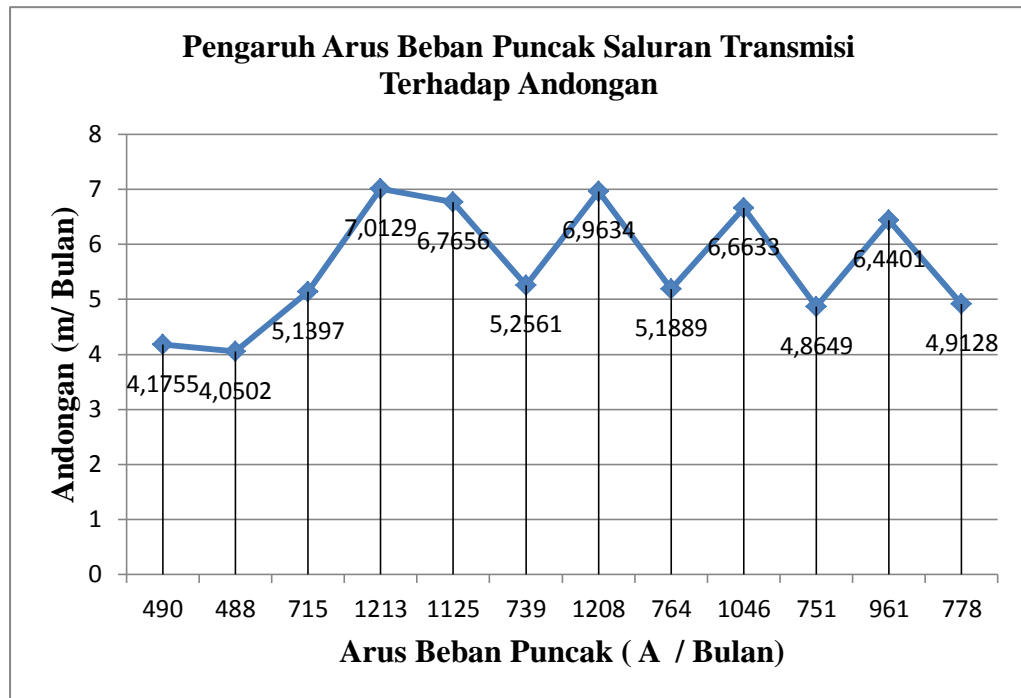
$$l = L \left(1 + \frac{8 \times 4,9182^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,194 \text{ meter}$$

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Pengaruh Arus Beban Puncak

Bulan	Arus Beban Puncak (A)	Andongan (m)	Tegangan Tarik (kg)
Januari	490	4,1755	15419,4877
Februari	488	4,0502	15414,6768
Maret	715	5,1397	15423,6345
April	1213	7,0129	15454,9707
Mei	1125	6,7656	15451,1623
Juni	739	5,2561	15430,8792
Juli	1208	6,9634	15433,3823
Agustus	764	5,1889	15424,0884
September	1046	6,6633	15449,6274
Oktober	751	4,8649	15426,4533
November	961	6,4401	15437,1070
Desember	778	4,918	154521,6411

4.2.1 Karakteristik Grafik Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Andongan



Gambar 12. Karakteristik Grafik Arus Beban Puncak Terhadap Andongan

Menurut standard PLN Vol 121 batas maksimum andongan untuk tinggi menara 30 meter adalah 17 meter. Pengaruh arus beban puncak terhadap andongan selama tahun 2019 terlihat pada gambar 12 yang mana dapat dijelaskan sebagai berikut :

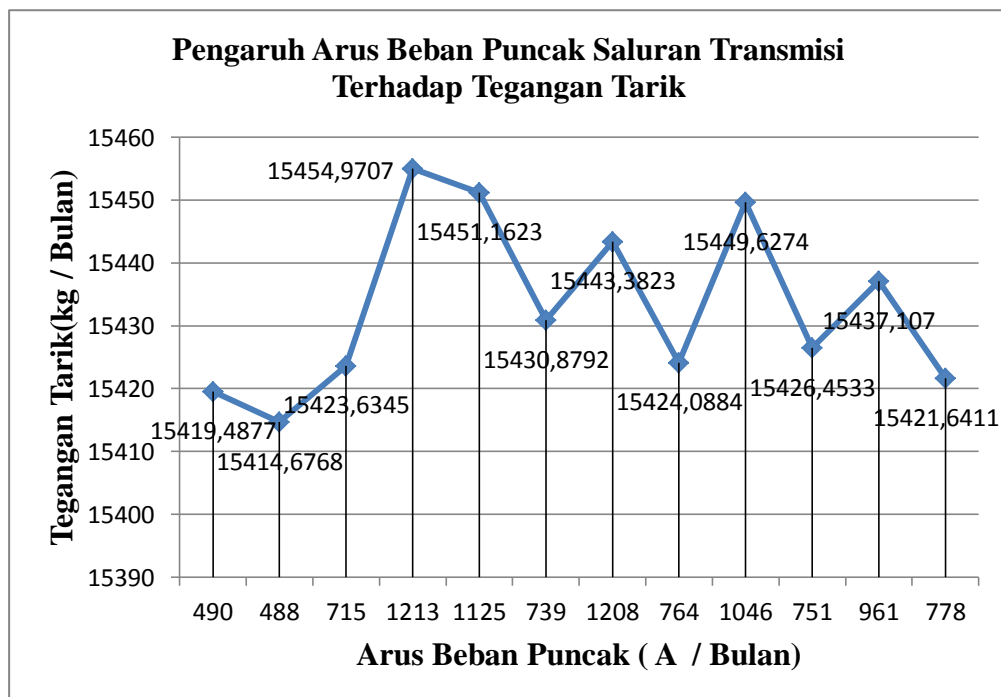
1. Bulan januari dengan arus 490 A maka nilai andongan sebesar 4,1755 m yang mana ini masih dalam keadaan standard PLN.
2. Pada bulan Februari dengan arus 488 A terjadi nilai andongan minimum sebesar 4,0502 m yang mana ini masih dalam kondisi standard PLN.
3. Bulan Maret dengan arus 715 A terjadi nilai andongan sebesar 5,1397 m.

4. Pada bulan April dengan arus 1213 A terjadi nilai andongan maksimum sebesar 7,0129 m yang mana nilai andongan masih dalam kondisi standard PLN atau dalam keadaan aman bagi kawat penghantar.
5. Bulan Mei dengan arus 1125 A terjadi nilai andongan sebesar 6,7656 m dan masih dalam kondisi standard PLN.
6. Bulan Juni dengan arus 739 A terjadi nilai andongan sebesar 5,2561m.
7. Andongan pada bulan Juli sebesar 6,9634 m dengan pengaruh arus beban puncak 1208 A.
8. Sedangkan pada bulan Agustus andongan yang terjadi sebesar 5,1889 m dengan arus beban puncak 764 A.
9. Bulan September dengan arus 1046 A terjadi nilai andongan sebesar 6,6633m.
10. Pada bulan Oktober dengan arus beban puncak sebesar 751 A nilai andongan terjadi 4,8649 m yang mana ini masih dalam keadaan standard PLN.
11. Andongan pada bulan November sebesar 6,4401m dengan pengaruh arus beban puncak 961 A.
12. Dan ketika pada bulan Desember dengan arus beban puncak sebesar 778 A maka andongan yang terjadi adalah 4,918 m.

Semakin besar nilai arus saluran maka nilai andongan juga semakin besar. Rugi- rugi panas yang dihasilkan oleh arus beban puncak saluran transmisi mempengaruhi pertambahan pada berat konduktor. Berat konduktor yang semakin besar akan mengakibatkan nilai andongan semakin besar pula. Pada gambar 12 menunjukkan arus maksimum terjadi pada bulan April tahun 2019 sebesar 1213 A dengan andongan sebesar 7,0129 m dan sebaliknya pada arus minimum terjadi

pada bulan Februari sebesar 488 A dengan andongan sebesar 4,0502 m. Perubahan panjang andongan saat arus minimum ke arus maksimum sebesar 2,9627 m atau 73,15%. Nilai andongan maksimum yang dipengaruhi oleh arus beban puncak saluran transmisi pada tahun 2019 sebesar 7,0129 meter masih dibawah kategori standard PLN yaitu 17 meter, hal ini menunjukkan bahwa pada saat arus beban puncak terbesar nilai andongan pada saluran transmisi masih aman dan tidak menimbulkan bahaya bagi kawat penghantar itu sendiri maupun objek yang berada disekitar menara transmisi.

4.2.2 Karakteristik Grafik Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Tegangan Tarik



Gambar 13. Karakteristik Grafik Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Tegangan Tarik

Sedangkan menurut standard PLN Vol 161 batas tegangan tarik maksimum sebesar 20 persen lebih besar dari tegangan tarik kawat nominalnya. Maka pada gambar 13 tersebut dapat dijelaskan bahwa :

1. Bulan Januari dengan arus 490 A maka nilai tegangan tarik yang terjadi sebesar 15419,4877 kg yang mana ini masih dalam standard PLN.
2. Pada bulan Februari dengan arus 488 A terjadi nilai tegangan tarik minimum sebesar 15414,6768 kg yang mana ini masih menunjukkan kinerja yg baik bagi kawat penghantar.
3. Bulan Maret dengan arus beban puncak 715 A terjadi nilai tegangan tarik sebesar 15423,6345 kg.
4. Pada bulan April dengan arus 1213 A terjadi nilai tegangan tarik maksimum sebesar 15454,9707 kg yang mana nilai andongan masih dalam kondisi standard PLN atau tidak menunjukkan tanda-tanda putus bagi kawat penghantar.
5. Bulan Mei dengan arus 1125 A terjadi nilai tegangan tarik sebesar 15451,1623 kg dan masih dalam kondisi standard PLN.
6. Bulan Juni dengan arus 739 A terjadi nilai tegangan tarik sebesar 15430.8792 kg.
7. Tegangan tarik pada bulan Juli sebesar 15443,3823 kg dengan pengaruh arus beban puncak 1208 A.
8. Sedangkan pada bulan Agustus tegangan tarik yang terjadi sebesar 15424,0884 kg dengan arus beban puncak 764 A.
9. Bulan September dengan arus 1046 A terjadi nilai tegangan tarik sebesar 15449,6274 kg.

