



**ANALISIS PENGGUNAAN KONDUKTOR HTLS
UNTUK MENAIKAN KAPASITAS SALURAN
TRANSMISI DENGAN ROW TETAP**

SKRIPSI

Oleh

**Firdaus Khusnul Muzaki
NIM 121910201091**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**ANALISIS PENGGUNAAN KONDUKTOR HTLS
UNTUK MENAIKAN KAPASITAS SALURAN
TRANSMISI DENGAN ROW TETAP**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

**Firdaus Khusnul Muzaki
NIM 121910201091**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT yang telah memberikan limpahan berkah dan nikmat yang luar biasa kepadaku baik kesempatan dan kekuatan lahir batin untuk menuntut ilmu dan menyelesaikan tahap ini beserta Nabi Muhammad SAW yang selalu menjadi panutan dalam setiap langkah;
2. Orang tua tercinta, Siswaji dan Lilik Hardiani yang telah memberikan doa, bimbingan, kasih sayang, dukungan, kerja keras, perjuangan dan pengorbanan kepada saya dalam meraih segala impian dan cita-cita;
3. Kakak tersayang, Wahyu Hermawan dan Frendi Yusroni Romadhona atas doa, semangat, dan dukungan yang diberikan kepadaku;
4. Semua guru dan dosen sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah ikhlas mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan dengan penuh kasih sayang dan kesabaran kepada penulis;
5. Almamater tercinta, Fakultas Teknik Universitas Jember yang saya banggakan sebagai tempat bagi saya untuk menimba ilmu khususnya dibidang teknik elektro.

MOTTO

Dan Allah tidak menjadikan pemberian bala bantuan itu melainkan sebagai kabar gembira bagi (kemenangan) mu, dan agar tentram hatimu karenanya. Dan kemenanganmu itu hanyalah dari Allah Yang Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana. (terjemahan Q.S. Ali Imran ayat 126)¹

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. (terjemahan Q.S. Al-Insyirah ayat 6 - 7)¹

¹ Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumodasmoro Grafindo

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Firdaus Khusnul Muzaki

Nim : 121910201091

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Analisis Penggunaan Konduktor HTLS untuk Menaikan Kapasitas Saluran Transmisi dengan Row Tetap” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Oktober 2016

Yang Menyatakan,

Firdaus K Muzaki

NIM 121910201091

SKRIPSI

**ANALISIS PENGGUNAAN KONDUKTOR HTLS UNTUK MENAIKAN
KAPASITAS SALURAN TRANSMISI
DENGAN ROW TETAP**

Oleh

Firdaus K Muzaki

NIM 121910201091

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Penggunaan Konduktor HTLS untuk Menaikan Kapasitas Saluran Transmisi dengan Row Tetap telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : , 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP. 19700404 199601 1 001

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 19700826 199702 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP. 19710614 199702 1 001

H. Samsul Bachri M, S.T., M.MT.
NIP. 19640317 199802 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. U. M.
NIP 196612151995032001

Analisis Penggunaan Konduktor HTLS untuk Menaikan Kapasitas Saluran

Transmisi dengan Row Tetap

Firdaus Khusnul Muzaki

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Dengan terus meningkatnya kebutuhan energi listrik yang semakin pesat akhir-akhir ini, maka usaha untuk menambah kapasitas saluran transmisi perlu dilakukan. Usaha peningkatan kapasitas saluran transmisi dapat dilakukan dengan membangun saluran transmisi baru, namun pembangunan saluran transmisi ini akan menemui banyak kendala seperti masalah lahan dan lainnya. Salah satu solusi untuk menambah kapasitas saluran transmisi adalah dengan pergantian konduktor (*reconductoring*) saluran transmisi yang ada dengan konduktor yang dapat beroperasi pada temperatur tinggi (*high temperature conductors*). Dewasa ini telah dikembangkan konduktor HTLS (*High Temperature Low Sag*), dimana konduktor ini mempunyai kemampuan beroperasi pada temperatur yang tinggi sehingga kemampuan hantar arusnya menjadi lebih tinggi dibandingkan konduktor konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik perubahan arus saluran terhadap unjuk kerja elektrik dan mekanis konduktor HTLS yang meliputi tegangan tarik, panjang pemuluran, rugi – rugi, dan andongan, sehingga diharapkan dari hasil penelitian ini akan berguna untuk pertimbangan dalam menentukan jenis konduktor HTLS yang digunakan untuk *reconductoring* suatu saluran transmisi. Sebagai model simulasi digunakan saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV jalur Probolinggo-Lumajang dengan menggunakan data-data konduktor yang sesuai dengan yang ada di lapangan. Hasil simulasi memperlihatkan karakter elektrik dan mekanis dari beberapa konduktor HTLS. Dengan mempertahankan ROW (*Right Of Way*) dan tower yang ada, maka konduktor HTLS yang paling sesuai untuk *reconductoring* saluran transmisi ini adalah konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*). Konduktor ACCC ini dapat meningkatkan kapasitas penyaluran sistem transmisi 88,8% dengan besar andongan yang lebih kecil dibanding konduktor ACSR.

Kata kunci: ACSR, ACCC, HTLS, *reconductoring*, ROW.

*Usage Analysis of HTLS Conductor to Increase Transmission Line Capacity with
Static ROW*

Firdaus Khusnul Muzaki

*Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of
Jember*

ABSTRACT

With the rapidly increasing of electrical energy consumption lately, efforts to increase the capacity of the transmission line needs to be done. Efforts to increase the capacity of the transmission line can be done by building a new transmission line, but the construction of new transmission line is big hurdle due huge rise in land cost. One solution to this problem thus is offered by the reconductoring of existing lines with high temperature conductors. Recently many companies has been developed HTLS conductor (High Temperature Low Sag), wherein the conductor has the ability to operate at high temperatures, so the capability of current-carrying is higher than conventional conductors. This study aims to investigate the electrical and mechanical characteristics of HTLS conductor due the current changes included tension, elongation, power loss, and sag, so expect the results of this study will be useful for determining the type of HTLS conductor that used for reconductoring an the transmission line. As a simulation model used an 150 kV transmission line Probolinggo - Lumajang using real data conductors in the field. The simulation results show the electrical and mechanical characteristic of HTLS conductor. By maintaining ROW (Right Of Way) and the existing tower, the most suitable HTLS conductor for reconductoring this transmission line is the ACCC conductor (Aluminum Conductor Composite Core). ACCC conductor can increase the capacity of the transmission system up to 88.8% than ACSR conductor with smaller sag.

Keywords: *ACSR, ACCC, HTLS, reconductoring, ROW.*

RINGKASAN

Analisis Penggunaan Konduktor HTLS untuk Menaikan Kapasitas Saluran Transmisi dengan Row Tetap; Firdaus Khusnul Muzaki, 121910201091; 2016; 64 halaman; Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dengan terus meningkatnya kebutuhan energi listrik yang semakin pesat akhir-akhir ini, maka usaha menambah kapasitas saluran transmisi perlu dilakukan. Usaha peningkatan kapasitas saluran transmisi dapat dilakukan dengan membangun saluran transmisi baru, namun pembangunan saluran transmisi ini akan menemui banyak kendala. Salah satu solusi untuk menambah kapasitas saluran transmisi adalah dengan pergantian konduktor (*reconductoring*) saluran transmisi yang ada dengan konduktor yang dapat beroperasi pada temperatur tinggi (*high temperature conductors*). Dewasa ini telah dikembangkan konduktor HTLS (*High Temperature Low Sag*), dimana konduktor ini mempunyai kemampuan beroperasi pada temperatur yang tinggi sehingga kemampuan hantar arusnya menjadi lebih tinggi dibandingkan konduktor konvensional. Namun dengan bervariasinya jenis konduktor HTLS dimana masing – masing mempunyai bahan dan karakteristik yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Pemilihan konduktor HTLS yang tepat untuk *reconductoring* pada suatu titik transmisi menjadi sangat penting guna mendapatkan konduktor yang sesuai untuk saluran transmisi tersebut. Sebagai model simulasi digunakan saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV jalur Probolinggo-Lumajang dengan menggunakan data-data konduktor yang sesuai dengan yang ada di lapangan.

Beberapa jenis konduktor HTLS yang digunakan dalam penelitian adalah konduktor ACCC (*Aluminum Conductor Composite Core*), ACCR (*Aluminum Conductor Composite Reinforced*) dan konduktor ACSS (*Aluminum Conductor Steel Supported*) dengan diameter, luas penampang dan berat yang sebanding dari konduktor konvensional yang digunakan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan persamaan keseimbangan panas (IEEE

Std.738, 2012) untuk mendapatkan hubungan kemampuan hantar arus dengan temperatur konduktor pada kondisi *steady-state*. Sementara untuk menghitung karakter mekanis dari konduktor meliputi tegangan tarik, panjang konduktor dan andongan menggunakan metode persamaan garis rantai (*Catenary equation*) dan metode *Ruling span*. Dari hasil simulasi diketahui bahwa meningkatnya arus saluran akan mengakibatkan kenaikan temperatur pada konduktor, yang membuat rugi – rugi saluran dan andongan juga semakin besar. Selain itu, meningkatnya arus saluran akan mengakibatkan panjang konduktor bertambah (terjadi pemuluran) dan menurunkan tegangan tarik dari konduktor itu sendiri. Dari hasil simulasi juga diketahui bahwa konduktor HTLS yang digunakan dalam penelitian ini dapat menghantarkan arus antara 1.8 – 1.9 kali lipat jika dibandingkan dengan konduktor konvensional (ACSR).

Dari analisis yang telah dilakukan dapat diketahui dengan struktur ROW (*Right Of Way*) yang tetap, konduktor yang paling sesuai untuk diaplikasikan sebagai pengganti konduktor konvensional pada struktur transmisi ini adalah konduktor ACCC dikarenakan mempunyai kapasitas hantar arus yang paling besar serta mempunyai karakteristik mekanis yang paling sesuai dengan struktur yang ada. Konduktor ACCC ini dapat meningkatkan kapasitas penyaluran sistem transmisi 88,8% dengan besar andongan yang lebih kecil dibanding konduktor ACSR. Selain itu konduktor ACCC ini juga mempunyai rugi yang lebih kecil dibanding konduktor ACSR pada saat menghantarkan arus yang besarnya sama.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Penggunaan Konduktor HTLS untuk Menaikan Kapasitas Saluran Transmisi dengan Row Tetap”. Skripsi ini disusun guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi strata satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bantuan serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas semua karunia yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir untuk mencapai gelar Sarjana Teknik;
2. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak membantu, meluangkan waktu, pikiran, dan perhatiannya untuk membimbing penulis untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi ini;
4. Bapak Dr. Azmi Saleh S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Bapak H. Samsul Bachri M, S.T., M.MT. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji, mengevaluasi, memberikan saran dan penilaian terhadap skripsi ini;
5. Bapak H.R.B.Moch. Gozali, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik atas segala bimbingan dan kesabarannya dalam membimbing penulis selama masa studi sampai tugas akhir;
6. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mengamalkan ilmunya dan memperluas ilmu pengetahuan serta wawasan penulis selama menempuh masa kuliah;

7. Ayahanda Siswaji, S.Sos dan Ibunda Dra. Lilik Hardiyani serta Kakanda Wahyu Hermawan, ST dan Frendi Yusroni Romadhona, ST dan juga adikku Alisa Husna Izzati tercinta yang sejak aku lahir sampai dengan sekarang dan kelak akan senantiasa memberikan dukungan, doa dan pengorbanan serta menjadi sumber motivasi dan inspirasi;
8. Keluarga besar BANI ISMAIL yang telah memberikan dukungan dan perhatian selama ini;
9. Teman-teman IRAMA Baitur Rohmah, yang sudah sabar menghadapi saya selama ini;
10. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2012 Teknik Elektro Universitas Jember “SATE UJ” semuanya atas kebaikan dan bantuan selama kuliah ini;
11. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas bantuan, perhatian, dan inspirasi bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dan mendoakan kesuksesan ujian skripsi ini.

Penulis menerima saran dan kritik yang membangun dari pembaca sekalian demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Jember, 24 Oktober 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Metodologi Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Studi Penelitian Terdahulu	5
2.2 Kawat Penghantar	5
2.2.1 Konduktor Kovenisional (AAC, AAAC, ACSR).....	7
2.2.2 Konduktor HTLS (<i>High Temperature Low Sag</i>).....	9
2.2.2.1 Konduktor ACCC (<i>Aluminium Conductor Composite</i> <i>Core</i>)	9

2.2.2.2	Konduktor ACCR (<i>Aluminium Conductor Composite Reinforced</i>)	11
2.2.2.3	Konduktor ACSS (<i>Aluminum Conductor Steels Supported</i>)	13
2.3	Ruang Bebas (<i>Right Of Way</i>) dan Jarak Aman (<i>Safety Distance</i>)	15
2.4	Perhitungan Temperatur Konduktor	19
2.4.1	Penyebaran Panas yang disebabkan konveksi	19
2.4.2	Penyebaran Panas Yang Disebabkan Radiasi.....	21
2.4.3	Penyerapan energi sinar matahari.....	21
2.4.4	Resistansi Konduktor.....	24
2.5	Perhitungan Kapasitas Hantar Arus	24
2.6	Perhitungan Andongan Kawat Penghantar	25
2.6.1	Pengaruh Angin dan Es terhadap Konduktor	25
2.6.2	Persamaan Garis Rantai (<i>Catenary Equation</i>).....	27
2.6.3	Metode Span Ekuivalen (<i>Rulling Span</i>)	30
2.6.4	Pengaruh Perubahan Temperatur terhadap Panjang Kawat Penghantar	31
2.6.5	Perhitungan Tegangan Tarik dan Andongan Akibat Perubahan Temperatur.....	32
2.6.5.1	<i>Knee Point Temperature</i>	33
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1	Alat dan Bahan	36
3.2	Tahap Penelitian	37
3.3	Desain Penelitian	36
3.3.1	Desain Penelitian	37
3.3.3	Inisialisasi variabel	38
3.3.3	Penentuan Konduktor HTLS yang Digunakan dalam Penelitian	39
3.3.4	Perhitungan Kapasitas Hantar Arus (<i>ampacity</i>) pada Kondisi <i>Steady-state</i>	41

3.3.5 Perhitungan Temperatur Konduktor pada Kondisi <i>Steady-state</i>	42
3.3.6 Perhitungan Karakter Mekanis Kawat Penghantar.....	43
BAB 4. PEMBAHASAN DAN ANALISIS	44
4.1 Pengaruh Perubahan Kapasitas Hantar Arus terhadap Temperatur dan Karakter Mekanis pada Berbagai Konduktor	44
4.1.1 Pengaruh Perubahan Arus Terhadap Temperatur Konduktor	45
4.1.2 Pengaruh Perubahan Arus Terhadap Panjang Konduktor	46
4.1.3 Pengaruh Perubahan Arus Terhadap Tegangan Tarik Konduktor	47
4.1.4 Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Andongan.....	48
4.2 Reconductoring pada saluran Probolinggo – Lumajang 150 KV menggunakan konduktor HTLS	49
4.2.1 Kondisi Saluran transmisi Probolinggo – Lumajang.....	49
4.2.2 Pemilihan konduktor yang paling sesuai untuk reconductoring saluran transmisi Probolinggo – Lumajang 150 KV	51
4.2.2.1 Penentuan Konduktor HTLS untuk Reconductoring Dilihat dari Kapasitas Hantar Arus	51
4.2.2.2 Penentuan Konduktor HTLS untuk Reconductoring Dilihat dari Andongan	52
4.2.2.3 Penentuan Konduktor HTLS untuk Reconductoring Dilihat dari Kapasitas Rugi – Rugi	54
4.2.2.4 Penentuan Konduktor HTLS untuk Reconductoring	56

4.2.3 Pebandingan ACCC Brussels 415 dengan ACSR 330	57
4.2.3.1 Pebandingan ACCC Brussels 415 dengan ACSR 330 dilihat Kapasitas Hantar Arus.....	57
4.2.3.2 Pebandingan ACCC Brussels 415 dengan ACSR 330 dilihat Andongan	58
4.2.3.3 Pebandingan ACCC Brussels 415 dengan ACSR 330 dilihat Rugi – Rugi	58
4.2.4 Kemampuan Kapasitas Transmisi dengan ACCC Brussels ...	59
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Jarak bebas minimum vertikal dari konduktor.....	18
2.2 <i>Azimuth constant fuction</i>	22
2.3 Koefisien atmosfer A sampai dengan G.....	23
2.4 Koefisien untuk persamaan koreksi Intensitas panas matahari	24
3.1 Inisialisasi variabel.....	38
3.4 Data sampel tower.....	40
3.2 Spesifikasi beberapa konduktor HTLS dan konduktor ACSR.....	40
4.1 Pembebanan transmisi bulan Juli 2014	50
4.2 Perbandingan kapasitas hantar arus maksimal konduktor HTLS.....	52
4.3 Perbandingan andongan konduktor HTLS.....	53
4.4 Perbandingan rugi - rugi dari konduktor HTLS.....	55
4.5 Perbandingan ketiga konduktor HTLS	56
4.6 Perbandingan ACSR dan ACCC.....	59
4.7 Umur kemampuan kapasitas penyaluran energi listrik.....	60

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Konduktor AAAC	8
2.2 Konduktor ACSR.....	8
2.3 <i>Aluminum conductor cable with composite core</i>	10
2.4 Konduktor ACSR dan ACCC.....	11
2.5 Penampang penghantar ACCR dengan inti Al-Matrik komposit dikelilingi serat Al-Zr.	12
2.6 <i>Round wire vs trap wire</i>	14
2.7 Penampang memanjang ruang bebas.....	16
2.8 Pandangan atas ruangan bebas.....	16
2.9 Ruang bebas SUTET 275 kV dan 500 kV sirkit ganda.....	17
2.10 Asumsi konfigurasi es yang menyelimuti konduktor.....	26
2.11 Tekanan angin yang mengenai konduktor tanpa diselimuti es.....	26
2.12 Tekanan angin yang mengenai konduktor yang diselimuti es	27
2.13 Konduktor ditanggihkan antara tiang yang mempunyai tinggi sama	28
2.14 Segitiga representasi bagian kecil dari titik P	28
2.15 Kurva tegangan terhadap regangan	31
2.16 <i>Knee point temperature</i>	34
3.1 <i>Flowchart</i> penelitian.....	37
3.2 <i>Flowchart</i> perhitungan kapasitas hantar arus (<i>ampacity</i>).....	41
3.3 <i>Flowchart</i> perhitungan temperatur konduktor.....	42
3.4 <i>Flowchart</i> perhitungan karakter mekanis kawat penghantar	43
4.1 Pengaruh perubahan arus terhadap temperatur konduktor	45
4.2 Pengaruh perubahan arus terhadap panjang konduktor	46
4.3 Pengaruh perubahan arus terhadap tegangan tarik konduktor	48
4.4 Pengaruh perubahan arus terhadap andongan konduktor	49
4.5 Peramalan beban GI Lumajang	49
4.6 Andongan maksimum yang diperbolehkan.....	51
4.7 Kapasitas hantar arus konduktor HTLS	52

4.8 Karakteristik andongan yang dihasilkan konduktor HTLS.....	53
4.09 Karakteristik rugi – rugi yang dihasilkan konduktor HTLS	55
4.10 Perbandingan kapasitas hantar arus ACSR dan ACCC	57
4.11 Perbandingan andongan ACCC dan ACSR.....	58
4.12 Perbandingan rugi - rugi ACCC dan ACSR.....	59



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi serta berbagai faktor dalam kehidupan masyarakat membuat kebutuhan akan konsumsi listrik terus meningkat pada setiap waktunya. Untuk mengimbangi meningkatnya kebutuhan listrik tersebut, usaha atas perencanaan dan pengembangan sistem listrik yang ada harus di upayakan (Suprihadi, 2007). Namun pada kondisi sekarang ini, transmisi energi listrik berada pada kondisi stagnan dimana sistem transmisi yang ada telah mencapai ambang batas dari kapasitas arus yang dapat dihantarkan dan batas andongan yang diperbolehkan. Hal ini membuat pembangunan jalur transmisi baru merupakan hal yang diperlukan agar dapat memenuhi konsumsi energi listrik yang ada (Larruskain *et al*, 2005)

Namun pembangunan jalur transmisi baru akan menemui banyak kendala, diantaranya biaya investasi yang tinggi dalam pembangunan, masalah lahan untuk pembangunan, memerlukan waktu yang lama, serta banyak kendala lainnya seperti penentangan masyarakat terhadap pembangunan saluran tegangan tinggi pada daerah berpenduduk. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu mempertimbangkan alternatif lain guna mengatasi masalah yang ada dengan cara mengkaji kemungkinan untuk menambah kapasitas transmisi dan mengoptimalkan saluran transmisi yang telah ada dibandingkan dengan membuat saluran transmisi baru.

