



**STUDI PERENCANAAN *UPGRADE* TRANSMISI  
TEGANGAN TINGGI 150 kV PERAK-UJUNG  
MENGUNAKAN KONDUKTOR HTLS  
(*High Temperature-Low Sag*)**

**SKRIPSI**

Oleh

**Rahmad Yusuf Desprianto  
NIM 121910201057**

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



**STUDI PERENCANAAN *UPGRADE* TRANSMISI  
TEGANGAN TINGGI 150 kV PERAK-UJUNG  
MENGUNAKAN KONDUKTOR HTLS  
(*High Temperature-Low Sag*)**

**SKRIPSI**

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

oleh

**Rahmad Yusuf Desprianto  
NIM 121910201057**

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

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT syukur Alhamdulillah selalu terucap yang telah memberikan Rahmat, Hidayahnya, serta petunjuk sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
2. Salam dan anugerah selalu tercurahkan kepada junjungan nabi besar kita Nabi Muhammad SAW.
3. Ayahanda Jamaludin, S.Pd. dan Ibunda Sumiyati yang senantiasa memberikan semangat, kasih sayang, dan pengorbanan yang tidak kenal lelah hingga saat ini, serta doa yang selalu beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
4. Kakak Jayadi Oktadinata, A.Md. dan Mellisa Indri A., S.P. yang selalu mendukung dan memberi semangat, motivasi, pelajaran berharga lainnya, serta doa-doanya yang selalu terucap untuk keluarga.
5. Pahlawan tanpa tanda jasa dari pendidikan TK hingga Perguruan Tinggi yang telah memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh kesabaran.
6. Teman-teman Elektro 2012 “SATE UJ” yang senantiasa memberikan motivasi, arahan serta dukungan selama ini. Semoga kalian sukses selalu dan diberi lindungan Allah SWT.
7. Serta civitas akademik baik dilingkungan Universitas Jember maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

## MOTTO

Maka Sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan  
(Terjemahan Surat *Al Insyirah* Ayat 5)<sup>1</sup>

Satu-satunya perlindungan terbaik menghadapi hari-hari susah adalah  
memperbanyak ilmu di saat-saat muda<sup>2</sup>

Orang yang mendukung ide-ide atau rencana-rencananya dengan keyakinan diri  
selalu memiliki keberuntungan dibandingkan orang-orang yang selalu menyerah  
dan mundur saat tanda-tanda kekalahan muncul.<sup>3</sup>

---

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

<sup>2</sup> Louis O. Kattsoff dalam Soemargono, S. 1992. *Pengantar Filsafat (Terjemahan, Judul Asli: Element of Philosophy)*. Yogyakarta: Tiara Wacana Yogya.

<sup>3</sup> Napoleon Bonaparte dalam Cesar Antonio, M. 2014. *Light Up Your Leadership*. Yogyakarta: Certe Posse.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahmad Yusuf Desprianto

NIM : 121910201057

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Studi Perencanaan *Upgrade* Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Perak-Ujung Menggunakan Konduktor HTLS (*High Temperature-Low Sag*)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Oktober 2016

Yang menyatakan,

(Rahmad Yusuf Desprianto)

NIM 121910201057

**SKRIPSI**

**STUDI PERENCANAAN *UPGRADE* TRANSMISI TEGANGAN TINGGI  
150 kV PERAK-UJUNG MENGGUNAKAN KONDUKTOR HTLS  
(*High Temperature-Low Sag*)**

Oleh

Rahmad Yusuf Desprianto  
NIM 121910201057

Pembimbing:

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Studi Perencanaan *Upgrade* Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Menggunakan Konduktor HTLS (*High Temperature-Low Sag*)” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 27 Oktober 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Tim Penguji**

Ketua,

Sekretaris,

Supriyadi Prasetyono, S.T., M.T.  
NIP 197004041996011001

Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.  
NIP 198006102005011003

Anggota I,

Anggota II,

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP 196104141989021001

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.  
NIP 196312011994021002

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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



Studi Perencanaan *Upgrade* Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Perak-Ujung  
Menggunakan Konduktor HTLS (*High Temperature-Low Sag*)

**Rahmad Yusuf Desprianto**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

**ABSTRAK**

Saluran transmisi udara 150 kV pada umumnya menggunakan konduktor ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yang mempunyai titik kerja suhu yang terbatas. Saluran transmisi udara akan mengalami titik jenuh seiring meningkatnya kebutuhan listrik. Dengan menyempitnya lahan dan masalah investasi maka saluran yang telah ada perlu dioptimalkan dengan melakukan *reconductoring* menggunakan konduktor HTLS (*High Temperature Low Sag*). Konduktor HTLS mempunyai titik kerja suhu yang tinggi dibandingkan konduktor ACSR. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas hantar arus serta untuk memenuhi kehandalan N-1 dari saluran transmisi udara dengan memilih konduktor jenis HTLS yang meliputi ACCC, ACCR dan TACSR yang sesuai dengan struktur jaringan transmisi. Dengan menggunakan metode keseimbangan panas dalam menghitung *ampacity* dan metode *cartenary* dalam menghitung andongan dan tegangan tarik maka akan diketahui konduktor yang sesuai dengan struktur yang telah ada. Dari hasil penelitian menunjukkan konduktor ACCC jauh lebih handal dengan mampu menaikkan kapasitas hantar arus hingga 96,3 % sedangkan ACCR sebesar 83,9 % dan TACSR sebesar 40,7%. Dan andongan maksimal ACCC sebesar 4,692 m, ACCR sebesar 6,550 m dan TACSR sebesar 8,076 m dengan tegangan tarik yang dibutuhkan pada andongan maksimal berturut-turut sebesar 12,825 kN; 9,086 kN dan 8,119 kN.

**Kata kunci:** transmisi udara, *reconductoring*, konduktor HTLS.



*Study of High Voltage Transmission 150 kV Perak-Ujung Upgrade Planning  
Using HTLS (High Temperature-Low Sag) Conductor*

**Rahmad Yusuf Desprianto**

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

**ABSTRACT**

*The air transmission channel 150 kV in general using the ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced) conductor which have a limited temperature working point. The air transmission channel will have a saturated point over rising electricity needs. With narrow land and investment issues then existing channels need to be optimized by reconductoring using HTLS (High Temperature-Low Sag) conductor. HTLS conductor has a working point to high temperature compared to the ACSR conductor. This research aims to increase the capacity of ampacity and to fulfill the N-1 reliability of the air transmission channel by selecting type of HTLS conductors which includes the ACCC, ACCR and TACSR that accordance with the structure of transmission network. By using the heat balance method in calculating the ampacity and catenary method in calculating the sagging and tension then will be known which is in accordance with the existing structure. From the results of research showed the ACCC conductor far more reliable by being able to raise the current capacity until 96,3% where as ACCR of 83,9% and TCSR of 40,7%. And the ACCC maximum sagging of 4,692 m, ACCR of 6,550 m and TACSR of 8,076 m by tension needed on the maximum sagging in a row of 12,825 kN; 9,086 kN and 8,119 kN.*

**Key words:** *air transmission, reconductoring, HTLS conductor*

## RINGKASAN

**Studi Perencanaan Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Perak-Ujung Menggunakan Konduktor HTLS (*High Temperature-Low Sag*);** Rahmad Yusuf Desprianto; 121910201057; 2016; 74 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Saluran transmisi udara 150 kV pada umumnya menggunakan konduktor jenis ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yang memiliki batas temperatur kerja sebesar  $90^{\circ}\text{C}$ . Konduktor jenis ini mempunyai sifat tahan panas yang terbatas karena menggunakan aluminium jenis *EC grade* sehingga tidak dapat memberikan peningkatan kemampuan hantar arus. Saluran transmisi akan mengalami titik jenuh seiring bertambahnya beban. Hal ini terjadi pada saluran transmisi 150 kV *double sirkit* Perak-Ujung yang pada tahun 2015 rata-rata I nominalnya mencapai 77,82 % dari kapasitas maksimum yang tersedia. Akibatnya apabila terjadi gangguan pada salah satu saluran transmisi maka saluran yang lain tidak dapat menopang beban manuver dari saluran yang mengalami gangguan sehingga tidak memenuhi keandalan N-1. Hal ini perlu dioptimalkan melalui *reconductoring* dengan menggunakan konduktor HTLS (*High Temperature-Low Sag*). Konduktor HTLS mempunyai kemampuan yang jauh lebih baik dibandingkan dengan konduktor konvensional yaitu mempunyai sifat tahan panas yang tinggi karena memiliki titik kerja suhu yang lebih besar. Dengan hal ini kemampuan hantar arus dapat ditingkatkan. Oleh karena itu tujuan penelitian ini memilih konduktor HTLS dengan menghitung kemampuan hantar arus dan peningkatan daya yang tersalurkan dari segi elektrik, serta dari segi mekanik andongan, tegangan tarik, dan panjang konduktor yang dibutuhkan dari masing-masing span. Hasil penelitian ini diharapkan merekomendasikan konduktor HTLS yang sesuai dengan struktur jaringan Perak-Ujung. Sehingga kemampuan hantar arus dapat ditingkatkan dan memenuhi keandalan N-1.

Penelitian digunakan tiga macam jenis konduktor HTLS yaitu konduktor TACSR (*Thermo Resistant Al-Conductor Steel Reinforced*), ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*) dan ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*). Dari ketiga jenis konduktor ini dihitung sesuai dengan ketentuan metode yang digunakan yaitu metode keseimbangan panas dalam mencari *ampacity* dan suhu pada konduktor dan metode *cartenary* dalam mencari besaran andongan, tegangan tarik dan panjang konduktor yang dibutuhkan dari masing-masing konduktor dari setiap span yang digunakan. Dalam perhitungannya akan dilakukan perubahan terhadap pembebanan arus. Arus akan dinaikkan sebesar 20 A dari arus awal yang diatur sebesar 30 A hingga mencapai titik kerja suhu maksimal dari masing-masing konduktor. Sehingga dengan mengetahui pembebanan arus terhadap uji elektrik dan mekanik, memungkinkan untuk mengetahui kehandalan dari setiap konduktor untuk direkomendasikan sebagai *reconductoring* yang sesuai dengan struktur jaringan Perak-Ujung.

Dari hasil penelitian diketahui bahwa kenaikan hantar arus pada ACCC sebesar 1590 A pada suhu  $196,004^{\circ}\text{C}$ , ACCR sebesar 1490 A pada suhu  $236,970^{\circ}\text{C}$  dan TACSR sebesar 1130 A pada suhu konduktor mencapai  $147,637^{\circ}\text{C}$ . Andongan yang dibutuhkan konduktor saat mencapai titik kerja suhu maksimal ialah ACCC sebesar 4,692 m dengan tegangan tarik yang dibutuhkan sebesar 12,825 kN, ACCR sebesar 6,550 m dengan tegangan tarik yang dibutuhkan 9,086 kN dan pada TACSR sebesar 8,076 m dengan tegangan tarik yang dibutuhkan sebesar 8,119 kN. Pemuluran yang terjadi pada konduktor ACCC, ACCR dan TACSR berturut-turut sebesar 0,205 m, 0,424 m dan 0,702 m. Dan kemampuan menyalurkan daya dengan mempertimbangkan pembebanan harian konduktor ACCC dapat meningkatkan penyaluran daya hingga 164,79 %, ACCR dapat meningkatkan penyaluran daya hingga 143,75% dari pencapaian beban puncak yang dicapai dengan menggunakan konduktor ACSR.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Studi Perencanaan *Upgrade* Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Perak-Ujung Menggunakan Konduktor HTLS ( *High Temperature-Low Sag*)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M. U. M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Bapak Supriyadi Prasetyono, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak membantu memberikan bimbingan dalam penyusunan penelitian ini;
4. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membantu memberikan bimbingan dalam penyusunan penelitian ini;
5. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T., selaku dosen penguji I dan Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M., selaku dosen penguji II;
6. Bapak dan Ibu Dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Elektro yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
7. Ayahanda Jamaludin, S.Pd dan Ibunda Sumiyati atas doa, kasih sayang, didikan baik secara moril dan materi terhadap penulis;
8. Kakakku Jayadi Oktadinata, A.Md dan Mellisa Indri Alfiyanti, S.P atas segala dukungan dan pelajaran hidup yang telah dihaturkan serta doa yang tak pernah putus terhadap penulis dan keluarga.

9. Bapak Bayu Prasetyo selaku Staff Engineering II APP Surabaya yang telah banyak membantu dalam hal pengambilan data demi terselesaikannya penelitian ini.
10. Saudara serta kerabat, Dini, Dwi, Herlin, Ariska W.A, Rachell, Agus(Sampang), Dony, Nindi, Intan, Novia, yang telah memberikan dukungan, motivasi serta doa pada penulis.
11. Satu tim skripsi (Firdaus K Muzaki dan Udin-Master Arjasa) yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan sumber-sumber referensi.
12. Semua dulur-dulur seperjuanganku SATE UJ '12 semoga persaudaraan ini akan tetap terjaga hingga akhir waktu.
13. Keluarga besar kost Moersid 17 terimakasih atas kebersamaan dalam menuntut ilmu di kota perantauan ini.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat

Jember, 27 Oktober 2016

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Sistematika Pembahasan .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Saluran Transmisi .....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).....	6
2.1.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) .....	7
<b>2.2 Kawat Penghantar.....</b>	<b>8</b>
2.2.1 Konduktor Konvensional.....	9
2.2.2 Konduktor HTLS .....	10
2.2.2.1 Konduktor ACCC ( <i>Aluminium Conductor Composite Core</i> )	11
2.2.2.2 Konduktor ACCR ( <i>Aluminium Conductor Composite</i>	

<i>Reinforced</i> ).....	13
2.2.2.3 Konduktor TACSR ( <i>Thermo Resistant Al- Conductor Steel Reinforced</i> ).....	14
<b>2.3 Saluran Transmisi Perak-Ujung.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Perhitungan Temperatur Konduktor.....</b>	<b>16</b>
2.4.1 Penyebaran panas yang disebabkan konveksi .....	16
2.4.2 Penyebaran panas yang disebabkan radiasi .....	18
2.4.1 Penyerapan energi sinar matahari .....	18
2.4.4 Resistansi Konduktor.....	22
<b>2.5 Perhitungan Hantar Arus Konduktor.....</b>	<b>22</b>
<b>2.6 Perhitungan Daya dan Rugi-rugi.....</b>	<b>23</b>
2.6.1 Perhitungan Daya.....	23
2.6.2 Perhitungan Rugi-rugi Daya .....	23
<b>2.7 Perhitungan Andongan.....</b>	<b>24</b>
2.7.1 Metode <i>Rulling Span</i> .....	24
2.7.2 Metode <i>Cartenary Equation</i> .....	25
2.7.3 Pengaruh Faktor Lingkungan .....	29
2.7.3.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Konduktor .....	29
2.7.3.2 Pengaruh Angin Terhadap Konduktor .....	31
2.7.4 Nilai Tegangan dan Andongan Akibat Perubahan Temperatur dan Tekanan Angin.....	32
2.7.5 Jarak Aman Andongan ( <i>Clearance</i> ) .....	34
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Tempat Penelitian.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Alat dan Bahan .....</b>	<b>36</b>
3.2.1 Alat .....	36
3.2.2 Bahan .....	36
<b>3.3 Objek Penelitian .....</b>	<b>37</b>
3.3.1 Kondisi Lingkungan Penelitian .....	37
3.3.2 Spesifikasi Konduktor .....	40
<b>3.4 Flowchart .....</b>	<b>42</b>



3.4.1 Flowchart Sistem .....	42
3.4.2 Flowchart Tempertur Konduktor .....	44
3.4.3 Flowchart Pengujian Mekanik .....	45
<b>3.5 Pemrograman pada Software Matlab R2009a .....</b>	<b>46</b>
3.5.1 Perhitungan Secara Elektrik .....	46
3.5.1.1 Penyebaran Panas Secara Konveksi (qc) .....	46
3.5.1.2 Penyebaran Panas Secara Radiasi (qr) .....	47
3.5.1.3 Penyerapan Sinar Matahari Terhadap Konduktor (qs) .....	47
3.5.1.4 Resistansi Konduktor .....	49
3.5.1.5 Perhitungan Daya dan Rugi-rugi .....	50
3.5.2 Perhitungan Secara Mekanik .....	50
3.5.2.1 Tegangan Tarik Konduktor .....	50
3.5.2.2 Panjang Konduktor dan Andongan .....	52
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1 Data Hasil Perhitungan.....</b>	<b>54</b>
4.1.1 Hasil Pengujian Konduktot <i>Existing</i> .....	54
4.1.2 Perbandingan Konduktor Konvensional dengan Konduktor HTLS .....	57
4.1.2.1 Pengaruh Pembebanan Arus Terhadap Temperatur Konduktor .....	58
4.1.2.2 Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Andongan Konduktor .....	59
4.1.2.3 Pengaruh Pembebanan Arus Terhadap Tegangan Tarik konduktor .....	61
4.1.2.4 Pengaruh Pembebanan Arus Terhadap Panjang Konduktor .....	62
<b>4.2 Penentuan Konduktor HTLS.....</b>	<b>63</b>
4.2.1 Pengujian Mekanik .....	63
4.2.1.1 Pengaruh Arus Terhadap Temperatur Konduktor HTLS.....	64
4.2.1.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Andongan Konduktor HTLS.....	65

4.2.1.3 Pengaruh Pembebanan Arus Terhadap Tegangan Tarik Konduktor HTLS.....	66
4.2.1.4 Pengaruh Pembebanan Arus Terhadap Panjang Konduktor HTLS.....	67
4.2.2 Pengujian Elektrik .....	69
4.2.2.1 Pencapaian Target.....	69
4.2.2.2 Kemampuan Penyuplaian Daya dan Rugi Daya.....	70
4.2.3 Rekomendasi Pemilihan Konduktor.....	72
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>74</b>
5.1 Kesimpulan .....	74
5.2 Saran.....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1 Koefisien Fluks Panas Matahari dengan Pendekatan Ketinggian Konduktor .....	20
Tabel 2.2 Nilai Variabel Azimuth.....	21
Tabel 2.3 Nilai Atmosfir Dengan Ruang Bebas .....	21
Tabel 2.4 Nilai Atmosfir Daerah Industri .....	22
Tabel 3.1 Data Kondisi Lapangan Penelitian .....	37
Tabel 3.2 Jarak Span Perak-Ujung Struktur dua <i>dead end</i> .....	38
Tabel 3.3 Spesifikasi Konduktor .....	40
Tabel 4.1 Data I nominal Saluran Perak-Ujung.....	55
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan ACSR/AS 340/30 Pada Tower No.12 (Span : 212,498 m).....	56
Tabel 4.3 Rata-rata Beban Puncak.....	70
Tabel 4.4 Perhitungan Daya dan Rugi-Rugi.....	71
Tabel 4.5 Perbandingan ACCC Dove dan ACSR/AS 340/30 .....	72

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
Gambar 2.1 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi .....	7
Gambar 2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi .....	8
Gambar 2.3 Konduktor ACSR .....	10
Gambar 2.4 Konduktor ACCC .....	12
Gambar 2.5 Penampang penghantar ACCR.....	13
Gambar 2.6 Konduktor TACSR .....	14
Gambar 2.7 Konduktor ditopang menara sama tinggi.....	26
Gambar 2.8 Keseimbangan Busur S .....	26
Gambar 2.9 Tegangan-Regangan Konduktor.....	30
Gambar 2.10 Gaya angin terhadap konduktor .....	31
Gambar 2.11 Jarak Bebas .....	34
Gambar 3.1 Tower <i>Stell Pool</i> Transmisi Udara 150 kV .....	39
Gambar 3.2 Flowchart Sistem.....	42
Gambar 3.3 Temperatur <i>Steady State</i> Konduktor .....	44
Gambar 3.4 Pengujian Mekanik Terhadap Konduktor.....	45
Grafik 4.1 Hubungan Arus dengan Temperatur Konduktor TACSR dan ACSR .....	59
Grafik 4.2 Hubungan Temperatur Terhadap Andongan TACSR dan ACSR.....	60
Grafik 4.3 Hubungan Antara Arus Terhadap Tegangan Tarik Konduktor TACSR dan ACSR .....	61
Grafik 4.4 Hubungan Arus Terhadap Panjang Konduktor TACSR dan ACSR .....	62
Grafik 4.5 Hubungan Arus Terhadap Temperatur Konduktor HTLS .....	64
Grafik 4.6 Hubungan Temperatur Terhadap Andongan Konduktor HTLS .....	65
Grafik 4.7 Hubungan Arus Terhadap Tegangan Tarik Konduktor HTLS .....	66
Grafik 4.8 Hubungan Arus Terhadap Panjang Konduktor HTLS.....	68

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan listrik semakin hari semakin bertambah mengingat standar kehidupan manusia yang meningkat. Kehidupan saat ini tidak terlepas dari peranan teknologi yang sumber utama dari teknologi tersebut adalah listrik. Listrik mempunyai peranan yang konvensional sehingga harus adanya keseimbangan antara beban yang ditanggung dengan listrik yang dibutuhkan. Untuk mengimbangi meningkatnya kebutuhan listrik tersebut, usaha atas perencanaan dan pengembangan sistem listrik yang ada harus diupayakan (Suprihadi, 2007).