10. Pada bulan Oktober dengan arus beban puncak sebesar 751 A nilai tegangan tarik yang terjadi 15426,4533 kg yang mana ini masih dalam keadaan standard PLN.

11. Tegangan tarik pada bulan November sebesar 15437,107 kg dengan pengaruh arus beban puncak 961 A.

12. Dan ketika pada bulan Desember dengan arus beban puncak sebesar 778 A maka tegangan tarik yang terjadi adalah 15421,6411kg.

Nilai tegangan tarik maksimum pada tahun 2019 saat arus beban puncak maksimum yang terjadi di bulan April sebesar 1213 A dengan nilai tegangan tariknya sebesar 15454,9707 kg. Sedangkan untuk arus beban puncak minimum yang terjadi di bulan februari sebesar 488 A memiliki nilai tegangan tarik sebesar 15414,6768 kg. Semakin besar pengaruh arus beban puncak saluran transmisi akan mengakibatkan bertambahnya berat konduktor sehingga akan mengakibatkan nilai tegangan tarik yang terjadi akan semakin besar. Hal ini membuktikan bahwa tegangan tarik maksimum akan terjadi pada saat arus beban puncak maksimum. Perubahan tegangan tarik pada saat arus minimum menuju arus maksimum sebesar 40,2939 kg atau 0,2614 %. Tegangan tarik maksimum yang terjadi akibat pengaruh arus beban puncak saluran transmisi pada tahun 2019 sebesar 15454,9707 kg masih dibawah standar PLN, yang mana masih lebih kecil 20% dari nilai tegangan tarik kawat nominal. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum yang terjadi masih aman dan tidak menimbulkan tanda – tanda kawat konduktor akan putus.

4.3 Perhitungan Andongan Dan Tegangan Tarik Akibat Temperatur Lingkungan

Menghitung nilai andongan dan tegangan tarik yang diakibatkan oleh temperatur lingkungan pada GI Belawan- GI Sei Rotan pada bulan Januari – Desember tahun 2019.

1. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Januari

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700(32,60 - 23,13) - 31,85767$$

$$A = -29,677433$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,677433 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,2360 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,2360 \times 483,4$$

$$T_t = 14616,0828 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan Januari dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14616,0828}$$

$$d = 1,7317 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan Januari dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14616,0828 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14616,0828} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14619,2639 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7317^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0241 \text{ meter}$$

2. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Februari :

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700(33,04 - 22,73) - 31,85767$$

$$A = -29,528669$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,528669 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,0926 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,0926 \times 483,4$$

$$T_t = 14546,7628 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan Februari dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14546,7628}$$

$$d = 1,7399 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan Februari dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14546,7628 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14546,7628} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14549,9590 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7399^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0243 \text{ meter}$$

3. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Maret

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700(34,16 - 23,77) - 31,85767$$

$$A = -29,514501$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,514501 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,0789 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,0789 \times 483,4$$

$$T_t = 14540,14026 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan Maret dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14540,14026}$$

$$d = 1,7407 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan Maret dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14540,14026 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14540,14026} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14543,3379 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7407^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0243376 \text{ meter}$$

4. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan April

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700 (34,40 - 24,14) - 31,85767$$

$$A = -29,537524$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,537524 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,1011 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,1011 \times 483,4$$

$$T_t = 14550,87174 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan April dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14550,87174}$$

$$d = 1,7394 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan April dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14550,87174 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14550,87174} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14554,0670 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7394^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0243013 \text{ meter}$$

5. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Mei

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700 (33,52 - 24,22) - 31,85767$$

$$A = -29,70754$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,70754 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,2650 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan tarik kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,2650 \times 483,4$$

$$T_t = 14630,101 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan Mei dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14630,101}$$

$$d = 1,7300 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan Mei dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14630,101 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14630,101} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14633,2790 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7300^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0240 \text{ meter}$$

6. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Juni

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700(33,88 - 24,03) - 31,85767$$

$$A = -29,610135$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,610135 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,1711 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,1711 \times 483,4$$

$$T_t = 14584,7098 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan Juni dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14584,7098}$$

$$d = 1,7354 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan Juni dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14616,0828 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14616,0828} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14619,2639 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7354^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0242 \text{ meter}$$

7. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Juli

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700 (33,57 - 23,79) - 31,85767$$

$$A = -29,622532$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,622532 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,1831 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,1831 \times 483,4$$

$$T_t = 14590,5105 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan Juli dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14590,5105}$$

$$d = 1,7347 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan Juli dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14590,5105 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14590,5105} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14593,6971 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7347^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0241 \text{ 702 meter}$$

8. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Agustus

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700 (34,41 - 23,67) - 31,85767$$

$$A = -29,452516$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,452516 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan eqivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,0192 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,0192 \times 483,4$$

$$T_t = 14511,2813 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan Agustus dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14511,2813}$$

$$d = 1,7442 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan Agustus dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14511,2813 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14511,2813} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14514,4853 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7442^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0244 \text{ meter}$$

9. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan September

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700 (33,02 - 23,45) - 31,85767$$

$$A = -29,659723$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,659723 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,2189 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,2189 \times 483,4$$

$$T_t = 14608,2513 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan September dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14608,2513}$$

$$d = 1,7326 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan September dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14608,2513 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14608,2513} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14611,4341 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7326^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0241 \text{ 117 meter}$$

10. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Oktober

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700(31,69 - 23,16) - 31,85767$$

$$A = -29,839907$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,839907 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,3927 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,3927 \times 483,4$$

$$T_t = 14691,8312 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan Oktober dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14691,8312}$$

$$d = 1,7227 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan Oktober dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14691,8312 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14691,8312} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14694,9958 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7227^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0239 \text{ meter}$$

11. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan November

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700 (32,10 - 23,67) - 31,85767$$

$$A = -29,861617$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 29,861617 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,4137 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,4137 \times 483,4$$

$$T_t = 14701,9826 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan November dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14701,9826}$$

$$d = 1,7215 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan November dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14701,9826 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14701,9826} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14705,1451 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7215^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0238 \text{ meter}$$

12. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik di bulan Desember

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan kawat berubah, perubahan tegangan spesifik kawat dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17.

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 = B$$

Untuk nilai A dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$A = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24 \times 31,85767^2} \times 7700 + 23 \cdot 10^{-6} \times 7700 (30,85 - 23,54) - 31,85767$$

$$A = -30,059969$$

Sedangkan nilai B dapat dicari menggunakan rumus :

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

$$B = \frac{332^2 \times 0,0038^2}{24} \times 7700$$

$$B = 510,6494$$

Nilai A dan B digabungkan ke persamaan 2.17 menjadi :

$$\sigma_t^3 - 30,059969 \sigma_t^2 = 510,6494$$

Mencari nilai σ_t digunakan persamaan ekuivalen, maka hasilnya adalah :

$$\sigma_t = 30,6051 \text{ kg/mm}^2$$

Maka nilai tegangan kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

$$T_t = 30,6051 \times 483,4$$

$$T_t = 14794,5053 \text{ kg}$$

Nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan pada bulan Desember dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

$$d = \frac{1,837 \times 332^2}{8 \times 14794,5053}$$

$$d = 1,7108 \text{ meter}$$

Sedangkan nilai tegangan tarik akibat perubahan lingkungan pada bulan Desember dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20.

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14794,5053 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{1,837 \times 332}{14794,5053} \right)^2 \right]$$

$$T_{AB} = 14797,6480 \text{ kg}$$

Perubahan andongan akibat temperatur lingkungan akan menyebabkan perubahan pada span atau panjang gawang yang ditentukan dengan persamaan 2.15.

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

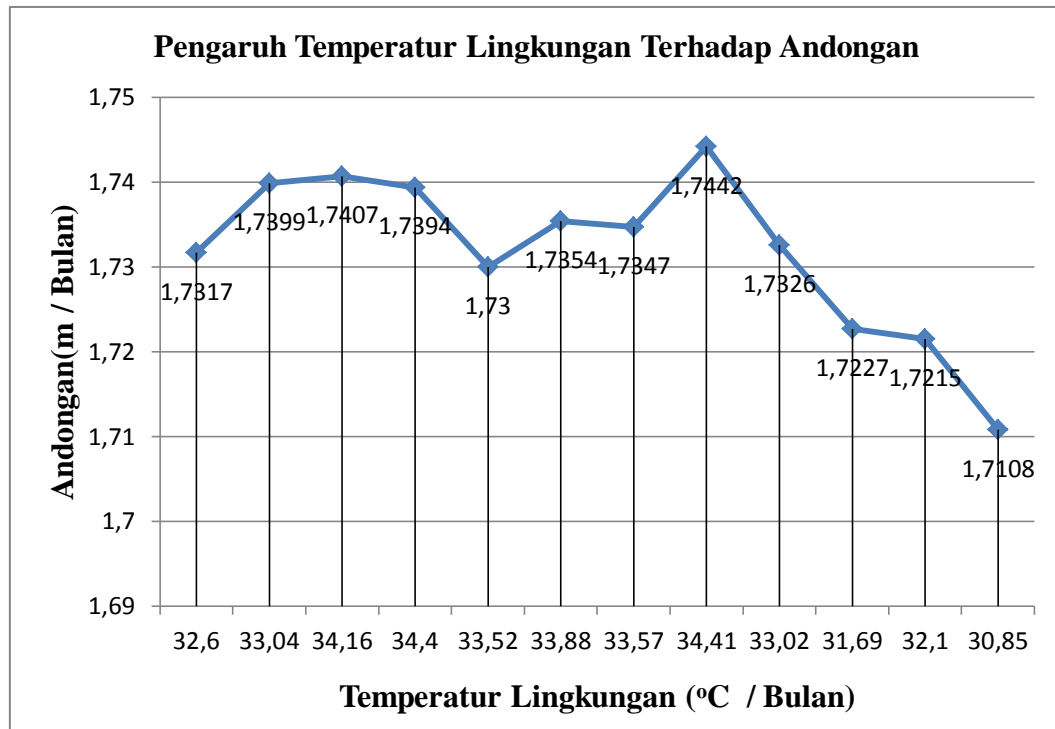
$$l = 332 \left(1 + \frac{8 \times 1,7108^2}{3 \times 332^2} \right)$$

$$l = 332,0235 \text{ meter}$$

Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Pengaruh Temperatur Lingkungan