Pengoptimalan saluran transmisi yang sudah ada dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan menggunakan konduktor yang dapat beroperasi pada temperatur yang tinggi (*high thermal performance*). Konduktor jenis ini dapat mengganti konduktor konvensional yang ada sebelumnya tanpa (atau sedikit) merubah struktur saluran transmisi tersebut (Clairmont, 2008). Penggantian konduktor (*reconductoring*) dari konduktor konvensional dengan konduktor jenis HTLS (*High Temperatur Low Sag*) pada diameter dan berat yang

sesuai dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kapasitas transmisi dengan ROW (*Right Of Way*) yang tetap dan juga dengan biaya yang efisien serta mudah dalam implementasinya.

Konduktor jenis HTLS pun ada beberapa macam dimana mempunyai bahan dan karakteristik yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Pemilihan konduktor HTLS yang tepat untuk *reconductoring* pada suatu titik transmisi menjadi sangat penting guna mendapatkan konduktor yang sesuai untuk saluran transmisi tersebut. Dengan mengetahui unjuk kerja elektrik dan mekanis dari beberapa konduktor HTLS diharapkan dapat berguna dalam pemilihan konduktor yang sesuai untuk *reconductoring* pada suatu saluran transmisi udara ataupun dalam pembangunan saluran transmisi baru.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, dirumuskan dua masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh peningkatan kapasitas hantar arus terhadap temperatur dan karakter mekanis pada beberapa konduktor HTLS ?
2. Konduktor HTLS apakah paling sesuai untuk digunakan dalam *reconductoring* suatu saluran transmisi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui bagaimana pengaruh peningkatan kapasitas hantar arus terhadap temperatur dan karakter mekanis pada beberapa konduktor HTLS dan mengetahui konduktor HTLS jenis apakah yang paling sesuai untuk digunakan dalam *reconductoring* suatu saluran transmisi ?

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini ialah dapat dijadikan salah satu rujukan dalam *reconductoring* dalam sebuah saluran transmisi. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengembangan IPTEK terkait bidang tegangan tinggi dan sistem transmisi yang masih terus perlu untuk dioptimalkan.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan masalah di atas, maka pembahasan skripsi dibatasi oleh:

1. Saluran transmisi yang digunakan sebagai simulasi merupakan saluran transmisi Probolinggo-Lumajang 150kV,
2. Perhitungan temperatur konduktor dilakukan dengan mengasumsikan konduktor beroperasi dalam kondisi *steady state*,
3. Kecepatan angin dianggap konstan,
4. Tidak memperhitungkan segi ekonomis dan besaran daya yang disalurkan dari masing-masing sirkit diasumsikan sama,
5. Konduktor HTLS yang digunakan dalam penelitian adalah konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*), ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*), dan ACSS (*Aluminium Conductor Steel Supported*).

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini tersusun secara sistematis serta terdiri dari beberapa bagian yang saling berhubungan dengan harapan menjadi mudah dipahami dan diambil manfaatnya. Adapun uraian singkat mengenai sistematika penulisan tugas akhir ini ialah sebagai berikut.

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab dua mencakup konsep serta teori-teori serta rujukan penelitian lain yang mendasari dalam pembuatan tugas akhir.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, tahap penelitian, dan desain penelitian adalah bagian-bagian yang menyusun bab tiga. Desain

penelitian mencakup desain penelitian, perhitungan temperatur konduktor dan andongannya, termasuk blok diagram sistem secara keseluruhan dan *flowchart*.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas dan dianalisis hasil dari simulasi dan perhitungan dari temperatur dan andongan sehingga dapat diketahui hasil simulasi yang dibuat.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini terdiri atas kesimpulan dan saran dari hasil pengujian serta analisis keluaran program yang telah dibuat.

1.7 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Studi Literatur dan pengumpulan data

Tahap pertama yang dilakukan adalah pengumpulan literatur yang berhubungan dengan topik Tugas Akhir. Literatur-literatur yang digunakan berasal dari jurnal, prosiding dan text book. Data parameter yang diperlukan dalam Penelitian meliputi data parameter pembangkit, data komponen transmisi, data saluran transmisi, data konduktor.

2. Perhitungan Parameter

Melakukan perhitungan dengan sistem komputasi guna mencari nilai temperatur dan andongan untuk kemudian dimasukkan ke analisis data.

3. Analisis Hasil

Analisis dilakukan berdasarkan hasil perhitungan guna mengetahui perbandingan pengaruh peningkatan kapasitas saluran terhadap temperatur dan karakter mekanis pada konduktor HTLS yang berbeda.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Penelitian Terdahulu

Bidang penelitian sistem transmisi telah mengalami perkembangan yang cukup pesat. Teknologi HTLS ini sudah banyak diterapkan sebagai solusi untuk meningkatkan kapasitas transmisi dengan ROW (*Right Of Way*) yang tetap.

Sebagai penunjang kerangka pemikiran teoritis pada skripsi ini, terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan yakni sebagai berikut.

1. Penelitian oleh Suprihadi Prasetyono (2007) mengenai analisis unjuk kerja mekanis konduktor ACCR akibat perubahan arus saluran. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa konduktor ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*) dapat meningkatkan kapasitas transmisi sekitar 200% dibandingkan dengan ACSR dengan mempertahankan ROW yang tetap.
2. Penelitian yang dilakukan Larruskain, Zamora, Abarrategui, Iraolagoitia, Gutiérrez, Loroño, dan Bodega (2006), berjudul “Power Transmission Capacity Upgrade Of Overhead Lines”.
3. Penelitian yang dilakukan oleh James Slegers (2011), berjudul “*Sag Calculations and High-Temperature Conductor Technologies*”.
4. Penelitian yang dilakukan oleh Kodithuwakku Kankanamge Shyamali (2010), berjudul “*Clearance To Buildings From Overhead Transmission Lines*”.
5. Penelitian yang dilakukan oleh Kodithuwakku Hewa Buhege Dayan Yasaranga (2015), berjudul “*Techno Economic Analysis On The Use Of HTLS Condutores For Sri Lanka’s Transmission System*”.

2.2 Kawat Penghantar

Kawat penghantar adalah suatu bahan listrik yang dipergunakan untuk mengalirkan arus listrik. Oleh karena itu sifat terpenting yang harus dipunyai oleh kawat penghantar adalah konduktivitas listrik yang baik dan sifat tahan panas yang tinggi. Pada saluran transmisi udara kawat penghantar yang digunakan

adalah kawat telanjang (*bare wire*). Berbagai macam jenis penghantar saluran transmisi udara dapat dikenal dari lambang-lambang berikut ini :

AAC (*All-Aluminium Conductor*) yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.

AAAC (*All-Aluminium-Alloy Conductor*) yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.

ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan baja.

ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*) yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Kawat penghantar aluminium dengan kandungan zirkonium (Zr) dapat meningkatkan sifat tahan panas sehingga dapat menaikkan kemampuan hantar arus pada jaringan transmisi atau distribusi. Secara spesifik sifat tahan panas dinyatakan sebagai ketahanan terhadap pelunakan (*annealing*) dan pemuluran (*creep*). Fukui (Kusmono dan Samsudin, 2005) melaporkan bahwa titanium, niobium dan zirkonium meningkatkan kekuatan pemuluran dan keuletan pada paduan, karena unsur tersebut membentuk titanium karbida, niobium karbida dan zirkonium karbida yang relatif stabil pada temperatur tinggi. Karbida-karbida tersebut berfungsi sebagai penghambat pergerakan dislokasi sehingga paduan menjadi tetap stabil kekuatannya meskipun beroperasi pada temperatur tinggi. Dengan kata lain bahwa kawat penghantar tidak mengalami penurunan kekuatan / degradasi yang berarti bila dioperasikan pada temperatur tinggi. Kawat penghantar aluminium tahan panas ini dikenal dengan sebutan TAL (*Thermal Resistance Aluminium Alloy*). Kawat TAL yang sering disebut TACSR ini dapat beroperasi secara kontinyu sampai dengan temperatur 150°C sedangkan kawat penghantar yang menggunakan bahan aluminium dari jenis EC *grade* hanya dapat dioperasikan sampai temperatur 90°C. Pada beberapa saluran transmisi 150kV yang ada di area IV Jawa Timur telah dilakukan penggantian penghantar ACSR menjadi TACSR untuk tujuan meningkatkan kapasitas penyaluran saluran transmisi.

2.2.1 Konduktor Konvensional (AAC, AAAC, ACSR)

Sebagian besar jalur transmisi dalam sistem kelistrikan hari ini memanfaatkan *all aluminium cable* (AAC), *aluminium-alloy* (AAAC) atau *steel-reinforced aluminum conductors* (ACSR). Aluminium digunakan karena mempunyai konduktivitas yang tinggi dan ringan. Baja ditambahkan dalam ACSR untuk memberi kekuatan ekstra dan ketahanan terhadap andongan.

Aluminium digunakan dalam konstruksi konduktor konvensional memberikan sebagian besar kekuatan pada konduktor. Dalam rangka memberikan kekuatan yang memadai, aluminium melakukan pengerjaan dingin (*cold working*) untuk meningkatkan kekuatan fisik mereka. Peningkatan kekuatan disebabkan dislokasi dalam struktur kristal dari material yang membuat sulit bagi lapisan atom menyelinap melewati satu sama lain. Dislokasi ini juga sedikit meningkatkan hambatan listrik pada konduktor (Slegers, 2011).

Pemanasan pada konduktor yang bekerja dalam fase pengerjaan dingin (*cold working*) dapat menyebabkan terjadinya *annealing*. *Annealing* adalah sebuah proses perlakuan panas yang digunakan untuk meniadakan pengaruh dari pengerjaan dingin (*cold work*) yang berarti *annealing* mempengaruhi sifat mekanis dari baja. Dengan dilakukannya *annealing* itu menurunkan kekuatan tarik dari sebuah baja. Hal ini terjadi karena dengan adanya *annealing* maka terjadi penyusunan kembali dislokasi yang sebelumnya dislokasi tersusun secara tidak teratur dengan adanya penyusunan kembali dislokasi berarti membuat material tersebut menjadi kurang kuat (Sitorus, 2011). Maka dari itu, konduktor seharusnya tidak dioperasikan pada suhu yang menyebabkan konduktor mengalami fase *annealing*. Hal ini adalah dasar pengoperasian temperatur yang digunakan pada konduktor secara umum (Slegger, 2011).

All Aluminium Cable (AAC) merupakan konduktor yang seluruhnya terbuat dari aluminium. Konduktor ini sederhana dan murah. Tapi, kekuatan konduktor ini hanya terbatas pada susunan dari aluminium dalam konduktor, selain itu konduktor ini juga memberikan andongan yang cukup besar disebabkan modulus elastisitas yang rendah dari aluminium (Slegers, 2011). Beberapa konduktor yang dibuat dengan menggunakan *aluminium alloy* (AAAC), yang

memberikan mereka kekuatan tarik (*tensile strength*) yang tinggi. Konduktor aluminium tidak umum digunakan dalam proyek-proyek transmisi baru, tetapi masih banyak yang digunakan pada jalur transmisi yang lebih tua.



Gambar 2.1 Konduktor AAAC (Zhengzhou Cable, 2015)

Steel reinforced aluminum conductor (ACSR) merupakan konduktor dibuat dengan menggunakan baja pada sisi inti yang dikelilingi oleh aluminium pada sisi luarnya. Baik baja maupun aluminium, keduanya memberi andil pada kekuatan tarik daripada konduktor tersebut. Saat dipanaskan, pemanjangan konduktor sangat dipengaruhi oleh inti baja dimana membentang lebih pendek dibandingkan aluminium (Slegers, 2011).



Gambar 2.2 Konduktor ACSR (Gorur, 2009)

Konduktor AAC, AAAC, dan ACSR mempunyai batas operasi pada temperatur 90°C sampai 100°C . Jika dioperasikan diatas batas maksimum tersebut, maka konduktor aluminium akan mengalami proses *annealing* yang membuat konduktor kehilangan kekuatannya (Slegers, 2011). Pada saluran transmisi, konduktor ini sering kali didesain untuk beroperasi pada temperatur dibawah 60° sampai dengan 70°C guna membatasi ukuran andongan.

2.2.2 Konduktor HTLS (*High Temperature Low Sag*)

Membangun saluran transmisi baru sering kali mengalami kesulitan dalam berbagai aspek dan membutuhkan biaya yang mahal. Memaksimalkan kapasitas penyaluran daya pada saluran transmisi yang baru atau yang sudah beroperasi merupakan hal yang perlu dilakukan guna mengurangi banyaknya saluran transmisi yang harus dibangun untuk memenuhi kebutuhan.

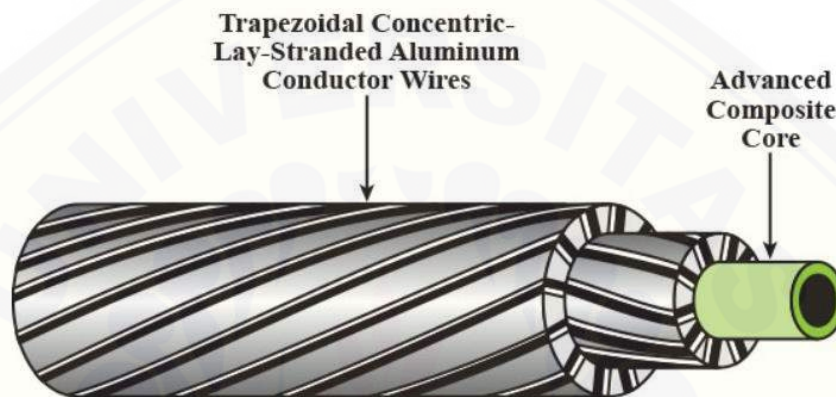
Mengoperasikan saluran transmisi pada batas arus maksimalnya dapat menyebabkan pemanasan signifikan pada konduktor tersebut. Pemanasan pada konduktor dapat meningkatkan andongan konduktor tersebut secara signifikan. Ketika andongan sudah mencapai batas maksimal yang diperbolehkan, maka konduktor harus dibatasi panjang bentangannya atau dengan menambah ketinggian dari stuktur tiang yang digunakan. Konduktor konvensional juga mungkin dibatasi oleh pada besarnya temperatur operasi, dimana jika konduktor beroperasi pada batas temperatur maksimum yang diperbolehkan akan mengurangi keandalan dari konduktor tersebut (Slegers, 2011).

Salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas saluran transmisi adalah dengan menggantikan konduktor lama (*reconductor*) dengan konduktor yang lebih besar atau yang lebih kuat. Penggantian konduktor ini akan dibatasi oleh ukuran kabel yang dapat didukung oleh struktur yang ada. Konduktor HTLS ini mempunyai banyak variasi yang dikembangkan, dimana konduktor jenis ini mempunyai kemampuan lebih baik dibandingkan konduktor konvensional. Konduktor HTLS mempunyai harga yang mahal, dengan harga yang mahal tersebut membuat konduktor ini jarang digunakan untuk diaplikasikan pada proyek pembangunan saluran transmisi baru, namun dapat menjadi pertimbangan ekonomis untuk peningkatan kapasitas saluran transmisi yang telah beroperasi (Slegers, 2011).

2.2.2.1 Konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*)

Konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*) tersusun atas perpaduan karbon dan *glass fiber* yang yang disatukan guna mendapatkan kekuatan tarik yang tinggi. Serat ini dikelilingi oleh serat *boron-free* untuk

meningkatkan fleksibilitas dan ketangguhan serta mencegah korosi galvanik antara serat karbon dan aluminium. Serat campuran (*composite core*) mempunyai kekuatan yang baik, dan nilai koefisien ekspansi termal yang rendah dimana dapat mengurangi kelendutan pada kondisi beban yang tinggi/ temperatur operasi yang tinggi. Serat inti konduktor ACCC dikelilingi oleh aluminium yang disusun berbentuk trapezium guna memberikan konduktivitas terbaik dengan resistansi sekecil mungkin pada konduktor dengan berbagai diameter.



Gambar 2.3 *Aluminum conductor cable with composite core* (U.S Department Of Energy, 2015)

Konduktor ACCC dapat beroperasi pada temperatur 180°C secara kontinyu dan dapat beroperasi pada temperatur 200°C pada kondisi darurat. Konduktor ACCC dapat beroperasi dengan lebih dingin jika dibandingkan dengan konduktor dengan aluminium yang disusun dengan bentuk bulat (*round wire*) pada besar diameter dan berat yang sama dan pada kondisi beban yang serupa berkat kandungan aluminium yang ditingkatkan sebesar 28% (U.S Department Of Energy, 2015), serta menggunakan aluminium jenis 1350-O untuk performa konduktivitas yang tinggi. Meskipun konduktor ACCC pada awalnya dikembangkan sebagai konduktor HTLS yang digunakan untuk *reconductoring* saluran transmisi guna meningkatkan kapasitas saluran transmisi dan distribusi yang ada, namun seiring dengan peningkatan kemampuan konduktivitas dan nilai resistansi yang diperkecil membuat konduktor ini cocok digunakan untuk mengurangi rugi – rugi transmisi pada saluran transmisi dan distribusi yang baru dimana dapat meningkatkan efisiensi saluran dan mengurangi biaya.



Gambar 2.4 Konduktor ACSR dan ACCC (CTC Global, 2011)

Dengan berat inti konduktor yang kecil memungkinkan peningkatan kandungan aluminium (menggunakan penyusunan aluminium dengan bentuk trapezium) tanpa melebihi berat konduktor yang diinginkan. Sebuah konduktor ACCC yang beroperasi baik pada temperatur dibawah 200°C dapat menyalurkan arus dengan kapasitas yang sama dibandingkan dengan konduktor HTLS lainnya yang beroperasi pada suhu diatas 200°C . Selain rugi – rugi yang lebih besar jika menggunakan konduktor HTLS yang lain, operasi terus menerus diatas suhu 200°C memungkinkan percepatan degradasi pada bagian inti dan membuat biaya dari siklus operasi (*maintenance*) membesar. Selain itu, beberapa konduktor HTLS lainnya sering juga membutuhkan peralatan khusus, atau prosedur instalasi yang sulit yang dapat menunda penyelesaian proyek dan meningkatkan biaya proyek secara keseluruhan (Slegers, 2011).

2.2.2.2 Konduktor ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*)

Konduktor ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*) merupakan inovasi yang dikembangkan oleh perusahaan *3M Corporation* (*St.Paul, Minnesota, U.S.*), guna memaksimalkan kapasitas dari saluran transmisi yang ada juga sekaligus memperkuat jaringan transmisi. Konduktor ACCR dikategorikan dalam konduktor jenis HTLS (*High Temperature Low Sag*). Konduktor ini mempunyai inti serat paduan aluminium-matrik dimana membuat inti tersebut akan menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi tetapi lebih ringan dan

konduktivitas yang lebih baik dari pada baja. Serat inti ini terdiri atas ribuan serat aluminium oksida (*Nextel 3M's 650 ceramic*) dengan diameter yang sangat kecil. Untuk bagian luarnya, konduktor ini menggunakan aluminium dengan kandungan zirconium (Al-Zr) yang mempunyai sifat konduktivitas dan ketahanan panas (thermal resistance) yang tinggi (3M corporation, 2014).



Gambar 2.5 Penampang penghantar ACCR dengan inti Al-Matrik komposit dikelilingi serat Al-Zr (3M, 2014)

Konduktor ACCR sangat berpotensi untuk menggantikan konduktor konvensional yang ada, konduktor ACCR dapat dipasang dengan cepat dan mudah menggantikan konduktor konvensional dengan ROW (*Rights of way*) yang tersedia dengan sedikit ataupun tanpa perubahan pada tower dan alat-alat pendukung lainnya. Konduktor ACCR dapat beroperasi secara kontinu pada temperatur 210°C dan 240°C pada kondisi darurat, sehingga akan menaikkan kapasitas penyaluran dua sampai tiga kali lebih besar dari pada menggunakan penghantar konvensional (3M corporation, 2014). Teknologi konduktor ACCR telah diakui oleh Research & Development Magazine dalam penghargaan R&D 100 Award dan oleh Minnesota High Tech Association dalam Tekne Award untuk bidang pengembangan inovasi teknologi (Prairie Business Magazine, 2005).