*Reconductoring* pada saluran transmisi udara merupakan hal yang mungkin untuk dilakukan pada saat ini, mengingat lahan yang mulai menyempit akibat pengembangan wilayah kota. *Reconductoring* juga bertujuan untuk meningkatkan kehandalan dalam penyaluran transmisi udara. Hal ini terjadi pada saluran transmisi listrik 150 kV Perak-Ujung Surabaya. Selain kawasan padat penduduk dan kawasan industri, kawasan ini merupakan objek vital yaitu kawasan komando TNI AL bagian timur (LANTAMAL V) sehingga suplai akan daya listrik harus selalu terpenuhi. Selain itu juga saluran transmisi Perak-Ujung merupakan salah satu saluran transmisi yang menghubungkan ke Pulau Madura sehingga diperlukan kehandalan dalam sistem transmisi listrik. Pada tahun 2015 I nominal rata-rata transmisi Perak-Ujung telah mencapai 77,82 % dari kapasitas yang tersedia (APP Surabaya, 2015). Akibatnya jika terjadi gangguan pada salah satu saluran transmisi maka saluran yang lain tidak dapat menopang beban manuver dari saluran yang mengalami gangguan atau lebih dikenal dengan keandalan N-1. Dengan demikian pemadaman bergilir di Pulau Madura menjadi tidak terelakan. Kehandalan sistem ini sudah tidak memenuhi kriteria. Pada saluran transmisi yang tidak memenuhi kehandalan N-1 akan dilaksanakan *reconductoring* dan *uprating* (RUPTL 2015).



Saluran transmisi udara umumnya menggunakan konduktor jenis ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yang memiliki batas temperatur kerja yang diizinkan sebesar 90°C (Ananda *et al*, 2007). Konduktor ini mempunyai sifat tahan panas yang terbatas walaupun konduktivitas listriknya tinggi, karena menggunakan bahan aluminium jenis *EC grade* sehingga tidak dapat memberikan peningkatan kemampuan hantar arus (Mutaqin, 2013). Konduktor jenis ini dapat beroperasi pada pembebanan harian pada suhu 75 °C. Dengan keterbatasan yang dimiliki oleh konduktor konvensional tersebut memungkinkan penggantian konduktor yang sifatnya mempunyai ketahanan panas yang jauh lebih baik sehingga menghasilkan kapasitas hantar arus yang lebih besar.

Pada saat ini telah dikembangkan beberapa konduktor yang mempunyai keunggulan dibandingkan dengan konduktor yang konvensional atau yang biasa dikenal dengan konduktor *High Temperature Low Sag* (HTLS). Konduktor HTLS ini mempunyai banyak variasi yang dikembangkan, dimana konduktor jenis ini mempunyai kemampuan lebih baik dibandingkan konduktor konvensional. Sehingga dengan ini dimaksudkan agar dapat menyalurkan daya secara maksimal. Dalam saluran transmisi udara, kawat penghantar harus dirancang sedemikian rupa agar jaringan transmisi mempunyai unjuk kerja yang baik secara mekanis dan elektrik.

Penelitian mengenai *upgrade* saluran transmisi udara 150 kV sebelumnya telah dilakukan yaitu mengenai Evaluasi Pengaruh Faktor Eksternal Terhadap Mekanisme Kinerja Konduktor ACCC dan ACSR (Mutaqin, 2013). Penelitian yang sebelumnya yaitu membandingkan kinerja dari konduktor HTLS dengan konduktor konvensional. Namun tidak membandingkan unjuk kerja antara konduktor HTLS. Dengan hal ini penelitian ini bertujuan mengkaji konduktor HTLS yang jauh lebih handal dalam penyaluran transmisi daya listrik. Sehingga dapat menghasilkan proses penyaluran energi listrik yang lebih efektif dan efisien khususnya pada saluran transmisi udara 150 kV Perak-Ujung.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan unjuk kerja transmisi menggunakan konduktor konvensional dengan menggunakan konduktor HTLS ?
2. Bagaimana perbandingan unjuk kerja konduktor HTLS yang sesuai dengan struktur saluran transmisi udara 150 kV Perak-Ujung dengan ROW tetap sebagai rekomendasi pergantian konduktor yang bersifat konvensional ?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas dan menghindari meluasnya masalah dalam penelitian ini, maka batasan masalahnya adalah

1. Tidak memperhitungkan segi ekonomis.
2. Kecepatan angin dianggap konstan.
3. Pengukuran hantar arus menggunakan rumus keseimbangan panas *steady-state*.
4. Tidak membahas struktur tower.
5. Besaran daya yang disalurkan dari masing-masing sirkit diasumsikan sama.

## 1.4 Tujuan dan Manfaat

### 1.4.1 Tujuan

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah.

1. Menganalisis perbandingan unjuk kerja transmisi saluran udara menggunakan konduktor konvensional dengan konduktor HTLS.
2. Mengkaji konduktor HTLS sebagai rekomendasi penggantian konduktor yang sesuai dengan struktur jaringan Perak-Ujung.



#### 1.4.2 Manfaat

Penelitian ini dilakukan untuk memberikan rekomendasi bagi instansi terkait yaitu PT. PLN berkenaan pemilihan konduktor HTLS sebagai upaya *upgrade* saluran transmisi udara.

### 1.5 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

#### BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang permasalahan mengenai ketidak handalan saluran transmisi udara 150 kV Perak-Ujung.

#### BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan tentang beberapa jenis konduktor HTLS yang sesuai dengan struktur saluran transmisi udara 150 kV sekaligus memaparkan perhitungan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

#### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang spesifikasi konduktor dan data lapangan yang akan diolah sebagai masukan program dengan menggunakan metode keseimbangan panas untuk mencari *ampacity* dan temperatur konduktor. Metode *Rulling Span* untuk mencari span equvalen serta metode *Cartenary* untuk mencari besaran andongan, tegangan tarik serta pemuluran.

#### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil pengujian dan analisa hasil pengujian mengenai konduktor konvensional dan konduktor yang bersifat HTLS

## BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan yang berupa rekomendasi tentang pemilihan konduktor HTLS .yang sesuai dengan struktur saluran transmisi udara 150 kV. Serta beberapa saran untuk menyempurnakan penelitian ini.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Saluran Transmisi

Saluran transmisi adalah media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari *generator station*/pembangkit listrik sampai *distribution station* hingga pada konsumen pengguna listrik. Tenaga listrik di transmisikan melalui konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang (*tower*) melalui insulator-insulator dengan sistem tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi. Berdasarkan Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi N0. 01P/47/MPE/1992 tanggal 07 Februari 1992 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah saluran tenaga listrik yang menggunakan kawat telanjang (penghantar) diudara bertegangan diatas 35 sampai dengan 245 kV sesuai standar dibidang ketenagalistrikan (Pasal 1 ayat 3) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) adalah saluran tenaga listrik yang menggunakan kawat telanjang (penghantar) diudara bertegangan diaatas 245kV sesuai standar dibidang ketenagalistrikan (Pasal 1 ayat 4).

#### 2.1.1 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

Saluran udara ini mentransmiskan tegangan 246 kV hingga 500 kV. Pada umumnya saluran transmisi di Indonesia digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 500 kV. Dimana tujuannya adalah agar drop tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga di peroleh operasional yang efektif dan efisien. Akan tetapi terdapat permasalahan mendasar dalam pembangunan SUTET ialah kontruksi tiang (*tower*) yang besar dan tinggi, memerlukan tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga memerlukan biaya besar. Masalah lain yang timbul dalam pembangunan SUTET adalah masalah sosial, yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan.



Gambar 2.1 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (Agung Budi Santoso, 2013)

## 2.1.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

SUTT merupakan bagian dari sistem transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan listrik berkapasitas besar ( $KHA \pm 1000 \text{ A}$ ) dari pembangkit tenaga listrik ke Gardu Induk. SUTT juga digunakan untuk menghubungkan satu Gardu Induk dengan Gardu Induk lainnya. Tanpa SUTT atau jaringan transmisi lainnya, listrik tidak mungkin menjangkau titik-titik penggunaannya. Terkecuali jika pembangkit tenaga listrik ada di dekat titik-titik penggunaan tersebut. Di Indonesia, SUTT dimanfaatkan untuk menyalurkan listrik bertegangan 70 kV dan 150 kV.

Penyaluran tenaga listrik dengan kapasitas yang besar dan bertegangan tinggi, memang lebih banyak digunakan dalam jaringan transmisi tenaga listrik. Apalagi jika daya listrik yang disalurkan mencapai ratusan megawatt dan jarak yang ditempuh mencapai puluhan kilometer. Untuk daya yang sama, penyaluran tenaga listrik dengan tegangan tinggi akan menurunkan angka rugi tegangan (*voltage drop*). Kawat penghantar yang digunakan juga akan lebih kecil dari pada kawat yang dibutuhkan jika menggunakan tegangan menengah atau rendah. Dengan sendirinya penggunaan

tegangan tinggi untuk mentransmisikan listrik akan lebih ekonomis dari pada penggunaan tegangan rendah atau menengah.



Gambar 2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi (M Ridwan Anas, 2015)

## 2.2 Kawat Penghantar

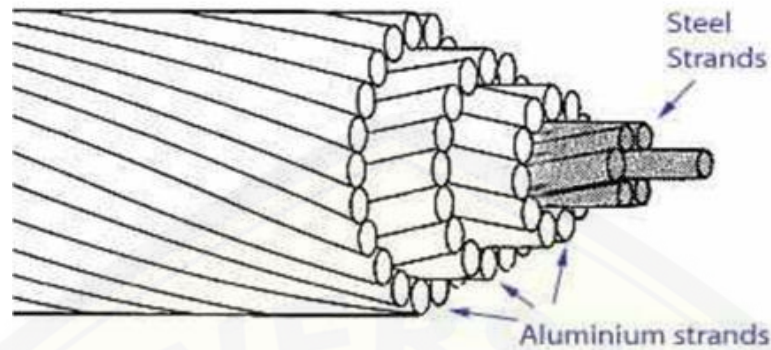
Kawat penghantar merupakan media yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik. Kawat ini harus mempunyai sifat tahan panas yang tinggi dan sifat konduktivitas yang baik. Dalam saluran transmisi udara kawat penghantar yang digunakan adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5 % (CU 95,7%) atau aluminium dengan konduktivitas 61 % (Al 61%) Hutaeruk (1996:4). Tahanan jenis dalam kawat penghantar telah dibekukan secara internasional bahwa tahanan jenis tembaga tidak boleh melebihi 0,017241 ohm mm<sup>2</sup>/m sedangkan pada aluminium tidak boleh melebihi 0,028264 ohm mm<sup>2</sup>/m dalam temperatur 20° (Trisno, tanpa tahun). Namun pada suhu 20°C berat kawat penghantar aluminium dan tembaga masing-masing dengan perbandingan 2,1 dan 8,9. Dengan ini konstruksi yang menggunakan kawat penghantar tembaga harus lebih kokoh. Aluminium dapat menggantikan tembaga apabila dikompensasikan diameter



yang lebih luas dari tembaga. Sehingga dilihat dari beberapa pertimbangan tersebut, kawat penghantar yang lebih baik digunakan dalam transmisi saluran udara adalah aluminium. Hal ini dikarenakan dilihat dari segi ekonomis aluminium cukup murah dibandingkan dengan tembaga yaitu sekitar 40% lebih murah dari harga tembaga. Selain itu pula aluminium lebih ringan dibandingkan dengan tembaga dan kapasitas hantar arus yang tidak berbeda jauh dengan tembaga jika dikompensasikan ukuran kawat yang lebih besar.

### 2.2.1 Konduktor konvensional

Sebagai media pembawa arus pada SUTT dengan kapasitas yang sesuai spesifikasi atau ratingnya yang direntangkan lewat tiang-tiang SUTT melalui insulator-insulator sebagai penyekat konduktor pada tiang (Kuranaen : 2014). Biasanya konduktor SUTT merupakan konduktor berkas (*stranded*) atau serabut yang dipilin agar mempunyai kapasitas yang lebih besar dibanding konduktor pejal dan mempermudah dalam penanganannya. Salah satu jenis dari konduktor yang konvensional adalah konduktor *Aluminum Conductor Steel Reinforced* (ACSR). ACSR merupakan konduktor dibuat dengan menggunakan baja pada sisi inti yang dikelilingi oleh aluminium pada sisi luarnya. Konduktor jenis ini, bagian dalamnya berupa *steel* (baja) yang mempunyai kuat mekanik tinggi, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Karena sifat elektron lebih menyukai bagian luar konduktor dari pada bagian sebelah dalam konduktor, maka pada sebagian besar SUTT maupun SUTET menggunakan konduktor jenis ACSR.



Gambar 2.3 Konduktor ACSR (Kurnaen,2014)

Untuk daerah yang udaranya mengandung kadar belerang tinggi dipakai jenis ACSR/AS, yaitu konduktor jenis ACSR yang konduktor *steel*nya dilapisi dengan aluminium. Namun pada konduktor ini mempunyai sifat tahan panas yang terbatas walaupun konduktivitas listriknya yang tinggi, karena menggunakan *EC grade* sehingga tidak dapat memberikan peningkatan kemampuan hantar arus. Pada umumnya konduktor konvensional mempunyai batas temperatur yang diijinkan yaitu tidak melebihi  $75^{\circ}\text{C}$  pada pembebanan harian dan dalam keadaan darurat boleh meningkat hingga  $90^{\circ}\text{C}$ .

### 2.2.2 Konduktor HTLS

Konduktor HTLS merupakan teknologi yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan daya listrik. Konduktor jenis ini mempunyai suhu yang sangat tinggi apabila dibandingkan dengan konduktor yang konvensional. Sehingga dengan mempunyai titik suhu yang tinggi maka kapasitas hantar arus semakin besar. Karena arus yang melalui sebuah konduktor mempunyai batas ambang suhu yang terdapat pada konduktor. Selain itu juga konduktor HTLS ini mempunyai konduktivitas serta kuat tariknya yang lebih baik dibandingkan dengan konduktor yang konvensional.



#### 2.2.2.1 Konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*)

ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*) merupakan kawat penghantar yang termasuk dengan kawat *High Temperature Low Sag* (HTLS). Konduktor ACCC merupakan konduktor konsentris dengan satu atau lebih lapisan berbentuk keras (Husni:2013). Teknologi HTLS ini mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan kawat penghantar yang konvensional salah satunya yaitu mempunyai tahanan panas yang lebih tinggi sehingga mempunyai daya hantar yang lebih tinggi dibandingkan dengan kawat penghantar yang konvensional. ACCC itu sendiri tersusun atas inti serat dengan perpaduan antara karbon dan serat inti yang memanfaatkan *epoxy* resin matrix dengan temperatur tinggi untuk menyatukan ratusan ribu serat untuk menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi. Serat ini dikelilingi serat *boron-free* sehingga mempunyai fleksibilitas dan ketangguhan serta menjaga terjadinya korosi galvanik antara serat karbon dengan aluminium. Dengan serat campuran (*composite core*) pada ACCC memiliki kekuatan yang baik dan nilai koefisien ekspansi *thermal* yang rendah sehingga mengurangi terjadinya kelendutan pada saat kondisi beban dalam temperatur yang tinggi. Dalam serat inti pada ACCC dikelilingi oleh aluminium yang berbentuk trapesium, hal ini bertujuan agar memiliki konduktivitas yang baik dengan nilai tahanan yang serendah mungkin dalam berbagai ukuran diameter.

Kawat penghantar ACCC dapat bekerja secara kontinyu pada suhu 180°C pada pembebanan harian dan 200°C pada saat beban dalam keadaan darurat. Konduktor ACCC ini beroperasi lebih dingin dibandingkan konduktor yang konvensional dengan berat, ukuran serta *thermal* yang sama karena kandungan aluminium yang ditingkatkan sekitar 28 % dan menggunakan aluminium jenis 1350-O untuk performa konduktivitas yang tinggi. Pada kondisi beban yang sama mengurangi *losses* 30 hingga 40 % dibanding konduktor dengan diameter dan berat yang sama. Dengan meningkatkan konduktivitas dan resistansi yang diperkecil, hal

ini dapat mengurangi rugi-rugi pada penyaluran energi listrik pada jaringan transmisi sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya.

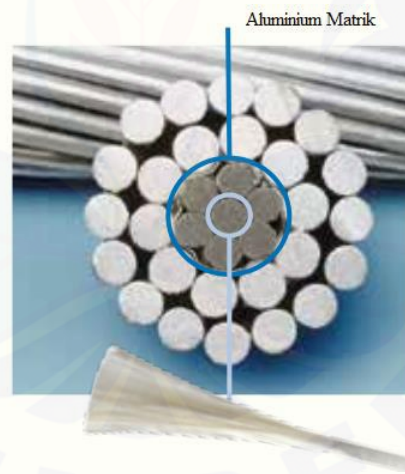
Dengan berat inti konduktor yang kecil memungkinkan peningkatan kandungan aluminium (menggunakan bentuk trapezium) tanpa melebihi berat konduktor yang diinginkan. Sebuah konduktor ACCC yang beroperasi baik pada temperatur dibawah  $200^{\circ}$  C dapat menyalurkan dengan kapasitas yang sama dibandingkan dengan konduktor HTLS lainnya yang beroperasi pada suhu diatas  $200^{\circ}$  C. Selain peningkatan kerugian jika menggunakan konduktor HTLS yang lain, operasi terus menerus diatas suhu  $200^{\circ}$  C memungkinkan percepatan degradasi pada bagian inti dan membuat biaya dari siklus operasi (*maintenance*). Berbeda dengan konduktor ACCC dimana menggunakan peralatan instalasi standar, beberapa konduktor HTLS lainnya sering membutuhkan peralatan khusus, atau prosedur instalasi yang sulit yang dapat menunda penyelesaian proyek dan meningkatkan biaya proyek secara keseluruhan.



Gambar 2.4 Konduktor ACCC (Kurnaen,2014)

#### 2.2.2.2 Konduktor ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*)

*Aluminium Conductor Composite Reinforced (ACCR)* penghantar *thermal* yang mulai di kembangkan mulai abad ke-21. Penghantar berlilit ini mempunyai inti serat paduan alumunium-matriks yang dikelilingi oleh serat aluminium dengan kandungan zirkonium (Zr). Aluminium dengan kandungan zirkonium ini mempunyai sifat konduktivitas dan ketahanan panas (*thermal resistance*) yang tinggi sedangkan paduan aluminium-matrix yang berada di tengah akan menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi namun lebih ringan dan konduktivitas yang baik dari pada baja. Serat inti ini terdiri atas ribuan serat aluminium oksida (*Nextel 3M's 650 ceramic*) dengan diameter yang sangat kecil. Konduktor ACCR dapat bekerja secara kontinyu pada suhu 210°C dan pembebanan darurat dapat bekerja hingga suhu 240 °C. Dengan hal ini konduktor ACCR dapat menggantikan peran dari konduktor ACSR sebagai upaya *upgrade* saluran dengan ROW tetap.