Bulan	Temperatur Lingkungan (°C)	Andongan (m)	Tegangan Tarik (kg)
Januari	32,60	1,7317	14619,2639
Februari	33,04	1,7399	14549,9590
Maret	34,16	1,7407	14543,3379
April	34,40	1,7394	15554,0670
Mei	33,52	1,730	14633,2790
Juni	33,88	1,7354	14619,2639
Juli	33,57	1,7347	14593,6971
Agustus	34,41	1,7442	14514,4853
September	33,02	1,7326	14611,4341
Oktober	31,69	1,7227	14694,9958
November	32,10	1,7215	14705,1451
Desember	30,85	1,7108	14797,6480

4.3.1 Karakteristik Grafik Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan



Gambar 14. Karakteristik Grafik Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan

Menurut standard PLN Vol 121 batas maksimum andongan untuk tinggi menara 30 meter adalah 17 meter. Pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan selama tahun 2019 terlihat pada gambar 14, dapat dijelaskan sebagai berikut :

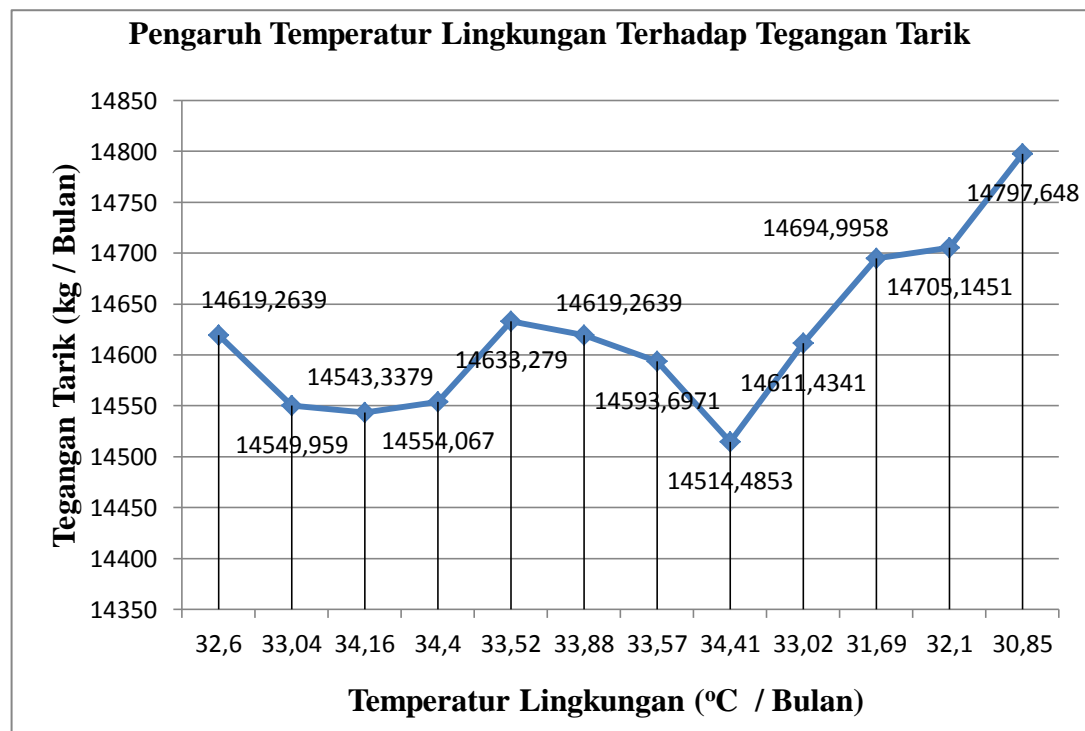
1. Bulan januari dengan temperatur lingkungan 32,6 °C maka nilai andongan sebesar 1,7317 m.
2. Pada bulan Februari dengan temperatur lingkungan 33,04 °C terjadi nilai andongan sebesar 1,7399 m yang mana ini masih dalam keadaan aman atau standard PLN.
3. Bulan Maret dengan temperatur lingkungan 34,16 °C terjadi nilai andongan sebesar 1,7407 m yang mana ini masih dalam keadaan standard PLN.

4. Andongan pada bulan April terjadi sebesar 1,7394 m dengan pengaruh temperatur lingkungan sebesar 34,4 °C.
5. Bulan Mei dengan temperatur lingkungan 33,52 °C terjadi nilai andongan sebesar 1,73 m dan masih dalam kondisi standard PLN.
6. Untuk bulan Juni dengan temperatur lingkungan 33,88 °C terjadi nilai andongan sebesar 1,7354m.
7. Andongan pada bulan Juli sebesar 1,7442 m dengan pengaruh temperatur lingkungan sebesar 33,57 °C.
8. Sedangkan pada bulan Agustus terjadi andongan maksimum akibat pengaruh temperatur lingkungan sebesar 1,7442 m dengan temperatur lingkungan 34,41 °C. Keadaan ini masih dalam kategori standard PLN.
9. Bulan September dengan temperatur lingkungan 33,02 °C terjadi nilai andongan sebesar 1,7326 m.
10. Pada bulan Oktober dengan temperatur lingkungan sebesar 31,69 °C nilai andongan terjadi 1,7227 m yang mana ini masih dalam keadaan standard PLN.
11. Andongan pada bulan November sebesar 1,7215 m dengan pengaruh temperatur lingkungan sebesar 32,1 °C.
12. Dan ketika pada bulan Desember dengan temperatur lingkungan sebesar 30,85 °C maka terjadi andongan minimum dengan nilai sebesar 1,7108 m.

Pada karakteristik grafik diatas dapat diterangkan bahwa semakin besar nilai temperatur lingkungan maka nilai andongan juga semakin besar, hal ini diakibatkan karena kenaikan temperatur lingkungan mengakibatkan penambahan pada panjang konduktor. Temperatur lingkungan maksimum terjadi pada bulan

Agustus sebesar $34,41^{\circ}\text{C}$ dengan nilai andongannya sebesar 1,7442 meter, sedangkan untuk temperatur lingkungan minimum terjadi pada bulan Desember sebesar $30,85^{\circ}\text{C}$ dengan nilai andongan sebesar 1,7108 meter. Perubahan panjang andongan dari temperatur lingkungan minimum menuju temperatur lingkungan maksimum sebesar 0,0334 meter atau 1,9523%. Nilai andongan maksimum yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan sebesar 1,7442 meter masih dikategori standard PLN, hal ini menunjukkan pada saat temperatur lingkungan tertinggi di tahun 2019 nilai andongan yang terjadi masih dalam kategori aman dan tidak menimbulkan bahaya bagi konduktor maupun sekitarnya.

4.3.2 Karakteristik Grafik Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Tegangan Tarik



Gambar 15. Karakteristik Grafik Temperatur Lingkungan Terhadap Tegangan Tarik

Menurut standard PLN Vol 161 untuk batas tegangan tarik maksimum adalah sebesar 20 persen lebih besar dari tegangan tarik kawat nominalnya. Maka pada gambar 13 tersebut dapat dijelaskan bahwa :

1. Bulan Januari dengan temperatur lingkungan 32,6 °C maka nilai tegangan tarik yang terjadi sebesar 14619,2639 kg.
2. Untuk bulan Februari dengan temperatur lingkungan 33,04 °C terjadi nilai tegangan tarik sebesar 14549,959 kg yang mana ini masih dalam keadaan aman atau standard PLN.
3. Sedangkan pada bulan Maret dengan temperatur lingkungan 34,16 °C terjadi nilai tegangan tarik sebesar 14543,3379 kg yang mana nilai ini masih dalam kondisi aman.
4. Tegangan tarik pada bulan April terjadi sebesar 14554,067 kg dengan pengaruh temperatur lingkungan sebesar 34,4 °C.
5. Pada bulan Mei dengan temperatur lingkungan 33,52 °C dapat dihituung nilai tegangan tarik sebesar 14633,279 kg dan masih dalam kondisi standard PLN.
6. Untuk bulan Juni dengan temperatur lingkungan 33,88 °C terjadi nilai tegangan tarik sebesar 14619,2639 kg yang mana nilai ini masih dalam keadaan baik-baik saja.
7. Tegangan tarik pada bulan Juli sebesar 14593,6971 kg dengan pengaruh temperatur lingkungan sebesar 33,57 °C.
8. Sedangkan pada bulan Agustus terjadi tegangan tarik minimum akibat pengaruh temperatur lingkungan sebesar 14514,4853 kg dengan temperatur lingkungan sebesar 34,41 °C. Keadaan ini masih dalam kategori standard PLN yang berarti kawat penghantar masih dalam kinerja yang baik.