Beberapa pemasangan konduktor ACCR telah dilakukan antara lain; Xcel Energy's pada sistem 115kV di Minneapolis untuk menaikkan kapasitas penyaluran menggantikan konduktor ACSR dengan clearance dan tower yang tetap, Hawaiian Electric di North Shore pulau Oahu pada sistem 46 kV untuk

menaikkan kapasitas penyaluran dengan menggunakan 72% ROW yang ada, WAPA (Western Area Power Administration) di Fargo, North Dakota telah membangun sistem transmisi 230kV baru dengan menggunakan konduktor ACCR untuk kondisi lingkungan es dan angin yang berat. Penerapan konduktor ini memiliki beberapa keuntungan antara lain (3M corporation, 2014) :

- a) Penghantar ACCR dapat beroperasi secara kontinu pada temperatur 210°C dan 240°C pada kondisi darurat, sehingga akan menaikkan kapasitas penyaluran (*ampacity*) sistem transmisi dua sampai tiga kali lebih besar dari pada konduktor konvensional. (berdasarkan validasi standart IEEE dan CALITEM®)
- b) Memiliki karakteristik mekanis yang sangat menguntungkan antara lain; tegangan tarik, berat dan diameter konduktor, sehingga memungkinkan pemasangan tanpa merubah ROW (*rights of way*) dan tower yang telah ada serta mengurangi waktu dan biaya pemasangan/pembangunan.
- c) Tahan terhadap korosi karena secara keseluruhan terbuat dari bahan aluminium.

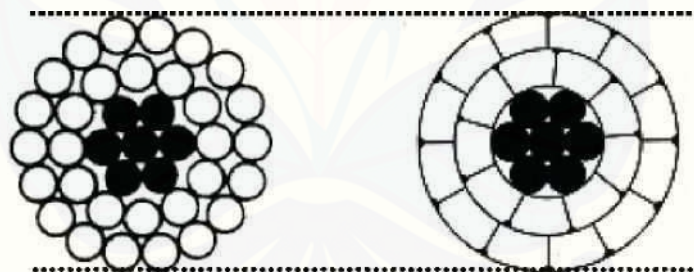
2.2.2.3 Konduktor ACSS (*Aluminum Conductor Steel Supported*)

Aluminum conductor steel supported (ACSS), atau dalam literatur lama dikenal sebagai *steel supported aluminum conductor* (SSAC) merupakan konduktor yang tahan andongan dengan inti baja (Adams, 1974). Berbeda dengan ACSR, ACSS hampir seluruhnya didukung oleh inti baja. Aluminium yang digunakan tidak mengalami pengerjaan dingin (*cold working*) dalam pembuatannya, sehingga mereka memiliki sifat yang sama sepenuhnya dengan aluminium sudah sepenuhnya *annealed*. Inti baja memberikan sebagian besar kekuatan tarik pada konduktor ini.

Konduktor ACSS adalah perpaduan inti baja yang dikelilingi oleh aluminium yang sudah sepenuhnya *annealed*, meskipun begitu aluminium membawa sedikit dari beban, disebabkan oleh tegangan luluh (*yield strength*) yang rendah. Suhu operasi ACSS tidak dibatasi oleh sifat-sifat aluminium, karena aluminium tersebut sudah masuk ke sepenuhnya *annealed*. Sebaliknya,

pembatasan suhu berasal dari sifat-sifat inti baja, yang memiliki suhu untuk memasuki fase *annealing* sekitar 240°C (walaupun suhu permukaan mungkin jauh lebih dingin). Temperatur ini secara signifikan lebih tinggi jika dibandingkan ACSR atau AAAC. Tingginya batas suhu operasi berarti menunjukkan bahwa jumlah arus yang lebih besar dapat dilewatkan tanpa mengurangi keadalan kabel tersebut.

ACSS dan beberapa konduktor termal lainnya sering dibangun sebagai konduktor yang fleksibel. Konduktor ACSS terdiri dari ACSS dengan aluminium *round wire* dan *trap wire*. ACSS dengan aluminium *trap wire* (ACSS/TW) terdiri dari komposisi aluminium yang disusun berbentuk trapezium (*trap wire*) yang lebih fleksibel dibandingkan dengan aluminium yang disusun berbentuk bulat (*round wire*) dengan luas penampang konduktor yang sama (lihat gambar 2.6). Konduktor dengan struktur penyusunan kawat secara trapesium dapat mengganti konduktor konvensional dengan diameter yang sama namun dengan luas area konduktor yang lebih besar dimana ini akan menurunkan resistensi per-km, dan meningkatkan *ampacity* dari saluran transmisi.



Gambar 2.6 *Round wire vs trap wire* (Sleger, 2011)

Karakteristik andongan konduktor ACSS saat beroperasi pada temperatur tinggi umumnya lebih baik daripada ACSR. Seringkali sebelum instalasi, inti baja akan di kecangkan terlebih dahulu guna mencegah pemuluran (*creep*). Pemanjangan aluminium tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap andongan dari konduktor ini, namun kelenduran diambil dari perilaku elastis inti baja. Konduktor ACSS merupakan salah satu teknologi HTLS dengan harga termurah, yaitu dengan harga sebesar 1.5-2x harga ACSR. Konduktor ini terdiri dari bahan yang sama yang digunakan untuk membentuk ACSR, dan sering

digunakan digunakan untuk menggantikan ACSR ketika *uprating* saluran transmisi.

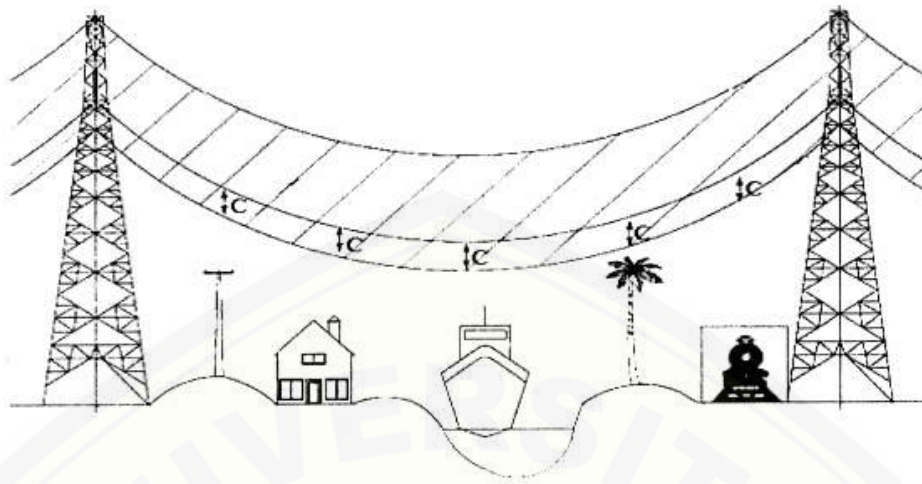
2.3 Ruang Bebas (*Right Of Way*) dan Jarak Aman (*Safety Distance*)

Ruang Bebas (*Right Of Way*) adalah ruang yang dibatasi oleh bidang vertikal dan horizontal di sekeliling dan di sepanjang konduktor SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi), SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi), atau SUTTAS (Saluran Udara Tegangan Tinggi Arus Searah), di mana tidak boleh ada benda di dalamnya demi keselamatan manusia, makhluk hidup dan benda lainnya serta keamanan operasi SUTT, SUTET, dan SUTTAS (Kementerian ESDM, 2015).

Jarak Aman atau *safety distance* merupakan jarak dimana penghantar saluran udara tidak terjangkau oleh tangan manusia dan kendaraan yang berjalan (Standar Kontruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Universitas Indonesia, 2010).

Jarak bebas minimum vertikal dari konduktor adalah jarak terpendek secara vertikal antara konduktor SUTT, SUTET, atau SUTTAS dengan permukaan bumi atau benda di atas permukaan bumi yang tidak boleh kurang dari jarak yang telah ditetapkan demi keselamatan manusia, makhluk hidup dan benda lainnya serta keamanan operasi SUTT, SUTET, dan SUTTAS. Sedangkan jarak bebas minimum horizontal dari sumbu vertikal menara/tiang adalah jarak terpendek secara horizontal dari sumbu vertikal menara/tiang ke bidang vertikal ruang bebas bidang vertikal tersebut sejajar dengan sumbu vertikal menara/tiang dan konduktor (Kementerian ESDM, 2015).

Besarnya andongan konduktor menjadi sangat penting untuk diperhatikan dalam pengoperasian sistem transmisi. Dengan adanya peraturan menteri ESDM nomor 18 tahun 2015, besarnya andongan maksimal yang diperbolehkan diatur sesuai dengan kondisi geografis dari saluran tranmisi tersebut. Maka dari itu besar andongan harus diperhatikan dan dibatasi demi menjaga keselamatan manusia, makhluk hidup dan benda lainnya serta keamanan operasi.



Gambar 2.7 Penampang memanjang ruang bebas (Kementrian ESDM, 2015)

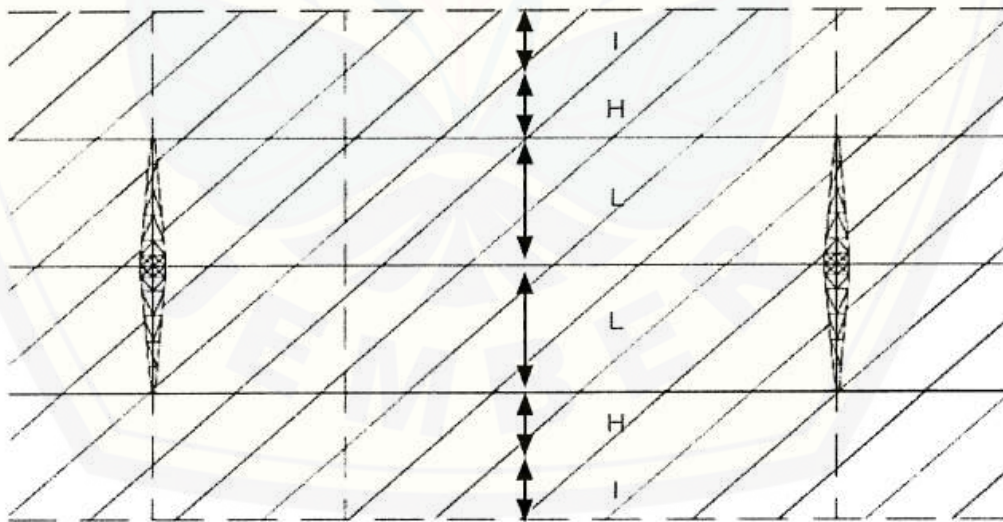
keterangan :



: Penampang melintang Ruang Bebas SUTET 275 kV dan 500 kV Sirkit Ganda pada tengah gawang

C

: Jarak bebas minimum vertikal



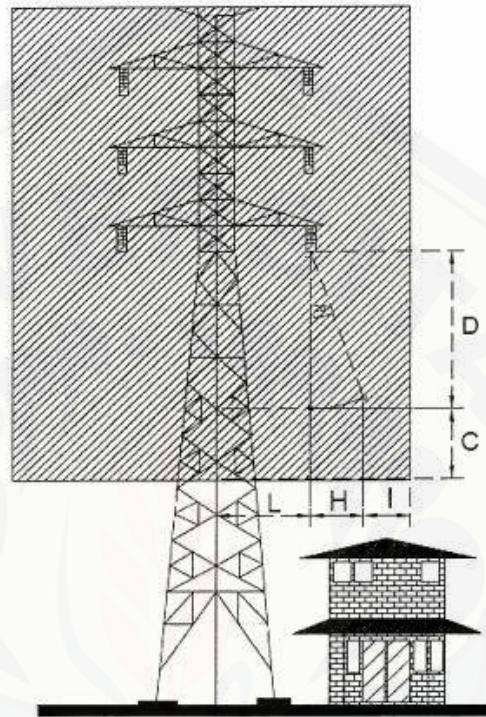
Gambar 2.8 Pandangan atas ruangan bebas (Kementrian ESDM, 2015)

keterangan :



: Penampang memanjang ruang bebas

- H : Jarak horizontal akibat ayunan konduktor
 I : Jarak bebas *impuls switsing*
 L : Jarak dari sumbu vertikal tiang ke konduktor



Gambar 2.9 Ruang bebas SUTET 275 kV dan 500 kV sirkit ganda (Kementrian ESDM, 2015)

keterangan :



- : Penampang melintang Ruang Bebas SUTET 275 kV dan 500 kV Sirkit Ganda pada tengah gawang
 C : Jarak bebas minimum vertikal
 D : Jarak andongan terendah di tengah gawang (antar dua menara)
 H : Jarak horizontal akibat ayunan konduktor
 I : Jarak bebas *impuls switsing*
 L : Jarak dari sumbu vertikal tiang ke konduktor

Tabel 2.1 Jarak bebas minimum vertikal dari konduktor (Kementerian ESDM, 2015)

No.	Lokasi	SUTT		SUTET		SUTTAS	
		66 kV (m)	150 kV (m)	275 kV (m)	500 kV (m)	250 kV (m)	500 kV (m)
1.	Lapangan terbuka atau daerah terbuka ^{a)}	7,5	8,5	10,5	12,5	7,0	12,5
2.	Daerah dengan keadaan tertentu						
-	Bangunan, jembatan ^{b)}	4,5	5,0	7,0	9,0	6,0	9,0
-	Tanaman / tumbuhan, hutan, perkebunan ^{b)}	4,5	5,0	7,0	9,0	6,0	9,0
-	Jalan/jalan raya/rel kereta api ^{a)}	8,0	9,0	11,0	15,0	10,0	15,0
-	Lapangan umum ^{a)}	12,5	13,5	15,0	18,0	13,0	17,0
-	SUTT lain, Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR), Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), saluran udara komunikasi, antenna dan kereta gantung ^{b)}	3,0	4,0	5,0	8,5	6,0	7,0
-	Titik tertinggi tiang kapal pada kedudukan air pasang / tertinggi pada lalu lintas air ^{b)}	3,0	4,0	6,0	8,5	6,0	10,0

CATATAN

a) Jarak bebas minimum vertikal dihitung dari konduktor ke permukaan bumi atau permukaan jalan/rel

b) Jarak bebas minimum vertikal dihitung dari konduktor ke titik tertinggi / terdekatnya

2.4 Perhitungan Temperatur Konduktor

Perhitungan kemampuan hantar arus pada saluran transmisi udara menurut IEEE Std.738 (2012) memenuhi persamaan keseimbangan panas, yaitu panas yang dibangkitkan oleh konduktor (panas rugi-rugi listrik + panas penyerapan matahari) sama dengan panas yang dilepaskan konduktor secara konveksi dan radiasi.

Sebaran panas oleh konveksi + sebaran panas oleh radiasi = Panas dari matahari + Rugi listrik, dirumuskan sebagai berikut :

$$q_c + q_r = q_s + I^2 \cdot R(T_{avg}) \dots\dots\dots (1)$$

keterangan :

- q_c : penyebaran panas secara konveksi (W/m)
- q_r : penyebaran panas secara radiasi (W/m)
- q_s : penyerapan energi matahari (W/m)
- I : arus konduktor (A)
- $R(T_{avg})$: resistansi AC konduktor pada temperatur T_{avg} (Ω/m)

2.4.1 Penyebaran Panas Yang Disebabkan Konveksi

Pendinginan konveksi secara alami (*natural convection*) merupakan pendinginan tanpa memperhitungkan angin (asumsi kecepatan angin nol) sedangkan pendinginan konveksi secara paksa (*forced convection*) melibatkan angin sebagai faktor utama pendinginan. Pada standar IEEE mengkalkulasi dengan cara berbeda antara pendinginan konveksi secara alami dan secara paksa (*forced convective cooling*). Pada perhitungan pendinginan konveksi secara paksa dengan besar angin berapapun, standar ini merekomendasikan perhitungan penyebaran panas dilakukan dengan menggunakan kedua persamaan dan mengambil nilai yang paling besar diantara kedua perhitungan tersebut.

Penyebaran panas secara konveksi paksa ($V_w > 0$), dirumuskan :

$$q_{cf1} = K_{angle} \cdot [1.01 + 1.35 \cdot N_{Re}^{0.5}] \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \dots\dots\dots (2)$$

$$q_{cf2} = K_{angle} \cdot 0.754 \cdot N_{Re}^{0.6} \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \dots\dots\dots (3)$$

dengan K_{angle} merupakan faktor pergerakan arah angin terhadap konduktor yang dirumuskan sebagai berikut

$$K_{angle} = 1.1.94 - \cos(\phi) + 0.194 \cos(2\phi) + 0.368\sin(2\phi) \dots\dots\dots (4)$$

penyebaran panas secara konveksi alami ($V_w = 0$), dirumuskan :

$$q_{cn} = 3.645 \cdot \rho_f^{0.5} \cdot D_0^{0.75} \cdot (T_s - T_a)^{1.25} \dots\dots\dots (5)$$

keterangan :

- q_{cn} : penyebaran panas secara konveksi alami (W/m)
- T_a : temperatur sekeliling (*ambient*) ($^{\circ}C$)
- T_s : temperatur konduktor ($^{\circ}C$)
- ρ_f : kerapatan udara (Kg/m^3)
- D_0 : diameter konduktor (m)

besarnya nilai penyebaran panas melalui konveksi secara umum merupakan fungsi dari bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds dirumuskan sebagai berikut :

$$N_{Re} = \frac{D_0 \cdot \rho_f \cdot V_w}{\mu_f} \dots\dots\dots (6)$$

baik untuk perhitungan konveksi secara alami maupun secara paksa, nilai kerapatan udara (ρ_f), viskositas udara (μ_f), dan koefisien konduktivitas termal udara (k_f) dapat dihitung dengan persamaan (8)(9)(10) dengan mengacu pada besar T_{film} pada persamaan (7).

besar (T_{film}), dirumuskan :

$$T_{film} = \frac{T_s - T_a}{2} \dots\dots\dots (7)$$

untuk viskositas udara (μ_f), dirumuskan :

$$\mu_f = \frac{1.458 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{film} + 273)^{1.5}}{T_{film} + 383.4} \dots\dots\dots (8)$$

untuk viskositas udara (μ_f) dirumuskan :

$$\rho_f = \frac{1.293 - 1.525 \cdot 10^{-4} \cdot H_e + 6.397 \cdot 10^{-9} \cdot H_e^2}{1 + 0.00367 \cdot T_{film}} \dots\dots\dots (9)$$

keterangan :

- H_e : ketinggian diatas permukaan laut (m)

untuk koefisien konduktivitas termal udara (k_f), dirumuskan :

$$k_f = 2.424 \cdot 10^{-2} + 7.477 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{film}} - 4.407 \cdot 10^{-9} \cdot T_{\text{film}}^2 \dots\dots\dots (10)$$

2.4.2 Penyebaran Panas Yang Disebabkan Radiasi

Penyebaran panas secara radiasi dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_r = 17.8 \cdot D_0 \cdot \left[\left(\frac{T_s + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \dots\dots\dots (11)$$

keterangan :

- q_r : penyebaran panas secara radiasi (W/m)
- D_0 : diameter Konduktor (m)
- T_s : temperatur konduktor ($^{\circ}\text{C}$)
- T_a : temperatur *ambient* ($^{\circ}\text{C}$)

2.4.3 Penyerapan Energi Sinar Matahari

Matahari memberikan energi panas pada konduktor. Besarnya energi panas yang dikirimkan ke konduktor tergantung pada posisi matahari dilangit , Solar konstan (jumlah energi per m^2 diluar atmosfir bumi), jumlah energi yang disalurkan melalui atmosfir bumi menuju konduktor, dan kondisi permukaan konduktor (daya serap) dimana konduktor yang terang dan berkilau memancarkan sebagian besar energi matahari sedangkan konduktor hitam menyerap sebagian besar energi matahari. Besarnya energi matahari yang dapat diserap oleh konduktor dirumuskan sebagai berikut :

$$q_s = \alpha \cdot Q_{se} \cdot \sin(\theta) \cdot D_0 \dots\dots\dots (12)$$

dengan

$$\theta = \arccos[\cos(H_c) \cdot \cos(Z_c - Z_1)] \dots\dots\dots (13)$$

keterangan :

- q_s : penyerapan energi panas matahari (W/m)
- Q_s : total intensitas panas matahari (W/m^2)
- H_c : ketinggian matahari
- D_0 : diameter Konduktor (m)

Z_c : azimuth matahari

Z_1 : azimuth saluran

Saat ini standar IEEE menggunakan ketinggian matahari, azimuth dan total fluks panas yang diterima dengan tinggi tertentu diatas permukaan laut. Ketinggian matahari (H_c), dalam derajat (atau radian) dirumuskan sebagai berikut:

$$H_c = \arcsin[\cos(\text{Lat}) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\text{Lat}) \cdot \sin(\delta)] \dots\dots\dots (14)$$

sudut jam (*hour angle*) yang dilambangkan ω merupakan sudut ditempuh yang sejak bumi berotasi mulai dari siang hari, dirumuskan sebagai berikut (Twidell dan Weir, 2006) :

$$\omega = (15^\circ)(t_{\text{solar}} - 12) \dots\dots\dots (15)$$

Untuk deklinasi matahari, δ , dalam derajat di rumuskan:

$$\delta = 23.46 \cdot \sin \left[\frac{284+N}{365} \cdot 360 \right] \dots\dots\dots (16)$$

dengan N adalah nomor hari dalam setahun, misalkan tanggal 21 Januari berarti N= 21, tanggal 12 Februari berarti N=43, tanggal 10 Juni berarti N=161, dan lainnya.). Perhitungan deklinasi dengan rumus tersebut bernilai valid untuk digunakan pada lintang antara lintang positif (*northern hemisphere*) atau lintang negatif (*southern hemisphere*) dengan nilai deklinasi berkisar antara -23.45 dan +23.45 derajat.