Gambar 2.5 Penampang penghantar ACCR (Suprihadi, 2007)

### 2.2.2.3 Konduktor TACSR (*Thermo Resistant Al- Conductor Steel Reinforced*)

TACSR (*Thermo Resistant Al- Conductor Steel Reinforced*) atau TACSR merupakan konduktor jenis HTLS yang dapat beroperasi hingga suhu 150°C. Konduktor jenis ini mempunyai kapasitas lebih besar tetapi berat konduktor tidak mengalami perubahan yang banyak, sehingga tidak perlu adanya modifikasi penguatan pada tower. Konduktor jenis ini memiliki nilai *ampacity* 1,6 kali lebih besar dari konduktor yang konvensional. Konduktor ini memiliki konstruksi yang unik, terdapat celah kecil antara inti baja dan penampang trapesium dalam berbentuk lapisan aluminium sehingga inti dapat bergerak secara independen dari lapisan aluminium. Desain baru memiliki lapisan luar terbuat dari bentuk trapesium untuk mempertahankan kepadatan dan meminimalkan hambatan listrik, serta meningkatkan luas penampang efektif pada helai aluminium. Inti baja diperkuat untuk meningkatkan faktor keamanan, karena inti bertanggung jawab untuk menahan seluruh beban tarik pada suhu tinggi. Namun, pada suhu rendah helai keras aluminium membawa beban penuh dan mengurangi tekanan yang diakibatkan oleh es/salju dan angin. Hal ini membuat konduktor TACSR dapat beroperasi pada suhu tinggi dan dengan andongan yang kecil.



Gambar 2.6 Konduktor TACSR (Kurnaen, 2014)



### 2.3 Saluran Transmisi Perak-Ujung

Saluran transmisi Perak-Ujung merupakan saluran transmisi tegangan menengah 150 kV (SUTT). Saluran ini menghubungkan saluran GI Perak dan GI ujung dibawah kontrol PT PLN (PERSERO) APP Surabaya. Saluran Perak-Ujung merupakan saluran transmisi yang menghubungkan dengan Pulau Madura. Saluran transmisi Perak-Ujung beroperasi pada tahun 2010. Hal ini merupakan suatu solusi dari saluran transmisi untuk menyuplai energi listrik ke Pulau Madura. Sebelumnya jalur transmisi Pulau Madura menggunakan kabel laut yang disuplai dari Gresik menuju Gili Timur Bangkalan Madura. Dengan mempertimbangkan faktor keamanan, maka jalur transmisi energi listrik menuju Pulau Madura di alihkan seiring adanya jembatan suramadu pada tahun 2009. Sehingga dibangun saluran transmisi Perak-Ujung dengan mempertimbangkan titik terdekat menuju jembatan suramadu.

Saluran transmisi ini terdiri dari dua sirkit dalam penyuplaian tenaga listrik yaitu *line* perak-ujung 1 dan *line* Perak-Ujung 2. Seiring perkembangan waktu kebutuhan listrik di ibu kota Jawa Timur ini semakin meningkat mengingat Surabaya tidak hanya sebagai pusat kota pemerintahan di Jawa Timur namun sebagai berkembangnya kota industri. Sehingga dibutuhkan suatu keandalan dalam penyuplaian tenaga listrik. Pada saat ini saluran transmisi Perak-Ujung menggunakan konduktor yang konvensional yaitu ACSR/AS yang saat ini kekuatan hantar arus yang disalurkan adalah sebesar 740 A pada setiap masing-masing *line*. Data tahun 2015 menunjukkan bahwa pada saat rata-rata beban puncak 148,142 MW, rata-rata arus nominalnya mencapai 77,82 % yaitu mendekati jenuh pada saluran transmisi udara ini. Keandalan sistem ini pula sudah tidak memenuhi kriteria. Pada saluran transmisi yang tidak memenuhi kriteria keandalan N-1 akan dilaksanakan *reconductoring* dan *uprating* (RUPTL 2015). Keandalan N-1 yang dimaksud adalah apabila terjadi gangguan disalah satu *line* maka *line* yang lainnya dapat menerima beban manuver dari *line* yang terjadi gangguan. Akibatnya apabila hal ini dibiarkan maka terjadi pengurangan beban di GI Bangkalan dan GI Sampang, dengan demikian

pemadaman tidak terelakkan di Pulau Madura. Sehingga dengan kondisi seperti ini PT PLN akan melakukan *upgrade* pada saluran transmisi Perak-Ujung untuk mencapai kehandalan sistem transmisi listrik (RUPTL 2015).

Dengan dilakukan *upgrade* saluran udara digunakan konduktor yang bersifat HTLS yang mempunyai suhu lebih tinggi dibandingkan dengan konduktor yang konvensional. Sehingga dengan hal ini dimaksudkan keandalan sistem saluran transmisi sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan demi menjaga kehandalan dalam saluran transmisi listrik.

#### 2.4 Perhitungan Temperatur Konduktor

Dalam IEEE Std.738 (2012) perhitungan kemampuan hantar arus konduktor pada saluran transmisi udara memenuhi persamaan keseimbangan panas dimana sebaran panas oleh konveksi ditambah sebaran panas oleh radiasi sama dengan panas dari matahari ditambah oleh rugi-rugi listrik, dirumuskan sebagai berikut:

$$q_c + q_r = q_s + I^2 \cdot R(T_{avg}) \dots \dots \dots (2.1)$$

keterangan :

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

##### 2.4.1 Penyebaran panas yang disebabkan konveksi

Terdapat dua pendingin konveksi yaitu pendingin secara alami dan pendingin secara paksa. Pendinginan konveksi secara alami merupakan pendinginan tanpa memperhitungkan angin (angin dianggap nol) sedangkan pendinginan konveksi secara paksa melibatkan angin sebagai faktor utama. Pada standar IEEE mengkalkulasi dengan cara berbeda antara pendinginan konveksi secara alami (*Natural Convection*) dan konveksi secara paksa (*forced convective cooling*). Konveksi alami mempunyai kekuatan pendinginan yang lebih rendah jika

dibandingkan dengan konveksi paksa. Dalam perhitungan konveksi secara paksa standart IEEE std.738 (2012) merekomendasikan perhitungan menggunakan kedua persamaan untuk kecepatan angin namun nilai yang akan diambil adalah hasil yang paling besar diantara kedua persamaan tersebut.

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

$$q_{cf1} = K_{angle} \cdot [1.01 + 1.35 \cdot N_{Re}^{0.5}] \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$q_{cf2} = K_{angle} \cdot 0.754 \cdot N_{Re}^{0.6} \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan  $K_{angle}$  merupakan faktor pergerakan arah angin terhadap konduktor yang dapat diperoleh dari persamaan :

$$K_{angle} = 1,194 - \cos(\emptyset) + 0,194 \cos(2\emptyset) + 0,368 \sin(2\emptyset) \dots\dots\dots(2.4)$$

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

$$q_{cn} = 3.645 \cdot \rho_f^{0.5} \cdot D_0^{0.75} \cdot (T_s - T_a)^{1.25} \dots\dots\dots(2.5)$$

keterangan :

- $q_{cn}$  : penyebaran panas secara konveksi alami (W/m)
- $T_a$  : temperatur sekeliling (*ambient*) ( $^{\circ}C$ )
- $T_s$  : temperatur konduktor ( $^{\circ}C$ )
- $\rho_f$  : 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 :

$$N_{Re} = \frac{D_0 \cdot \rho_f \cdot V_w}{\mu_f} \dots\dots\dots(2.6)$$

Baik untuk pehitungan konveksi secara alami maupun secara paksa, nilai kerapatan udara ( $\rho_f$ ), viskositas udara ( $\mu_f$ ), dan koefisien konduktivitas termal udara ( $k_f$ ) dapat dihitung dengan mengacu besaran  $T_{film}$  pada persamaan:

$$T_{film} = \frac{T_s - T_a}{2} \dots\dots\dots(2.7)$$



keterangan:

$T_{film}$  : Temperatur rata-rata lapisan batas ( $^{\circ}C$ )

Untuk viskositas udara ( $\mu_f$ ), dirumuskan :

$$\mu_f = \frac{1.458 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{film} + 273)^{1.5}}{T_{film} + 383.4} \dots\dots\dots(2.8)$$

Untuk kerapatan udara ( $\rho_f$ ), dirumuskan :

$$\rho_f = \frac{1.293 - 1.525 \cdot 10^{-4} \cdot H_e + 6.397 \cdot 10^{-9} \cdot H_e^2}{1 + 0.00367 \cdot T_{film}} \dots\dots\dots(2.9)$$

keterangan:

$H_e$  : ketinggian konduktor diatas permukaan laut (m)

Untuk koefisien konduktivitas termal udara ( $k_f$ ), dirumuskan :

$$k_f = 2.424 \cdot 10^{-2} + 7.477 \cdot 10^{-5} \cdot T_{film} - 4.407 \cdot 10^{-9} \cdot T_{film}^2 \dots\dots(2.10)$$

#### 2.4.2 Penyebaran panas yang disebabkan radiasi

Penyebaran panas secara radiasi dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_r = 17.8 \cdot D_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_s + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \dots\dots\dots(2.11)$$

keterangan :

$q_r$  : penyebaran panas secara radiasi (W/m)

$D_0$  : diameter Konduktor (m)

$T_s$  : temperatur konduktor ( $^{\circ}C$ )

$T_a$  : temperatur *ambient* ( $^{\circ}C$ )

#### 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 atmosfer bumi), jumlah energi yang disalurkan melalui atmosfer 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 :

$$q_s = \alpha \cdot Q_{se} \cdot \sin(\theta) \cdot D_0 \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan

$$\theta = \cos^{-1}[\cos(H_c) \cdot \cos(Z_c - Z_1)] \dots\dots\dots(2.13)$$

keterangan :

- $q_s$  : penyerapan energi panas matahari (W/m)
- $Q_{se}$  : total intensitas panas matahari dan radiasi udara dengan ketelitian tinggi konduktor (W/m<sup>2</sup>)
- $H_c$  : ketinggian matahari
- $D_0$  : diameter Konduktor (m)
- $Z_c$  : azimuth matahari
- $Z_1$  : azimuth saluran

Intensitas panas matahari pada permukaan bumi dapat melalui pendekatan dengan menggunakan ketelitian terhadap tinggi konduktor diatas permukaan laut yang dapat dicari dari persamaan:

$$Q_{se} = k_{solar} + Q_s \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

- $Q_s$  : toatal intensitas panas matahari dan radiasi udara
- $k_{solar}$  : faktor ketelitian

Dimana  $K_{solar}$  dapat melalui pendekatan:

$$K_{solar} = A + BH_e + CH_e^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

Tabel 2.1 Koefisien Fluks Panas Matahari dengan Pendekatan Ketinggian Konduktor

	SI	US
A	1	1
B	$1,148 \cdot 10^{-4}$	$3,500 \cdot 10^{-5}$
C	$-1,108 \cdot 10^{-8}$	$-1,000 \cdot 10^{-9}$

Sumber : IEEE std.738 (2012)

Pada saat ini standar IEEE std. 738 (2012) 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:

$$H_c = \sin^{-1}[\cos(\text{Lat}) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\text{Lat}) \cdot \sin(\delta)] \dots \dots \dots (2.16)$$

Sudut jam (*hour angle*)  $\omega$ , adalah sudut ditempuh yang sejak bumi berotasi mulai dari siang hari, dirumuskan dalam persamaan.

$$\omega = (ts - 12) \times \frac{360}{24} \dots \dots \dots (2.17)$$

keterangan:

ts : jam pada saat pengukuran

Untuk deklinasi matahari,  $\delta$ , dalam derajat di rumuskan:

$$\delta = 23.46 \cdot \sin \left[ \frac{284+N}{365} \cdot 360 \right] \dots \dots \dots (2.18)$$

dengan N adalah nomor hari dalam setahun, misalkan tanggal 21 Januari berarti N=21, tanggal 12 Februari berarti N=43, dan lain sebagainya. 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:

$$Z_c = C + \arctan(\chi) \dots \dots \dots (2.19)$$

dengan

$$\chi = \frac{\sin(\omega)}{\sin(\text{Lat}) \cdot \cos(\omega) - \cos(\text{Lat}) \cdot \tan(\delta)} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan menggunakan standart IEEE std.738 (2012) azimuth matahari konstan, C (dalam derajat), merupakan fungsi dari sudut jam ( $\omega$ ) dan variabel azimuth matahari ( $\chi$ ) seperti tertera pada table 2.2.

Tabel 2.2 Nilai Variabel Azimuth

“Sudut jam”, $\omega$ , 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,  $Q_s$  ( $\frac{W}{m^2}$ ) tergantung pada ketinggian matahari dan kejernihan atmosfer dan  $Q_s$  dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_s = A + B \cdot H_e + C \cdot H_c^2 + D \cdot H_c^3 + E \cdot H_c^4 + F \cdot H_c^5 + G \cdot H_c^6 \dots(2.21)$$

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

Tabel. 2.3 Nilai Atmosfir Dengan Ruang Bebas

<i>Clear atmosphere</i>	SI	US
A	-42.2391	-3.9241
B	63.8044	5.9276
C	-1.9220	-1.7856x10 <sup>-1</sup>
D	3.46921x10 <sup>-2</sup>	3.223x10 <sup>-3</sup>
E	-3.61118x10 <sup>-4</sup>	-3.3549x10 <sup>-5</sup>
F	1.94318x10 <sup>-6</sup>	1.8053x10 <sup>-7</sup>
G	-4.07608x10 <sup>-9</sup>	-3.7868x10 <sup>-10</sup>

Tabel 2.4 Nilai Atmosfir Daerah Industri

<i>Industrial atmosphere</i>	SI	US
A	53.1821	4.9408
B	14.2110	1.3202
C	$6.6138 \times 10^{-1}$	$6.1444 \times 10^{-2}$
D	$-3.1658 \times 10^{-2}$	$-2.9411 \times 10^{-3}$
E	$+5.4654 \times 10^{-4}$	$5.07752 \times 10^{-5}$
F	$-4.3446 \times 10^{-6}$	$-4.03627 \times 10^{-7}$
G	$+1.3236 \times 10^{-8}$	$1.22967 \times 10^{-9}$

Sumber: IEEE std.738 (2012)

#### 2.4.4 Resistansi Konduktor

Dalam standar IEEE std.738 (2012), 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 :

$$R_{(T_{AVG})} = \left[ \frac{R(T_{high}) - R(T_{low})}{T_{high} - T_{low}} \right] (T_{AVG} - T_{low}) + R(T_{low}) \dots\dots\dots(2.22)$$

#### 2.5 Perhitungan Hantar Arus Konduktor

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 yang merupakan standart dari IEEE std.738 (2012) yaitu:

$$I = \sqrt{\frac{qc+qr-qs}{R(T_{avg})}} \dots\dots\dots(2.23)$$

keterangan :

- I : arus konduktor (A)
- qc : penyebaran panas secara konveksi (W/m)
- qr : penyebaran panas secara radiasi (W/m)
- qs : penyerapan energi matahari (W/m)
- R(T<sub>avg</sub>) : resistansi AC konduktor pada temperatur T<sub>avg</sub> (Ω/m)

**2.6 Perhitungan Daya dan Rugi-rugi**

**2.6.1 Perhitungan Daya**

Dengan meningkatnya kemampuan hantar arus maka daya yang akan dihasilkan oleh saluran transmisi juga ikut meningkat. Karena besar daya berbanding lurus dengan besarnya arus dan tegangan. Untuk mencari daya yang dihasilkan maka diperoleh persamaan:

$$P=\sqrt{3}V \times I \cos \phi \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan:

- P : Daya (Watt)
- V : Tegangan (Volt)
- I : Arus (A)

**2.6.2 Perhitungan Rugi-rugi Daya**

Sama halnya dengan daya, rugi-rugi daya berlaku hal yang sama karena semakin besar arus yang dihasilkan maka rugi-rugi daya akan terus meningkat. Selain itu dengan semakin besarnya arus, resistansi konduktor pun akan semakin tinggi, sehingga akan mempengaruhi besarnya rugi-rugi daya yang terjadi.

Berikut merupakan perhitungan rugi-rugi daya pada suatu saluran transmisi listrik.

$$P_L= 3I^2 \times R(T_{avg}) \dots\dots\dots(2.25)$$



Keterangan :

$P_L$  : Rugi-rugi Daya (Watt)

$R(T_{avg})$  : Resistansi AC konduktor pada temperatur  $T_{avg}$  ( $\Omega/m$ )

$I$  : Arus per fasa dalam ampere (A)

## 2.7 Perhitungan Andongan

Andongan adalah jarak proyeksi yang diukur dari tinggi tower saluran transmisi terhadap jarak lingkungan penghantar yang terendah. Hal ini terjadi karena beratnya penghantar yang direntangkan antara dua tiang transmisi. Dengan diketahuinya jarak andongan, maka akan ditentukan tinggi menara minimum yang harus dibangun.

Dalam perhitungan andongan, faktor yang diperhitungkan adalah parameter pemuaian penghantar yang disebabkan oleh kenaikan suhu penghantar karena pemuaian ini akan menyebabkan pertambahan panjang pada penghantar, sehingga juga akan mengakibatkan bertambahnya panjang nilai andongan dan nilai sebenarnya. Keadaan kondisi permukaan tanah yang tidak rata menyebabkan tiang menara mempunyai perbedaan tinggi antara satu dengan yang lain. Pada kondisi seperti ini diperlukan metode perhitungan yang berbeda dari perhitungan andongan yang biasanya, perhitungan andongan diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu berdasarkan kondisi menara penyangga pada saluran penghantar yaitu menara yang tingginya sama dan menara yang tingginya berbeda.

### 2.7.1 Metode *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 :

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

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

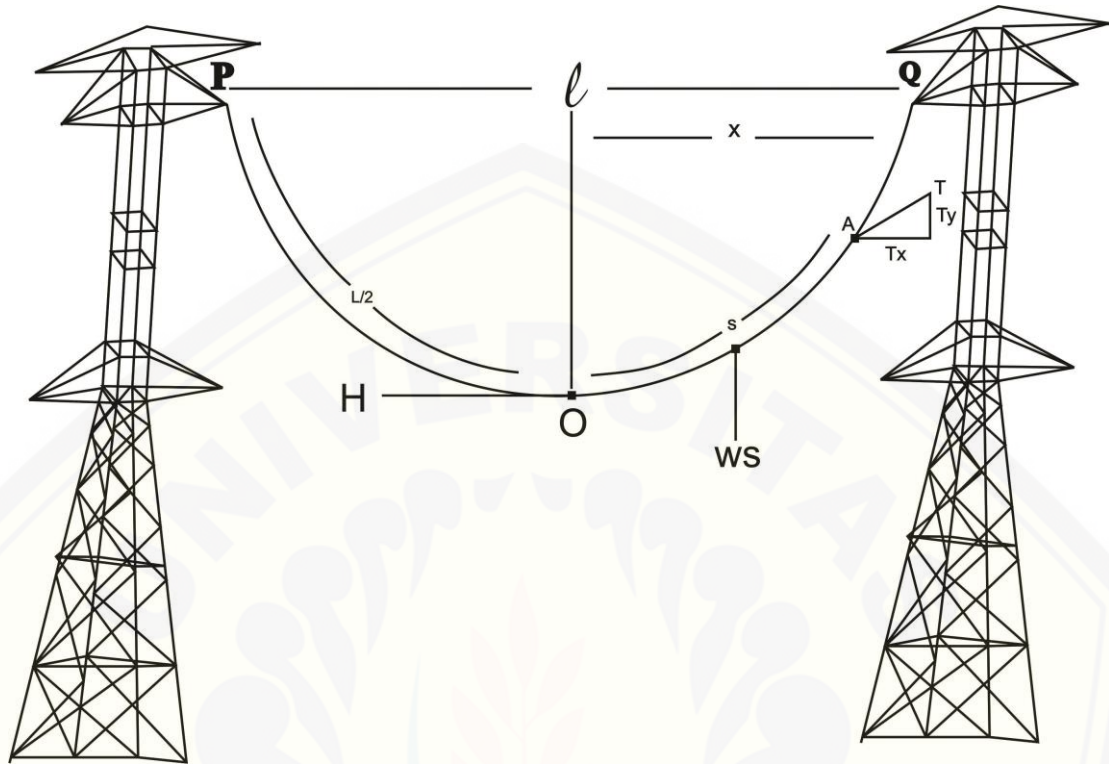
$$L_e^2 = \frac{\sum L^3}{nL_e} = \frac{\sum L^3}{\sum L}$$

$$L_e = \sqrt{\left( \frac{L_1^3 + L_2^3 + L_3^3 + \dots + L_n^3}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n} \right)} \dots \dots \dots (2.26)$$

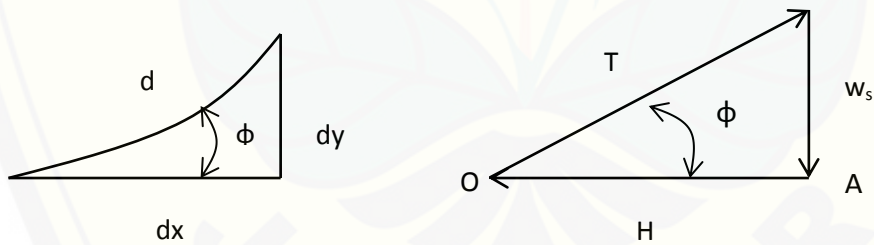
persamaan diatas dinamakan persamaan *rulling span*.