9. Di bulan September dengan temperatur lingkungan $33,02^{\circ}\text{C}$ terjadi nilai tegangan tarik sebesar 14611,4341 kg.
10. Pada bulan Oktober dengan temperatur lingkungan sebesar $31,69^{\circ}\text{C}$ nilai tegangan tarik terjadi 14694,9958 kg yang mana ini masih dalam keadaan standard PLN.
11. Tegangan tarik pada bulan November sebesar 14705,1451 kg dengan pengaruh temperatur lingkungan sebesar $32,1^{\circ}\text{C}$. Nilai ini menunjukkan unjuk kinerja kawat penghantar masih baik.
12. Dan ketika pada bulan Desember dengan temperatur lingkungan sebesar $30,85^{\circ}\text{C}$ maka terjadi tegangan tarik maksimum dengan nilai sebesar 14797,648 kg. Nilai tersebut masih dalam standard PLN atau berkondisi aman dan tidak menampakan tanda-tanda kawat penghantar putus.

Nilai tegangan tarik maksimum akan terjadi pada saat temperatur minimum. Hal ini diakibatkan perubahan temperatur lingkungan menyebabkan perubahan pada tegangan spesifik kawat sehingga nilai tegangan tarik kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan akan lebih kecil dari nilai tegangan tarik kawat nominal yang ada. Temperatur lingkungan maksimum terjadi dibulan agustus sebesar $34,41^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan nilai tegangan tarik minimum sebesar 14514,4853 kg. Sedangkan pada temperatur lingkungan minimum terjadi pada bulan desember tahun 2019 sebesar $30,85^{\circ}\text{C}$ menghasilkan nilai tegangan tarik maksimum sebesar 14797,648 kg. Pengaruh temperatur lingkungan yang menghasilkan nilai tegangan tarik maksimum masih dalam kategori standard PLN. Artinya tegangan tarik maksimum yang terjadi akibat pengaruh temperatur lingkungan masih aman dan tidak menyebabkan konduktor putus

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

1. Andongan maksimum dan tegangan tarik maksimum yang dipengaruhi oleh arus beban puncak saluran transmisi terjadi pada bulan April tahun 2019 dengan arus beban puncak sebesar 1213 A dengan nilai andongan sebesar 7,0129 meter dan nilai tegangan tarik sebesar 1454,9707 kg. Menurut standard PLN Vol 121 tahun 1996 untuk saluran transmisi 150kV jika menara transmisi setinggi 30 m maka batas maksimum nilai andongan sebesar 17 meter dan nilai tegangan tarik maksimum sebesar 20% lebih besar dari tegangan tarik kawat nominalnya. Maka pengaruh arus beban puncak saluran transmisi terhadap andongan dan tegangan tarik masih dalam kategori standar PLN. Artinya nilai andongan maksimum pada saluran transmisi masih aman, dan nilai tegangan tarik maksimum yang terjadi tidak menyebabkan kawat penghantar putus.
2. Pengaruh temperatur lingkungan menghasilkan andongan maksimum terjadi pada bulan Agustus tahun 2019 dengan temperatur lingkungan sebesar 34,41°C dan nilai andongan 1,7442 meter. Sedangkan tegangan tarik maksimum yang dipengaruhi oleh temperatur maksimum terjadi pada bulan Desember tahun 2019 dengan temperatur lingkungan sebesar 30,85°C dan nilai tegangan tariknya sebesar 14797,648 kg. Nilai andongan dan tegangan tarik akibat pengaruh temperatur

lingkungan masih dalam standarisasi PLN. Hal ini menunjukkan bahwa andongan tidak menimbulkan bahaya pada kawat penghantar maupun objek disekitar menara, sedangkan tegangan tarik masih menunjukkan unjuk kerja yang baik.

5.2 Saran

Tentunya penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam penelitian ini. Salah satunya adalah dengan tidak menggunakan software penghitung seperti *Mathlab* dan software *ETAP*. Penggunaan software dapat dijadikan salah satu solusi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan perhitungan yang lebih cepat. Ditambah lagi jika memungkinkan untuk diteliti lebih dalam lagi, penulis ingin agar mencari nilai susut tegangan yang dihasilkan akibat pengaruh arus dan temperatur lingkungan tergantung dari keinginan dan kemampuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda,S.A., Hosea,E., Chandra,V. 2006. Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Tegangan Tarik Dan Andongan Pada Sutet 500kV Di Zona Krian. Vol. 6 No. 1. Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- Desprianto,R.Y., Prasetyono,S., Setiawan,D.K. 2017. Studi Perencanaan *Upgrade* Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Perak – Ujung Menggunakan Konduktor HTLS (*High Temperature-Low Sag*). Jember : Universitas Jember.
- Erhaneli & Ariby,Z. 2019. Pengaruh Suhu Dan Tekanan Angin Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV GI Payakumbuh – GI Koto Panjang. Vol. 8 No. 2. Padang : Institut Teknologi Padang.
- Kurniawan,H. 2008. Perhitungan Andongan Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Pada Gardu Induk Kembangan. Jakarta : Universitas Mercu Buana.
- Lastya,H.A. 2010. Analisis Pengaruh Internal Dan Eksternal Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik Pada Saluran Transmisi 150 kV. Banda Aceh : Universitas Negeri Islam Ar-Raniry.
- Pangestu,A. 2019. Analisa Pengaruh Perubahan Impedansi Kawat Saluran Terhadap *Setting* Relai Jarak Pada Saluran Transmisi 150 kV (GI Paya Pasir). Medan : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Prasetyono,S. 2007. Kajian Mekanis Penggunaan Penghantar Termal ACCR Pada Sutet 500kV. Vol. 11 No.1. Jember : Universitas Jember.
- Prasetyono,S. 2015. Pengaruh Kecepatan Angin Pada Karakteristik Performansi Konduktor Sutet. Jember : Universitas Jember.
- Sianturi,H.S.Y. 2018. Analisa Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Kuat Tarik Dan Andongan Pada SUTT 150 kV (Studi Transmisi Sibolga Tarutung). Medan : Universitas HKBP Nommensen.
- Siregar,R.A., Siregar,R.H., Gapy.M. 2018. Pengaruh Beban Panas Dan Tekanan Angin Pada Kawat Penghantar Terhadap Tegangan Tarik Dan Andongan Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Nagan Raya – Sigli. Vol. 3 No. 1. Banda Aceh : Universitas Syiah Kuala.
- Standar Perusahaan Listrik Negara. 1996. Konstruksi Saluran Udara Tegangan Tinggi 70 kV Dan 250 kV Dengan Tiang Beton Baja. Vol 121-7.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Balasan Riset PT. PLN (Persero)



UIP3B SUMATERA
UPT MEDAN

Nomor : 0034 /SDM.06.03/240600/2020
Sifat : Biasa
Lampiran : -
Perihal : Ijin Pengambilan Data

11 Februari 2020

Kepada :
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
(Fakultas Teknik)
Jl.Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan

u.p Yth.Dekan

Menunjuk Surat dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (Fakultas Teknik) Jl.Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan Nomor : 184/II.3-AU/UMSU-07/F/2020 pada Tanggal 03 Februari 2020 Perihal Pengambilan Data atas Nama :

No.	Nama Mahasiswa	Npm	Jurusan
1.	M.Reza Ardiandika	1507220095	Teknik Elektro

Dengan ini kami mengizinkan Pengambilan Data di Gardu Induk Belawan mulai Tanggal 12 Februari 2020 sampai dengan Tanggal 21 Februari 2020 dengan ketentuan sbb :

1. Tidak dibenarkan melakukan tindakan yang dapat mengganggu kegiatan Operasional di Gardu Induk Belawan.
2. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak memberi uang saku selama melaksanakan Pengambilan Data.
3. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak menanggung biaya apapun apabila mengalami Kecelakaan selama melaksanakan Pengambilan Data.
4. Mengikuti Peraturan Jam Kerja yang ada di ULTG dan Gardu Induk.
5. Meminta ijin untuk mengambil data dalam bentuk soft copy dan hard copy.
6. Dilarang mengambil foto dokumen dari lokasi peralatan tanpa seijin Manager Bagian.
7. Mematuhi segala peraturan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) berikut rambu-rambu yang ada ULTG dan Gardu Induk
8. Tidak diperbolehkan mempublikasikan hal-hal yang bersifat Rahasia.

Demikian disampaikan untuk dapat dipergunakan seperlunya, terimakasih.

Tembusan:

1.MAN ULTG Paya Pasir

2.Supervisor Jaringan dan Gardu Induk Belawan

Jl. Listrik No.12, Kel. Petisah Tengah, Kec. Medan Petisah, Medan 20112

T (061) 4579900 F (061) 4577700 E upt_medan@p3b-sumatera.co.id



Paraf

Lampiran 2. Data Karakteristik Kawat Penghantar

ALUMINIUM CONDUCTOR STEEL REINFORCED **ACSR**

SPECIFICATION : ASTM B 232

Table : 10 CONSTRUCTION AND CHARACTERISTICS

Code Name	Conductor Size	Number / Diameter of Wire		Calculated Sectional Area		Approx Overall Diameter	Approx. Weight of Conductor	Maximum DC Resistance at 20°C	Maximum Current Carrying Capacity*	Calculated Breaking Load	Standard Length per Drum
		Steel	Aluminium	Steel	Aluminium						
CM or AWG		n / mm		mm ²		mm	kg/km	ohm/km	A	kg	m
SCOTER EGRET SWIFT	636,000	7 / 3.698	30 / 3.698	75.2	322.2	25.9	1,490	0.08984	825	13,800	2,000
	636,000	19 / 2.220	30 / 3.698	73.5	322.2	25.9	1,479	0.08984	825	14,300	2,000
	636,000	1 / 3.376	36 / 3.376	9.0	322.3	23.6	965	0.08916	820	6,240	2,000
FLAMINGO GANNET STILT	666,600	7 / 2.822	24 / 4.234	43.8	337.9	25.4	1,285	0.08546	845	10,800	2,000
	666,600	7 / 3.162	26 / 4.067	55.0	337.8	25.8	1,373	0.08551	840	12,000	2,900
	715,500	7 / 2.924	24 / 4.387	47.0	362.8	26.3	1,379	0.07961	875	11,600	2,900
STARLING REDWING CUCKOO	715,500	7 / 3.277	26 / 4.214	59.0	362.6	26.7	1,474	0.07963	880	12,900	2,900
	715,500	19 / 2.352	30 / 3.922	82.6	362.4	27.4	1,662	0.07987	890	15,700	1,000
	795,000	7 / 3.081	24 / 4.623	52.2	402.9	27.7	1,532	0.07166	935	12,700	1,000
DRAKE COOT TERN	795,000	7 / 3.454	26 / 4.442	65.6	402.9	28.1	1,638	0.07167	940	14,300	1,000
	795,000	1 / 3.774	36 / 3.774	11.2	402.7	26.4	1,206	0.07134	890	7,610	2,900
	795,000	7 / 2.250	45 / 3.376	27.8	402.8	27.0	1,138	0.07168	930	10,000	1,000
CONDOR MALLARD RUDDY	795,000	7 / 3.081	54 / 3.081	52.2	402.6	27.7	1,530	0.07173	935	12,800	1,000
	795,000	19 / 2.482	30 / 4.135	91.9	402.9	29.0	1,849	0.07186	950	17,400	1,000
	900,000	7 / 2.395	45 / 3.592	31.5	456.0	28.7	1,515	0.06332	1005	11,100	1,000
CANARY CATBIRD RAIL	900,000	7 / 3.279	54 / 3.279	59.1	456.0	29.5	1,733	0.06332	1015	14,500	1,000
	954,000	1 / 4.135	36 / 4.135	13.4	483.4	28.9	1,447	0.05944	1020	8,980	1,000
	954,000	7 / 2.466	45 / 3.698	33.4	483.3	29.6	1,605	0.05975	1045	11,700	1,000
CARDINAL	954,000	7 / 3.376	54 / 3.376	62.7	483.4	30.4	1,837	0.05973	1050	15,400	1,000
TANAGER ORTOLAN	1,033,500	1 / 4.303	36 / 4.303	14.5	523.5	30.1	1,567	0.05488	1075	9,710	1,000
	1,033,500	7 / 2.565	45 / 3.848	36.2	523.3	30.8	1,738	0.05517	1100	12,600	1,000
CURLEW BLUEJAY FINCH	1,033,500	7 / 3.513	54 / 3.513	67.8	523.4	31.6	1,989	0.05518	1110	16,600	1,000
	1,113,000	7 / 2.664	45 / 3.995	39.0	564.1	32.0	1,874	0.05118	1155	13,600	1,000
	1,113,000	19 / 2.189	54 / 3.647	71.5	564.1	32.8	2,132	0.05144	1160	17,800	1,000
BUNTING CRACKLE SKYLARK	1,192,500	7 / 2.847	45 / 4.135	41.8	604.3	33.1	2,007	0.04779	1195	14,500	1,000
	1,192,500	19 / 2.339	54 / 3.774	76.6	604.1	34.0	2,284	0.04803	1205	19,000	1,000
	1,272,000	1 / 2.934	36 / 4.775	17.9	644.7	33.4	1,930	0.04457	1250	12,900	1,000
BITTERN PHEASANT DIPPER	1,272,000	7 / 2.847	45 / 4.270	44.6	644.4	34.2	2,140	0.04480	1305	15,500	1,000
	1,272,000	19 / 2.339	54 / 3.899	81.6	644.7	35.1	2,436	0.04501	1260	19,800	1,000
	1,351,500	7 / 2.934	45 / 4.402	47.3	684.9	35.2	2,274	0.04216	1300	16,600	1,000
MARTIN BOBOLINK PLOVER	1,351,500	19 / 2.410	54 / 4.018	86.7	684.7	36.2	2,587	0.04238	1310	21,000	1,000
	1,431,000	7 / 3.020	45 / 4.529	50.1	724.9	36.2	2,408	0.03794	1340	17,400	1,000
	1,431,000	19 / 2.482	54 / 4.135	91.9	725.2	37.2	2,741	0.04002	1350	22,300	1,000
NUTHATCH PARROT LAPWING	1,510,500	7 / 3.101	45 / 4.653	52.9	765.2	37.2	2,541	0.03774	1380	18,200	1,000
	1,510,500	19 / 2.548	54 / 4.247	96.9	765.0	38.2	2,891	0.03794	1390	22,500	500
	1,590,000	7 / 3.183	45 / 4.775	53.7	805.8	38.2	2,676	0.03583	1430	19,200	500
FALCON CHUKAR BLUEBIRD	1,590,000	19 / 2.616	54 / 4.359	102.1	805.9	34.0	3,046	0.03601	1440	24,700	500
	1,780,000	19 / 2.220	84 / 3.698	73.5	902.2	40.7	3,083	0.03216	1485	23,200	500
	2,156,000	19 / 2.441	84 / 4.069	88.9	1092.3	44.8	3,732	0.02656	1665	27,300	500
KIWI THRASHER	2,167,000	7 / 2.939	72 / 4.407	47.5	1098.3	44.1	4,067	0.02642	1655	22,600	500
	2,312,000	19 / 2.068	76 / 4.430	63.8	1171.4	45.8	3,752	0.02477	1730	25,700	500

Note : * Ambient temperature : 35 °C
 * Wind velocity : 0.5 m/sec.
 * Continuous operating temperature of conductor : 90 °C

Lampiran 3. Data Arus Beban Puncak Dan Temperatur Konduktor



PT PLN (Persero)
Unit Induk : P3B Sumatera
Unit Pelaksana : GI BELAWAN



LAPORAN BEBAN TERTINGGI TRANSMISI
BULAN : JANUARI - DESEMBER 2019

BULAN	Nama Penghantar	Arus	Mw	Tanggal	SUHU (°C)
JANUARY	S.ROTN 1	490	198	9	34
	S.ROTN 2	490	198	9	34
FEBRUARI	S.ROTN 1	488	196	28	33.2
	S.ROTN 2	488	196	28	33.2
MARET	S.ROTN 1	715	168	22	38.7
	S.ROTN 2	715	168	22	38.7
APRIL	S.ROTN 1	1213	303	4	48.4
	S.ROTN 2	780	199	22	40.1
MEI	S.ROTN 1	1125	265	21	46
	S.ROTN 2	1151	282	3	43
JUNI	S.ROTN 1	739	182	19	39
	S.ROTN 2	739	182	19	39
JULI	S.ROTN 1	1208	302	15	47.6
	S.ROTN 2	759	188	30	39.8
AGUSTUS	S.ROTN 1	764	191	16	40.1
	S.ROTN 2	1171	292	28	43.7
SEPTEMBER	S.ROTN 1	1046	260	20	41.5
	S.ROTN 2	715	185	16	38.7
OKTOBER	S.ROTN 1	751	184	2	39.4
	S.ROTN 2	751	184	2	39.4
NOVEMBER	S.ROTN 1	961	240	21	40.8
	S.ROTN 2	740	186	6	39.3
DESEMBER	S.ROTN 1	778	186	19	40
	S.ROTN 2	750	184	3	39

Lampiran 4. Data Temperatur Lingkungan



ID WMO : 96041

Nama Stasun : Balai Besar Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Wilayah I

Lintang : 3.53970

Bujur : 98.64

Elevasi : 0

Bulan	Tn	Tx	Tavg	ff_x	ff-avg
Januari	23,13	32,60	27,10	4,53	1,47
Februari	22,73	33,04	26	4,62	1,21
Maret	23,77	34,16	28,06	4,72	1,03
April	24,14	34,40	28,46	4,35	1,16
Mei	24,22	33,52	28,02	4,31	0,97
Juni	24,03	33,88	28	4,49	1,03
Juli	23,79	33,57	27,74	4,72	1,09
Agustus	23,67	34,41	28,12	4,22	0,94
September	23,45	33,02	27,34	4,64	0,97
Oktober	23,16	31,69	26,66	4,22	0,94
November	23,67	32,10	26,79	4,10	0,90
Desember	23,54	30,85	26,55	4,16	1,12

Keterangan :

8888 : Data tidak terukur

9999 : Tidak ada data (tidak dilakukan pengukuran)

Tn : Temperatur minimum (°C)

Tx : Temperatur maksimum (°C)

Tavg : Temperatur rata – rata (°C)

ff_x : Kecepatan angin maksimum (m/s)

ff_avg : Kecepatan angin rata – rata (m/s)



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : M. REZA ARDIANDIKA
NPM : 1507220095
Judul Tugas Akhir : **ANALISA PENGARUH ARUS DAN TEMPERATUR
PADA KAWAT PENGHANTAR TERHADAP
ANDONGAN DAN TEGANGAN TARIK PADA
SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV GI
BELAWAN- GI SEI ROTAN**

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1.	15/02-2020	Pemeriksaan abstrak	
2.	15/02-2020	Pemeriksaan daftar isi dan bab I	
3.	15/02-2020	Pemeriksaan bab II dan III	
4.	21/02-2020	runing yg tdk mentulap diulangnya	
5.	21/02-2020	Pemeriksaan bab IV	
6.	21/2-2020	recc mengilenti Seminar	
		21/2-2020	

Pembimbing I

Ir. Zularsil Siregar



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : M. REZA ARDIANDIKA
NPM : 1507220095
Judul Tugas Akhir : **ANALISA PENGARUH ARUS DAN TEMPERATUR
PADA KAWAT PENGHANTAR TERHADAP
ANDONGAN DAN TEGANGAN TARIK PADA
SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV GI
BELAWAN- GI SEI ROTAN**

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1	3/3 2020	- Pemeriksaan BAB III	
2	3/3 2020	- Pemeriksaan BAB IV	
3	3/3 2020	 3/3-2020	