Untuk azimuth matahari Z_c (dalam derajat) dirumuskan:

$$Z_c = C + \arctan(\chi) \dots\dots\dots (17)$$

dengan

$$\chi = \frac{\sin(\omega)}{\sin(\text{Lat}) \cdot \cos(\omega) - \cos(\text{Lat}) \cdot \tan(\delta)} \dots\dots\dots (18)$$

Azimuth matahari konstan, C (dalam derajat), merupakan fungsi dari derajat jam (ω) dan variable azimuth matahari (χ) seperti tertera pada tabel 2.2

Tabel 2.2 *Azimuth constant fuction* (IEEE, 2013)

“derajat jam”, ω , derajat	C jika $\chi \geq 0$ derajat	C jika $\chi \leq 0$ derajat
$-180 < a < 0$	0	180

$0 < a < 180$	180	360
---------------	-----	-----

Total fluks panas yang diterima oleh permukaan pada ketinggian dari permukaan laut, Q_s tergantung pada ketinggian matahari dan kejernihan atmosfer dan Q_s dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_s = A + B \cdot H_e + C \cdot H_c^2 + D \cdot H_c^3 + E \cdot H_c^4 + F \cdot H_c^5 + G \cdot H_c^6 \dots\dots\dots (19)$$

dimana besar koefisien A sampai G tergantung pada tipe atmosfer sesuai sesuai pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Koefisien variabel A sampai dengan G (IEEE, 2013)

	SI	US
Clear atmosphere		
A	-42.2391	-3.9241
B	63.8044	5.9276
C	-1.9220	-1.7856x10 ⁻¹
D	3.46921x10 ⁻²	3.223x10 ⁻³
E	-3.61118x10 ⁻⁴	-3.3549x10 ⁻⁵
F	1.94318x10 ⁻⁶	1.8053x10 ⁻⁷
G	-4.07608x10 ⁻⁹	-3.7868x10 ⁻¹⁰
Industrial atmosphere		
A	53.1821	4.9408
B	14.2110	1.3202
C	6.6138x10 ⁻¹	6.1444x10 ⁻²
D	-3.1658x10 ⁻²	-2.9411x10 ⁻³
E	+5.4654x10 ⁻⁴	5.07752x10 ⁻⁵
F	-4.3446x10 ⁻⁶	-4.03627x10 ⁻⁷
G	+1.3236x10 ⁻⁸	1.22967x10 ⁻⁹

Intensitas panas matahari pada permukaan bumi dapat dikoreksi dengan memperhitungkan ketinggiannya dengan menggunakan persamaan (20)

$$Q_{se} = K_{solar} \times Q_s \dots\dots\dots (20)$$

Dimana:

$$K_{solar} = A + B \cdot H_e + C \cdot H_e^2 \dots\dots\dots (21)$$

Tabel 2.4 Koefisien untuk persamaan koreksi Intensitas panas matahari (IEEE, 2013)

	SI	US
A	1	1
B	1.148×10^{-4}	3.500×10^{-5}
C	-1.108×10^{-8}	-1.000×10^{-9}

2.4.4 Resistansi Konduktor

Dalam versi standar IEEE, hambatan listrik disesuaikan linear untuk suhu permukaan konduktor. Hal ini diasumsikan bahwa nilai-nilai resistansi memperhitungkan efek kulit konduktor dan besarnya arus. Sebagai contoh, resistensi konduktor pada suhu tinggi (T_{high}) dan suhu rendah, (T_{low}), dapat diambil dari nilai-nilai ditabulasikan dalam salah satu referensi di atas atau mungkin dapat diberikan oleh produsen. Resistansi konduktor pada besarnya suhu (T_s) dapat ditemukan dengan interpolasi linear sesuai dengan persamaan :

$$R_{(T_s)} = \left[\frac{R(T_{high}) - R(T_{low})}{T_{high} - T_{low}} \right] (T_s - T_{low}) + R(T_{low}) \dots \dots \dots (22)$$

2.5 Perhitungan Kapasitas Hantar Arus

Kenaikan temperatur yang berlebihan pada kawat penghantar akan berpengaruh terhadap andongan (*sag*) dan juga kekuatan tarik dari kawat penghantar tersebut. Supaya kenaikan temperatur tidak melebihi harga yang diijinkan maka arus yang disalurkan oleh kawat penghantar harus dibatasi besarnya dan ini dinamakan kapasitas hantar arus (*current carrying capacity*).

Rumus untuk menghitung kemampuan hantar arus kawat penghantar menurut IEEE Std.738 (2012) yaitu:

$$I = \sqrt{\frac{q_c + q_r - q_s}{R(T_{avg})}} \dots \dots \dots (23)$$

keterangan :

q_c : penyebaran panas secara konveksi (W/m)

q_r	: penyebaran panas secara radiasi (W/m)
q_s	: penyerapan energi matahari (W/m)
I	: arus konduktor (A)
$R(T_{avg})$: resistansi AC konduktor pada temperatur T_{avg} (Ω/m)

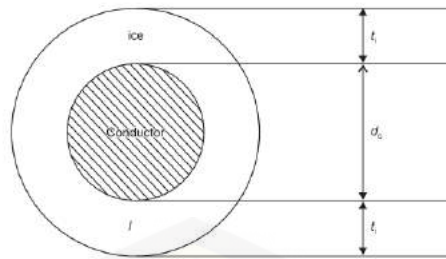
2.6 Perhitungan Andongan Kawat Penghantar

Apabila sebuah kawat penghantar dibentangkan antara dua buah titik ikat, kawat penghantar tidak akan mengikuti garis lurus, akan tetapi karena beratnya sendiri akan melengkung ke bawah. Besar lengkungan ini tergantung berat dan panjang kawat penghantar. Berat penghantar akan menimbulkan tegangan tarik pada penampang kawat penghantar. Kalau tegangan tarik ini besar dapat menyebabkan kawat penghantar putus, atau dapat merusak tiang pengikat. Tegangan tarik tergantung dari berat penghantar dan beban-beban lain yang bekerja pada kawat penghantar, misalnya angin, es dan temperatur.

Menurut hukum Hooke, karena adanya tegangan tarik ini, penghantar akan bertambah panjang tergantung modulus elastisitas dan panjang penghantar itu sendiri. Sedang karena perubahan-perubahan temperatur yang terjadi di sekitar penghantar, akan menyebabkan memuai atau menyusut tergantung besarnya perubahan temperatur, koefisien muai dan panjang penghantar. Panjang penghantar ditentukan oleh panjang gawang (*span*) dan besarnya andongan (*sag*). Sebaliknya, andongan tergantung dari panjang penghantar, tegangan tarik dan temperatur penghantar dan ketiga besaran ini saling mempengaruhi satu sama lain.

2.6.1 Pengaruh Angin dan Es terhadap Konduktor

Tekanan angin dan Es akan mempengaruhi berat konduktor yang menyebabkan meningkatnya berat total dari konduktor tersebut. Untuk besar es yang menyelimuti konduktor pada kenyataannya tidak sama seluruh sisi permukaan konduktor, namun untuk mempermudah perhitungan es yang melimuti konduktor diasumsikan rata atau serupa pada keluruhan permukaan konduktor seperti ditunjukkan pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Asumsi konfigurasi es yang menyelimuti konduktor (D. Das, 2006)

Dimana

t_i : ketebalan es menyelimuti konduktor (cm)

d_c : diameter konduktor (cm)

Maka untuk mencari berat es tersebut digunakan persamaan berikut

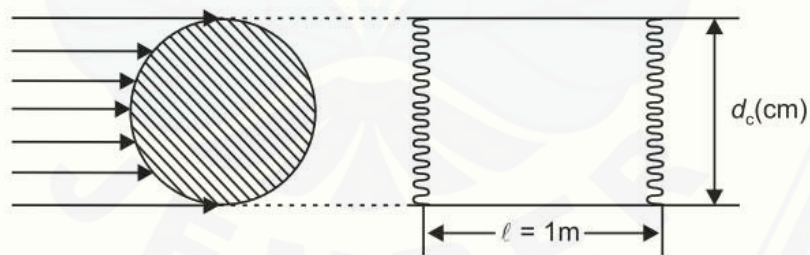
$$w_i = w_c \pi t_i (d_c + t_i) \times 10^{-4} \text{ Kg/m} \dots\dots\dots (24)$$

Dimana

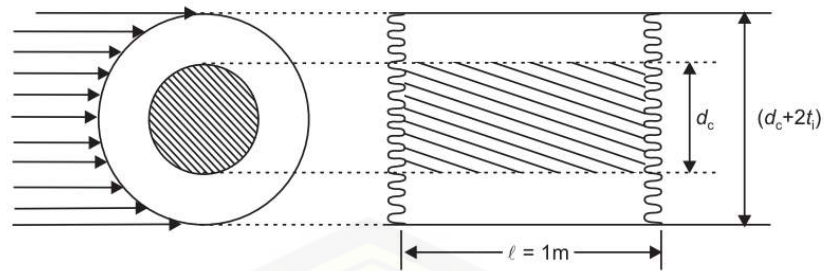
w_i : berat es per meter (cm)

w_c : berat dari es (Kg/m^3)

Untuk faktor pengaruh angin disini diasumsikan bahwa angin berhembus horisontal dengan besar yang sama melewati konduktor baik yang diselimuti es maupun yang tidak



Gambar 2.11 Tekanan angin yang mengenai konduktor tanpa diselimuti es (D. Das, 2006)



Gambar 2.12 Tekanan angin yang mengenai konduktor yang diselimuti es (D. Das, 2006)

Untuk besar tekanan angin dihitung menggunakan persamaan (25)

$$p = 1.25 \times V_w \dots\dots\dots (25)$$

Jika konduktor tidak diselimuti es (gambar 2.10), maka berat konduktor dirumuskan

$$w_w = \frac{(d_c)}{100} \times p \text{ Kg/m} \dots\dots\dots (26)$$

Untuk konduktor yang tertutupi oleh es (gambar 2.11), dirumuskan

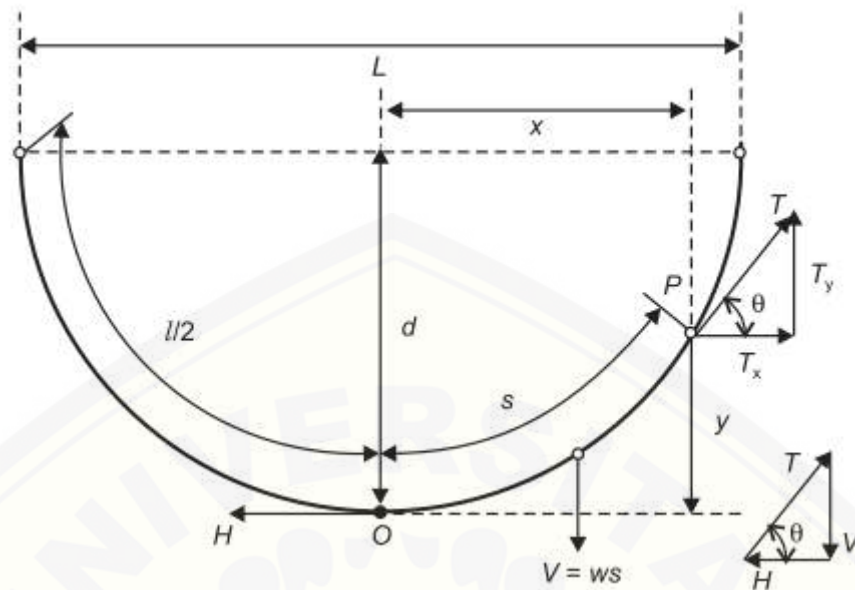
$$w_w = \frac{(d_c+2t_i)}{100} \times p \text{ Kg/m} \dots\dots\dots (27)$$

Berat total dari konduktor yang diakibatkan oleh pengaruh es maupun angin dapat dihitung menggunakan persamaan (28)

$$w_e = \sqrt{F^2 + (w + w_i)^2} \dots\dots\dots (28)$$

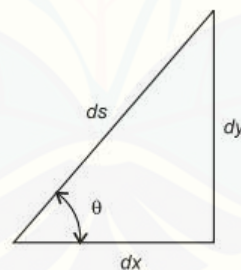
2.6.2 Persamaan Garis Rantai (*Catenary Equation*)

Gambar 2.12 memperlihatkan konduktor yang ditumpu pada dua buah toweryang tingginya sama dimana kedua tower tersebut dipisahkan oleh jarak horizontal L. Titik O merupakan titik terendah dari kurva catenary sedangkan l merupakan berat konduktor per satuan panjang (kg/m), T merupakan tegangan tarik konduktor (kg) pada titik P dimanapun pada kurva, dan H merupakan tegangan tarik pada titik O.



Gambar 2.13 Konduktor ditanggihkan antara tiang yang mempunyai tinggi sama
(D. Das, 2006)

Dengan demikian, bagian OP pada konduktor berada dalam kesetimbangan dibawah tegangan tarik T pada sisi P, Berat konduktor ws akan mengarah vertikal kebawah, dan tegangan tarik horisontal H .



Gambar 2.14 Segitiga representasi bagian kecil dari titik P

Dalam segitiga pada gambar 2.13, ds mewakili bagian sangat kecil dari konduktor pada region P. Ketika nilai s diperbesar oleh ds , nilai x dan y masing – masing akan meningkat oleh dx dan dy sesuai dengan meningkatnya ds . Maka dari itu,

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{ws}{H}$$

Karena

$$\left(\frac{ds}{dx}\right)^2 = 1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2$$

Kemudian

$$\left(\frac{ds}{dx}\right)^2 = 1 + \left(\frac{ws}{H}\right)^2$$

Kemudian

$$dx = \frac{ds}{\sqrt{1 + \left(\frac{ws}{H}\right)^2}}$$

Integralkan kedua sisi

$$x = \int \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{ws}{H}\right)^2}} ds$$

Maka hasil integralnya

$$x = \left(\frac{H}{w}\right) \sinh^{-1}\left(\frac{ws}{H}\right) + K$$

Dimana K merupakan konstanta integrasi.

Ketika nilai $x = 0$, $s = 0$, and $K = 0$,

$$s = \frac{H}{w} \sinh\left(\frac{wx}{H}\right)$$

Ketika nilai $x = 1/2 L$,

$$s = \frac{l}{2} = \frac{H}{w} \sinh\left(\frac{wL}{2H}\right)$$

Maka,

$$l = \frac{2H}{w} \sinh\left(\frac{wL}{2H}\right)$$

Atau

$$l = \frac{2H}{w} \left[\frac{1}{1!} \left(\frac{wL}{2H}\right) + \frac{1}{3!} \left(\frac{wL}{2H}\right)^3 \right]$$

Atau mendekati

$$l \cong L \left(1 + \frac{w^2 L^2}{24H^2} \right) \dots\dots\dots (29)$$

2.6.3 Metode Span Ekuivalen (*Rulling Span*)

Metode *rulling span* diperkenalkan pertama kali oleh Thayer (1924), adalah berguna untuk menghitung andongan dan tegangan tarik pada struktur dua *dead end* yang terdiri atas multi span yang berjarak tak sama. Jika ada n span dengan panjang $L_1, L_2, L_3, L_4, \dots, L_n$ pada setiap bagian dan L_e adalah ekuivalen span atau dinamakan *rulling span* pada setiap bagian. Panjang total dari jarak antar menara adalah : $(L_1+L_2+L_3+L_4+\dots+L_n)$

Maka untuk n jarak antar menara dapat diasumsikan :

$$nL_e = L_1+L_2+L_3+L_4+\dots+L_n = \sum L$$

sehingga jika panjang kawat dalam kondisi berbeban w dan tegangan tarik T_o dirumuskan :

$$\sum L + \frac{w^2 \sum L^3}{24T_o}$$

Panjang kawat pada n span dengan panjang masing-masing L_e , dibawah kondisi beban sama :

$$n \left(L_e + \frac{w^2 L_e^3}{24T_o^2} \right)$$

Tetapi ini adalah panjang kawat pada setiap bagian saluran. Sehingga persamaan :

$$\sum L + \frac{w^2 \sum L^3}{24T_o} = \left(L_e + \frac{w^2 L_e^3}{24T_o} \right)$$

$$\sum L^3 = nL_e^3$$

$$L_e^2 = \frac{\sum L^3}{nL_e} = \frac{\sum L^3}{\sum L}$$

$$L_e = \sqrt{\left(\frac{L_1^3 + L_2^3 + L_3^3 + \dots + L_n^3}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n} \right)} \dots\dots\dots (30)$$

persamaan diatas dinamakan persamaan *rulling span*.

2.6.4 Pengaruh Perubahan Temperatur terhadap Panjang Kawat Penghantar

Panas menyebabkan konduktor mengembang. Ketika konduktor mengembang, maka akan membuat konduktor tersebut menjadi lebih panjang dan membuat andongan lebih rendah. Perubahan panjang akibat konduktor mengembang di deskripsikan oleh *linear temperature coefficient* (α_T). Panjang konduktor sederhana untuk suhu T mendekati suhu T_0 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$L_T = (1 + \alpha_T \times (T - T_0)) L_{T_0} \dots\dots\dots (31)$$

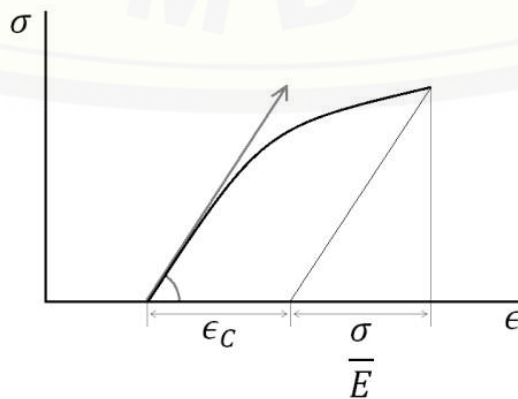
Dimana :

L_T : Panjang konduktor pada temperatur T ($^{\circ}\text{C}$)

L_{T_0} : Panjang konduktor pada temperatur T_0 ($^{\circ}\text{C}$)

α_T : *Coefficient of thermal expansion* ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Sebuah konduktor yang berada di bawah tegangan tarik (*tension*) akan mengalami deformasi. Gambar 2.14 menunjukkan kurva tegangan-regangan untuk sebuah konduktor sederhana. Regangan (elongasi) konduktor sangat mendekati linear pada tegangan tarik yang rendah. Perilaku linear ini dianggap sebuah perilaku 'elastis'. Saat tegangan tarik meningkat melewati tegangan luluh (*yield stresses*), beberapa regangan menjadi permanen. Setelah titik ini, jika kabel dalam fase santai (*relax*), beberapa regangan akan menyusut secara linear, namun akan menyisakan beberapa deformasi permanen. deformasi permanen ini disebut '*plastic*' deformasi.