2.7.2 Metode *Caternary Equation*.

Konduktor yang terbentang di tumpuh oleh kedua tower yang sama tinggi yaitu pada titik P dan Q. Nilai l merupakan jarak antar span sebagai tumpuan dari konduktor. Pada titik O merupakan titik terendah dari konduktor yang dipengaruhi oleh tegangan tarik H. Untuk panjang konduktor diwakili oleh L sedangkan T merupakan tegangan tarik di pada titik A . Jika pada busur S adalah OA maka ws merupakan berat konduktor per satuan panjang sepanjang busur ws. Dan pada busur ws akan bekerja gaya T,ws, dan H.



Gambar 2.7 Konduktor ditopang menara sama tinggi



Gambar 2.8 Kestimbangan Busur S

Ditinjau dari gambar x maka didapatkan persamaan

$$tg \theta = \frac{ws}{H}$$

$$tg \theta = \frac{dy}{dx}$$

Dari persamaan tersebut diperoleh

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

Dengan persamaan  $ds^2 = dx^2 + dy^2$ , diperoleh persamaan

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

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

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

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

Sehingga didapat hasil integral

$$x = \left(\frac{H}{w}\right) \sin^{-1}\left(\frac{ws}{H}\right) + C1 \dots\dots\dots(2.27)$$

C1 merupakan konstanta dari integrasi. Untuk  $x=0$  maka  $s=0$  sehingga  $C1=0$ .

Dari persamaan 2.27

$$x = \left(\frac{H}{w}\right) \sin^{-1}\left(\frac{ws}{H}\right) + C1$$

$$\left(\frac{wx}{H}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{ws}{H}\right) \dots\dots\dots(2.28)$$

$$\left(\frac{dy}{dx}\right) = \left(\frac{ws}{H}\right) = \sin\left(\frac{wx}{H}\right)$$

Sehingga didapatkan  $y = \frac{H}{w} \cos \frac{wx}{H} + C2$

Syarat awal  $x=0$  dan  $y=0$

$$0 = \frac{H}{w} \cos 0 + C2, \text{ maka } C2 = \frac{-H}{w}$$

$$\text{Sehingga } y = \frac{H}{w} \left(\cos \frac{wx}{H} - 1\right) \dots\dots\dots(2.29)$$

Persamaan 2.29 Ini dikenal dengan persamaan garis rantai (*Cartenary equation*)

Untuk  $\cos \frac{wx}{H} = 1 + \frac{1}{2!} \left(\frac{wx}{H}\right)^2 + \frac{1}{4!} \left(\frac{wx}{H}\right)^4 + \dots$

Maka  $y = \frac{H}{w} \left[ \frac{1}{2} \left(\frac{wx}{H}\right)^2 \right] = \frac{wx^2}{2H}$

Andongan konduktor untuk span panjang  $l$  antara dua menara pada ketinggian sejajar dapat dicari dengan  $\frac{l}{2}$  maka  $y=D$ ,

$$D = \frac{wl^2}{8H} \dots\dots\dots(2.30)$$

Panjang konduktor yang sebenarnya, apabila  $x = \frac{l}{2}$  maka  $S = \frac{l}{2}$

$$\frac{wL}{2H} = \sin \frac{wl}{2H}$$

$$L = \frac{2H}{w} \sin \frac{wl}{2H}$$

untuk  $\sin \frac{wl}{2H} = \frac{wl}{2H} + \frac{1}{3!} \left(\frac{wl}{2H}\right)^3 + \frac{1}{5!} \left(\frac{wl}{2H}\right)^5 + \dots$

$$L = l \left( 1 + \frac{w^2L^2}{24H^2} \right) \dots\dots\dots(2.31)$$

Tegangan tarik  $T$  dihitung dari dua komponen vektor  $T_x$  sebagai komponen horizontal dan  $T_y$  sebagai komponen vertikal

$$T_x = H$$

$$T_y = ws$$

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2}$$

$$T = H \cos \frac{w}{x}$$

Karena  $x = \frac{l}{2}$  maka tegangan tarik konduktor

$$T = H \cos \frac{wl}{2H}$$

$$T = H \left[ 1 + \frac{w^2L^2}{24H^2} + \frac{w^2L^2}{24H^2} + \dots \right]$$

Sehingga  $T = H \left[ 1 + \frac{w^2l^2}{8H^2} \right] \dots\dots\dots(2.32)$

### 2.7.3 Pengaruh Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan akan berdampak pada lengkungan dari saluran transmisi. Dalam desain jalur transmisi, terdapat dua faktor lingkungan utama yaitu suhu dan angin.

#### 2.7.3.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Konduktor.

Panas menyebabkan pemuaian terhadap konduktor. Saat konduktor memuai, konduktor menjadi lebih panjang dan lengkungan (andongan) lebih rendah. Jarak tertentu pemuaian konduktor sederhana, untuk  $T$  mendekati suhu  $T_0$  dapat dihitung sebagai berikut

$$L_T = (1 + \alpha_T \times (T - T_0)) L_{T_0} \dots\dots\dots (2.33)$$

keterangan :

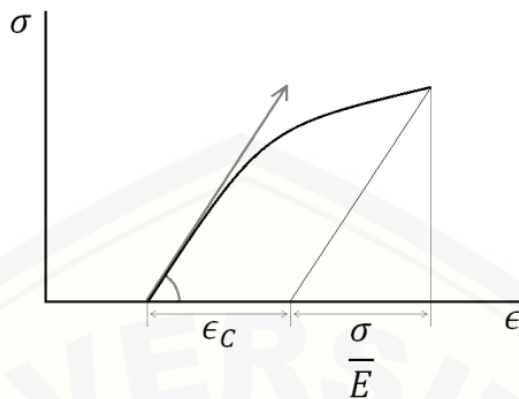
$L_T$  : Panjang konduktor pada temperatur  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

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

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

Kabel konduktor di bawah tegangan akan mengalami deformasi. Regangan (elongasi) konduktor sebagian besar linear pada tegangan rendah. Perilaku linear ini dianggap 'elastis'. Saat ketegangan meningkat melewati tegangan, beberapa strain menjadi permanen. Setelah titik ini, jika kabel tidak dalam tegangan, kabel tersebut akan menyusut secara linear, tetapi akan mempertahankan beberapa deformasi secara permanen. Deformasi permanen ini disebut 'plastik' deformasi. Gambar 2.9 menunjukkan diagram tegangan-regangan untuk konduktor sederhana.





Gambar 2.9 Tegangan-Regangan Konduktor (Slegers,2011)

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

$$L_{\sigma} = L \times (1 + \epsilon_{\sigma} + \epsilon_c) \dots\dots\dots(2.34)$$

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

Keterangan:

$L_{\sigma}$  : Panjang konduktor under stress (m)

$L$  : Panjang konduktor no stress (m)

$\epsilon_{\sigma}$  : *elastic strain*

$\sigma$  : *Stress* (Kg/mm<sup>2</sup>)

$\epsilon_c$  : *Plastic deformation of the cable*

$E$  : Modulus elastis konduktor (Mpa)

$H$  : Tegangan tarik pada konduktor (Kg)

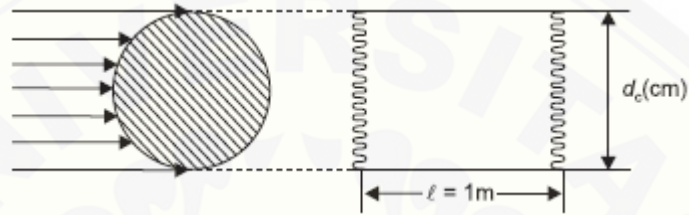
$A$  : Luas penampang konduktor (mm<sup>2</sup>)

Setiap kabel saluran transmisi berada dibawah tegangan. Seiring waktu, ketegangan ini akan cenderung meregangkan kabel secara permanen. Perilaku ini dikenal sebagai creep. Creep telah dimodelkan dan dijadikan parameter untuk sebagian besar jenis kabel. Jalur transmisi adalah investasi jangka panjang. Mereka biasanya digunakan selama 40 tahun atau lebih, sehingga sangat penting untuk

merancang jalur yang akan beroperasi dengan aman selama bertahun-tahun di masa depan.

2.7.3.2 Pengaruh Angin Terhadap Konduktor

Diasumsikan bahwa angin tidak mengenai keseluruhan pada konduktor. Angin diasumsikan bekerja secara horizontal terhadap permukaan konduktor. Gambar 2.10 menunjukkan gaya angin pada permukaan konduktor tanpa dipengaruhi oleh es.



Gambar 2.10 Gaya angin terhadap konduktor (Das,2006)

Daerah proyeksi panjang per satuan meter pada konduktor

$$S_{ni} = A_{ni}L \dots\dots\dots(2.35)$$

Keterangan :

$S_{ni}$  : Permukaan konduktor tanpa diselumuti es ( $m^2/m$ )

$A_{ni}$  : Luas permukaan konduktor ( $m^2/m$ )

L : panjang konduktor (m)

Untuk panjang konduktor per meter

$$S_{ni} = \frac{dc}{100} \times 1$$

Gaya horizontal yang diberikan pada saluran transmisi akibat tekanan angin

F :  $S_{ni} \times P$

Untuk panjang konduktor per-meter

$$F = \frac{dc}{100} \times p \dots\dots\dots(2.36)$$

Keterangan :

F : gaya horizontal akibat tekanan angin pada saluran (Kg/Km)

P :tekanan angin

Sehingga beban yang bekerja terhadap konduktor

$$We = \sqrt{(w + wi)^2 + F^2} \text{ (Kg/Km) .....(2.37)}$$

Keterangan:

w : berat panjang konduktor per meter

wi : berat panjang es per meter

#### 2.7.4 Nilai Tegangan dan Andongan akibat Perubahan Temperatur dan Tekanan Angin

Perubahan nilai temperatur kawat penghantar akan menyebabkan pemuluran sehingga akan berubah pula tegangan tarik dan andongan pada kawat penghantar.

Dari persamaan, maka panjang kawat penghantar pada temperatur  $t_2$  adalah :

$$L = L_0 \left( 1 + \alpha_T \times (T - T_0) \right) \left( 1 + \frac{H - H_0}{EA} + \epsilon_C \right) \text{ .....(2.38)}$$

Dimana :

$L_0$  : Panjang konduktor awal (m)

$L$  : Panjang konduktor pada temperatur tinggi (m)

$H_0$  : Tegangan tarik awal (Kg)

$T_0$  : Temperatur awal ( $^{\circ}\text{C}$ )

Substitusi persamaan x ke persamaan y

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

Persamaan x di kalikan dengan  $H^2$  untuk selanjutnya di susun untuk mendapatkan persamaan polinomial orde 3  $A_1 H^3 + A_2 H^2 + A_3 H = B$

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

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

$$A_3 = 0$$

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

Dengan menggunakan metode Newton-Raphson dapat dicari besar tegangan tarik horizontal H.

Dengan perubahan pembebanan arus menyebabkan terjadinya perubahan terhadap temperatur konduktor. Bagian inti dan bagian alumunium mempunyai koefisien muai panjang yang berbeda. Sehingga apabila arus meningkat maka temperatur juga meningkat yang menyebabkan alumunium memuai pada tingkat yang lebih tinggi dibandingkan inti konduktor. Pada saat ini tegangan tarik bergerak menuju inti. Pada beberapa temperatur tegangan tarik pada sisi almunium diambil alih oleh muai panjang alumunium sehingga seluruh beban tarik akan seluruhnya di bemban oleh bagian inti yang menyebabkan tidak ada beban tarik pada sisi almunium. Titik transisi ini dinamakan *thermal knee point*. Panjang konduktor pada  $t_2$  diatas *knee point temperature* dapat dicari dengan persamaan berikut :

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

Dikali  $H^2$  dibentuk polinomial  $A_1 H^3 + A_2 H^2 + A_3 H = B$

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

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

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

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

$$A_3 = 0$$

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

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 jukan andongan dengan persamaan dibawah ini.

Tegangan tarik pada temperatur  $t_2$  adalah :

$$T_{t2} = H_{t2} + \frac{w^2 l^2}{8H_{t2}} \dots\dots\dots(2.39)$$

Panjang kawat penghantar pada temperatur  $t_2$  adalah :

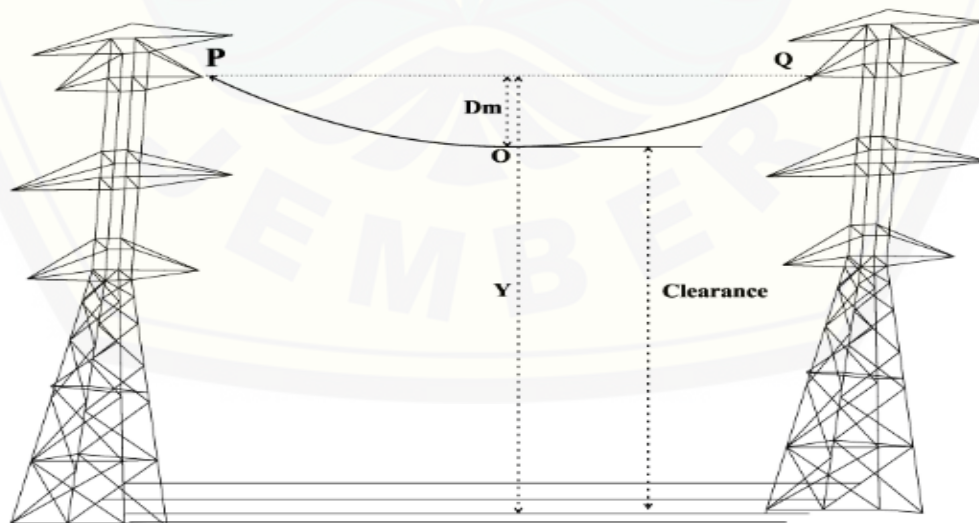
$$L_{t2} = L + \frac{w^2 l^3}{24H_{t2}^2} \dots\dots\dots(2.40)$$

Andongan pada temperatur  $t_2$  adalah :

$$D_{t2} = H_{t2} + \frac{w l^2}{8H_{t2}} \dots\dots\dots(2.41)$$

2.7.5 Jarak Aman Andongan (*Clearance*)

Setiap bentangan kawat jaringan transmisi memerlukan suatu ruang bebas. Ruang bebas adalah ruang disekeliling penghantar yang dibentuk oleh jarak bebas minimum sepanjang saluran jalur SUTT. Untuk menjaga keamanan objek di bawah saluran transmisi listrik, maka ditetapkan jarak bebas minimum (*Clearance*). Jarak minimum antara konduktor dan objek dibawahnya adalah enam meter untuk tegangan 100kV, sedangkan jika melalui jalan raya akan menjadi tujuh meter. Untuk tegangan lebih dari 100kV, maka jarak bebasnya sebagai berikut.



Gambar 2.11 Jarak Bebas



$$\Delta h = \frac{V - 100}{150} \dots\dots\dots (2.42)$$

keterangan :

$\Delta h$  = penambahan jarak bebas (m)

$V$  = Tegangan (kV)

sehingga diperoleh ketinggian tiang :

$$h = D_m + 7 + \Delta h + t \dots\dots\dots (2.43)$$

keterangan :

$h$  = tinggi tower (m)

$D_m$  = andongan maksimum (m)

$t$  = tinggi yang dilewati (m).

Dalam suatu kasus *upgrade* saluran transmisi dengan mengganti konduktor konvensional dengan konduktor temuan terbaru maka diharuskan dengan menggunakan ROW yang tetap. ROW tetap diartikan dengan tidak ada perubahan ROW sebelum *upgrade* dengan sesudah *upgrade*, karena *upgrade* yang dimaksudkan hanya menggantikan konduktor tanpa mengubah menara penyangga.

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat Penelitian

Penelitian mengenai studi perencanaan *upgrade* transmisi tegangan tinggi 150 kV Perak-Ujung menggunakan konduktor HTLS (*High Temperature-Low Sag*) dilaksanakan di APP Surabaya dan Unit Induk Pembangunan Jawa Bagian Timur dan Barat (UIPJBTB) Jl. Ketintang Baru no.1-3 Surabaya.

### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

#### 3.2.1 Alat

1. Satu unit komputer/ Laptop.

Komputer / laptop digunakan untuk melakukan simulasi rancangan sistem, melakukan analisis serta penyusunan laporan.

2. *Software* Matlab R2009a.

*Software* Matlab R2009a digunakan sebagai aplikasi untuk melakukan simulasi perbandingan antara konduktor jenis HTLS sehingga didapatkan jenis konduktor HTLS yang sesuai dengan struktur saluran transmisi Perak-Ujung untuk dilakukan *reconductoring*.

#### 3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang diperoleh dari penelitian yang digunakan dalam pembuatan program ini adalah data berupa kondisi lingkungan penelitian serta spesifikasi konduktor saluran transmisi yang digunakan pada saluran transmisi Perak-Ujung yang di dapatkan di APP Surabaya.