Pembimbing I

Ir. Zularsil Siregar



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : M. REZA ARDIANDIKA
NPM : 1507220095
Judul Tugas Akhir : **ANALISA PENGARUH ARUS DAN TEMPERATUR
PADA KAWAT PENGHANTAR TERHADAP
ANDONGAN DAN TEGANGAN TARIK PADA
SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV GI
BELAWAN- GI SEI ROTAN**

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1	23/11/2019	- Perbaiki Tujuan Penulisan - Rancang Daftar Isi	
2	26/11/2019	- Pelajari Tujuan Penulisan - Cari referensi TA.	
3	19/2/2020	- Tambah Abstrak - Perbaiki Daftar Isi	
		- Buat Tabel Hasil Perhitungan - Tambah Analisis Karakteristik.	
		- Perbaiki Kesimpulan - Perbaiki Tulisan yg diberi tanda	
4	20/2/2020	- Ace ke Pembimbing I	

Pembimbing II

Rohana S.T, M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : M. REZA ARDIANDIKA
NPM : 1507220095
Judul Tugas Akhir : ANALISA PENGARUH ARUS DAN TEMPERATUR
PADA KAWAT PENGHANTAR TERHADAP
ANDONGAN DAN TEGANGAN TARIK PADA
SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 KV GI
BELAWAN- GI SEI ROTAN

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1.	4-3-2020	- Perbaiki bab III	
		- Perbaiki bab IV	
2	2-3-2020	Ace ke pembimbing I	

Pembimbing II

Rohana S.T, M.T

ANALISA PENGARUH ARUS DAN TEMPERATUR PADA KAWAT PENGHANTAR TERHADAP ANDONGAN DAN TEGANGAN TARIK PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 kV GI BELAWAN – GI SEI ROTAN

M. Reza Ardiandika¹⁾, Ir. Zul Arsil Siregar²⁾, Rohana, S.T,M.T³⁾

1) Mahasiswa Program Sarjana Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
2,3) Pengajar dan Pembimbing Program Sarjana Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Email : ardiandikareza25@gmail.com

Abstrak - Meningkatnya kebutuhan energi listrik dalam lingkungan masyarakat menjadikan sistem energi listrik menjadi kunci dalam memenuhi kebutuhan energi. Sistem saluran transmisi menjadi salah satu komponen penting dalam penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban atau masyarakat. Saluran transmisi udara tegangan 150kV umumnya menggunakan konduktor ACSR, penggunaan konduktor ACSR dapat menimbulkan andongan dan tegangan tarik. Andongan dan tegangan tarik dapat meningkat akibat beberapa faktor seperti arus beban puncak dan temperatur lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh arus beban puncak saluran transmisi dan temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai andongan maksimum akibat pengaruh arus beban puncak saluran transmisi terjadi pada bulan April tahun 2019 sebesar 7,0129 meter dan tegangan tarik maksimum akibat pengaruh arus beban puncak terjadi pada bulan April tahun 2019 sebesar 15454,9707 kg. Nilai andongan maksimum akibat pengaruh temperatur lingkungan terjadi pada bulan Agustus tahun 2019 sebesar 1,7442 meter sedangkan nilai tegangan tarik maksimum akibat pengaruh temperatur lingkungan terjadi pada bulan Desember tahun 2019 sebesar 14797,648 kg. Pengaruh arus beban puncak dan temperatur lingkungan terhadap andongan dan tegangan tarik pada penelitian kali ini masih dalam batas standarisasi Perusahaan Listrik Negara yang artinya masih aman bagi kawat penghantar maupun objek yang berada disekitar menara transmisi.

Kata kunci : Saluran Transmisi, Andongan, Tegangan Tarik, dan Arus Beban Puncak

Abstract - *The increasing need for electrical energy in the community environment makes the electrical energy system a key in meeting energy needs. The transmission line system becomes one of the important components in the distribution of electrical energy from the power plant to the load center or the community. 150kV voltage air transmission lines generally use ACSR conductors, the use of ACSR conductors can cause traction and tensile stress. Andongan and tensile stress can increase due to several factors such as peak load currents and ambient temperature. This study aims to determine how much influence the peak load current of the transmission line and the ambient temperature on the load and tensile stress. The results of this study indicate that the maximum load value due to the influence of the peak load current of the transmission line occurred in April 2019 at 7.0129 meters and the maximum tensile stress due to the influence of the peak load current occurred in April 2019 amounting to 15454.9707 kg. Maximum load value due to the influence of environmental temperature occurred in August 2019 amounted to 1.7442 meters while the maximum tensile stress value due to the influence of environmental temperature occurred in December 2019 amounted to 14797,648 kg. The influence of peak load current and environmental temperature on the carriage and tensile stress in this study is still within the limits of the standard of the National Electric Company, which means it is still safe for the conducting wire and objects that are around the transmission tower.*

Keywords : Transmission Line, Andongan, Tensile Voltage, and Peak Load Current

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan energi listrik dalam lingkungan masyarakat menjadikan sistem tenaga listrik menjadi kunci dalam memenuhi kebutuhan energi listrik. Hal ini disebabkan oleh tingkat pertumbuhan pada masyarakat yang semakin tinggi menggunakan energi listrik. PT PLN sebagai perusahaan nasional yang bergerak dibidang ketenagalistrikan berusaha mengembangkan dan meningkatkan seluruh potensi untuk menghasilkan energi listrik serta diharapkan mengatasi kebutuhan energi listrik yang aman, handal, dan ekonomis bagi masyarakat.

Energi listrik yang di salurkan dari pusat pembangkit ke pusat beban pada umumnya disalurkan melalui saluran transmisi yakni Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang merupakan sarana diatas tanah untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke Gardu Induk (Erhaneli 2019). Salah satu komponen untuk menyalurkan energi listrik terdiri dari kawat atau konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang melalui isolator-isolator dengan sistem tegangan tinggi 150 kV. Saluran transmisi udara dengan tegangan 150 kV umumnya menggunakan konduktor ACSR. Penggunaan konduktor ACSR dapat mengoptimalkan saluran transmisi dalam menghantarkan energi listrik.

Pengoptimalan pada saluran transmisi dapat menimbulkan tegangan tarik dan andongan yang timbul dikawat konduktor (Hari Anna Lastya 2014). Tegangan tarik dan andongan semakin meningkat karena adanya beberapa pengaruh salah satunya adalah arus dan temperatur lingkungan. Pengaruh arus beban puncak pada saluran transmisi akan mengakibatkan bertambahnya berat pada konduktor sehingga nilai andongan dan tegangan tarik yang akan terjadi akan semakin besar. Sedangkan pengaruh temperatur lingkungan akan menyebabkan bertambahnya panjang konduktor sehingga panjang andongan akan bertambah dan tegangan tarik berkurang, hal ini diakibatkan karena berubahnya tegangan kawat yang diakibatkan perubahan pada temperatur lingkungan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Saluran Transmisi

Saluran transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat-pusat pembangkit listrik ke pusat

beban. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi transmisi akibat jatuh tegangan. Secara umum saluran transmisi dibagi dua bagian yaitu saluran udara dan saluran bawah tanah. Saluran udara menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantungkan pada menara transmisi, sedangkan saluran bawah tanah menyalurkan tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanam didalam tanah.

2.2 Komponen Saluran Transmisi

Komponen saluran transmisi adalah beberapa perangkat pendukung yang menjadikan saluran transmisi memiliki kontinuitas kinerja yang baik sehingga kualitas energi listrik yang disampaikan ke konsumen tetap terjaga. Adapun komponen – komponen saluran transmisi adalah menara transmisi, isolator, kawat penghantar, kawat tanah, dan lain-lain nya.

2.3 Panas Oleh Faktor Arus Saluran

Ukuran panas konduktor saluran tergantung dari besarnya arus dan resistansi pada temperatur konduktor yang berlaku. Dan sebuah metode atau persamaan untuk mencari panas saluran pada konduktor dengan inti baja yang diakibatkan oleh arus saluran adalah sebagai berikut :

$$W_c = R(1 + \alpha(T - 20))I^2$$

Dengan :

W_c = Rugi- rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran (Watt/ meter)

I = Arus Penghantar (A)

R = Resistansi Konduktor pada temperatur 20°C (Ω)

α = Koefisien temperature

2.4 Andongan Dan Tegangan Tarik

Kawat penghantar yang direntangkan antara dua menara transmisi tidak akan mengikuti garis lurus, tetapi karena beratnya sendiri akan melengkung kebawah. Itulah yang dikatakan dengan andongan. Besar lengkungan ini tergantung dari berat dan panjang dari kawat penghantar itu sendiri. Secara matematis, lengkungan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan tertentu sesuai dengan keadaan dan kondisi menara. Sedangkan berat dari konduktor atau kawat penghantar akan menimbulkan tegangan tarik pada penampang kawat konduktor. Tegangan tarik tergantung dari berat konduktor dan beban- beban lain yang bekerja pada kawat penghantar, misalnya angin, es, dan temperatur lingkungan. Menurut hukum Stokes, karena adanya tegangan tarik ini, konduktor akan

bertambah panjang, tergantung modulus elastisitas dan panjang konduktor itu sendiri. Sedang karena perubahan-perubahan temperatur yang terjadi di sekitar konduktor, akan menyebabkan memuai atau menyusut tergantung besarnya perubahan temperatur, koefisien muai dan panjang konduktor. Panjang konduktor ditentukan oleh panjang gawang (*span*) dan besarnya andongan (*sag*). Sebaliknya, andongan tergantung dari panjang konduktor, tegangan tarik dan temperatur konduktor dan ketiga besaran ini saling mempengaruhi satu sama lain.