Gambar 2.15 Kurva tegangan terhadap regangan (Slegers, 2011)

Panjang konduktor dalam jangkauan perilaku elastis, yang berhubungan dengan tegangan (*stress*) σ diwakili oleh:

$$L_{\sigma} = L \times (1 + \epsilon_{\sigma} + \epsilon_c) \dots\dots\dots (32)$$

$$\epsilon_{\sigma} = \frac{\sigma}{E} = \frac{H}{E A}$$

Dimana:

- L_{σ} : Panjang konduktor under stress (m)
- L : Panjang konduktor no stress (m)
- ϵ_{σ} : elastic strain
- σ : Stress (Kg/mm²)
- ϵ_c : Plastic deformation of the cable
- E : Modulus elastis konduktor (Mpa)
- H : Tension applied pada konduktor (Kg)
- A : Luas penampang konduktor (mm²)

2.6.5 Perhitungan Tegangan Tarik Dan Andongan Akibat Perubahan Temperatur

Perubahan nilai temperatur kawat penghantar akan menyebabkan pemuluran sehingga akan berubah pula tegangan tarik dan andongan pada kawat penghantar. Panjang kawat penghantar pada temperatur t_2 dapat dihitung menggunakan persamaan (:

$$L = L_0 \left(1 + \alpha_T \times (T - T_0) \right) \left(1 + \frac{H - H_0}{E A} + \epsilon_c \right) \dots\dots\dots (33)$$

Dimana :

- L_0 : Panjang konduktor awal (m)
- L : Panjang konduktor pada temperatur tinggi (m)
- H_0 : Tegangan tarik awal (Kg)
- T_0 : Temperatur awal (°C)

Substitusi persamaan (29) ke persamaan (33) akan menghasilkan

$$l + \frac{w^2 l^3}{24H^2} = (l + \frac{w^2 l^3}{24H_0^2})(1 + \alpha_T \times (T - T_0)) \left(1 + \frac{H-H_0}{E A} + \epsilon_C\right) \dots(34)$$

Dari persamaan (34) tersebut, kedua ruasnya dibagi dengan l kemuan hasilnya dikali H^2 untuk kemudian disusun membentuk polinomial $A_1H^3 + A_2H^2 + A_3H = B$

$$A_1 = (1 + \frac{w^2 l^2}{24H_0^2})(1 + \alpha_T \times (T - T_0)) \left(\frac{1}{E A}\right)$$

$$A_2 = \left(1 + \frac{w^2 l^2}{24H_0^2}\right)(1 + \alpha_T \times (T - T_0)) \left(1 - \frac{H_0}{E A} + \epsilon_C\right) - 1$$

$$A_3 = 0$$

$$A_4 = \left(\frac{w^2 l^2}{24}\right)$$

Dengan menggunakan metode Newton-Raphson dapat dicari besar tegangan tarik horisontal H . Kemudian dapat di cari besar tegangan tarik, panjang kawat dan juga andongannya dengan persamaan dibawah ini.

Tegangan tarik pada temperatur t_2 adalah :

$$T_{t2} = H_{t2} + \frac{w^2 l^2}{8H_{t2}} \dots\dots\dots(35)$$

Panjang kawat penghantar pada temperatur t_2 adalah :

$$L_{t2} = L + \frac{w^2 l^3}{24H_{t2}^2} \dots\dots\dots(36)$$

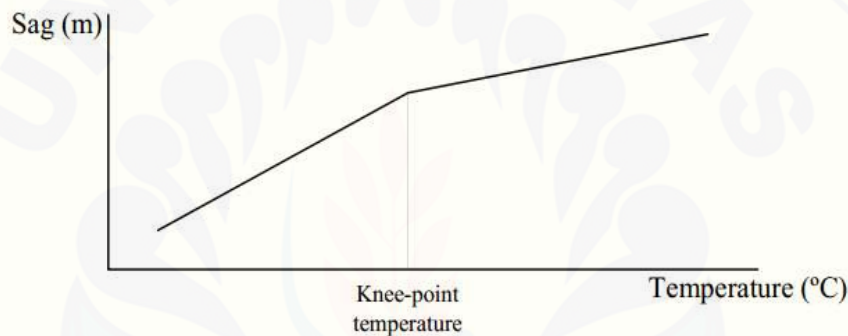
Andongan pada temperatur t_2 adalah :

$$D_{t2} = \frac{w l^2}{8H_{t2}} \dots\dots\dots(37)$$

2.6.5.1 Knee Point Temperature

Sebuah konduktor yang digunakan untuk melayani berbagai macam beban listrik akan menyebabkan temperatur konduktor tersebut meningkat, perbedaan koefisien muai panjang (*coefficients of thermal expansion*) antara bagian inti konduktor dan sisi luar konduktor menyebabkan perubahan dalam pembagian beban tegangan (*tensile*). Saat temperatur naik sisi aluminium yang dapat mengembang pada tingkat yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian inti

yang membuat aluminium mengalami relaksasi dan menggeser beban tarik ke sisi inti. Meskipun beban tarik keseluruhan menurun, namun sebagian beban tarik juga bergerak menuju bagian inti. Pada beberapa temperatur, tegangan tarik pada sisi aluminium di ambil alih oleh muai panjang aluminium, dan seluruh beban tarik di salurkan ke sisi inti konduktor, menyebabkan tidak ada beban tarik pada sisi aluminium. Titik transisi ini dinamakan *thermal knee point* (CTC Global, 2011). Dengan adanya transfer load dari nilai CTE aluminun ke nilai CTE core penggantung yang berbeda ini tentu akan mengakibatkan perlambatan perpanjangan konduktor karena core biasanya mempunyai CTE yang lebih rendah sehingga lebih tahan/lama untuk memanjang.



Gambar 2.16 *Knee point temperature* (Albizu & Mazón, 2009)

KPT (*Knee Point Temperature*) dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (Mamala *et al*, 2014):

$$\begin{aligned}
 & (T - T_F)^3 + (T - T_F)^2 \left[\frac{2\left(\varepsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E}\right)}{\alpha_E - \alpha} + \frac{\left(\varepsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E}\right)}{\alpha_E} - \frac{\left(\frac{\sigma_1}{E} + \alpha(T_1 - T_F) - \frac{w^2 l^2}{24\sigma_1^2}\right)\left(\varepsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E}\right)}{\alpha_E} \right] + \\
 & (T - T_F) \left[\frac{\left(\varepsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E}\right)^2}{(\alpha_E - \alpha)^2} + \frac{2\left(\varepsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E}\right)^2}{\alpha_E(\alpha_E - \alpha)} - \frac{2\left(\frac{\sigma_1}{E} + \alpha(T_1 - T_F) - \frac{w^2 l^2}{24\sigma_1^2}\right)\left(\varepsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E}\right)}{\alpha_E(\alpha_E - \alpha)} \right] + \dots \dots \dots (38) \\
 & \frac{\left(\varepsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E}\right)^3}{\alpha_E(\alpha_E - \alpha)^2} - \frac{\frac{w^2 l^2}{24}}{\alpha_E E (\alpha_E - \alpha)^2} - \frac{\left(\frac{\sigma_1}{E} + \alpha(T_1 - T_F) - \frac{w^2 l^2}{24\sigma_1^2}\right)\left(\varepsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E}\right)^2}{\alpha_E(\alpha_E - \alpha)}
 \end{aligned}$$

Panjang konduktor pada temperatur t_2 diatas *knee point temperature* tidak dapat dihitung dengan persamaan (33) karena pada kondisi ini tegangan tarik dibebankan pada sisi inti saja. Untuk perhitungan panjang konduktor pada

temperatur t_2 diatas *knee point temperature* dapat digunakan persamaan (39) sebagai berikut :

$$L = L_0(1 + \alpha_T \times (T_{knee} - T_0) + \alpha_{core} \times (T - T_{knee})) \left(1 + \frac{H_{knee}-H_0}{E A} + \frac{H-H_{knee}}{E_{core} A_{core}} + \epsilon_C \right) \dots\dots\dots(39)$$

Substitusi persamaan (29) ke persamaan (39) akan menghasilkan

$$l + \frac{w^2 l^3}{24H^2} = (l + \frac{w^2 l^3}{24H_0^2})(1 + \alpha_T \times (T_{knee} - T_0) + \alpha_{core} \times (T - T_{knee})) \left(1 + \frac{H_{knee}-H_0}{E A} + \frac{H-H_{knee}}{E_{core} A_{core}} + \epsilon_C \right) \dots\dots\dots(40)$$

Dari persamaan (40) tersebut, kedua ruasnya dibagi dengan l kemuan hasilnya dikali H^2 untuk kemudian disusun membentuk polinomial $A_1H^3 + A_2H^2 + A_3H = B$

$$A_1 = (1 + \frac{w^2 l^2}{24H_0^2})(1 + \alpha_T \times (T_{knee} - T_0) + \alpha_{core} \times (T - T_{knee}))$$

$$\left(\frac{1}{E_{core} A_{core}} \right)$$

$$A_2 = \left(1 + \frac{w^2 l^2}{24H_0^2} \right) (1 + \alpha_T \times (T_{knee} - T_0) + \alpha_{core} \times (T - T_{knee}))$$

$$\left(1 + \frac{H_{knee} - H_0}{E A} - \frac{H_{knee}}{E_{core} A_{core}} + \epsilon_C \right) - 1$$

$$A_3 = 0$$

$$A_4 = \left(\frac{w^2 l^2}{24} \right)$$

Dengan menggunakan metode Newton-Raphson dapat dicari besar tegangan tarik horisontal H. Setelah didapatkan besar tegangan tarik horisontal H, kemudian dapat di cari besar tegangan tarik, panjang kawat dan juga andongannya dengan persamaan (35) sampai (37).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Laptop
2. Matlab R2016a
3. Data konduktor, saluran, dan inisialisasi variabel

3.2 Tahap Penelitian

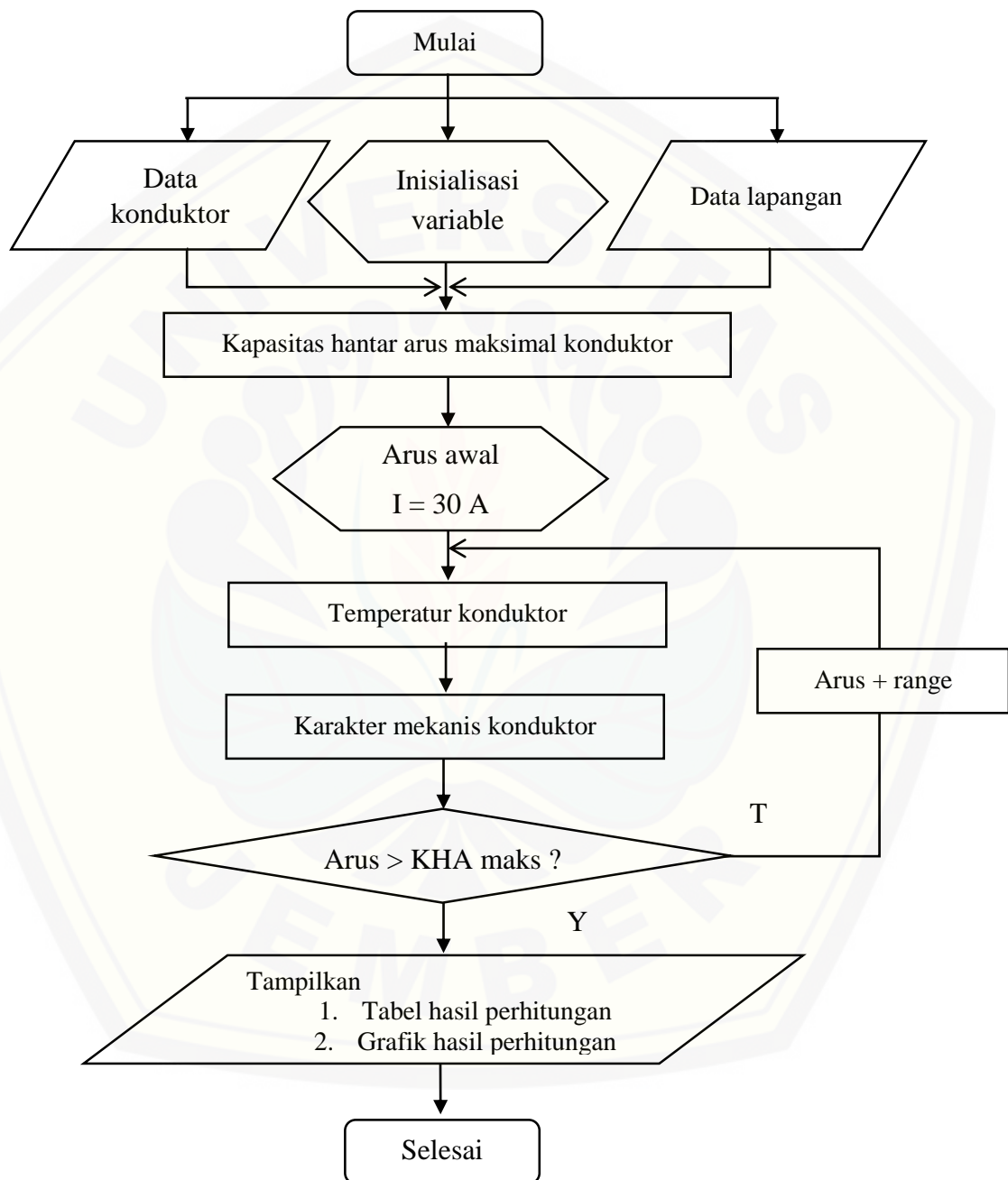
Adapun tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini ialah:

1. Tahap pembuatan simulasi dan perhitungan penggunaan penghantar ACSR pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) jalur Probolinggo-Lumajang dengan mengambil sampel tower yang memiliki struktur dua *dead-end* sebagai simulasi. Adapun parameter yang dihitung adalah temperatur, panjang konduktor, kapasitas hantar arus, tegangan tarik, dan andongan penghantar.
2. melakukan hal yang sama pada tahap 1 untuk konduktor ACCC.
3. melakukan hal yang sama pada tahap 1 untuk konduktor ACCR.
4. melakukan hal yang sama pada tahap 1 untuk konduktor ACSS.
5. tahap analisis hasil.
6. tahap pengambilan kesimpulan hasil penelitian.

3.3 Desain Penelitian

Desain penelitian pengaruh pembebanan arus terhadap temperatur dan andongan konduktor ini dijabarkan sebagai berikut.

3.3.1 Desain Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* penelitian

3.3.2 Inisialisasi variabel

Menginisialisasikan beberapa data dan variabel sesuai yang tertera pada tabel 3.3 berikut

Tabel 3.1 Inisialisasi variabel

No	Variabel	Keterangan	Nilai
1	<i>Solar absorptivity</i> (α)	Daya serap konduktor terhadap energy matahari	0,5
2	<i>Emissivity</i> (ϵ)		0,5
3	<i>V_w</i>	Kecepatan angin	4 km/jam
4	<i>H_e</i>	Ketinggian diatas permukaan laut	248 m
5	θ	Sudut menabraknya angin terhadap konduktor	22,5
6	<i>T₀</i> dan <i>T_a</i>	Temperatur Lingkungan	30 °C
7	<i>N_{day}</i>	Nomor hari dalam setahun	167
8	<i>latt</i>	Garis Lintang	-7,933
9	<i>sun_time</i>	Jam Matahari	13 (1 Pm)
10	<i>Z_l</i>	Azimuth Saluran	90

untuk data tower yang digunakan dalam penelitian dengan cara mengambil data tower tension ke tension secara acak dimana pada pelitian ini sampel tower yang digunakan mulai dari tower nomor 52 sampai dengan tower nomor 62.

Tabel 3.2 Data sampel tower

No. Tower	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
Span (m)	350	300	300	300	300	300	300	300	300	350	350

3.3.3 Penentuan Konduktor HTLS yang Digunakan dalam Penelitian

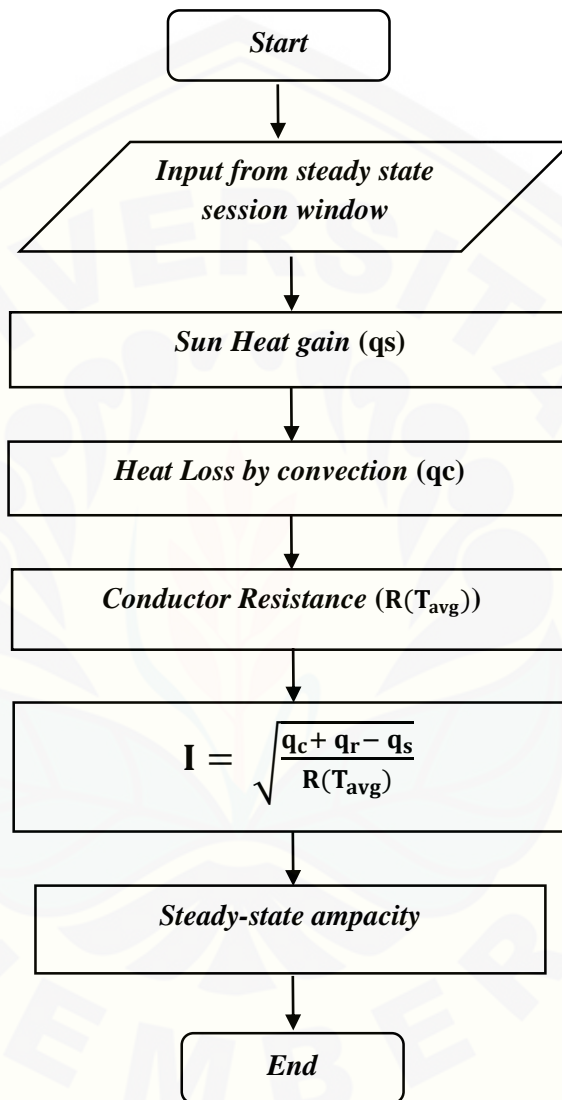
Penentuan konduktor HTLS dilakukan dengan mempelajari berbagai macam konduktor HTLS yang mempunyai kemungkinan dalam pengaplikasian pada saluran transmisi yang digunakan. Konduktor HTLS yang digunakan dalam penelitian sebaiknya memiliki ukuran yang sebanding dilihat dari diameter, luas penampang dan berat dari konduktor konvensional. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang ada maka konduktor yang akan digunakan sebagai pembanding konduktor ACSR 330 dalam penelitian yaitu ACCC/TW Brussels 415, ACCR Grossbreak, dan ACSS Grossbreak dengan diameter konduktor yang sama dengan ACSR 330 yaitu mendekati diameter 25,3 mm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3.1 yang menunjukkan spesifikasi dari konduktor HTLS dan konduktor ACSR yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3.3 Spesifikasi beberapa konduktor HTLS dan konduktor ACSR

Spesifikasi Konduktor	ACCC	ACCR	ACSS	ACSR
1. Tipe	ACCC/TW Brussels 415	ACCR_656-T16 GROSBREAK	GROSBEAK/ACSS	ACSR 330
2. Konstruksi	-	26/7	26/7	26/7
3. Diameter				
Aluminium	17,01 mm	16,1 mm	15,9 mm	9,27 mm
Inti (<i>Core</i>)	8,13 mm	9,4 mm	9,27 mm	9,3 mm
Total konduktor	25,14 mm	25,2 mm	25,17 mm	25,3 mm
4. Luas penampang				
Aluminium	425,3 mm ²	332 mm ²	322 mm ²	326,73 mm ²
Inti (<i>Core</i>)	51,9 mm ²	52 mm ²	53 mm ²	52,85 mm ²
Total konduktor	477,2 mm ²	374 mm ²	375 mm ²	379,7 mm ²
5. Berat Total konduktor	1264 kg/km	1101 Kg/m	1301 kg/km	1320 kg/km
6. Resistansi				
DC 20 °C	0,0673 ohm/km	0,0828 ohm/km	0,0853 ohm/km	0,0888 ohm/km
AC 25 °C	0,0694 ohm/km	0,0852 ohm/km	0,0858 ohm/km	0,0945 ohm/km
75 °C	0,0841 ohm/km	0,1018 ohm/km	0,1070 ohm/km	0,1127 ohm/km
7. Modulus Elastisitas				
Aluminium	69 GPa	55 GPa	55,665 GPa	61,781 Gpa
Inti (<i>Core</i>)	117 Gpa	216 GPa	186,475 GPa	206 Gpa
Total Konduktor	74,22045 Gpa	77,38503 Gpa	74,15331 Gpa	81,855 Gpa
8. Koef. Muai Panjang				
Aluminium	23. 10 ⁻⁶ /°C	23. 10 ⁻⁶ /°C	23. 10 ⁻⁶ /°C	23. 10 ⁻⁶ /°C
Inti (<i>Core</i>)	1,61. 10 ⁻⁶ /°C	6,3. 10 ⁻⁶ /°C	11,5. 10 ⁻⁶ /°C	11,5. 10 ⁻⁶ /°C
Total Konduktor	19,33. 10 ⁻⁶ /°C	16,52. 10 ⁻⁶ /°C	18,89. 10 ⁻⁶ /°C	18,97. 10 ⁻⁶ /°C
9. Rated Breaking Strenght (RTS)	122,1 kN	113,874 kN	92,08 kN	107,187 kN
10. Temperatur Operasi				
Operasi kontinyu	175 °C	210 °C	200 °C	75 °C
Batas Maksimum	200 °C	240 °C	250 °C	90 °C

3.3.4 Perhitungan Kapasitas Hantar Arus (*ampacity*) pada Kondisi Steady-State

Perhitungan kapasitas hantar arus (*ampacity*) mengacu pada “*IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors*”