### 3.3 Objek Penelitian

#### 3.3.1 Kondisi Lingkungan Penelitian

Dalam penelitian digunakan data lapangan yang akan memperhitungkan dari faktor eksternal yang mempengaruhi kinerja dari konduktor saluran transmisi udara. Dalam metode keseimbangan panas (IEEE std.738, 2012) hal ini digunakan sebagai masukan untuk memperhitungkan dari penyebaran panas secara konveksi, penyebaran panas secara radiasi dan penyerapan energi sinar matahari terhadap konduktor yang beroperasi. Sehingga dengan hal ini akan diketahui nilai dari *steady state ampicity* dari konduktor. Secara umum kondisi lapangan saluran transmisi Perak-Ujung ditunjukkan tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Kondisi Lapangan Penelitian

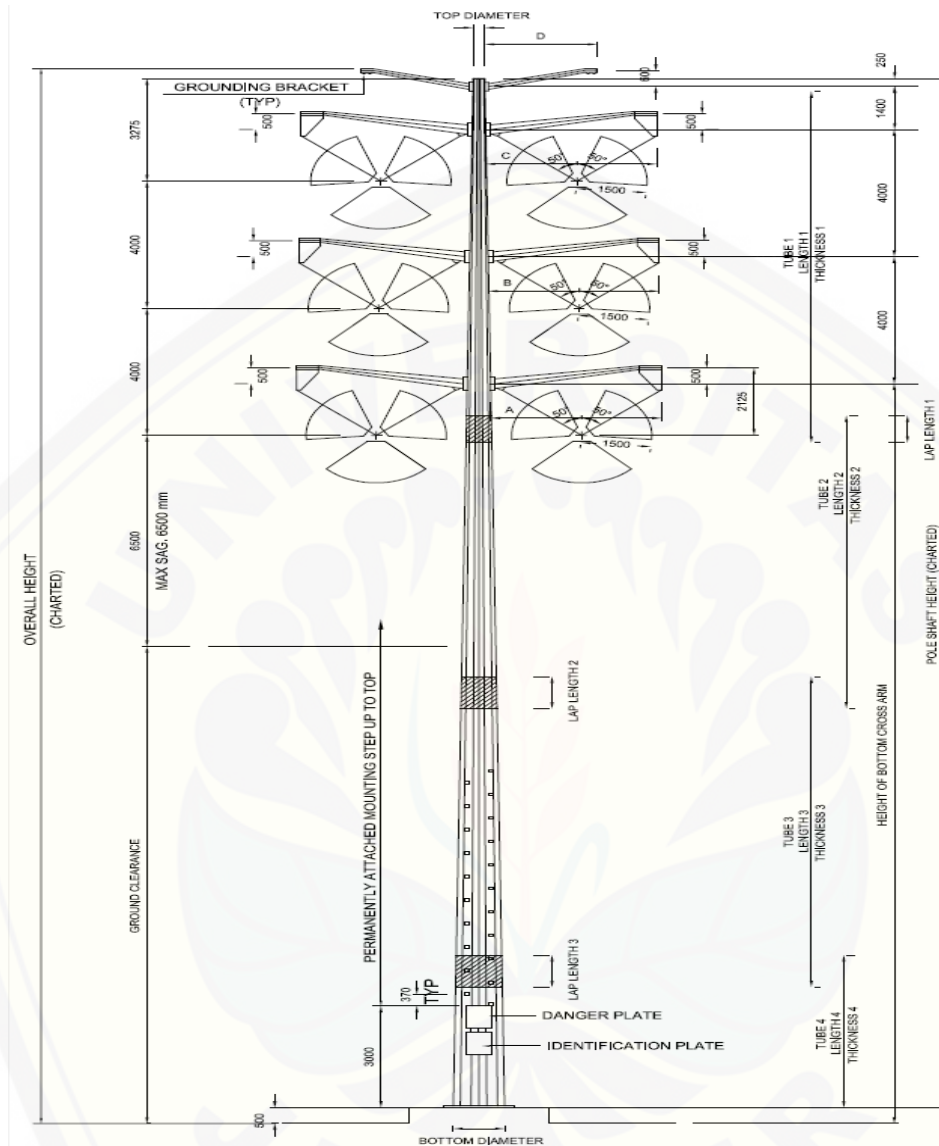
No	Data Lapangan	
	Faktor	Besaran Nilai
1	Kecepatan angin	2,8 m/s
2	Atmosfer area	Atmosfer Industri
3	Tinggi Konduktor diatas permukaan laut	29,146 m
4	Temperatur Lingkungan	30 °C
5	Koordinat area	-7,2078353 LS
6	Jam Pengukuran	13.00 WIB

Konduktor yang bekerja sangat bergantung dengan kondisi di sekitar, termasuk dengan andongan, tegangan tarik dan pemuluran yang terjadi pada masing-masing konduktor. Untuk mengetahui besar andongan, tegangan tarik dan pemuluran terhadap konduktor dibutuhkan sebuah jarak antar gawang (*span*) untuk mengetahui besaran yang dibutuhkan dari masing-masing *span*. Untuk jarak *span* yang digunakan pada saluran transmisi udara Perak-Ujung seperti ditunjukkan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Jarak *Span* Perak-Ujung Struktur dua *dead end*.

No Tower	Jarak <i>Span</i> (m)
9	118,408
10	115,427
11	189,274
12	212,498
13	190,004
14	149,906
15	

Jika dilihat dari tabel 3.2 menunjukkan jarak antar *span* dengan struktur dua *dead end* yang mempunyai jarak antar *span* yang berbeda. Sehingga digunakan metode *rulling span* untuk mencari *span equivalent*. *Span equivalent* digunakan sebagai masukan perhitungan besaran tegangan tarik, andongan, dan pamuluran terhadap konduktor yang digunakan metode *catenary equation*. Sehingga dengan ini dapat diperhitungkan besaran andongan dan tegangan tarik dari masing-masing *span*. Dalam *reconductoring* harus menyesuaikan dengan unjuk kerja mekanis struktur yang telah ada sebelumnya atau dengan ROW tetap. Hal ini digunakan untuk penyesuaian struktur yang telah ada atau yang digunakan pada saat ini. Sehingga dibutuhkan sebuah topologi yang menjadi acuan dalam perhitungan untuk kerja mekanis.



Gambar 3.1 Tower *Steel Pole* Transmisi Udara 150 kV (UIPJBTB,2016)

Gambar 3.1 merupakan struktur tower jenis *steel pole* yang digunakan pada saat ini di saluran transmisi udara 150 kV Perak-Ujung dengan menggunakan konduktor ACSR/AS 340/30. Jika dilihat andongan maksimum yang diperbolehkan adalah 6,5 m. Sehingga andongan maksimum yang harus dihasilkan tidak boleh melebihi dari 6,5 m dari masing-masing konduktor yang diperhitungkan. Karena jika melebihi dari andongan maksimal akan sangat membahayakan bagi objek yang berada di bawahnya serta konduktor itu sendiri.



### 3.3.2 Spesifikasi Konduktor

Selain memperhitungkan faktor eksternal yang bekerja, perhitungan *steady state ampacity* juga memperhitungkan spesifikasi konduktor. Dalam pembuatan program di MATLAB dibutuhkan suatu masukan dalam pengelohannya. Tabel 3.2 menunjukkan spesifikasi dari masing-masing konduktor yang akan di hitung untuk mengetahui konduktor yang sesuai dengan struktur saluran transmisi udara 150 kV Perak-Ujung.

Tabel 3.3 Spesifikasi Konduktor

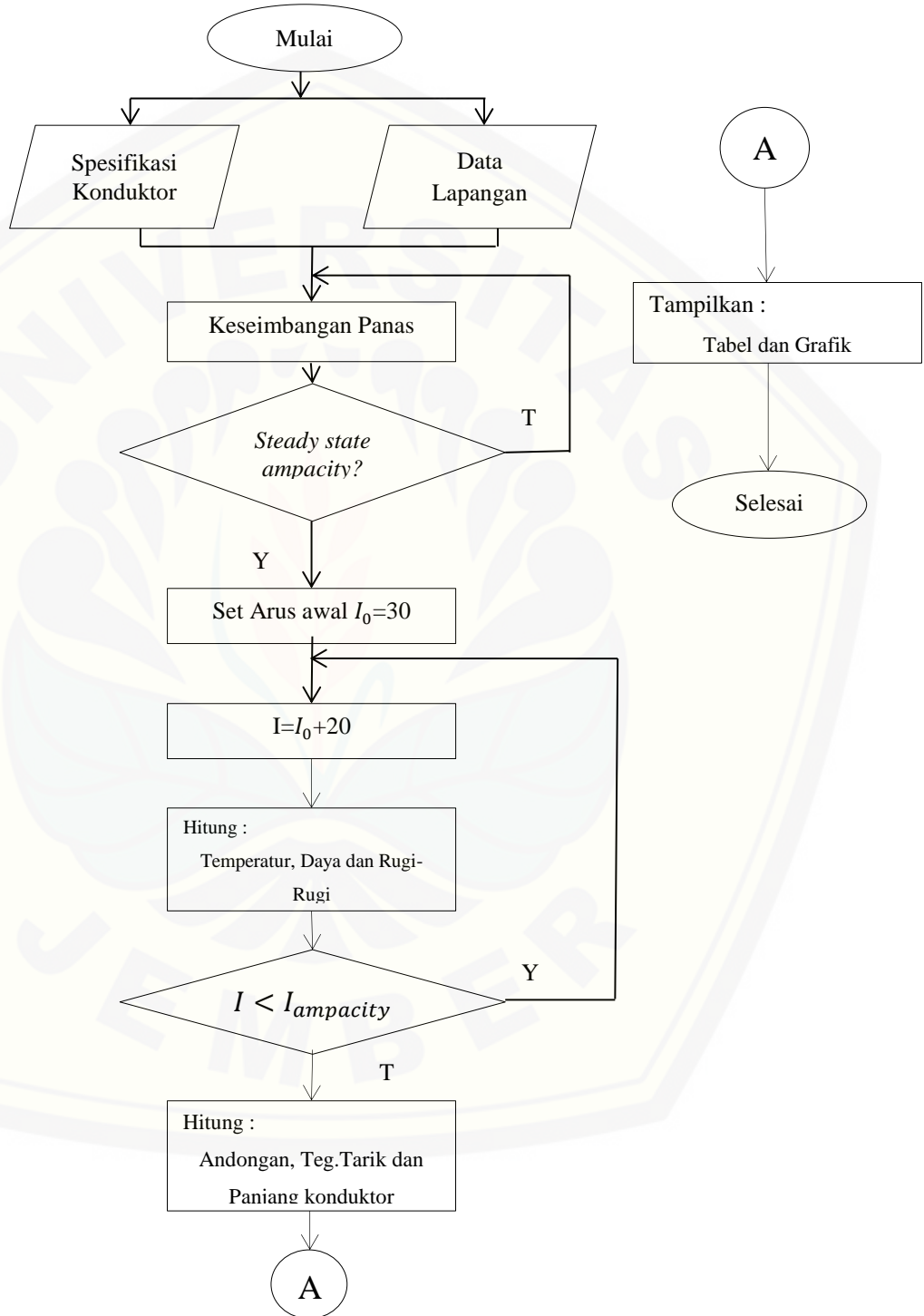
Spesifikasi konduktor		Jenis Konduktor			
Tipe Konduktor		ACSR/AS	TACSR	ACCC	ACCR 636-
		340/30	Rook	Dove	T16 Groosbreak
Diameter (mm)	Alumunium	18,00	16,56	15,8	15,9
	Inti ( <i>Core</i> )	6,99	8,28	7,75	9,3
	Total	24,99	24,84	23,55	25,2
Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Alumunium	339,29	323	361,6	322
	Inti ( <i>Core</i> )	29,85	41,9	47,1	52
	Total	369,14	364,9	408,7	374
Berat Konduktor (Kg/km)		1140	1171	1083	1067
Resistansi (ohm/km)	DC/20 °C	0,0827	0,0873	0,0771	0,0854
	AC/25 °C	0,09358	0,09362	0,0792	0,0875
	AC/75 °C	0,11207	0,11151	0,0857	0,1048
Modulus Elastisitas (GPa)	Alumunium	61,781895	59,7608	54,21	55
	Inti ( <i>Core</i> )	162	162	112,3	216
	Total	69,886	71,518	60,9	77
Koefesien Muai	Alumunium	23	23	23	23
	Inti ( <i>Core</i> )	13	13	1,61	6,3

Panjang ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	Total	21,126	20,382	18,5	16,6
Temperatur Operasi ( $^{\circ}\text{C}$ )	Operasi Kontinyu	75		180	210
	Batas Maksimum	90	150	200	240
<i>Rated Breaking Streanght</i> (kN)		93,92	98	122,3	111,6

Data spesifikasi ini akan menjadi sebuah masukan dari perhitungan metode keseimbangan panas, untuk mencari besaran *ampacity* yang dihasilkan dari masing-masing konduktor. Setelah diketahui besaran *ampacity* maka dilakukan perhitungan *thermal rating* untuk mengetahui temperatur yang bekerja terhadap konduktor. Selain itu juga spesifikasi konduktor akan diperhitungkan dalam pengujian mekanis yang berupa besarnya andongan, tegangan tarik dan panjang konduktor dengan menggunakan metode *cartenary equation*.

3.4 Flowchart

3.4.1 Flowchart Sistem

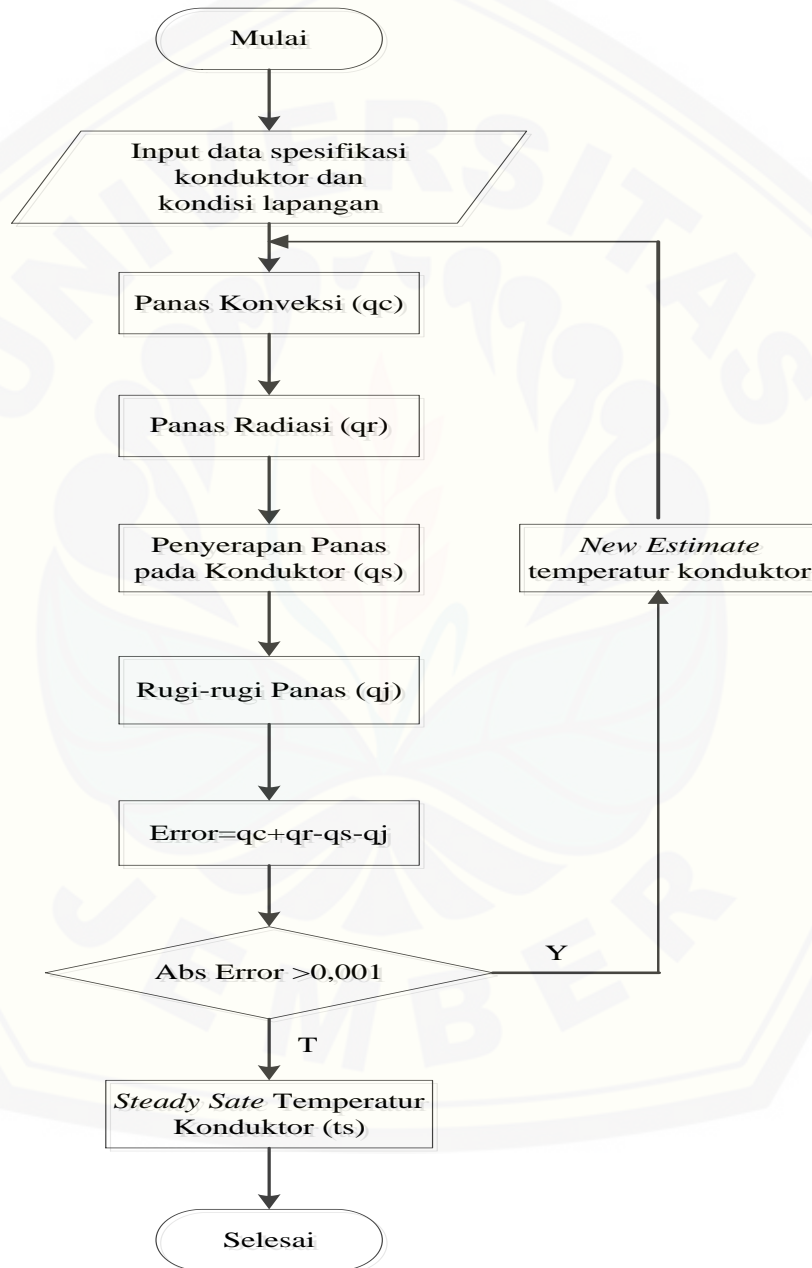


Gambar 3.2 Flowchart Sistem Penelitian.

*Flowchart* sistem ini dimulai memasukkan data awalan sebagai masukan dari perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Data awalan berupa spesifikasi konduktor dan kondisi lapangan merupakan masukan untuk menghitung *steady state ampacity* terhadap masing-masing konduktor. Dalam mencari *steady state ampacity*, menggunakan metode keseimbangan panas (IEEE std.738,2012) yang dalam persamaannya memenuhi penyebaran panas secara konveksi ditambah penyebaran panas secara radiasi sama dengan penyerapan energi sinar matahari ditambah oleh rugi-rugi listrik yang dihasilkan. Setelah didapatkan *steady state ampacity*, maka akan di beri besar arus awalan yang di set sebesar 30 A. Hal ini dilakukan karena penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh pembebanan arus saluran transmisi terhadap uji secara elektrik yang berupa temperatur konduktor, daya serta rugi-rugi yang dihasilkan dan mekanis yang berupa besarnya andongan, tegangan tarik dan panjang konduktor. Pembebanan arus saluran akan ditambah 20 A sampai mencapai titik kerja suhu maksimal dari masing-masing konduktor. Sehingga dengan mengetahui perubahan arus saluran terhadap uji secara elektrik dan mekanik, memungkinkan untuk mengetahui kehandalan yang akan direkomendasikan sebagai pergantian konduktor (*reconductoring*) yang sesuai dengan struktur saluran transmisi udara 150 kV Perak-Ujung.

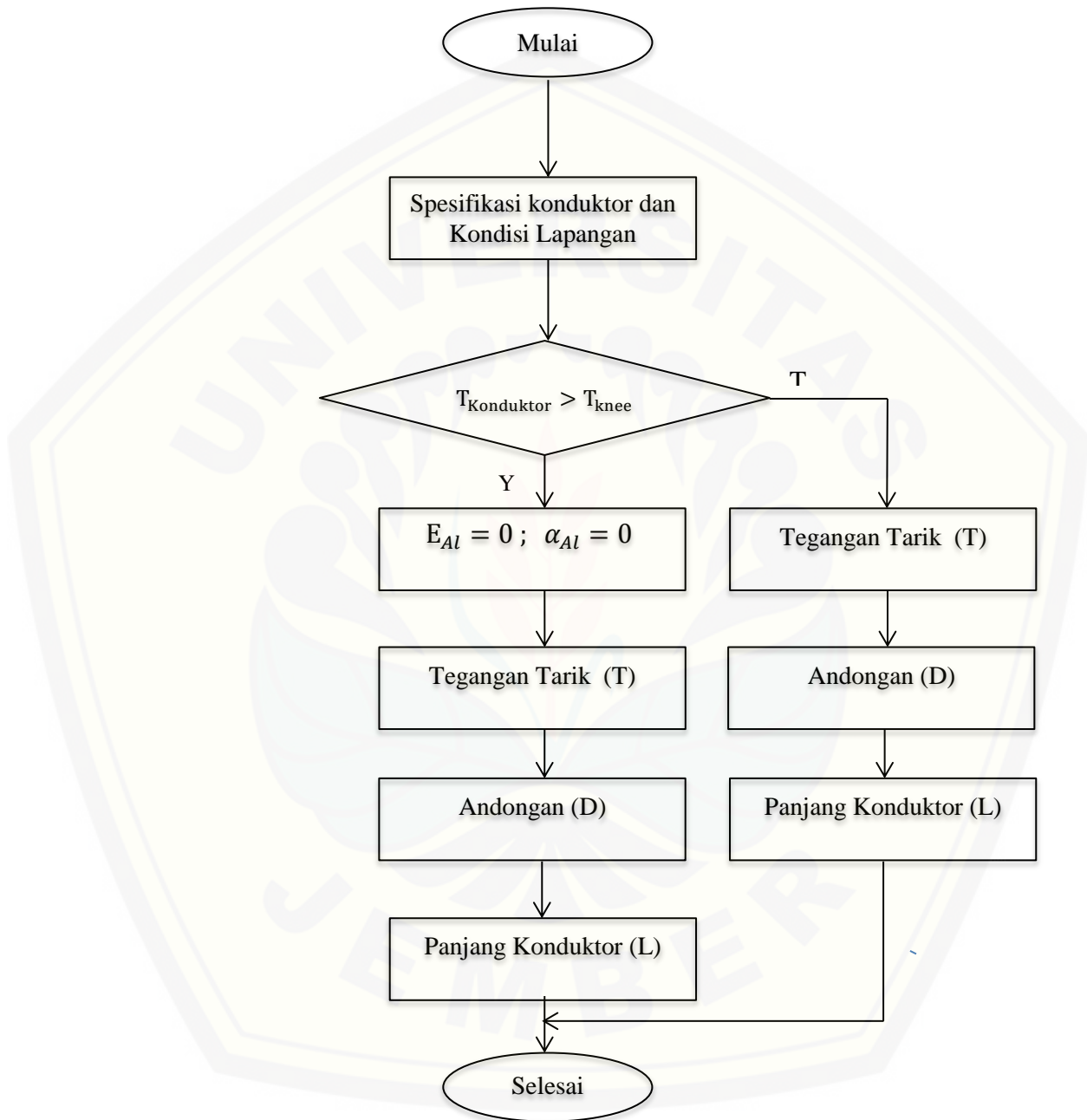
## 3.4.2 Flowchart Tempertur Konduktor

Dalam IEEE std.738 (2012) untuk menentukan *steady state* temperatur konduktor yang bekerja pada arus tertentu memenuhi diagram alir sebagai berikut.