2.5 Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik

Perubahan temperatur konduktor terhadap perubahan temperatur lingkungan rata-rata menghasilkan penambahan berat pada konduktor tersebut. Pertambahan berat pada konduktor disimbolkan dengan m massa per unit panjang dan c adalah kalor jenis dapat ditentukan dengan kapasitas panas pada konduktor yang diperoleh dengan persamaan :

$$m(c_a + c_s) \cdot (T_c - T_a) = Wc$$

Dimana :

- m = Pertambahan berat yang dihasilkan panas konduktor (kg/m)
- Wc = Rugi-Rugi atau panas yang diakibatkan arus saluran (Watt/meter)
- c_a = Kalor jenis aluminium (900 J/kg °C)
- c_s = Kalor jenis baja (450 J/kg °C)
- T_c = Temperatur konduktor (°C)
- T_a = Temperatur lingkungan rata-rata (°C)

Sehingga pertambahan berat total konduktor menjadi :

$$w_{total} = w + m$$

Sedangkan mencari nilai andongan akibat perubahan arus saluran dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$d = \frac{w_{total} \times L^2}{8T}$$

Dimana :

- d = Andongan (m)
- L = panjang gawang / *span* (m)
- T = Tegangan kawat (kg)
- w_{tot} = Berat kawat total (kg/m)
- T_{AB} = Tegangan tarik kawat (kg)

Perubahan andongan akan menyebabkan perubahan panjang kawat, panjang kawat dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

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

Dimana :

l = Panjang kawat (meter)

Sedangkan untuk mencari nilai tegangan tarik yang diakibatkan oleh arus saluran dapat ditentukan dengan persamaan :

$$T_{AB} = T \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w_{total} \times L}{T} \right)^2 \right]$$

2.6 Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik

Perubahan temperatur lingkungan mengakibatkan tegangan spesifik kawat konduktor ikut berubah. Perubahan tegangan spesifik kawat akibat perubahan temperatur lingkungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan metode *catenary* sebagai berikut :

$$\sigma_t^3 + A\sigma_t^2 - B = 0$$

Dimana :

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

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

Keterangan :

- A dan B = Nilai koefisien metode *catenary*
- α = Koefisien muai panjang kawat
- E = Modulus elastis kawat
- t_1 = Temperatur lingkungan minimum (°C)
- t_2 = Temperatur lingkungan maksimum (°C)
- L = Panjang gawang (m)
- q = Luas Permukaan kawat (mm²)
- σ = Tegangan spesifik kawat (kg/mm²) : $\frac{T}{q}$
- T = Tegangan kawat (kg)
- γ = Berat Spesifik kawat (kg/m/mm²) : $\frac{w}{q}$
- w = Berat kawat (kg/m)
- σ_t = Tegangan kawat spesifik pada t°C (kg/mm²)

Setelah nilai σ_t diketahui, maka nilai tegangan kawat akan berubah dikarenakan perubahan temperatur lingkungan dan dapat dihitung dengan persamaan:

$$T_t = \sigma_t \cdot q$$

Dimana :

- T_t = Tegangan kawat pada t°C (kg)

Sehingga untuk mencari nilai andongan akibat perubahan temperatur lingkungan dapat digunakan persamaan :

$$d = \frac{w \times L^2}{8 \times T_t}$$

Sedangkan untuk mencari nilai tegangan tarik yang diakibatkan pengaruh temperatur lingkungan dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_{AB} = T_t \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{w \times L}{T_t} \right)^2 \right]$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan dengan mengambil data di GI Belawan PT PLN (Persero).

3.2 Data Penelitian

a. Data karakteristik kawat penghantar

Panjang Rute	26,387 km
Jenis Konduktor	ACSR
Diameter Konduktor (d)	30,4 mm
Luas Penampang Konduktor (q)	483,4 mm ²
Tahanan Konduktor (R)	0,05973 ohm/km
Tegangan Tarik Kawat (T)	15400 kg
Tegangan Kawat Spesifik (σ)	$15400 / 483,4 = 31,85767$ kg/mm ²
Berat per meter (w)	1,837 kg/m
Berat Kawat Spesifik (γ)	$1,837 / 483,4 = 0,0038$ kg/m/mm ²
Jarak Gawang Rata- Rata (L)	332 m
Modulus Elastisitas (E)	7700 kN/mm ²
Koefisien Muai Panjang (α)	$23 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Tinggi Menara (h)	30 m
Jumlah Menara Transmisi	84

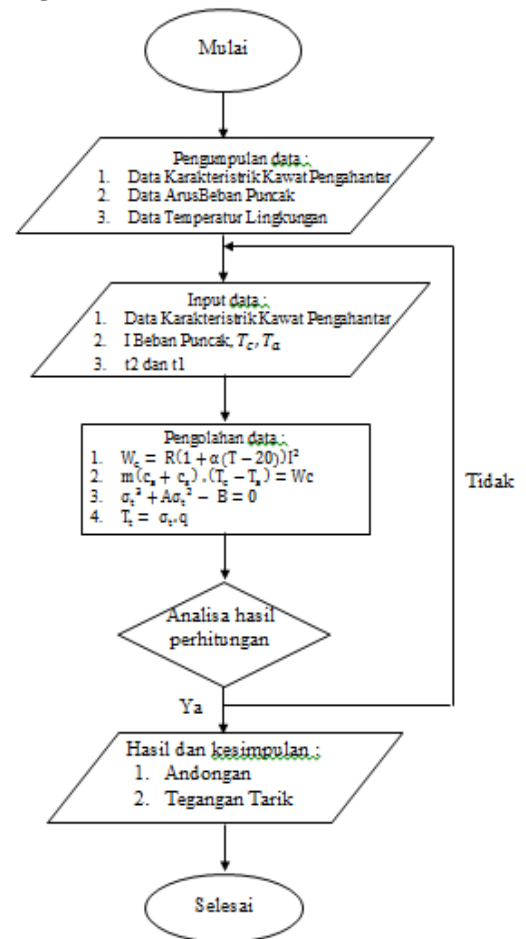
b. Data beban puncak arus saluran transmisi dan temperatur konduktor

Bulan	Arus (A)	Temperatur Konduktor(°C)
Januari	490	34
Februari	488	33,2
Maret	715	38,7
April	1213	48,4
Mei	1125	46
Juni	739	39
Juli	1208	47,6
Agustus	764	40,1
September	1046	43,6
Oktober	751	39,4
November	961	40,8
Desember	778	40

c. Data temperatur lingkungan

Bulan	Temperatur minimum(°C)	Temperatur maksimum(°C)	Temperatur rata-rata(°C)
Januari	23,13	32,60	27,10
Februari	22,73	33,04	26
Maret	23,77	34,16	28,06
April	24,14	34,40	28,46
Mei	24,22	33,52	28,02
Juni	24,03	33,88	28
Juli	23,79	33,57	27,74
Agustus	23,67	34,41	28,12
September	23,45	33,02	27,34
Oktober	23,16	31,69	26,66
November	23,67	32,10	26,79
Desember	23,54	30,85	26,55

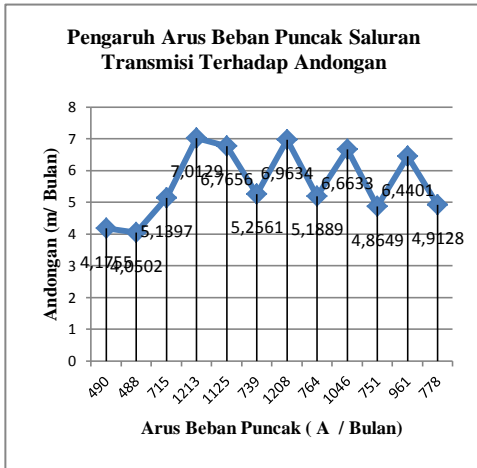
3.3 Diagram Alir



4. ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Andongan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka dapat ditampilkan hasil dalam bentuk grafik pengaruh arus beban puncak terhadap andongan sebagai berikut.

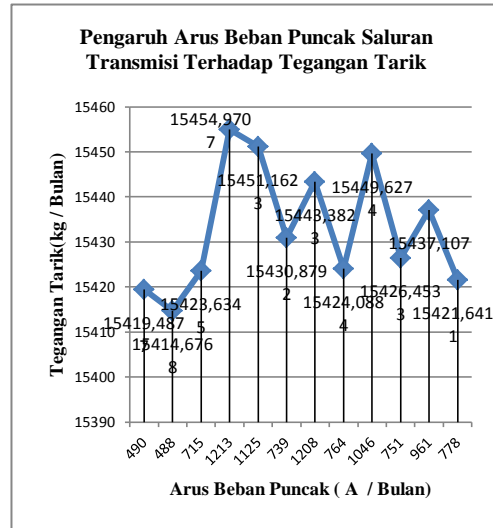


Pada gambar diatas menunjukkan arus maksimum terjadi pada bulan April tahun 2019 sebesar 1213 A dengan andongan sebesar 7,0129 m dan sebaliknya pada arus minimum terjadi pada bulan Februari sebesar 488 A dengan andongan sebesar 4,0502 m. Perubahan panjang andongan saat arus minimum ke arus maksimum sebesar 2,9627 m atau 73,15%. Nilai andongan maksimum yang dipengaruhi oleh arus beban puncak saluran transmisi pada tahun 2019 sebesar 7,0129 meter. Hal ini menunjukkan Semakin besar nilai arus saluran maka nilai andongan juga semakin besar. Rugi- rugi panas yang dihasilkan oleh arus beban puncak saluran transmisi mempengaruhi penambahan pada berat konduktor. Berat konduktor yang semakin besar akan mengakibatkan nilai andongan semakin besar pula.