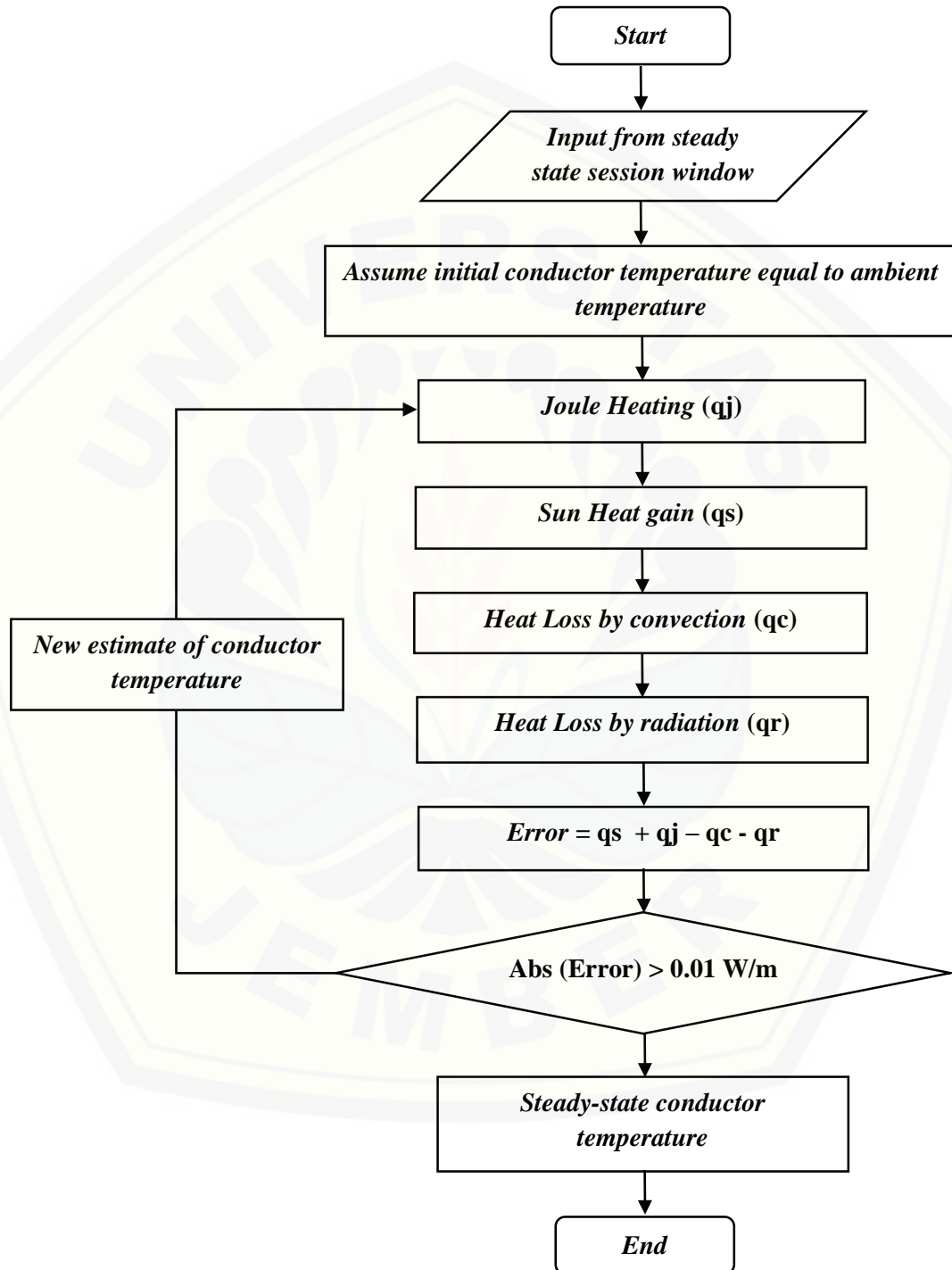


Gambar 3.2 *Flowchart* perhitungan kapasitas hantar arus (*ampacity*)

Data yang digunakan dalam perhitungan kapasitas hantar arus (*ampacity*) diantaranya diameter konduktor, resistansi AC, dan lain-lain. Perhitungan kapasitas hantar arus digunakan untuk menentukan nilai maksimal arus yang diperbolehkan untuk dioperasikan pada konduktor tersebut.

3.3.5 Perhitungan Temperatur Konduktor pada Kondisi *Steady-state*

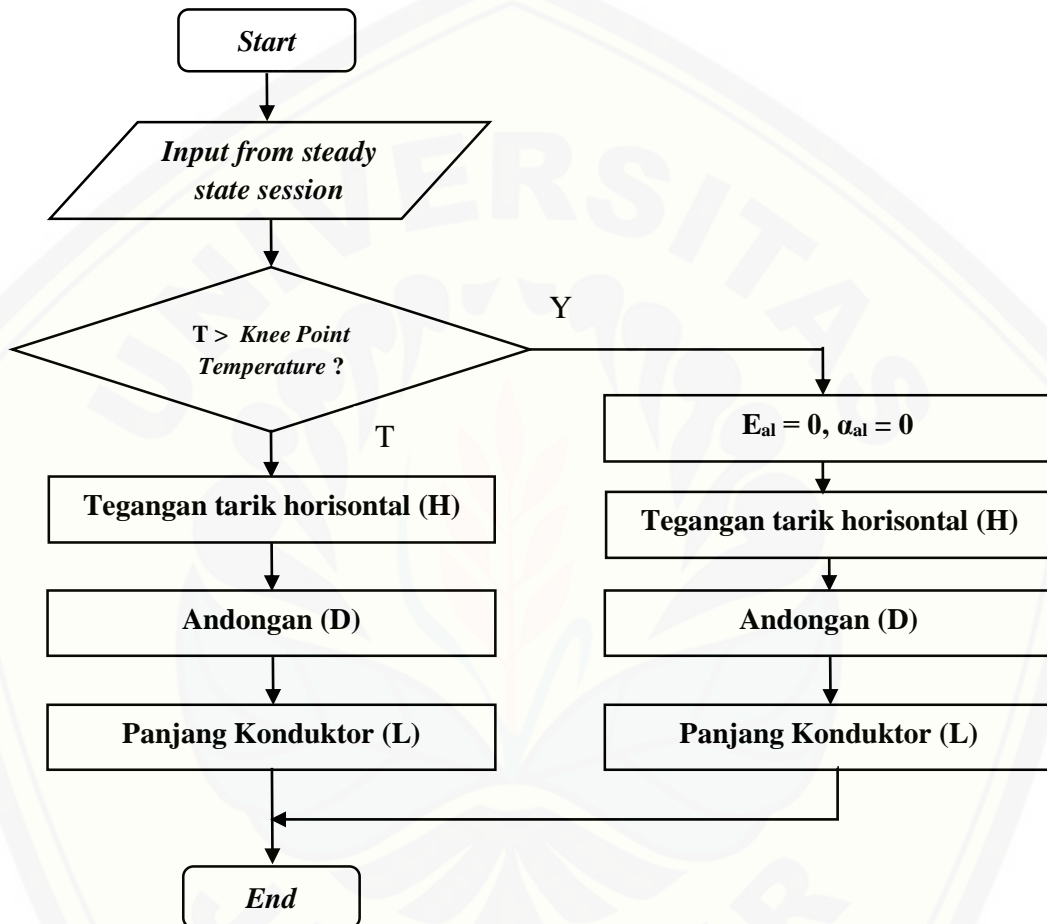
Perhitungan temperatur mengacu pada “*IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors*”



Gambar 3.3 *Flowchart* perhitungan temperatur konduktor

3.4.6 Perhitungan Karakter Mekanis Kawat Penghantar

Perhitungan karakter mekanis kawat penghantar mengacu pada buku *Transmission Line Loading : Sag Calculations and High-Temperature Conductor Technologies* (Slegers, 2011).



Gambar 3.4 *Flowchart* perhitungan karakter mekanis konduktor

Data yang digunakan dalam perhitungan karakter mekanis kawat penghantar diantaranya panjang *span* , *Young modulus*, *Coefficient of thermal expansion*, kecepatan angin, dan lainnya.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil-hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan dari penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis penggunaan konduktor HTLS untuk meningkatkan kapasitas saluran, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Meningkatnya arus saluran akan mengakibatkan kenaikan temperatur pada konduktor. Kemampuan hantar arus untuk konduktor ACSR 330 adalah 810 ampere pada temperatur kerja maksimum 90°C, sedangkan untuk ACCC Brussels mempunyai kapasitas hantar arus sebesar 1530 ampere pada temperatur kerja maksimum 200°C. Untuk konduktor ACSS mempunyai kemampuan hantar arus sebesar 1470 A pada suhu operasi maksimalnya sebesar 250 °C. Dan untuk konduktor ACCR Grossbreak mempunyai kemampuan menghantarkan arus listrik yang paling besar yaitu mencapai 1550 A pada suhu operasi maksimalnya sebesar 240 °C.
2. Konduktor HTLS yang digunakan dalam penelitian ini dapat menghantarkan arus antara 1.8 – 1.9 kali lipat jika dibandingkan dengan konduktor konvensional (ACSR).
3. Meningkatnya arus saluran akan mengakibatkan menurunnya tegangan tarik konduktor. Untuk kondisi penyaluran arus secara maksimum, konduktor ACCC memiliki tegangan tarik yang lebih tinggi dari pada konduktor lainnya yaitu sebesar 22,3 KN.
4. Peningkatan arus saluran membuat rugi-rugi listrik pada konduktor akan semakin besar. Untuk rugi – rugi daya yang dihasilkan, Konduktor ACCC

mempunyai rugi – rugi yang paling kecil dibandingkan konduktor lainya saat menghantarkan arus yang besarnya sama.

5. Meningkatnya arus saluran akan mengakibatkan panjang konduktor bertambah (terjadi pemuluran). Untuk span nomor 52 dengan panjang span 350 meter, pemuluran maksimum pada konduktor ACSR adalah 0,63 meter. Untuk konduktor ACCR mempunyai pemuluran maksimum mencapai 0,73 meter, sedangkan untuk konduktor ACSS sebesar 1,5 meter. Untuk konduktor ACCC mengalami pemanjangan paling sedikit jika dibandingkan konduktor lainya yaitu berkisar 0,55 meter.
6. Perubahan arus akan mempengaruhi temperatur konduktor dimana konduktor akan semakin memanas dan menyebabkan andongan akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur itu sendiri. Dengan mempertahankan ROW yang ada maka konduktor yang paling tepat digunakan pada saluran transmisi ini adalah konduktor ACCC Brussels 415 karena dapat beroperasi secara maksimal dengan besar andongan yang tidak melebihi batas yang ada dan rugi – rugi yang dihasilkan kecil.

5.2 Saran

Sebagai upaya pengembangan penelitian ke arah lebih baik lagi, dibawah ini terdapat saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian pada tugas akhir ini.

1. Pada penelitian ini kecepatan angin dianggap tetap, maka untuk pengembangan lebih lanjut perlu adanya penelitian yang mengamati pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap unjuk kerja mekanis konduktor.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan tentang nilai ekonomis penggunaan konduktor HTLS dibanding konduktor konvensional ACSR.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

- CTC Global. 2011. *Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC® Conductors*. United States : CTC Global.
- Deb, A K. 2000. *Powerline Ampacity System*. London : CRC Press LLC.
- Das, D. 2006. *Electrical Power System*. New Delhi : New Age International.
- Grigsby, L L. *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution 3rd Edition*. London : CRC Press LLC.
- Hutauruk, T.S. 1999. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- IEEE Power Engineering Society. *IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors*. New York : IEEE, 2013.
- PLN. 2010. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) 2010 – 2019*. Jakarta : Perusahaan Listrik Negara
- Slegers, J. 2011. *Transmission Line Loading Sag Calculations and High-Temperature Conductor Technologies*. United States : Iowa State University.
- Standar Kontruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Universitas Indonesia. 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta : PT PLN (Persero).

Jurnal

- Adams, H.W. 1974. *Steel Supported Aluminum Conductors (SSAC) for Overhead Transmission Lines*. New York : IEEE Proceedings on Power Apparatus and Systems.
- Albizu, I dan Mazón, A J. 2009. *Flexible Strain-Tension Calculation Method for Gap-type Overhead Conductors*. New York : IEEE.
- Albizu, Fernandez, Bedialauneta, Mazón, Sagastabeitia. *Tension-Temperature Behaviour of an Overhead Conductor In Operation*. New York : IEEE.
- Albizu, Mazon, Fernandez, Bedialauneta. 2011. *Overhead conductor monitoring system for the evaluation of the low sag behavior*. Spain : Univesity of the Basque Country.

- Gorur, R. 2009. *Characterization of Composite Cores for High Temperature Low Sag (HTLS) Conductors*. Arizona : PSERC.
- Guo-ju, H. 2013. *Aluminum-clad Invar super heat-resistant Aluminium alloy stranded wire Sag Calculation*. China : Pingdingshan Electric Power Design Institute.
- Larruskain, Zamora, Abarrategui, Iraolagoitia, Gutiérrez, Loroño, dan Bodega. 2006. *Power Transmission Capacity Upgrade Of Overhead Lines*. Spain : Univesity of the Basque Country.
- Mamala, Knych, Smyrak, Kwaśniewski, Kiesiewicz, Jabłoński, Ścieżor. 2014. *An analytical model for the high temperature low sag conductor knee point determination*. Polandia : AGH University of Science and Technology.
- Pelacchi, P dan Davide, P. 2015. *A Novel Thermo-Mechanical Model to Assess the Dynamic Thermal Rating of Multi-Span Overhead Transmission Lines*. Italy : University of Pisa.
- Pouckovic, B dan Djurisc, Z. 2011. *Current carrying capacity of overhead line that connects wind power plant to the grid*. New York : IEEE.
- Shyamali, K K. *Clearance To Buildings From Overhead Transmission Lines*. Sri Lanka : University of Moratuwa.
- Suprihadi. 2007. *Analisis Unjuk Kerja Mekanis Konduktor ACCR Akibat Perubahan Arus Saluran*. Jurnal Teknik Elektro Vol. 7.
- Yasaranga, H B D. *Techno Economic Analysis On The Use Of HTLS Condutors For Sri Lanka's Transmission System*. Sri Lanka : University of Moratuwa.
- Zamora, Mazón, Criado, Alonso, dan Saenz. 2001. *Uprating Using High-Temperature Electrical Conductors*. Spain : University of the Basque Country.

Internet

- 3M. 2003. *Conductor and Accessory Testing - Aluminum Conductor Composite Reinforced (ACCR) Technical Notebook*. United State : 3M Centre.
- 3M. 2014. *Protecting Grid Integrity - Aluminum Conductor Composite Reinforced (ACCR) High Capacity Conductor*. United State : 3M Centre.

Clairmont, B. 2008. *High-Temperature Low-Sag Conductors*. http://www.energy.ca.gov/research/notices/2008-09-11_colloquium/presentations/10_High-Temperature_Low-Sag_Conductors.pdf [26 Desember 2015].

KMI Wire & Cable. 2015. *ACCC/TW ACCC/TW (Aluminium Conductor Composite Core / Trapezoidal Wires) Datasheet*. http://files.kabelmetal-indonesia.com/contents/Bare_Conductor/ACCC/ACCC_TW.pdf [26 Desember 2015]

Sitorus, A. J. 2011. *Pengaruh Annealing Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon dan Besi Tuang*. <http://ardilesjeremia.blogspot.co.id/2011/08/first-post.html> [26 Desember 2015].

Southwire. 2015. *ACSS*. http://www.southwire.com/Product_Catalog/XTEInterfaceServlet?contentKey=prodcatsheet28 [26 Desember 2015]

U.S Department Of Energy. *Composite-Reinforced Aluminum Conductor*. <http://energy.gov/eere/amo/composite-reinforced-aluminum-conductor> [26 Desember 2015].

Wuxi Jiangnan Cable. *AAAC-All Aluminum Alloy Conductor Aerial Cable ASTM B399*. http://www.guoyucable.com/sell-aaac_all_aluminum_alloy_conductor_aerial_cable_astm_b399-2151233.html [26 Desember 2015].

Zhengzhou Cable Technology. *AAAC-All Aluminium Alloy Conductor*. <http://www.zhengzhoucable.cn/aluminum-conductor/aaac.html> [26 Desember 2015].

Peraturan Perundang-undangan

Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral. 2015. *Peraturan menteri ESDM nomor 18 tahun 2015 mengenai Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, Dan Saluran Udara Tegangan Tinggi Arus Searah untuk Penyaluran Tenaga Listrik*. Republik Indonesia : Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral.

Perhitungan Kapasitas Hantar Arus Maksimal Konduktor ACCC Brussels**415**

Diameter Konduktor (D_0)	= 25.14 mm = 0.2514 m
Temperatur Konduktor (T_s)	= 100 °C
Temperatur Konduktor (T_a)	= 30 °C
Kecepatan Angin (V_w)	= 4 km/j = 1.2 m/s
Ketinggian diatas laut (H_e)	= 248 m
Tipe Atmosfer	= bersih
Lintang tempat (Lat)	= -7.9330
Sun Time (t_{solar})	= 13
Daya Serap konduktor (α)	= 0.5
Emissivity (ϵ)	= 0.5

Perhitungan Penyebaran Panas Yang Disebabkan Konveksi

Menghitung Besarnya T_{film} dengan persamaan (7) :

$$T_{film} = \frac{T_s - T_a}{2} = \frac{200 - 30}{2} = 115$$

Besarnya viskositas udara (μ_f), viskositas udara (μ_f), dan koefisien konduktivitas termal udara (k_f) dihitung dengan persamaan (8)(9)(10) :

$$\mu_f = \frac{1.458 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{film} + 273)^{1.5}}{T_{film} + 383.4} = \frac{1.458 \cdot 10^{-6} \cdot (115 + 273)^{1.5}}{115 + 383.4} = 2.2358 \cdot 10^{-6}$$

$$\rho_f = \frac{1.293 - 1.525 \cdot 10^{-4} \cdot H_e + 6.397 \cdot 10^{-9} \cdot H_e^2}{1 + 0.00367 \cdot T_{film}}$$

$$= \frac{1.293 - 1.525 \cdot 10^{-4} \cdot 248 + 6.397 \cdot 10^{-9} \cdot H_e^2}{1 + 0.00367 \cdot 115}$$

$$= 0.8831$$

$$k_f = 2.424 \cdot 10^{-2} + 7.477 \cdot 10^{-5} \cdot T_{film} - 4.407 \cdot 10^{-9} \cdot T_{film}^2$$

$$= 2.424 \cdot 10^{-2} + 7.477 \cdot 10^{-5} \cdot 115 - 4.407 \cdot 10^{-9} \cdot 115^2$$

$$= 0.0328$$

Kemudian menghitung besarnya nilai penyebaran panas melalui konveksi secara umum merupakan fungsi dari bilangan Reynolds pada persamaan (6) :

$$N_{Re} = \frac{D_0 \cdot \rho_f \cdot V_w}{\mu_f} = \frac{0.0251 \cdot 0.8831 \cdot 1.2}{2.2358 \cdot 10^{-6}} = 1.1916 \cdot 10^3$$

Menghitung besarnya K_{angle} yang merupakan faktor pergerakan arah angin terhadap konduktor seperti pada persamaan (4) :

$$\begin{aligned} K_{angle} &= 1.1.94 - \cos(\emptyset) + 0.194 \cos(2\emptyset) + 0.368 \sin(2\emptyset) \\ &= 1.1.94 - \cos(22.5) + 0.194 \cos(2 \cdot 22.5) + 0.368 \sin(2 \cdot 22.5) \\ &= 0.6675 \end{aligned}$$

Penyebaran panas secara konveksi paksa ($V_w > 0$) dihitung menggunakan persamaan (2) dan (3) :

$$\begin{aligned} q_{cf1} &= K_{angle} \cdot [1.01 + 1.35 \cdot N_{Re}^{0.5}] \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \\ &= 0.6675 \cdot [1.01 + 1.35 \cdot 1.1916 \cdot 10^3^{0.5}] \cdot 0.0328 \cdot (200 - 300) \\ &= 203.4836 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{cf2} &= K_{angle} \cdot 0.754 \cdot N_{Re}^{0.6} \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \\ &= 0.6675 \cdot 0.754 \cdot 1.1916 \cdot 10^3^{0.6} \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \\ &= 196.5906 \end{aligned}$$

standar ini merekomendasikan perhitungan penyebaran panas dilakukan dengan menggunakan kedua persamaan (2)(3) dan mengambil nilai yang paling besar diantara kedua perhitungan tersebut. Maka dari itu hasil perhitungan penyebaran panas secara konveksi adalah sebesar 203.4836 W/m