Gambar 3.3 Temperatur *Steady State* Konduktor



## 3.4.3 Flowchart Pengujian Mekanik



Gambar 3.4 Pengujian mekanik terhadap konduktor

### 3.5 Pemrograman pada *Software* Matlab R2009a

#### 3.5.1 Perhitungan Secara Elektrik

Perhitungan kapasitas hantar arus dapat dilakukan menggunakan standart IEEE std.738 (2012) yaitu memenuhi persamaan keseimbangan panas pada persamaan 2.1. Kapasitas hantar arus bertujuan untuk mengetahui besaran arus yang dapat disalurkan pada setiap konduktor dengan dibatasi oleh titik kerja suhu maksimal yang dimiliki masing-masing konduktor. Untuk menghitung besaran kapasitas hantar arus maka diperhitungkan besaran penyebaran panas secara konveksi(qc), besaran panas radiasi (qs), besaran penyerapan sinar matahari terhadap konduktor (qs) dan rugi-rugi panas yang didapatkan oleh konduktor.

##### 3.5.1.1 Penyebaran Panas Secara Konveksi (qc)

Terdapat dua pendingin konveksi yaitu secara paksa dan secara alami. Pendingin konveksi secara alami tidak memperhitungkan besaran angin dengan melalui persamaan 2.5 dan pendingin secara paksa dengan memperhitungkan besaran angin yang menerpa konduktor dengan melalui persamaan 2.2 dan 2.3. Dalam standart IEEE std 738 pendingin konveksi secara paksa direkomendasikan perhitungan kedua persamaan namun nilai yang akan diambil adalah nilai yang paling besar diantara persamaan tersebut. Adapun pemrograman dalam matlab adalah sebagai berikut

```
%Conductor heat loss convection (qc)
TfilmKHA = (TsKHA+Ta)/2;
ufKHA = (1.458e-6*(TfilmKHA+273)^1.5)/(TfilmKHA+383.4);
pfKHA = (1.2932-(1.525e-4*He)+(6.379e-9*He^2))/(1+(0.00367*TfilmKHA));
kfKHA = 2.424e-2+(7.477e-5*TfilmKHA)-(4.407e-9*TfilmKHA^2);

%Bilangan Reynold
NreKHA = (D0*pfKHA*Vw)/ufKHA;

%theta angin in radian
theta_angin_deg = theta_angin;
theta_angin_rad = theta_angin_deg * deg_ke_rad;

%Besarnya Kangel
Ka=1.194 - cos(theta_angin_rad) + 0.194*cos(2*theta_angin_rad)+...
0.368*sin(2*theta_angin_rad);

%Besarnya qc
if (Vw >0)
```

```

qcf2KHA = Ka*0.754*NreKHA^0.6*kfKHA*(TsKHA-Ta);
qcf1KHA = Ka*(1.01+1.35*NreKHA^0.52)*kfKHA*(TsKHA-Ta);
qnKHA = 3.635*(pfKHA^0.5)*(D0^0.75)*(TsKHA-Ta)^1.25;
if (qcf1KHA > qcf2KHA && qnKHA)
    qcKHA = qcf1KHA;
elseif (qcf2KHA > qcf1KHA && qnKHA)
    qcKHA = qcf2KHA;
else
    qcKHA = qnKHA;
end
else (Vw == 0)
    qnKHA = 3.635*(pfKHA^0.5)*(D0^0.75)*(TsKHA-Ta)^1.25;
    qcKHA = qnKHA;
end
end

```

### 3.5.1.2 Penyebaran Panas Secara Radiasi (qr)

Penyebaran panas secara radiasi sebagaimana memenuhi persamaan 2.11 yang disimbolkan qr. Persamaan ini akan disubstitusikan dengan persamaan 2.1 untuk mencari kapasitas hantar arus pada titik kerja suhu tertentu pada masing-masing konduktor. Adapun promograman dalam matlab adalah sebagai berikut

```

%Conductor heat loss from radiation (qr)
T1=TsKHA+273;
T2=Ta+273;
qrKHA = 17.8*D0*emmis*((T1)/100)^4-((T2)/100)^4);

```

### 3.5.1.3 Penyerapan Sinar Matahari Terhadap Konduktor (qs)

Adapun persamaannya yaitu melalui persamaan 2.12 yang disimbolkan dengan qs. Dalam perhitungan qs banyak faktor yang dipertimbangkan yaitu menghitung deklinasi matahari melalui persamaan 2.18 dan *hour angle* yaitu sudut yang ditempuh sejak bumi berotasi mulai dari siang hari yaitu memenuhi persamaan 2.17. Dari persamaan 2.17 dan 2.18 maka menjadi suatu masukan untuk menghitung ketinggian matahari dengan melalui persamaan 2.16. Ketinggian matahari diperhitungkan untuk mencari besaran total fluks panas yang diterima oleh permukaan bumi pada ketinggian diatas permukaan laut. Faktor ini dipengaruhi oleh ketinggian matahari dan kejernihan atmosfer yang tersebar, yang dalam IEEE std 738 (2012) dibagi menjadi dua yaitu atmosfer industri dan atmosfer bebas yaitu memenuhi persamaan 2.21 dengan ketetapan atmosfer yang tertera pada tabel 2.3 untuk atmosfer bebas dan tabel 2.4 untuk atmosfer industri. Dengan didapatkan

intensitas panas matahari dan radiasi udara maka diperlukan besaran total intensitas panas matahari dan radiasi udara dengan ketelitian tinggi konduktor yang memenuhi persamaan 2.14. Faktor ketelitian yang dimaksud disini adalah K solar yaitu dengan melalui persamaan 2.15 dengan nilai ketetapan nilai fluks panas matahari dengan pendekatan ketinggian konduktor yang tertera pada tabel 2.1. Dalam perhitungan qs selain memperhitungkan total intensitas panas matahari dan radiasi udara dengan ketelitian tinggi konduktor juga diperhitungkan pula efektif sudut sinar datang matahari yang memenuhi persamaan 2.13. Adapun dalam pemrograman pada matlab adalah sebagai berikut.

```

% solar declination in radian
solardeclKHA_deg = 23.46 * (sin(((284.0 + (Nday))/365.0) * 2.0
* pi));
solardeclKHA_rad = solardeclKHA_deg * deg_ke_rad;

% Solar Angle Relative to Noon
hour_angleKHA_deg = (sun_time - 12) * 15;
hour_angleKHA_rad = hour_angleKHA_deg * deg_ke_rad;

% Find Solar Altitude (Hc)
HcarcKHA = cos(latt_rad) * cos(solardeclKHA_rad) *
cos(hour_angleKHA_rad) + ...
sin(latt_rad) * sin(solardeclKHA_rad);
HcKHA_rad = atan(HcarcKHA/ sqrt(1 - HcarcKHA ^ 2));
HcKHA_deg = HcKHA_rad * rad_ke_deg;

% Total heat flux density (heat intensity) at sea level versus
Hc in degress
    if (atmos == 1)
% Solar Heat (Q3) At Earth Surface (W/m^2) in Industrial Air
(P6)
QsKHA = 53.1821 + 14.211 * HcKHA_deg + 0.66138 * HcKHA_deg ^ 2
- ...
0.031658 * HcKHA_deg ^ 3 + 5.4654E-04 * HcKHA_deg ^ 4 - ...
4.3446E-06 * HcKHA_deg ^ 5 + 1.3236E-08 * HcKHA_deg ^ 6;
DISPL = 'ATMOSFER INDUSTRIAL';
    else
QsKHA = -42.2391 + 63.8044 * HcKHA_deg - 1.922 * HcKHA_deg ^ 2
+ ...
0.034692 * HcKHA_deg ^ 3 - 3.6112E-04 * HcKHA_deg ^ 4 + ...
1.9432E-06 * HcKHA_deg ^ 5 - 4.0761E-09 * HcKHA_deg ^ 6;
DISPL = 'ATMOSFER CLEAR';
    end

```

```

%koreksi solar flux
k_solar=1+(1.1481e-4*He)+(-1.108e-8*He^2);
QseKHA = k_solar*QsKHA;

%Calculate Solar Azimuth Variable, Chi
chiKHA = sin(hour_angleKHA_rad) / (sin(latt_rad) *
cos(hour_angleKHA_rad) - cos(latt_rad) ...
* tan(solardeclKHA_rad));

%Calculate Solar Azimuth Constant, CAZ
if ((hour_angleKHA_deg < 0) && (chiKHA >= 0))
    CAZ = 0;
elseif ((hour_angleKHA_deg >= 0) && (chiKHA < 0))
    CAZ = 360;
else
    CAZ = 180;
end

%Calculate Azimuth of sun in radian
hasil_atancKHA_rad = atan(chiKHA);
hasil_atancKHA_deg= hasil_atancKHA_rad * rad_ke_deg;
ZcKHA_deg = CAZ + hasil_atancKHA_deg;
ZcKHA_rad = ZcKHA_deg * deg_ke_rad;

%Azimuth of line in radians
ZlKHA_rad = Zl_deg * deg_ke_rad;

%Calculate Effective angle of incidence of the sun's rays in
radian
thetaKHA_rad = atan(sqrt(1 / (cos(HcKHA_rad) * cos(ZcKHA_rad -
ZlKHA_rad)) ^ 2 - 1));

%Menghitung solar heat gain
qsKHA = absorb * QseKHA * sin(thetaKHA_rad) * D0;

```

#### 3.5.1.4 Resistansi Konduktor

Dalam IEEE std 738 (2012) hambatan listrik disesuaikan linier untuk suhu permukaan konduktor yang memenuhi persamaan 2.22, dituliskan dalam program matlab sebagai berikut.

```

%RESISTANSI KONDUKTOR
R_TcKHA=(( (Rth-Rtl) / (Th-Tl) ) * (TsKHA-Tl) ) +Rtl

```



### 3.5.1.5 Perhitungan Daya dan Rugi-rugi

Rugi-rugi daya dan daya tersalurkan saluran sebagaimana dirumuskan pada persamaan hingga 2.23 dan persamaan 2.24 dirumuskan dengan program berikut.

```
%Menghitung Joule Heating
qj(i) = I(i)^2*R_Tc;

%Menghitung Rugi-rugi
PL(i)=3*I(i)^2*R_Tc;

%menghitung daya
cos_phi_deg=cos_phi;
cos_phi_rad=cos_phi*deg_ke_rad;

p(i)=(sqrt(3))*150000*I(i)*cos(cos_phi_rad);

%Menghitung Daya yang disalurkan
PD(i)= (p(i)-PL(i));
```

### 3.5.2 Perhitungan Secara Mekanik

Dengan menggunakan metode *Cartenary Equation* maka akan diketahui besar andongan, tegangan tarik yang dibutuhkan serta pemuluran yang terjadi pada masing-masing konduktor di setiap *span*.

#### 3.5.2.1 Tegangan Tarik Konduktor

Faktor eksternal dapat mempengaruhi kinerja dari konduktor seperti angin yang merupakan pendingin konveksi secara paksa namun angin dapat menambah berat spesifik konduktor yang memenuhi persamaan 2.37. Selain itu juga perubahan temperatur juga mempengaruhi kinerja dari konduktor yang membuat konduktor semakin panas sehingga pemuluran semakin bertambah. Dengan memperhitungkan konduktor dengan pengaruh faktor eksternal maka akan memenuhi persamaan 2.38 yang akan dicari akar-akar polinomial menggunakan metode Newton-Rapshon. Melalui perhitungan ini akan didapatkan besar tegangan tarik horizontal pada suhu tertentu yang bekerja pada suatu konduktor yang selanjutnya menjadi suatu masukan untuk tegangan tarik sebenarnya yang dibutuhkan dari konduktor dari masing-masing

*span* dengan menggunakan persamaan 2.39, adapun dalam pemrograman dalam matlab adalah sebagai berikut.

```

%Mencari Berat Akibat Pengaruh Angin dan Es
if (a==1)
    ti = tick;
    W_ice=shi_ice*pi*(ti(ti+((D0*1e3)/10)))*1e-04;
else
    ti = 0;
    W_ice=0;
end
W_wind= Pw*(((D0*1e3/10)+2*ti)/100);
Sni=(D0*1e2/100)*1;
Fg=Sni*Pw;
F1 = sqrt ((w+W_ice)^2 + (Fg)^2 ) ;
F22 = F1;

%Polinomial Orde 3 bellow Knee Point
A1(i) = (1 +((F22^2*1^2)/(24*H0^2)))*(1+alpha_cond*(T(i)-T0))*(1/(E_cond*A_cond));

A2(i) =((1 +((F22^2*1^2)/(24*H0^2)))*(1+alpha_cond*(T(i)-T0))*(1-(H0/(E_cond*A_cond))+C))-1;

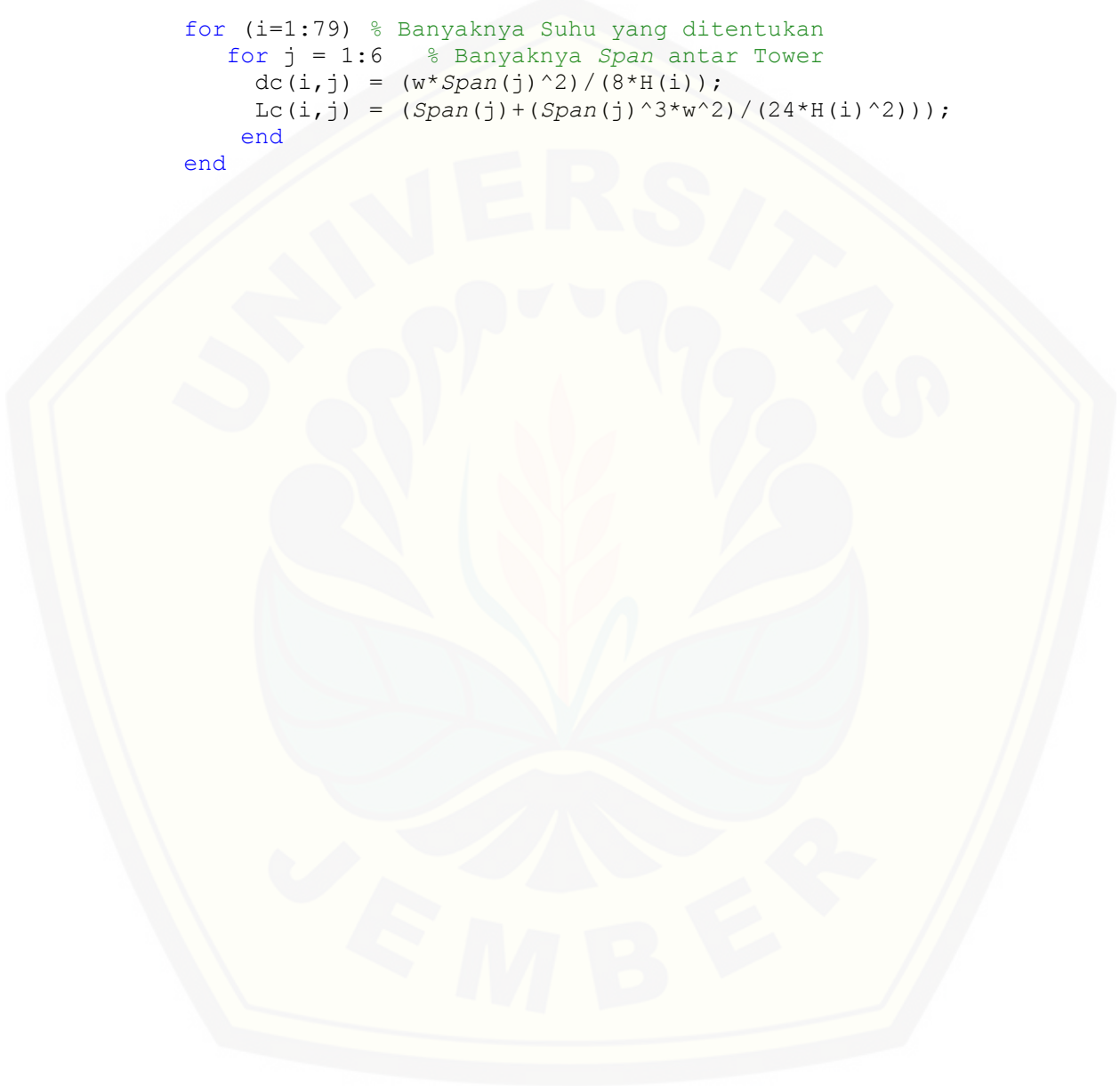
B1 =(w^2*1^2)/24;
%Newton-Raphson Method For Tension bellow knee Point
syms x;
d=A1(i)*x^3 +A2(i)*x^2- B1 ;
f=inline(d);
z=diff(f(x));
f1=inline(z);
x0=100;
x=x0;
for u=0:1000
    y=x;
    x=y-[f(x)/f1(x)];
    if x==y
        break
    end
end
for (i=1:79) % Banyaknya Suhu yang ditentukan
    for j = 1:6 % Banyaknya Span antar Tower
        TTc(i,j) = (H(i)+((w^2*Span(j)^2)/(8*H(i))))*9.80665/1000;
    end
end
end

```

### 3.5.2.2 Panjang Konduktor dan Andongan

Panjang konduktor dan andongan sebagaimana dirumuskan persamaan 2.40 dan persamaan 2.41 dituliskan dalam program matlab sebagai berikut.

```
for (i=1:79) % Banyaknya Suhu yang ditentukan
for j = 1:6 % Banyaknya Span antar Tower
dc(i,j) = (w*Span(j)^2)/(8*H(i));
Lc(i,j) = (Span(j)+(Span(j)^3*w^2)/(24*H(i)^2));
end
end
```



#### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di APP Surabaya khususnya di saluran transmisi udara 150kV Perak-Ujung. Dengan menggunakan metode keseimbangan panas (IEEE std.738, 2012) dalam penentuan besaran *ampacity* dan temperatur. Serta Metode *rulling span* dalam menghitung *span equivalent* serta Metode *Cartenary Equation* dalam perhitungan andongan, tegangan tarik, dan panjang konduktor dengan bantuan perangkat lunak MATLAB. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan hantar arus serta untuk memenuhi keandalan N-1 saluran transmisi udara 150 kV dengan mengganti konduktor konvensional menjadi konduktor HTLS yang sesuai dengan struktur saluran transmisi udara Perak-Ujung.

Konduktor yang digunakan dalam *reconductoring* ini mempunyai struktur yang hampir sama dengan konduktor yang digunakan pada saat ini di saluran transmisi Perak-Ujung yaitu ACSR/AS 340/30. Pengujian konduktor HTLS terdapat tiga macam yaitu ACCC Dove, ACCR Groosbreak 636-T16 dan TACSR Rook. Dalam perhitungan digunakan tower yang mempunyai stuktur dua *dead end* pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV yaitu tower no.9 sampai dengan tower no.15. Pada pembahasan akan dibahas tower no.12 sedangkan data perhitungan tower yang lainnya akan terlampir.