4.2 Pengaruh Arus Beban Puncak Terhadap Tegangan Tarik

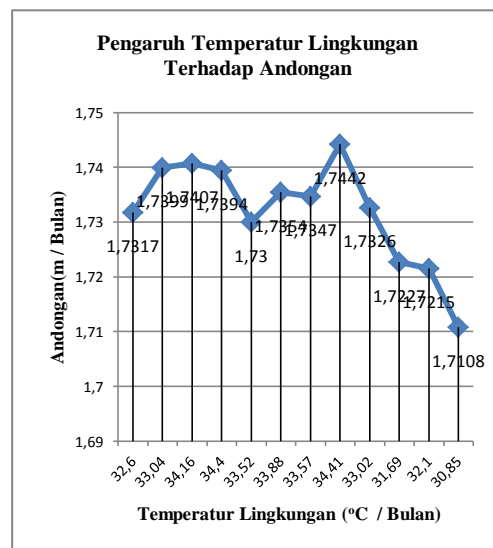
Nilai tegangan tarik maksimum pada tahun 2019 saat arus beban puncak maksimum yang terjadi di bulan April sebesar 1213 A dengan nilai tegangan tariknya sebesar 15454,9707 kg. Sedangkan untuk arus beban puncak minimum yang terjadi di bulan februari sebesar 488 A memiliki nilai tegangan tarik sebesar 15414,6768 kg. Semakin besar pengaruh arus beban puncak saluran transmisi akan mengakibatkan bertambahnya berat konduktor sehingga akan mengakibatkan nilai tegangan tarik yang terjadi akan semakin besar. Hal ini membuktikan bahwa tegangan tarik maksimum akan terjadi pada saat arus beban puncak maksimum.

Perubahan tegangan tarik pada saat arus minimum menuju arus maksimum sebesar 40,2939 kg atau 0,2614 %. Tegangan tarik maksimum yang terjadi akibat pengaruh arus beban puncak saluran transmisi pada tahun 2019 sebesar 15454,9707 kg. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka dapat ditampilkan hasil dalam bentuk grafik pengaruh arus beban puncak terhadap tegangan tarik sebagai berikut.



4.3 Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Andongan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka dapat ditampilkan hasil dalam bentuk grafik pengaruh temperatur lingkungan terhadap andongan sebagai berikut.

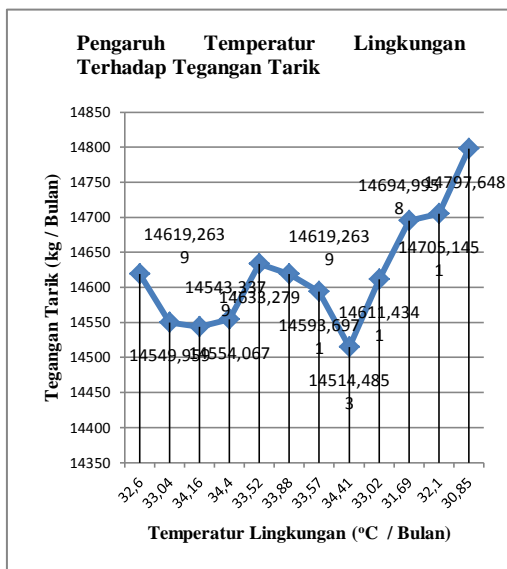


Pada karakteristik grafik diatas dapat diterangkan bahwa semakin besar nilai temperatur lingkungan maka nilai andongan juga semakin besar, hal ini diakibatkan karena kenaikan temperatur lingkungan mengakibatkan penambahan pada panjang

konduktor. Temperatur lingkungan maksimum terjadi pada bulan Agustus sebesar 34,41°C dengan nilai andongan nya sebesar 1,7442 meter, sedangkan untuk temperatur lingkungan minimum terjadi pada bulan Desember sebesar 30,85°C dengan nilai andongan sebesar 1,7108 meter. Perubahan panjang andongan dari temperatur lingkungan minimum menuju temperatur lingkungan maksimum sebesar 0,0334 meter atau 1,9523%.

4.4 Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Tegangan Tarik

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka dapat ditampilkan hasil dalam bentuk grafik pengaruh temperatur lingkungan terhadap tegangan tarik sebagai berikut.



Nilai tegangan tarik maksimum akan terjadi pada saat temperatur minimum. Hal ini diakibatkan perubahan temperatur lingkungan menyebabkan perubahan pada tegangan spesifik kawat sehingga nilai tegangan tarik kawat yang dipengaruhi oleh temperatur lingkungan akan lebih kecil dari nilai tegangan tarik kawat nominal yang ada. Temperatur lingkungan maksimum terjadi dibulan agustus sebesar 34,41°C dan menghasilkan nilai tegangan tarik minimum sebesar 14514,4853 kg. Sedangkan pada temperatur lingkungan minimum terjadi pada bulan desember tahun 2019 sebesar 30,85°C menghasilkan nilai tegangan tarik maksimum sebesar 14797,648 kg.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

1. Andongan maksimum dan tegangan tarik maksimum yang dipengaruhi oleh arus beban puncak saluran transmisi terjadi pada bulan April tahun 2019 dengan arus beban puncak sebesar 1213 A dengan nilai andongan sebesar 7,0129 meter dan nilai tegangan tarik sebesar 1454,9707 kg. Menurut standard PLN Vol 121 tahun 1996 untuk saluran transmisi 150kV jika menara transmisi setinggi 30 m maka batas maksimum nilai andongan sebesar 17 meter dan nilai tegangan tarik maksimum sebesar 20% lebih besar dari tegangan tarik kawat nominalnya. Maka pengaruh arus beban puncak saluran transmisi terhadap andongan dan tegangan tarik masih dalam kategori standar PLN. Artinya nilai andongan maksimum pada saluran transmisi masih aman, dan nilai tegangan tarik maksimum yang terjadi tidak menyebabkan kawat penghantar putus.
2. Pengaruh temperatur lingkungan menghasilkan andongan maksimum terjadi pada bulan Agustus tahun 2019 dengan temperatur lingkungan sebesar 34,41°C dan nilai andongan 1,7442 meter. Sedangkan tegangan tarik maksimum yang dipengaruhi oleh temperatur maksimum terjadi pada bulan Desember tahun 2019 dengan temperatur lingkungan sebesar 30,85°C dan nilai tegangan tarik nya sebesar 14797,648 kg. Nilai andongan dan tegangan tarik akibat pengaruh temperatur lingkungan masih dalam standarisasi PLN. Hal ini menunjukkan bahwa andongan tidak menimbulkan bahaya pada kawat penghantar maupun objek disekitar menara, sedangkan tegangan tarik masih menunjukkan unjuk kerja yang baik.

5.2 Saran

Tentunya penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam penelitian ini. Salah satunya adalah dengan tidak menggunakan software penghitung seperti *Mathlab* dan software *ETAP*. Penggunaan software dapat dijadikan salah satu solusi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan perhitungan yang lebih cepat. Ditambah lagi jika memungkinkan

untuk diteliti lebih dalam lagi, penulis ingin agar mencari nilai susut tegangan yang dihasilkan akibat pengaruh arus dan temperatur lingkungan tergantung dari keinginan dan kemampuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ananda,S.A., Hosea,E., Chandra,V. 2006. Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Tegangan Tarik Dan Andongan Pada Sutet 500kV Di Zona Krian. Vol. 6 No. 1. Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- [2] Desprianto,R.Y., Prasetyono,S., Setiawan,D.K. 2017. Studi Perencanaan *Upgrade* Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Perak – Ujung Menggunakan Konduktor HTLS (*High Temperature-Low Sag*). Jember : Universitas Jember.
- [3] Erhaneli & Ariby,Z. 2019. Pengaruh Suhu Dan Tekanan Angin Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV GI Payakumbuh – GI Koto Panjang. Vol. 8 No. 2. Padang : Institut Teknologi Padang.
- [4] Kurniawan,H. 2008. Perhitungan Andongan Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Pada Gardu Induk Kembangan. Jakarta : Universitas Mercu Buana.
- [5] Lastya,H.A. 2010. Analisis Pengaruh Internal Dan Eksternal Terhadap Andongan Dan Tegangan Tarik Pada Saluran Transmisi 150 kV. Banda Aceh : Universitas Negeri Islam Ar-Raniry.
- [6] Pangestu,A. 2019. Analisa Pengaruh Perubahan Impedansi Kawat Saluran Terhadap *Setting* Relai Jarak Pada Saluran Transmisi 150 kV (GI Paya Pasir). Medan : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- [7] Prasetyono,S. 2007. Kajian Mekanis Penggunaan Penghantar Termal ACCR Pada Sutet 500kV. Vol. 11 No.1. Jember : Universitas Jember.
- [8] Prasetyono,S. 2015. Pengaruh Kecepatan Angin Pada Karakteristik Performansi Konduktor Sutet. Jember : Universitas Jember.
- [9] Sianturi,H.S.Y. 2018. Analisa Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Kuat Tarik Dan Andongan Pada SUTT 150 kV (Studi Transmisi Sibolga Tarutung). Medan : Universitas HKBP Nommensen.
- [10] Siregar,R.A., Siregar,R.H., Gapy.M. 2018. Pengaruh Beban Panas Dan Tekanan Angin Pada Kawat Penghantar Terhadap Tegangan Tarik Dan Andongan Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Nagan Raya – Sigli. Vol. 3 No. 1. Banda Aceh : Universitas Syiah Kuala.
- [11] Standar Perusahaan Listrik Negara. 1996. Konstruksi Saluran Udara Tegangan Tinggi 70 kV Dan 250 kV Dengan Tiang Beton Baja. Vol 121-7.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama Lengkap : M. REZA ARDIANDIKA
Panggilan : Reza
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 25 Juni 1998
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : Jalan Tombak No. 46 Medan
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : I Nyoman Suena
Ibu : Almh. Yusnita Nasution
No. HP : 082363128477
E-mail : ardiandikareza25@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1507220095
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	Sekolah Dasar	SD NEGERI 060792	2009
2	SMP	SMP SWASTA PERTIWI MEDAN	2012
3	SMA	SMA NEGERI 3 MEDAN	2015
4	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2015 Sampai Selesai.		