Perhitungan Penyebaran Panas Yang Disebabkan Radiasi

Penyebaran panas secara radiasi dapat dihitung dengan persamaan (11) :

$$q_r = 17.8 \cdot D_0 \cdot \left[\left(\frac{T_s + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right]$$

$$= 17.8 \cdot 0.0251 \cdot \left[\left(\frac{200 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{30 + 273}{100} \right)^4 \right] = 93.1360 \text{ W/m}$$

Perhitungan Penyerapan Panas Dari Sinar Matahari

Untuk menghitung ketinggian matahari (*solar altitude*), Nomor hari dalam satu tahun (N) harus ditentukan. Untuk nomor hari pada tanggal 15 Juni adalah :

$$N = 31 + 29 + 31 + 30 + 31 + 15 = 16$$

Kemudian menentukan besarnya deklinasi matahari dengan persamaan (16) :

$$\delta = 23.46 \cdot \sin \left[\frac{284 + N}{365} \cdot 360 \right] = 23.46 \cdot \sin \left[\frac{284 + 167}{365} \cdot 360 \right]$$

$$= 23.46 \cdot 0.9959 = 23.3643$$

Sudut jam (*hour angle*) yang dilambangkan ω merupakan sudut ditempuh yang sejak bumi berotasi mulai dari siang hari dihitung menggunakan persamaan (15) :

$$\omega = (15^\circ)(t_{\text{solar}} - 12)$$

$$= (15^\circ)(13 - 12)$$

$$= 15^\circ$$

ketinggian matahari (*solar altitude*) pada kondisi lintang -7.9330 , deklinasi matahari sebesar 23.3643 dan Sudut jam (*hour angle*) sebesar 15° dapat dihitung dengan persamaan (14) :

$$H_c = \arcsin[\cos(\text{Lat}) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\text{Lat}) \cdot \sin(\delta)]$$

$$= \arcsin[\cos(-7.9330) \cdot \cos(23.3643) \cdot \cos(15) + \sin(-7.9330) \cdot \sin(23.3643)]$$

$$= 55.4370$$

Total fluks panas yang diterima oleh permukaan pada ketinggian dari permukaan laut, Q_s tergantung pada ketinggian matahari dan kejernihan atmosfer dan Q_s dapat dihitung dengan persamaan (19) :

$$\begin{aligned} Q_s &= A+B \cdot H_c+C \cdot H_c^2+D \cdot H_c^3+E \cdot H_c^4+F \cdot H_c^5+G \cdot H_c^6 \\ &= -42.2391+63.8044 \cdot 55.4370-1.922 \cdot 55.4370^2+0.034692 \\ &\quad \cdot 55.4370^3-3.6112 \cdot 10^{-4} \cdot 55.4370^4+1.9432 \cdot 10^{-6} \cdot 55.4370^5 \\ &\quad -4.0761 \cdot 10^{-4} \cdot 55.4370^6 \\ &= 987.0230 \text{ w/m}^2 \end{aligned}$$

Intensitas panas matahari pada permukaan bumi dapat dikoreksi dengan memperhitungkan ketinggiannya dengan menggunakan persamaan (20) :

$$\begin{aligned} K_{\text{solar}} &= A+B \cdot H_e+C \cdot H_e^2 \\ &= A+1.148 \cdot 10^{-4} \cdot 248-1.108 \cdot 10^{-4} \cdot 248^2= 1.0278 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{se}} &= K_{\text{solar}} \times Q_s \\ &= 1.0278 \times 987.0230=1014.5 \text{ w/m}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung azimuth matahari dimana untuk menghitungnya, pertama harus menghitung variabel azimuth matahari (χ) terlebih dahulu dengan persamaan (18) :

$$\begin{aligned} \chi &= \frac{\sin(\omega)}{\sin(\text{Lat}) \cdot \cos(\omega)-\cos(\text{Lat}) \cdot \tan(\delta)} \\ &= \frac{\sin(15)}{\sin(-7.9330) \cdot \cos(15)-\cos(-7.9330) \cdot \tan(23.3643)} = -0.4612 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.2, dengan besar variabel azimuth matahari (χ) yang lebih kecil dibanding 0, dan juga sudut jam matahari (*hour angle*) pada pukul 1 PM sebesar 15 derajat, maka besarnya Azimuth matahari konstan (C) adalah 360 derajat. Setelah mendapatkan nilai variabel azimuth matahari (χ) dan Azimuth matahari konstan (C) , besarnya sudut azimuth matahari dapat ditentukan dengan persamaan (17) :

$$Z_c = 360 + \arctan(-0.4612) = 335.2405$$

Sudut antara bertemunya sinar matahari dengan konduktor dihitung dengan persamaan (13) :

$$\begin{aligned}\theta &= \arccos[\cos(H_c) \cdot \cos(Z_c - Z_1)] \\ &= \arccos[\cos(55.4370) \cdot \cos(335.2405 - 90)] = 76.2553\end{aligned}$$

Terahir menghitung besarnya energi matahari yang dapat diserap oleh konduktor dengan persamaan (12) :

$$\begin{aligned}q_s &= \alpha \cdot Q_{se} \cdot \sin(\theta) \cdot D_0 \\ &= 0.5 \cdot 1014.5 \cdot \sin(76.2553) \cdot 0.0251 \\ &= 12.3865 \text{ W/m}\end{aligned}$$

Perhitungan Resistansi Konduktor Pada Temperatur 200° C

$$\begin{aligned}R_{(T_s)} &= \left[\frac{R(T_{high}) - R(T_{low})}{T_{high} - T_{low}} \right] (T_s - T_{low}) + R(T_{low}) \\ &= \left[\frac{8.4100 \cdot 10^{-5} - 6.9400 \cdot 10^{-5}}{75 - 25} \right] (200 - 25) + 6.9400 \cdot 10^{-5} \\ &= 1.2058 \cdot 10^{-4} \Omega/\text{m}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dari variabel panas baik yang penyerapan maupun juga penyebaran panas dirangkum sebagai berikut:

$$\begin{aligned}q_s &= 12.3865 \text{ W/m} & q_r &= 93.1360 \text{ W/m} \\ R(200^\circ\text{C}) &= 1.2058 \cdot 10^{-4} \Omega/\text{m} & q_c &= 203.4836 \text{ W/m}\end{aligned}$$

dengan menggunakan persamaan (22), kemudian dihitung besarnya kapasitas hantar arus sebagai berikut :

$$I = \sqrt{\frac{q_c + q_r - q_s}{R(T_s)}} = \sqrt{\frac{203.4836 + 93.1360 - 12.3865}{1.2058 \cdot 10^{-4}}} = \sqrt{\frac{284.2331}{1.2058 \cdot 10^{-4}}} = 1.5336 \cdot 10^3$$

Perhitungan Karakter Mekanis Konduktor ACCC Bruseels 415 pada T = 138.67 °C

Diameter Konduktor (D_c)	= 25.14 mm
Temperatur Konduktor (T_s)	= 138.67 °C
Temperatur Lingkungan (T_a)	= 30 °C
Kecepatan Angin (V_w)	= 4 km/j = 1.2 m/s
Span (meter)	= [350 300 300 300 300 300 300 300 300 350 350]
Berat Konduktor (w)	= 1264.7 kg/km
Modulus inti (E_{core})	= 117000 MPa
Modulus total (E)	= 74220.45 Mpa
CTE inti (α_{core})	= $1.61 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
CTE total (α)	= $19.33 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Creep (ϵ_c)	= 0
Rated Breaking Stress (RTS)	= 122100 N
Tegangan tarik awal (H_0)	= 50 % x RTS = 61050 N

Perhitungan Span Ekvivalen

Metode *ruling span* berguna untuk menghitung andongan dan tegangan tarik pada struktur dua *dead end* yang terdiri atas multi span yang berjarak tak sama. Pada perhitungan ini terdapat 11 span yang disederhanakan menjadi sebuah span dengan metode *ruling span* seperti pada persamaan

$$L_e = \sqrt{\frac{L_1^3 + L_2^3 + L_3^3 + \dots + L_n^3}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}}$$

$$L_e = \sqrt{\frac{350^3 + 300^3 + 300^3 + 300^3 + 300^3 + 300^3 + 300^3 + 300^3 + 300^3 + 350^3 + 350^3}{350 + 300 + 300 + 300 + 300 + 300 + 300 + 300 + 300 + 350 + 350}}$$

$$L_e = \sqrt{\frac{344625000}{3450}} = \sqrt{\frac{344625000}{3450}} = 316.0559 \text{ m}$$

Perhitungan Pengaruh Angin dan Es terhadap Konduktor

Tekanan Angin (25)

$$p = 0.5 \times 1.25 \times V_w^2 = 0.5 \times 1.25 \times 1.2^2 = 0.9$$

Karena konduktor tidak diselimuti es, maka berat konduktor dihitung dengan persamaan (26) :

$$w_w = \frac{(d_c)}{100} \times p = \frac{25.14}{100} \times 0.9 = 0.0226$$

Berat total dari konduktor yang diakibatkan oleh pengaruh es maupun angin dapat dihitung menggunakan persamaan (28) :

$$w_e = \sqrt{w_w^2 + (w + w_i)^2} + K_f = \sqrt{0.0226^2 + (w + 0)^2} + 0.71 = 1.3359 \text{ Kg/m}$$

Perhitungan Nilai Knee Point Temperature

KPT (*Knee Point Temperature*) dapat dicari dengan menggunakan persamaan (38)

$$(T - T_F)^3 + (T - T_F)^2 \left[\frac{2(\epsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E})}{\alpha_E - \alpha} + \frac{(\epsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E})}{\alpha_E} - \frac{(\frac{\sigma_1}{E} + \alpha(T_1 - T_F) - \frac{w^2 l^2}{24 \sigma_1^2}) (\epsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E})}{\alpha_E} \right] +$$

$$(T - T_F) \left[\frac{(\epsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E})^2}{(\alpha_E - \alpha)^2} + \frac{2(\epsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E})}{\alpha_E (\alpha_E - \alpha)} - \frac{2(\frac{\sigma_1}{E} + \alpha(T_1 - T_F) - \frac{w^2 l^2}{24 \sigma_1^2}) (\epsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E})}{\alpha_E (\alpha_E - \alpha)} \right] +$$

$$\frac{(\epsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E})^3}{\alpha_E (\alpha_E - \alpha)^2} - \frac{\frac{w^2 l^2}{24}}{\alpha_E E (\alpha_E - \alpha)^2} - \frac{(\frac{\sigma_1}{E} + \alpha(T_1 - T_F) - \frac{w^2 l^2}{24 \sigma_1^2}) (\epsilon_T + \frac{\sigma_E}{E_E})^2}{\alpha_E (\alpha_E - \alpha)}$$

Dengan memasukan besar nilai masing masing variabel dan menghitungnya maka akan didapatkan persamaan polinomial orde 3 seperti berikut ini :

$$(T - T_F)^3 + 471.7473 \cdot (T - T_F)^2 - 1.9803 \cdot 10^4 \cdot (T - T_F) - 3.7168 \cdot 10^{11} = 0$$

Dengan menggunakan metode pendekatan Newton-Raphson didapatkan nilai H sebesar $7.0370 \cdot 10^3$ dan temperature *knee point* dapat dihitung sebagai berikut :

$$T = \frac{H}{E_{core} \cdot A_{core} (\alpha_{al} - \alpha_{core})} + T_F$$

$$T = \frac{7.0370 \cdot 10^3}{117000 \cdot 51.9(23 \cdot 10^{-6} - 1.61 \cdot 10^{-6})} + 30$$

$$= 84.1524^\circ \text{C}$$

Perhitungan Tegangan Tarik Horizontal Konduktor

$$A_1 \cdot H_{\text{knee}}^3 + A_2 \cdot H_{\text{knee}}^2 + A_3 \cdot H_{\text{knee}} = A_4$$

Mencari besar tegangan tarik horisontal konduktor pada saat temperature knee point

$$A_1 = \left(1 + \frac{w^2 l^2}{24 H_0^2}\right) (1 + \alpha_T \times (T - T_0)) \left(\frac{1}{E A}\right)$$

$$= \left(1 + \frac{1.3359^2 316.0559^2}{24 \cdot 6.2253 \cdot 10^3}\right) (1 + 19.33 \cdot 10^{-6} \times (84.152 - 30)) \left(\frac{1}{74220.45 \cdot 477.2}\right)$$

$$= 2.8269 \cdot 10^{-8}$$

$$A_2 = \left(1 + \frac{w^2 l^2}{24 H_0^2}\right) (1 + \alpha_T \times (T - T_0)) \left(1 - \frac{H_0}{E A} + \epsilon_C\right) - 1$$

$$= \left(1 + \frac{1.3359^2 316.0559^2}{24 \cdot 6.2253 \cdot 10^3}\right) (1 + 19.33 \cdot 10^{-6} \times (84.152 - 30)) \left(1 - \frac{6.2253 \cdot 10^3}{74220.45 \cdot 477.2} + 0\right) - 1$$

$$= 0.0011$$

$$A_3 = 0$$

$$A_4 = \left(\frac{w^2 l^2}{24}\right) = \left(\frac{1.2647^2 316.0559^2}{24}\right) = 6.6572 \cdot 10^3$$

Maka persamaan polinomial yang terbentuk adalah sebagai berikut :

$$2.8269 \cdot 10^{-8} \cdot H_{\text{knee}}^3 + 0.0011 \cdot H_{\text{knee}}^2 + 0 \cdot H_{\text{knee}} = 6.6572 \cdot 10^3$$

Dengan menggunakan metode pendekatan Newton-Raphson didapatkan nilai tegangan tarik horisontal pada saat temperature knee point

$$H_{\text{knee}} = 2.4259 \cdot 10^3$$

Mencari besar tegangan tarik horisontal konduktor pada temperatur 138.67 ° C

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \left(1 + \frac{1.3359^2 \cdot 316.0559^2}{24 \cdot 6.2253 \cdot 10^{3^2}}\right) (1 + 19.33 \cdot 10^{-6} \times (84.152 - 30) + 1.61 \\
 &\quad \cdot 10^{-6} \times (130 - 84.152)) \left(\frac{1}{117000 \cdot 55.8}\right) \\
 &= 1.5338 \cdot 10^{-7} \\
 A_2 &= \left(1 + \frac{w^2 l^2}{24 H_0^2}\right) (1 + \alpha_T \times (T_{knee} - T_0) + \alpha_{core} \times (T - T_{knee})) \\
 &\quad \left(1 + \frac{H_{knee} - H_0}{E A} - \frac{H_{knee}}{E_{core} A_{core}} + \epsilon_C\right) - 1 \\
 &= \left(1 + \frac{1.3359^2 \cdot 316.0559^2}{24 \cdot 6.2253 \cdot 10^{3^2}}\right) (1 + 19.33 \cdot 10^{-6} \times (84.152 - 30) + 1.61 \\
 &\quad \cdot 10^{-6} \times (130 - 84.152)) \left(1 + \frac{2.4259 \cdot 10^3 - 6.2253 \cdot 10^3}{74220.45 A \cdot 477.2}\right) \\
 &\quad \left(-\frac{2.4259 \cdot 10^3}{117000 \cdot 55.8} + 0\right) - 1 \\
 &= 8.4694 \cdot 10^{-4}
 \end{aligned}$$

$$A_3 = 0$$

$$A_4 = \left(\frac{w^2 l^2}{24}\right) = \left(\frac{1.2647^2 \cdot 316.0559^2}{24}\right) = 6.6572 \cdot 10^3$$

Maka persamaan polinomial yang terbentuk adalah sebagai berikut :

$$1.5338 \cdot 10^{-7} \cdot H_{knee}^3 + 8.4694 \cdot 10^{-4} \cdot H_{knee}^2 + 0 \cdot H_{knee} = 6.6572 \cdot 10^3$$

Dengan menggunakan metode pendekatan Newton-Raphson didapatkan nilai tegangan tarik horisontal pada saat temperature 138.67 ° C sebagai berikut :

$$H = 2.3484 \cdot 10^3$$

Setelah didapatkan nilai tegangan tarik horisontal dari konduktor, kemudian dapat dihitung besar andongan, pemuluran, dan tegangan tarik pada masing – masing span dengan menggunakan persamaan (35)(36)(37) :

Untuk span tower No.52, 61, dan 62 dengan panjang span sebesar 350 m besarnya andongan, pemuluran, dan tegangan tarik sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 T_{138.67^{\circ}} &= H_{138.67^{\circ}} + \frac{w^2 \cdot l^2}{8 \cdot H_{138.67^{\circ}}} & L_{138.67^{\circ}} &= L + \frac{w^2 l^3}{24 \cdot H_{138.67^{\circ}}^2} \\
 &= 2.3484 \cdot 10^3 & &= 350 + \frac{1.2647^2 \cdot 350^3}{24 \cdot 2.3484 \cdot 10^3} \\
 &+ \frac{1.2647^2 \cdot 350^2}{8 \cdot 2.3484 \cdot 10^3} & &= 350.5181 \text{ m} \\
 &= 23.1321 \cdot 10^3 \text{ N} & &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{138.67^{\circ}} &= \frac{w l^2}{8 \cdot H_{138.67^{\circ}}} \\
 &= \frac{1.2647 \cdot 350^2}{8 \cdot 2.3484 \cdot 10^3} \\
 &= 8.2464 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Untuk span tower No.53 - 60 dengan panjang span sebesar 300 m besarnya andongan, pemuluran, dan tegangan tarik sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 T_{138.67^{\circ}} &= H_{138.67^{\circ}} + \frac{w^2 \cdot l^2}{8 \cdot H_{138.67^{\circ}}} & L_{138.67^{\circ}} &= L + \frac{w^2 l^3}{24 \cdot H_{138.67^{\circ}}^2} \\
 &= 2.3484 \cdot 10^3 & &= 350 + \frac{1.2647^2 \cdot 300^3}{24 \cdot 2.3484 \cdot 10^3} \\
 &+ \frac{1.2647^2 \cdot 300^2}{8 \cdot 2.3484 \cdot 10^3} & &= 300.3263 \text{ m} \\
 &= 23.1050 \cdot 10^3 \text{ N} & &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{138.67^{\circ}} &= \frac{w l^2}{8 \cdot H_{138.67^{\circ}}} \\
 &= \frac{1.2647 \cdot 300^2}{8 \cdot 2.3484 \cdot 10^3} \\
 &= 6.0586 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Hasil Perhitungan Temperatur, Andongan dan Tegangan Tarik Konduktor ACCC Pada Tower No.52, 61, dan 62 (Span : 350 m)					
Arus (A)	Suhu (der.C)	Teg. Tarik Kon (KN)	Panjang Kon. (m)	Andongan (m)	Rugi kW/km
30	38.493	45.427	300.084	3.074	0.066
60	38.627	45.271	300.085	3.085	0.264
90	38.852	45.013	300.086	3.102	0.595
120	39.167	44.658	300.087	3.127	1.059
150	39.572	44.211	300.089	3.159	1.658
180	40.07	43.677	300.091	3.197	2.392
210	40.66	43.065	300.093	3.243	3.264
240	41.343	42.383	300.097	3.295	4.274
270	42.122	41.639	300.1	3.354	5.426
300	42.997	40.841	300.104	3.42	6.722
330	43.969	40.001	300.108	3.492	8.165
360	45.042	39.124	300.113	3.57	9.758
390	46.212	38.224	300.119	3.655	11.504
420	47.486	37.304	300.125	3.745	13.408
450	48.864	36.374	300.131	3.841	15.474
480	50.35	35.438	300.138	3.943	17.707
510	51.946	34.504	300.146	4.05	20.111
540	53.655	33.575	300.154	4.162	22.694
570	55.48	32.655	300.163	4.28	25.459
600	57.424	31.75	300.172	4.402	28.416
630	59.49	30.861	300.182	4.529	31.569
660	61.681	29.991	300.193	4.661	34.928
690	64.003	29.142	300.205	4.798	38.501
720	66.457	28.315	300.217	4.938	42.295
750	69.05	27.511	300.23	5.083	46.322
780	71.784	26.73	300.243	5.233	50.591
810	74.664	25.974	300.258	5.386	55.113
840	77.695	25.241	300.273	5.543	59.900
870	80.881	24.533	300.289	5.704	64.964
900	84.228	23.861	300.306	5.865	70.318
930	87.74	23.811	300.307	5.878	75.977
960	91.422	23.758	300.308	5.891	81.956
990	95.28	23.703	300.31	5.905	88.270
1020	99.318	23.645	300.311	5.919	94.936
1050	103.541	23.586	300.313	5.934	101.971
1080	107.955	23.524	300.315	5.95	109.395