Dalam penelitian ini dilakukan dua buah pengujian yaitu pengujian secara mekanik dan pengujian secara elektrik. Dalam pengujian mekanik meliputi andongan, tegangan tarik dan panjang konduktor. Sedangkan dalam pengujian elektrik meliputi temperatur, daya yang dapat tersalurkan hingga rugi-rugi yang dihasilkan. Data-data hasil pengujian akan dibahas untuk memperoleh kesimpulan serta rekomendasi sesuai dengan tujuan penelitian.

#### 4.1 Data Hasil Perhitungan

Pada masing-masing konduktor mempunyai karakteristik yang berbeda karena struktur penyusun konduktor yang berbeda. Dari hal ini perlu adanya perhitungan untuk menyesuaikan dengan struktur jaringan yang ada. Sehingga akan diketahui konduktor yang sesuai dengan saluran transmisi untuk memenuhi kebutuhan yang telah dicanangkan sebelumnya.

##### 4.1.1 Hasil Pengujian konduktor *Existing*

Konduktor yang digunakan pada saluran transmisi udara 150 kV Perak-Ujung adalah konduktor jenis ACSR/AS 340/30. Konduktor ini mempunyai diameter total sebesar 24,99 mm dengan berat total konduktor sebesar 1140 kg/km. Jenis konduktor ini mempunyai struktur aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Namun walaupun mempunyai konduktivitas tinggi, konduktor ini mempunyai titik kerja suhu yang terbatas yaitu hingga suhu 90°C dalam keadaan darurat dan dalam keadaan kontinyu berada pada di titik kerja suhu 75°C. Pada saat ini konduktor ACSR yang digunakan disaluran transmisi Perak-Ujung hampir mengalami titik jenuh. Hal ini dibuktikan dari data tahun 2015 yang diperoleh dari APP Surabaya menunjukkan arus nominal yang mengalir pada saluran hampir mendekati 100% atau hampir mendekati titik jenuh dari masing-masing sirkit. Yang idealnya dari masing-masing sirkit harus mempunyai beban maksimal 50 % dari masing-masing sirkit. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya gangguan dari salah satu sirkit sehingga salah satu sirkit yang lainnya dapat menerima beban manuver dari sirkit yang mengalami terjadinya gangguan atau yang disebut dengan keandalan N-1. Data pada tahun 2015 arus nominal yang dicapai pada beban puncak disaluran transmisi udara Perak-Ujung ditunjukkan tabel 4.1



Tabel 4.1 Data I nominal Saluran Perak-Ujung

Bulan	I nom % sirkit 1	I nom % sirkit 2
Januari	76,87	76,87
Februari	77,99	78,27
Maret	76,87	76,87
April	79,66	79,95
Mei	76,87	79,66
Juni	81,05	79,95
Juli	81,05	79,95
Agustus	79,66	79,66
September	81,34	81,65
Oktober	84,41	84,74
November	85,22	64,30
Desember	60,47	64,30

Sumber : APP Surabaya (2016)

Arus yang mengalir sepanjang tahun 2015 hampir mengalami titik jenuh akibat terjadinya kenaikan beban yang ditanggung setiap tahunnya. Dengan hal ini dibutuhkan *upgrade* saluran transmisi dengan cara menaikkan arus yang mengalir pada saluran tersebut. Jika dilihat dari tabel 4.1 apabila terjadi gangguan pada salah satu sirkit maka salah satu sirkit yang lainnya tidak bisa menerima beban manuver. Karena dari masing-masing sirkit, arus yang mengalir hampir mendekati maksimal dari kapasitas arus tersalurkan pada saat ini atau hampir mencapai 100%. Hal ini menyebabkan pengurangan beban pada Pulau Madura sehingga Pulau Madura tidak dapat pasokan aliran listrik yang menyebabkan terjadinya *black out* pada Pulau Madura. Sehingga hal ini menjadi bahan evaluasi bagi pihak terkait yaitu APP Surabaya untuk menambah kapasitas hantar arus pada saluran transmisi Perak-Ujung yang ditargetkan pada tahun 2017 untuk melakukan *uprating* (RUPTL, 2015).

Pada konduktor yang ada pada saat ini dengan mengacu terhadap metode yang berlaku dalam menghitung arus melalui metode keseimbangan panas melalui persamaan 2.23 dan dengan metode *Cartenary* melalui persamaan persamaan 2.39 dan persamaan 2.41 dalam menghitung andongan dan tegangan tarik yang dibutuhkan diperoleh hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Konduktor ACSR/AS 340/30 Pada Tower No.12  
(Span : 212,498 m)

Arus (A)	Suhu (°C)	Tegangan Tarik (kN)	Panjang Konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.453	16.555	212.681	3.822
50	36.562	16.524	212.682	3.829
70	36.725	16.479	212.683	3.839
90	36.943	16.418	212.684	3.854
110	37.215	16.344	212.686	3.871
130	37.543	16.255	212.688	3.892
150	37.926	16.153	212.691	3.917
170	38.365	16.039	212.693	3.945
190	38.860	15.913	212.696	3.977
210	39.412	15.775	212.700	4.012
230	40.021	15.627	212.704	4.050
250	40.688	15.470	212.708	4.091
270	41.414	15.304	212.713	4.136
290	42.200	15.130	212.718	4.184
310	43.046	14.949	212.723	4.235
330	43.953	14.761	212.729	4.289
350	44.922	14.568	212.735	4.346
370	45.954	14.371	212.742	4.406
390	47.051	14.169	212.749	4.469
410	48.213	13.965	212.756	4.535
430	49.441	13.757	212.764	4.604
450	50.737	13.548	212.772	4.676
470	52.103	13.338	212.781	4.750
490	53.539	13.126	212.790	4.827
510	55.047	12.915	212.800	4.907
530	56.629	12.703	212.810	4.989
550	58.287	12.492	212.821	5.074
570	60.021	12.282	212.832	5.162
590	61.834	12.073	212.844	5.252
610	63.728	11.866	212.856	5.345
630	65.705	11.661	212.869	5.440
650	67.766	11.458	212.883	5.537
670	69.915	11.257	212.897	5.637
690	72.152	11.059	212.911	5.740
710	74.480	10.863	212.927	5.844
730	76.901	10.670	212.942	5.951
750	79.418	10.480	212.959	6.060
770	82.032	10.293	212.976	6.172
790	84.747	10.109	212.994	6.286
810	87.565	9.929	213.012	6.402

Jika ditinjau dari tabel 4.2 arus yang dapat di hantarkan yaitu sebesar 810 A pada suhu hampir mencapai maksimum yaitu sebesar  $87,565^{\circ}\text{C}$ . Pada keadaan ini andongan yang dihasilkan yaitu sebesar 6,402 m dan tegangan tarik yang dibutuhkan sebesar 9,929 kN. Konduktor ini mengalami pemuluran sebesar 0,331 m dari arus awal yang diberikan hingga arus mencapai maksimal. Dengan mempertimbangkan keadaan kontinyu konduktor ini dapat beroperasi pada arus sebesar 710 A yaitu pada suhu sebesar  $74,480^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan andongan yang dihasilkan pada suhu kontinyu ini sebesar 5,844 m. Jika ditinjau perubahan arus saluran mengakibatkan andongan semakin besar. Menurut Ananda *et al* (2006:8) dengan meningkatnya arus saluran mengakibatkan terjadinya peningkatan andongan sebesar 26,82 %. Pada konduktor ACSR/AS 340/30 ini andongan yang dihasilkan semakin besar, pada arus minimum 30 A andongan yang dihasilkan sebesar 3,822 m sedangkan pada arus mencapai maksimal andongan bertambah besar menjadi 6,402 m atau terjadi peningkatan sebesar 67,4 %.

#### 4.1.2 Perbandingan konduktor Konvensional dengan Konduktor HTLS.

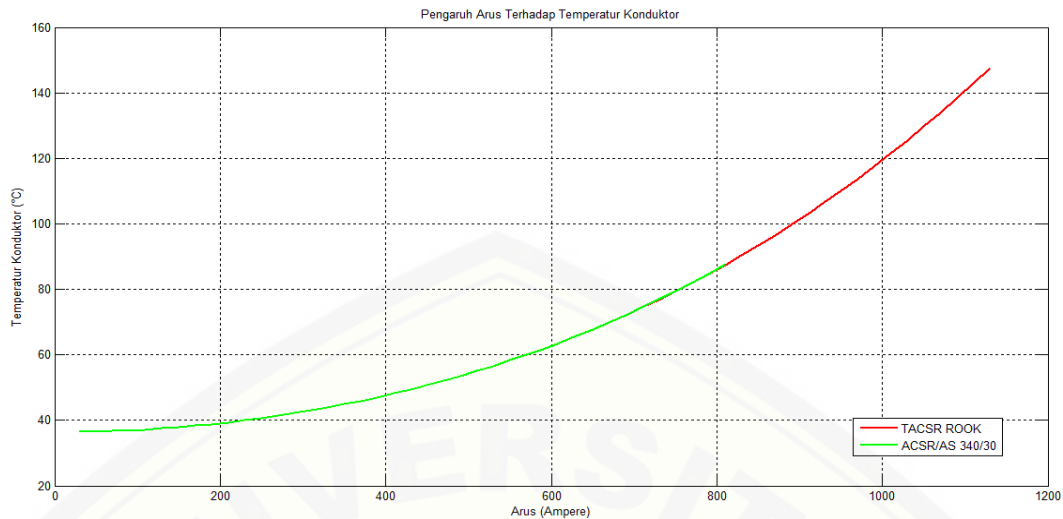
Dengan keterbatasan yang dimiliki oleh konduktor ACSR/AS 340/30 memungkinkan terjadinya pergantian konduktor yang mempunyai titik kerja suhu yang jauh lebih baik. Konduktor HTLS mempunyai titik kerja suhu yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan konduktor konvensional sehingga memungkinkan untuk menaikkan kapasitas hantar arus. Konduktor jenis HTLS mempunyai banyak jenis dan tipe sesuai dengan kebutuhan pada jaringan transmisi yang dibutuhkan. Teknologi HTLS yang digunakan mempunyai banyak keunggulan dibandingkan konduktor yang konvensional salah satunya sifat tahan panas yang lebih tinggi sehingga mempunyai daya hantar yang lebih tinggi. Dalam konstruksi penyusunnya terdiri atas inti serat dengan perpaduan serat karbon dan serat inti yang memanfaatkan *epoxy resin matrix* dengan temperatur tinggi untuk menyatukan ratusan ribu serat untuk menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi. Adapula yang tersusun atas inti serat paduan aluminium-matriks yang dikelilingi oleh serat aluminium dengan kandungan zirkonium (Zr). Aluminium dengan kandungan zirkonium ini mempunyai sifat konduktivitas dan

ketahanan panas (*thermal resistance*) yang tinggi sedangkan paduan aluminium-matrix yang berada di tengah akan menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi namun lebih ringan dan konduktivitas yang baik dari pada baja. Serat inti ini terdiri atas ribuan serat aluminium oksida (*Nextel 3M's 650 ceramic*) dengan diameter yang sangat kecil. Konduktor TACSR Rook merupakan salah satu konduktor jenis HTLS yang mampu beroperasi hingga suhu  $150^{\circ}\text{C}$ . Dalam konstruksinya konduktor TACSR mempunyai bentuk konstruksi yang sama dengan konduktor ACSR. Namun yang membedakan adalah aluminium penyusunnya yang mempunyai ketahanan panas jauh yang lebih tinggi. Konduktor TACSR Rook ini memiliki diameter yang relatif kecil yaitu 28,44 mm atau berselisih sebesar 0,15 mm dari konduktor konvensional yang saat ini digunakan. Berat konduktor ini sebesar 1170 Kg/Km. Dengan mempunyai kapasitas yang lebih besar tetapi berat konduktor ini tidak mengalami perubahan yang banyak, sehingga tidak perlu adanya modifikasi penguatan terhadap tower.

Pengaruh terhadap pembebanan arus yang mengalir pada konduktor akan mempengaruhi kinerja dari konduktor tersebut. Sehingga perlu adanya perhitungan sebagai upaya pertimbangan untuk mengetahui kehandalan dari masing-masing konduktor. Sehingga dengan hal ini akan diketahui perbedaan konduktor konvensional dengan konduktor yang bersifat HTLS.

#### 4.1.2.1 Pengaruh Pembebanan Arus Terhadap Temperatur Konduktor

Arus yang mengalir pada konduktor akan menimbulkan rugi-rugi pada konduktor berupa panas. Semakin besar arus yang mengalir akibat arus pembebanan, panas yang dihasilkan oleh konduktor semakin bertambah. Panas konduktor ini tidak hanya dihasilkan oleh rugi-rugi pembebanan arus namun juga dipengaruhi oleh temperatur *ambient* (lingkungan). Faktor lingkungan sekitar juga mempengaruhi bertambahnya panas terhadap konduktor tersebut.



Grafik 4.1 Hubungan Arus dengan Temperatur konduktor TACSR dan ACSR

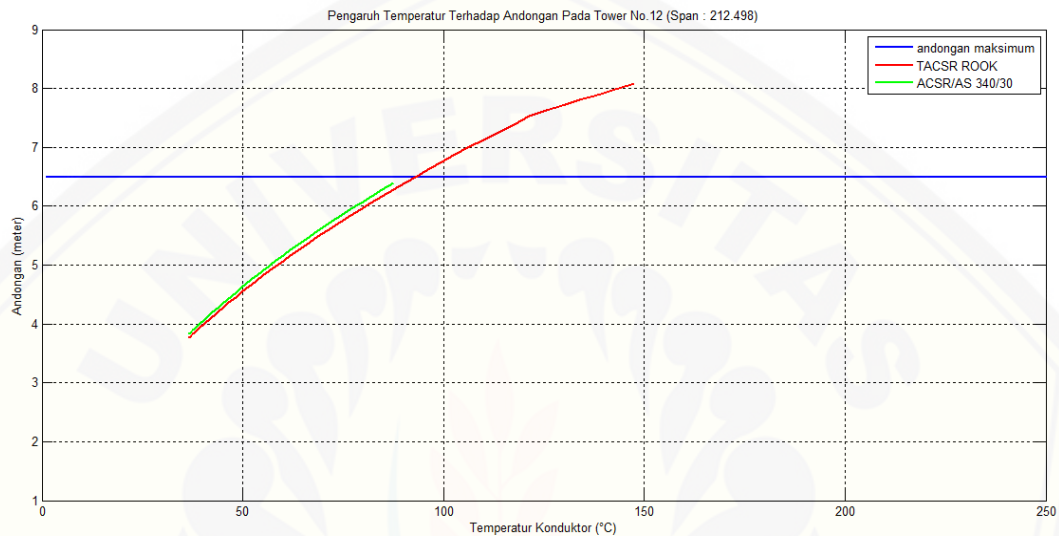
Jika ditinjau dari grafik 4.1 temperatur terus meningkat seiring kenaikan terhadap arus saluran. Dan pada grafik tersebut terlihat konduktor TACSR Rook mempunyai kapasitas hantar arus yang jauh lebih besar. Pada konduktor ACSR/AS 340/30 dapat menyalurkan arus sebesar 810 A dengan suhu mendekati maksimal yaitu sebesar  $87,565^{\circ}\text{C}$ . Pada pembebanan harian konduktor ACSR/AS dapat menyalurkan arus sebesar 710 A dengan temperatur sebesar  $74,480^{\circ}\text{C}$ . Pada konduktor TACSR Rook dapat menyalurkan arus hingga 1130 A pada suhu  $147,637^{\circ}\text{C}$  atau mendekati temperatur maksimum sebesar  $150^{\circ}\text{C}$ . Jika ditinjau dari titik kerja suhu maksimal konduktor TACSR Rook dapat menaikkan arus sebesar arus hingga 320 A atau sebesar 1,40 kali dari konduktor ACSR/AS 340/30. Hal ini membuktikan bahwa dengan mempunyai titik kerja suhu yang lebih besar maka akan dapat meningkatkan arus pada saluran.

#### 4.1.2.2 Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Andongan Konduktor

Perubahan arus menyebabkan perubahan terhadap temperatur. Temperatur yang berubah-ubah di sekitar konduktor menyebabkan penyusutan maupun pemuaian yang terjadi terhadap konduktor, tergantung dari besaran nilai temperatur itu sendiri. Semakin besar temperatur pada konduktor menyebabkan konduktor menjadi panas sehingga terjadi pemuaian yang mengakibatkan



andongan menjadi lebih besar. Faktor eksternal yang juga berpengaruh adalah tekanan angin, yang dapat menambah berat spesifik konduktor, sehingga andongan yang dihasilkan semakin besar. Besaran andongan harus dibatasi agar tidak membahayakan objek yang berada di bawahnya maupun konduktor itu sendiri.



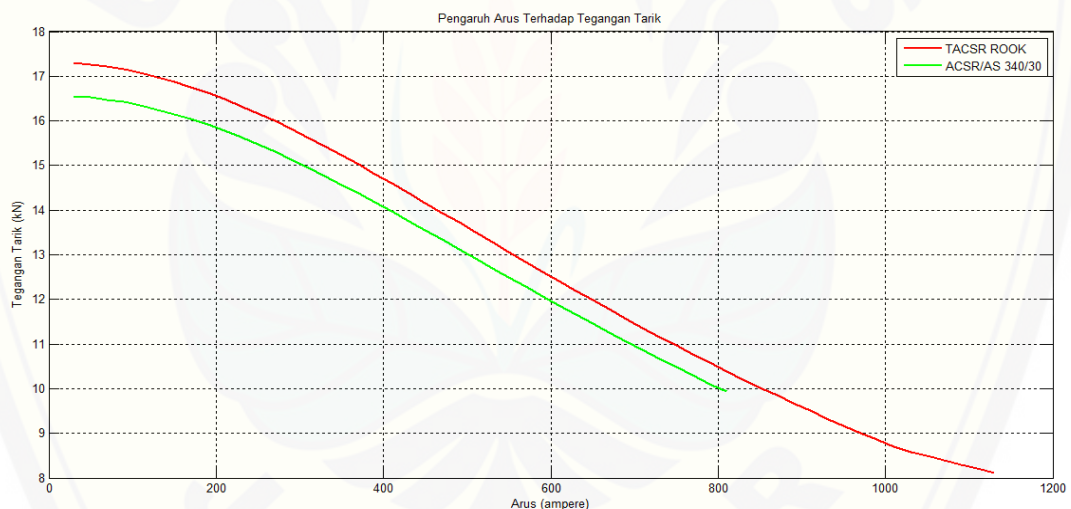
Grafik 4.2 Hubungan Temperatur Terhadap Andongan TACSR dan ACSR

Pada grafik 4.2 hubungan temperatur terhadap andongan terlihat bahwa andongan semakin besar seiring dengan meningkatnya arus pada saluran. Pada konduktor ACSR/AS 340/30 pada saat mencapai suhu maksimal sebesar  $87,565^{\circ}\text{C}$  andongan yang dihasilkan mencapai 6,402 m. Sama halnya dengan konduktor konvensional, konduktor TACSR Rook menghasilkan andongan yang jauh lebih besar dibandingkan dengan konduktor konvensional. Menurut Migiantoro (dalam Supriyadi, 2007:19) penggunaan konduktor TACSR meningkatkan kemampuan hantar arus sekitar 41,20 % akan tetapi berpengaruh pada kenaikan andongan sekitar 16,44 %. Pada konduktor TACSR rook ini saat mencapai titik kerja suhu maksimal andongan yang dihasilkan sebesar 8,076 m. Dengan hal ini andongan bertambah sebesar 26,02 % dari andongan maksimal yang dihasilkan oleh konduktor konvensional. Hal ini terjadi berat konduktor

TACSR Rook lebih berat jika dibandingkan dengan ACSR/AS 340/30 sehingga mempengaruhi terhadap andongan yang dihasilkan.