1110	112.563	23.46	300.316	5.966	117.226
1140	117.371	23.393	300.318	5.983	125.485
1170	122.382	23.325	300.32	6.001	134.193
1200	127.6	23.254	300.322	6.02	143.372
1230	133.029	23.18	300.324	6.039	153.045
1260	138.67	23.105	300.326	6.059	163.235
1290	144.527	23.027	300.328	6.079	173.966
1320	150.6	22.947	300.331	6.1	185.263
1350	156.89	22.866	300.333	6.122	197.150
1380	163.396	22.782	300.336	6.145	209.652
1410	170.116	22.696	300.338	6.169	222.794
1440	177.049	22.636	350.541	8.429	236.602
1470	184.191	22.547	350.546	8.462	251.101
1500	191.537	22.456	350.550	8.497	266.314
1530	199.081	22.364	350.555	8.532	282.265

Hasil Perhitungan Temperatur, Andongan dan Tegangan Tarik					
Konduktor ACCC Pada Tower No.53 - 60 (Span : 300 m)					
Arus (A)	Suhu (der.C)	Teg. Tarik Kon (KN)	Panjang Kon. (m)	Andongan (m)	Rugi kW/km
30	38.493	45.427	300.084	3.074	0.066
60	38.627	45.271	300.085	3.085	0.264
90	38.852	45.013	300.086	3.102	0.595
120	39.167	44.658	300.087	3.127	1.059
150	39.572	44.211	300.089	3.159	1.658
180	40.070	43.677	300.091	3.197	2.392
210	40.660	43.065	300.093	3.243	3.264
240	41.343	42.383	300.097	3.295	4.274
270	42.122	41.639	300.100	3.354	5.426
300	42.997	40.841	300.104	3.420	6.722
330	43.969	40.001	300.108	3.492	8.165
360	45.042	39.124	300.113	3.570	9.758
390	46.212	38.224	300.119	3.655	11.504
420	47.486	37.304	300.125	3.745	13.408
450	48.864	36.374	300.131	3.841	15.474
480	50.350	35.438	300.138	3.943	17.707
510	51.946	34.504	300.146	4.050	20.111
540	53.655	33.575	300.154	4.162	22.694
570	55.480	32.655	300.163	4.280	25.459

600	57.424	31.750	300.172	4.402	28.416
630	59.490	30.861	300.182	4.529	31.569
660	61.681	29.991	300.193	4.661	34.928
690	64.003	29.142	300.205	4.798	38.501
720	66.457	28.315	300.217	4.938	42.295
750	69.050	27.511	300.230	5.083	46.322
780	71.784	26.730	300.243	5.233	50.591
810	74.664	25.974	300.258	5.386	55.113
840	77.695	25.241	300.273	5.543	59.900
870	80.881	24.533	300.289	5.704	64.964
900	84.228	23.861	300.306	5.865	70.318
930	87.740	23.811	300.307	5.878	75.977
960	91.422	23.758	300.308	5.891	81.956
990	95.280	23.703	300.310	5.905	88.270
1020	99.318	23.645	300.311	5.919	94.936
1050	103.541	23.586	300.313	5.934	101.971
1080	107.955	23.524	300.315	5.950	109.395
1110	112.563	23.460	300.316	5.966	117.226
1140	117.371	23.393	300.318	5.983	125.485
1170	122.382	23.325	300.320	6.001	134.193
1200	127.600	23.254	300.322	6.020	143.372
1230	133.029	23.180	300.324	6.039	153.045
1260	138.670	23.105	300.326	6.059	163.235
1290	144.527	23.027	300.328	6.079	173.966
1320	150.600	22.947	300.331	6.100	185.263
1350	156.890	22.866	300.333	6.122	197.150
1380	163.396	22.782	300.336	6.145	209.652
1410	170.116	22.696	300.338	6.169	222.794
1440	177.049	22.608	300.341	6.193	236.602
1470	184.191	22.519	300.344	6.217	251.101
1500	191.537	22.428	300.346	6.243	266.314
1530	199.081	22.336	300.349	6.269	282.265

Hasil Perhitungan Temperatur, Andongan dan Tegangan Tarik Konduktor ACSR Pada Tower No.52, 61, dan 62 (Span : 350 m)					
Arus (A)	Suhu (der.C)	Teg. Tarik Kon (KN)	Panjang Kon. (m)	Andongan (m)	Rugi kW/km
30	38.526	42.354	350.167	4.687	0.089

50	38.634	42.246	350.168	4.699	0.249
70	38.795	42.085	350.170	4.717	0.488
90	39.011	41.872	350.171	4.741	0.807
110	39.280	41.610	350.173	4.771	1.206
130	39.605	41.299	350.176	4.807	1.687
150	39.984	40.944	350.179	4.849	2.249
170	40.418	40.547	350.183	4.896	2.893
190	40.908	40.109	350.187	4.950	3.620
210	41.454	39.635	350.191	5.009	4.432
230	42.057	39.128	350.196	5.074	5.327
250	42.717	38.591	350.202	5.145	6.309
270	43.435	38.028	350.208	5.222	7.378
290	44.212	37.442	350.214	5.304	8.536
310	45.048	36.838	350.221	5.391	9.783
330	45.944	36.217	350.229	5.484	11.121
350	46.902	35.583	350.237	5.582	12.553
370	47.919	34.941	350.246	5.685	14.079
390	48.997	34.293	350.256	5.793	15.702
410	50.138	33.641	350.266	5.905	17.424
430	51.344	32.988	350.276	6.023	19.246
450	52.616	32.334	350.288	6.145	21.172
470	53.954	31.684	350.300	6.272	23.203
490	55.360	31.038	350.312	6.403	25.343
510	56.835	30.398	350.326	6.539	27.593
530	58.380	29.766	350.340	6.679	29.958
550	59.997	29.142	350.355	6.822	32.440
570	61.688	28.527	350.370	6.970	35.042
590	63.453	27.923	350.386	7.122	37.768
610	65.294	27.331	350.404	7.278	40.621
630	67.214	26.749	350.421	7.437	43.606
650	69.213	26.180	350.440	7.600	46.726
670	71.292	25.623	350.460	7.766	49.985
690	73.455	25.079	350.480	7.936	53.389
710	75.703	24.547	350.501	8.110	56.941
730	78.037	24.028	350.523	8.286	60.647
750	80.459	23.522	350.546	8.466	64.511
770	82.971	23.029	350.570	8.649	68.540
790	85.575	22.548	350.595	8.836	72.738
810	88.274	22.080	350.621	9.025	77.112

Hasil Perhitungan Temperatur, Andongan dan Tegangan Tarik					
Konduktor ACSR Pada Tower No.53 - 60 (Span : 300 m)					
Arus (A)	Suhu (der.C)	Teg. Tarik Kon (KN)	Panjang Kon. (m)	Andongan (m)	Rugi kW/km
30	38.526	42.338	300.105	3.443	0.089
50	38.634	42.229	300.106	3.452	0.249
70	38.795	42.069	300.107	3.465	0.488
90	39.011	41.856	300.108	3.483	0.807
110	39.280	41.594	300.109	3.505	1.206
130	39.605	41.283	300.111	3.531	1.687
150	39.984	40.928	300.113	3.562	2.249
170	40.418	40.530	300.115	3.597	2.893
190	40.908	40.092	300.118	3.637	3.620
210	41.454	39.618	300.120	3.680	4.432
230	42.057	39.110	300.124	3.728	5.327
250	42.717	38.574	300.127	3.780	6.309
270	43.435	38.010	300.131	3.836	7.378
290	44.212	37.424	300.135	3.897	8.536
310	45.048	36.819	300.139	3.961	9.783
330	45.944	36.198	300.144	4.029	11.121
350	46.902	35.564	300.149	4.101	12.553
370	47.919	34.921	300.155	4.177	14.079
390	48.997	34.273	300.161	4.256	15.702
410	50.138	33.621	300.167	4.339	17.424
430	51.344	32.967	300.174	4.425	19.246
450	52.616	32.313	300.181	4.515	21.172
470	53.954	31.663	300.189	4.608	23.203
490	55.360	31.016	300.197	4.704	25.343
510	56.835	30.376	300.205	4.804	27.593
530	58.380	29.743	300.214	4.907	29.958
550	59.997	29.119	300.223	5.012	32.440
570	61.688	28.504	300.233	5.121	35.042
590	63.453	27.899	300.243	5.233	37.768
610	65.294	27.306	300.254	5.347	40.621
630	67.214	26.724	300.265	5.464	43.606
650	69.213	26.154	300.277	5.584	46.726
670	71.292	25.596	300.289	5.706	49.985
690	73.455	25.051	300.302	5.831	53.389
710	75.703	24.519	300.316	5.958	56.941
730	78.037	24.000	300.329	6.088	60.647

750	80.459	23.493	300.344	6.220	64.511
770	82.971	22.999	300.359	6.355	68.540
790	85.575	22.518	300.375	6.491	72.738
810	88.274	22.049	300.391	6.631	77.112

Hasil Perhitungan Temperatur, Andongan dan Tegangan Tarik					
Konduktor ACSS Pada Tower No.52, 61, dan 62 (Span : 350 m)					
Arus (A)	Suhu (der.C)	Teg. Tarik Kon (KN)	Panjang Kon. (m)	Andongan (m)	Rugi kW/km
30	38.507	36.915	350.214	5.302	0.082
60	38.675	36.798	350.216	5.319	0.330
90	38.955	36.605	350.218	5.347	0.743
120	39.348	36.338	350.221	5.387	1.323
150	39.855	36.000	350.225	5.437	2.072
180	40.478	35.596	350.230	5.499	2.993
210	41.218	35.131	350.237	5.572	4.087
240	42.077	34.610	350.244	5.657	5.359
270	43.057	34.039	350.252	5.752	6.813
300	44.162	33.424	350.261	5.858	8.453
330	45.395	32.771	350.272	5.975	10.285
360	46.753	32.089	350.284	6.103	12.315
390	48.244	31.382	350.297	6.241	14.549
420	49.873	30.656	350.311	6.390	16.995
450	51.643	29.916	350.327	6.549	19.662
480	53.559	29.168	350.344	6.718	22.558
510	55.626	28.415	350.362	6.897	25.694
540	57.850	27.663	350.383	7.086	29.081
570	60.237	26.914	350.404	7.284	32.730
600	62.792	26.172	350.428	7.492	36.656
630	65.524	25.439	350.453	7.709	40.873
660	68.438	24.719	350.480	7.936	45.397
690	71.543	24.012	350.509	8.172	50.245
720	74.846	23.320	350.540	8.416	55.435
750	78.356	22.645	350.573	8.670	60.988
780	82.083	21.986	350.608	8.932	66.926
810	86.034	21.346	350.645	9.203	73.272
840	90.220	20.723	350.685	9.483	80.052
870	94.650	20.120	350.727	9.771	87.294
900	99.334	19.535	350.772	10.067	95.027

930	104.281	19.070	350.811	10.316	103.282
960	109.502	18.791	350.835	10.471	112.093
990	115.005	18.511	350.861	10.632	121.495
1020	120.800	18.228	350.889	10.800	131.526
1050	126.894	17.944	350.917	10.973	142.225
1080	133.295	17.659	350.948	11.153	153.634
1110	140.010	17.374	350.980	11.339	165.796
1140	147.042	17.090	351.013	11.531	178.754
1170	154.395	16.807	351.048	11.729	192.554
1200	162.069	16.525	351.085	11.932	207.240
1230	170.065	16.247	351.123	12.140	222.861
1260	178.378	15.972	351.163	12.354	239.461
1290	187.003	15.701	351.204	12.571	257.085
1320	195.932	15.434	351.247	12.793	275.778
1350	205.152	15.172	351.291	13.019	295.580
1380	214.653	14.916	351.337	13.247	316.535
1410	224.417	14.666	351.384	13.479	338.678
1440	234.428	14.423	351.433	13.712	362.044
1470	244.668	14.186	351.482	13.947	386.669

Hasil Perhitungan Temperatur, Andongan dan Tegangan Tarik

Konduktor ACSS Pada Tower No.53 - 60 (Span : 300 m)

Arus (A)	Suhu (der.C)	Teg. Tarik Kon (KN)	Panjang Kon. (m)	Andongan (m)	Rugi kW/km
30	38.507	36.897	300.135	3.895	0.082
60	38.675	36.780	300.136	3.908	0.330
90	38.955	36.587	300.137	3.928	0.743
120	39.348	36.319	300.139	3.957	1.323
150	39.855	35.982	300.142	3.995	2.072
180	40.478	35.578	300.145	4.040	2.993
210	41.218	35.112	300.149	4.094	4.087
240	42.077	34.591	300.154	4.156	5.359
270	43.057	34.020	300.159	4.226	6.813
300	44.162	33.404	300.165	4.304	8.453
330	45.395	32.751	300.171	4.390	10.285
360	46.753	32.068	300.179	4.484	12.315
390	48.244	31.361	300.187	4.585	14.549
420	49.873	30.634	300.196	4.695	16.995
450	51.643	29.894	300.206	4.811	19.662

480	53.559	29.145	300.217	4.935	22.558
510	55.626	28.392	300.228	5.067	25.694
540	57.850	27.639	300.241	5.206	29.081
570	60.237	26.889	300.255	5.352	32.730
600	62.792	26.147	300.269	5.504	36.656
630	65.524	25.413	300.285	5.664	40.873
660	68.438	24.692	300.302	5.830	45.397
690	71.543	23.984	300.320	6.004	50.245
720	74.846	23.292	300.340	6.183	55.435
750	78.356	22.615	300.361	6.370	60.988
780	82.083	21.956	300.383	6.562	66.926
810	86.034	21.315	300.406	6.761	73.272
840	90.220	20.691	300.431	6.967	80.052
870	94.650	20.087	300.458	7.178	87.294
900	99.334	19.500	300.486	7.396	95.027
930	104.281	19.035	300.511	7.579	103.282
960	109.502	18.756	300.526	7.693	112.093
990	115.005	18.475	300.542	7.811	121.495
1020	120.800	18.191	300.560	7.934	131.526
1050	126.894	17.907	300.578	8.062	142.225
1080	133.295	17.621	300.597	8.194	153.634
1110	140.010	17.335	300.617	8.331	165.796
1140	147.042	17.051	300.638	8.472	178.754
1170	154.395	16.767	300.660	8.617	192.554
1200	162.069	16.485	300.683	8.766	207.240
1230	170.065	16.206	300.707	8.919	222.861
1260	178.378	15.930	300.732	9.076	239.461
1290	187.003	15.658	300.758	9.236	257.085
1320	195.932	15.391	300.785	9.399	275.778
1350	205.152	15.128	300.813	9.565	295.580
1380	214.653	14.871	300.842	9.733	316.535
1410	224.417	14.621	300.872	9.903	338.678
1440	234.428	14.376	300.902	10.074	362.044
1470	244.668	14.139	300.933	10.247	386.669

Hasil Perhitungan Temperatur, Andongan dan Tegangan Tarik Konduktor ACCR Pada Tower No.52, 61, dan 62 (Span : 350 m)					
Arus (A)	Suhu (der.C)	Teg. Tarik Kon (KN)	Panjang Kon. (m)	Andongan (m)	Rugi kW/km
30	38.542	41.001	350.124	4.036	0.081
60	38.705	40.804	350.125	4.055	0.323
90	38.976	40.482	350.127	4.088	0.728
120	39.358	40.037	350.130	4.133	1.296
150	39.849	39.481	350.134	4.192	2.028
180	40.452	38.823	350.138	4.263	2.927
210	41.167	38.074	350.144	4.347	3.994
240	41.996	37.248	350.150	4.443	5.233
270	42.941	36.357	350.158	4.553	6.645
300	44.003	35.415	350.166	4.674	8.236
330	45.185	34.435	350.176	4.807	10.008
360	46.489	33.429	350.187	4.953	11.966
390	47.917	32.410	350.199	5.109	14.116
420	49.474	31.385	350.212	5.276	16.463
450	51.155	30.369	350.227	5.454	19.011
480	52.967	29.366	350.242	5.641	21.769
510	54.915	28.381	350.260	5.837	24.744
540	57.001	27.420	350.278	6.043	27.942
570	59.231	26.486	350.298	6.257	31.374
600	61.608	25.978	350.310	6.380	35.047
630	64.136	25.736	350.316	6.440	38.973
660	66.820	25.484	350.322	6.504	43.161
690	69.665	25.225	350.329	6.571	47.624
720	72.675	24.958	350.336	6.642	52.373
750	75.856	24.684	350.344	6.716	57.422
780	79.213	24.404	350.352	6.794	62.786
810	82.751	24.117	350.360	6.875	68.479
840	86.476	23.824	350.369	6.960	74.518
870	90.393	23.527	350.379	7.049	80.920
900	94.507	23.225	350.389	7.141	87.704
930	98.826	22.920	350.399	7.237	94.888
960	103.353	22.611	350.410	7.336	102.494
990	108.094	22.299	350.422	7.440	110.542
1020	113.054	21.985	350.434	7.546	119.057
1050	118.238	21.670	350.447	7.657	128.061
1080	123.650	21.354	350.460	7.771	137.579

1110	129.294	21.038	350.474	7.889	147.637
1140	135.172	20.723	350.489	8.010	158.261
1170	141.287	20.408	350.504	8.135	169.479
1200	147.641	20.095	350.520	8.263	181.320
1230	154.233	19.784	350.537	8.394	193.810
1260	161.064	19.476	350.554	8.528	206.980
1290	168.130	19.171	350.572	8.665	220.857
1320	175.431	18.870	350.591	8.804	235.473
1350	182.960	18.573	350.610	8.946	250.853
1380	190.713	18.281	350.630	9.091	267.028
1410	198.683	17.995	350.650	9.237	284.025
1440	206.863	17.714	350.671	9.385	301.871
1470	215.242	17.439	350.693	9.535	320.591
1500	223.811	17.170	350.715	9.686	340.211
1530	232.559	16.907	350.737	9.839	360.754

Hasil Perhitungan Temperatur, Andongan dan Tegangan Tarik

Konduktor ACCR Pada Tower No.53 - 60 (Span : 300 m)

Arus (A)	Suhu (der.C)	Teg. Tarik Kon (KN)	Panjang Kon. (m)	Andongan (m)	Rugi kW/km
30	38.542	40.989	300.078	2.965	0.081
60	38.705	40.792	300.079	2.979	0.323
90	38.976	40.470	300.080	3.003	0.728
120	39.358	40.025	300.082	3.037	1.296
150	39.849	39.469	300.084	3.079	2.028
180	40.452	38.811	300.087	3.132	2.927
210	41.167	38.062	300.091	3.194	3.994
240	41.996	37.236	300.095	3.265	5.233
270	42.941	36.344	300.099	3.345	6.645
300	44.003	35.402	300.105	3.434	8.236
330	45.185	34.422	300.111	3.532	10.008
360	46.489	33.415	300.118	3.639	11.966
390	47.917	32.395	300.125	3.754	14.116
420	49.474	31.370	300.134	3.877	16.463
450	51.155	30.353	300.143	4.007	19.011
480	52.967	29.349	300.153	4.144	21.769
510	54.915	28.364	300.163	4.289	24.744
540	57.001	27.403	300.175	4.440	27.942
570	59.231	26.468	300.188	4.597	31.374

600	61.608	25.960	300.195	4.687	35.047
630	64.136	25.717	300.199	4.732	38.973
660	66.820	25.466	300.203	4.779	43.161
690	69.665	25.206	300.207	4.828	47.624
720	72.675	24.939	300.212	4.880	52.373
750	75.856	24.665	300.216	4.934	57.422
780	79.213	24.384	300.221	4.991	62.786
810	82.751	24.097	300.227	5.051	68.479
840	86.476	23.804	300.232	5.114	74.518
870	90.393	23.507	300.238	5.179	80.920
900	94.507	23.205	300.245	5.246	87.704
930	98.826	22.899	300.251	5.317	94.888
960	103.353	22.590	300.258	5.390	102.494
990	108.094	22.278	300.266	5.466	110.542
1020	113.054	21.964	300.273	5.544	119.057
1050	118.238	21.648	300.281	5.626	128.061
1080	123.650	21.332	300.290	5.709	137.579
1110	129.294	21.016	300.299	5.796	147.637
1140	135.172	20.700	300.308	5.885	158.261
1170	141.287	20.385	300.318	5.977	169.479
1200	147.641	20.071	300.328	6.070	181.320
1230	154.233	19.760	300.338	6.167	193.810
1260	161.064	19.451	300.349	6.265	206.980
1290	168.130	19.146	300.360	6.366	220.857
1320	175.431	18.845	300.372	6.468	235.473
1350	182.960	18.548	300.384	6.573	250.853
1380	190.713	18.255	300.397	6.679	267.028
1410	198.683	17.968	300.409	6.786	284.025
1440	206.863	17.687	300.423	6.895	301.871
1470	215.242	17.411	300.436	7.005	320.591
1500	223.811	17.142	300.450	7.116	340.211
1530	232.559	16.879	300.464	7.228	360.754