#### 4.1.2.3 Pengaruh Pembebanan Arus Terhadap Tegangan Tarik konduktor

Perubahan terhadap arus mempengaruhi temperatur pada konduktor. Semakin besar arus maka semakin besar temperatur yang dihasilkan. Temperatur semakin tinggi menyebabkan konduktor memuai sehingga andongan semakin besar. Andongan semakin meningkat menyebabkan tegangan tarik menurun. Tegangan tarik timbul karena adanya berat konduktor itu sendiri. Tegangan tarik yang dihasilkan tidak boleh melebihi dari tegangan tarik yang telah ditentukan karena apabila tegangan tarik terlalu besar konduktor akan putus atau dapat merusak tiang (tower) penyangga dari konduktor tersebut.



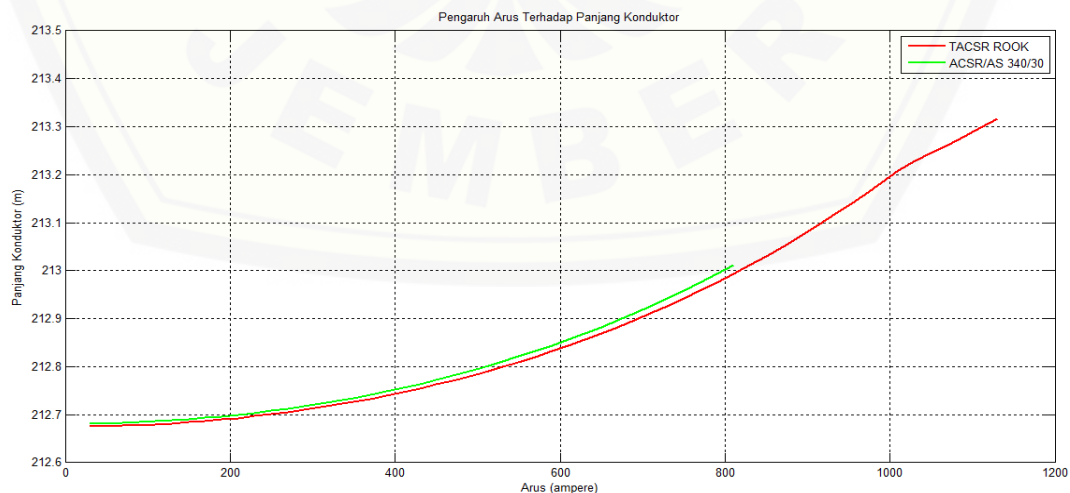
Grafik 4.3 Hubungan Antara Arus Terhadap Tegangan Tarik TACSR dan ACSR

Jika ditinjau dari grafik 4.3 grafik hubungan tegangan tarik terhadap arus, semakin besar arus yang dihasilkan tegangan tarik akan semakin menurun. Pada konduktor ACSR/AS pada arus awal 30 A tegangan tarik yang dihasilkan 16,555 kN. Dan pada saat arus mencapai maksimal 810 A pada suhu  $87,565^{\circ}\text{C}$  tegangan tarik yang dibutuhkan sebesar 9,929 kN. Sedangkan Pada konduktor TACSR Rook pada arus awal 30 A dengan suhu awal  $36,441^{\circ}\text{C}$  membutuhkan tegangan tarik sebesar 17,297 kN. Saat arus mencapai titik kerja suhu maksimal sebesar

1130 A tegangan tarik yang dibutuhkan menjadi 8,119 kN. Jika diperhatikan tegangan tarik berbanding terbalik dengan kenaikan dari arus saluran. Hal ini terjadi karena tegangan tarik maksimal akan terjadi pada temperatur terendah dan ada beban angin (Hutauruk, 1996:149). Selain itu tegangan tarik konduktor HTLS jauh lebih besar dibandingkan dengan konduktor konvensional. Jika ditinjau dari grafik 4.3 konduktor TACSR Rook memiliki tegangan tarik yang lebih besar dari konduktor ACSR/AS. Hal ini disebabkan kekuatan tarik nominal yang berbeda dari masing-masing konduktor hal ini biasa disebut dengan *Rated Breaking Strength* (RTS). Semakin besar RTS maka semakin tinggi pula tegangan tarik yang dihasilkan. Sesuai dengan data karakteristik konduktor RTS dari masing-masing konduktor berturut-turut konduktor TACSR Rook dan ACSR/AS 340/30 sebesar 98 kN dan 93,92 kN.

#### 4.1.2.4 Pengaruh Pembebanan Arus Terhadap Panjang Konduktor

Seperti penjelasan sebelumnya kenaikan terhadap arus maka rugi-rugi terhadap saluran yang berupa panas juga ikut meningkat. Hal ini menyebabkan temperatur pada konduktor akan semakin panas. Panas yang diterima oleh konduktor menyebabkan pemuaian atau pemuluran sehingga menyebabkan konduktor akan semakin panjang. Dengan hal ini panjang konduktor akan terus meningkat seiring bertambahnya arus pada saluran seperti halnya yang ditunjukkan oleh grafik 4.4.



Grafik 4.4 Hubungan Arus Terhadap Panjang Konduktor TACSR dan ACSR

Jika ditinjau dari grafik 4.4 hubungan antara arus dan panjang konduktor dengan arus awal yang sama yaitu sebesar 30 A mempunyai panjang konduktor yang berbeda-beda dari masing-masing konduktor. Jika ditinjau dari konduktor ACSR/AS 340/30 pada arus awal, panjang konduktor sebesar 212,681 m. Saat mencapai arus maksimal 810 A konduktor memuai sehingga panjang konduktor sebesar 213,012 m. Pada konduktor TACSR Rook pada arus awal panjang konduktor sebesar 212,675 m namun pada saat mencapai arus maksimal panjang konduktor mencapai 213,316 m. Jika ditinjau pada saat arus yang sama pada 810 A konduktor TACSR mengalami pemuaian yang lebih kecil dibandingkan ACSR/AS 340/30. Dengan hal ini tegangan tarik mempengaruhi panjang konduktor, sehingga dalam pemasangan lebih menguntungkan apabila pemuaiannya tidak terlalu besar.

#### **4.2 Penentuan Konduktor HTLS**

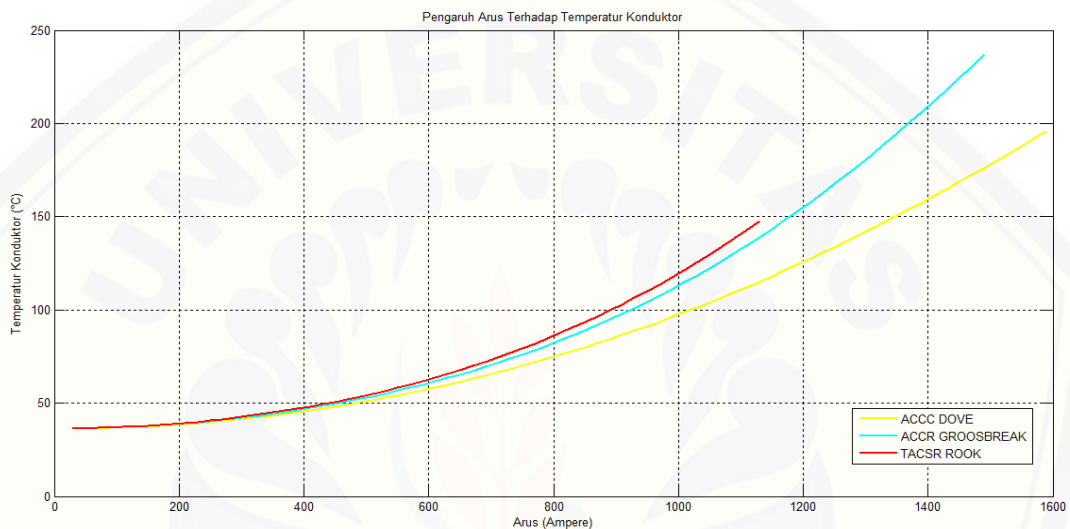
Konduktor HTLS mempunyai banyak jenis dengan memiliki struktur penyusunnya yang berbeda dari masing-masing konduktor. Pada penelitian ini dilakukan pemilihan konduktor yang sesuai dengan struktur saluran yang ada pada saat ini di saluran transmisi Perak-Ujung. Konduktor jenis HTLS yang digunakan dalam pengujian terdapat tiga macam yaitu konduktor TACSR Rook, ACCR 636-T16 Groosbreak dan ACCC Dove. Ketiga konduktor HTLS ini mempunyai struktur ukuran yang mendakati sama dengan konduktor ACSR/AS. Dengan hasil pengujian baik dari segi mekanik maupun elektrik maka dimaksudkan agar mendapatkan konduktor jenis HTLS yang sesuai dengan kebutuhan di saluran trasnsmisi udara 150 kV Perak Ujung.

##### **4.2.1 Pengujian Mekanik**

Sama halnya dengan pembahasan sebelumnya pada pengujian ini akan dibandingkan pengaruh pembebanan arus terhadap temperatur, andongan, tegangan tarik dan pemuluran yang terjadi dari masing-masing konduktor HTLS.

#### 4.2.1.1 Pengaruh Arus Terhadap Temperatur Konduktor HTLS

Kenaikan arus terhadap konduktor menyebabkan kenaikan temperatur terhadap konduktor. Dengan membandingkan konduktor yang mempunyai ketahanan terhadap panas yang sama-sama besar maka akan diketahui kehandalan yang dihasilkan dari masing-masing konduktor HTLS. Pada pengaruh pembebanan terhadap arus diketahui seperti grafik 4.5 sebagai berikut.



Grafik 4.5 Hubungan Arus Terhadap Temperatur HTLS

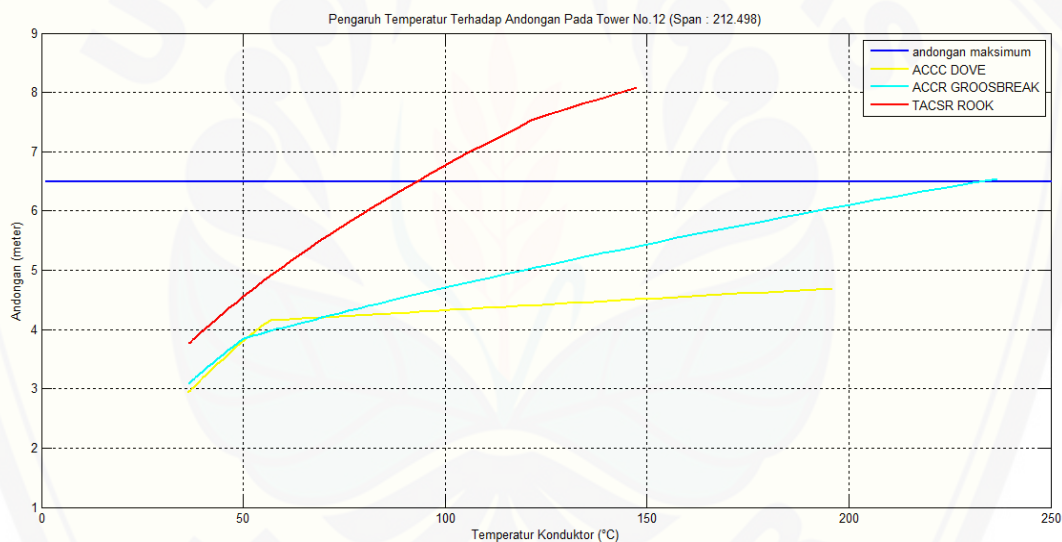
Jika ditinjau konduktor ACCR 636-T16 Groosbreak dapat bekerja hingga suhu sebesar  $240^{\circ}\text{C}$  dan konduktor ACCC Dove bekerja pada suhu  $200^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan konduktor TACSR Rook dapat bekerja hingga suhu  $150^{\circ}\text{C}$ . Apabila dilihat pada grafik 4.5 diketahui konduktor ACCC memiliki hantar arus yang paling besar. Pada konduktor TACSR Rook pada pembebanan maksimal suhu yang dihasilkan sebesar  $147,637^{\circ}\text{C}$  dapat menyalurkan arus sebesar 1130 A. Untuk konduktor ACCR Groosbreak 636-T16 dalam pembebanan maksimal arus sebesar 1490 A suhu konduktor sebesar  $236,970^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan pada konduktor ACCC Dove dalam pembebanan maksimal 1590 A menghasilkan suhu sebesar  $196,004^{\circ}\text{C}$ . Jika dilihat dari ketiga konduktor HTLS terlihat bahwa konduktor ACCC Dove jauh lebih baik dibandingkan konduktor TACSR Rook dan ACCR Groobreak 636-T16. Jika ditinjau, bahwa suhu sebesar  $196,004^{\circ}\text{C}$  dapat



mengalirkan arus sebesar 1590 A lebih besar 1,96 kali jika dibandingkan ACCR Groosbreak 636-T16 yang dapat menaikkan sebesar 1,84 kali namun membutuhkan temperatur hingga  $237,346^{\circ}\text{C}$  dan TACSR yang hanya dapat menaikkan 1,40 kali dari kapasitas hantar arus maksimal konduktor yang ada pada saat ini.

#### 4.2.1.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Andongan Konduktor HTLS

Pada penjelasan sebelumnya diketahui bahwa besar andongan yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh temperatur akibat perubahan pembebanan terhadap arus. Besar andongan dibatasi dengan jarak *clearance* agar tidak membahayakan objek yang berada dibawahnya maupun konduktor itu sendiri.



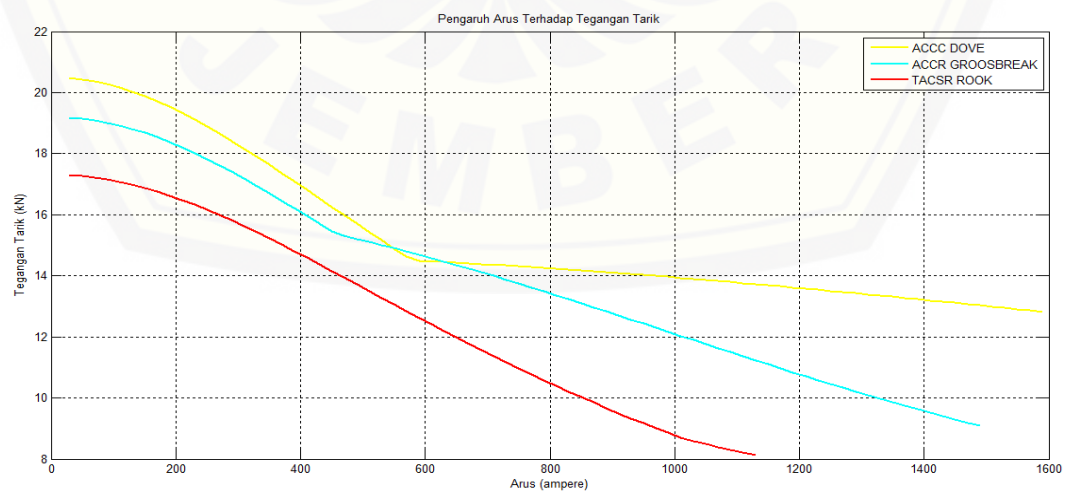
Grafik 4.6 Hubungan Temperatur Terhadap Andongan Konduktor HTLS

Jika ditinjau dari grafik 4.6 menunjukkan andongan menjadi lebih besar seiring meningkatnya temperatur. Garis horizontal yang melintang pada grafik 4.6 merupakan batas andongan maksimum yang digunakan pada saat ini yaitu sebesar 6,5 m. Dalam *reconductoring* harus mempertahankan kondisi ROW dan jarak *clearence* yang ada. Dapat dilihat bahwa konduktor HTLS yang melebihi batas andongan adalah TACSR Rook dan ACCR 636-T16 Groosbreak. Berdasarkan temperatur maksimal yang diizinkan konduktor 636-T16 ACCR Groosbreak pada suhu maksimal yaitu  $236,970^{\circ}\text{C}$  menghasilkan andongan sebesar 6,550 m.

Sedangkan pada konduktor ACCC Dove andongan yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan konduktor lainnya yaitu hingga titik kerja suhu maksimal sebesar  $196,004^{\circ}\text{C}$  andongan yang dihasilkan sebesar 4,692 m. Sedangkan pada konduktor TACSR Rook pada arus maksimal andongan yang dihasilkan sebesar 8,076 m. Dengan ini konduktor TACSR tidak dapat dioperasikan secara maksimal karena andongan yang dihasilkan melebihi dari batas *clearance*. Jika ditinjau dari besar andongan maksimal, konduktor TACSR hanya dapat dioperasikan hingga arus sebesar 830 A karena pada andongan yang dihasilkan pada saat arus ini sebesar 6,397 m. Maka Hal ini menandakan konduktor ACCC Dove jauh lebih handal jika dibandingkan dengan konduktor HTLS lainnya karena dengan kapasitas hantar arus yang jauh lebih besar namun andongan yang dihasilkan jauh lebih kecil. Sehingga dalam pemasangannya konduktor ACCC Dove ini tidak membutuhkan andongan yang sangat besar.

#### 4.2.1.3 Pengaruh Pembebanan Arus Terhadap Tegangan Tarik Konduktor HTLS

Kenaikan arus berbanding terbalik dengan besaran tegangan tarik. Karena mempunyai spesifikasi yang berbeda pada masing-masing konduktor HTLS maka dengan ini akan diketahui tegangan tarik yang dibutuhkan dari masing-masing konduktor pada setiap *span* yang terpasang seperti halnya yang ditunjukkan pada grafik 4.7

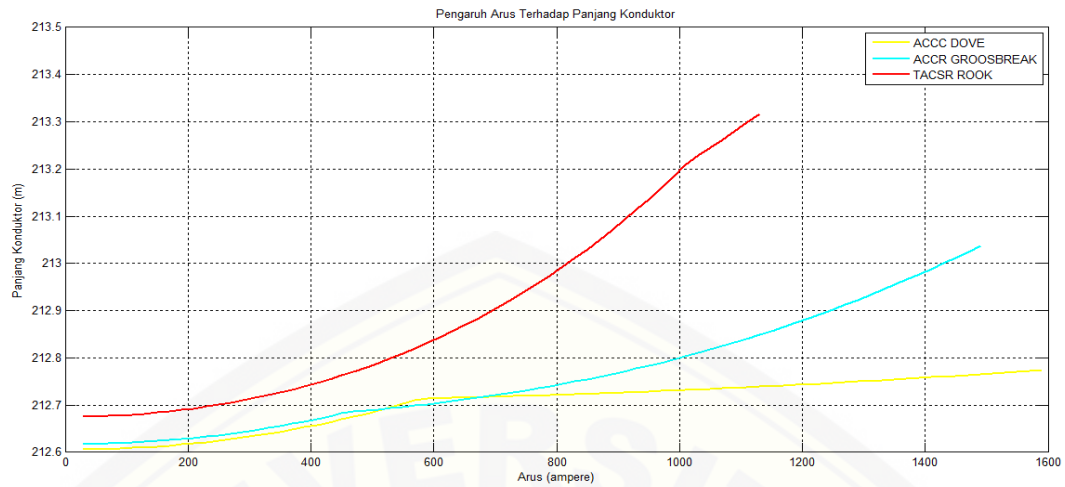


Grafik 4.7 Hubungan Arus terhadap Tegangan Tarik Konduktor HTLS

Jika ditinjau dari grafik 4.7 grafik hubungan tegangan tarik terhadap arus, semakin besar arus yang dihasilkan tegangan tarik akan semakin menurun. Jika dilihat konduktor TACSR Rook pada arus awal 30 A dengan suhu awal 36,441°C membutuhkan tegangan tarik sebesar 17,297 kN. Saat arus mencapai titik kerja suhu maksimal sebesar 1130 A tegangan tarik yang dibutuhkan menjadi 8,119 kN. Pada konduktor ACCR 636-T16 Groobreak tegangan tarik awal pada arus 30 A pada suhu 36,467°C tegangan tarik yang dibutuhkan sebesar 19,188 kN. Namun pada saat arus meningkat hingga 1490 A pada suhu 236,970°C tegangan tarik turun menjadi 9,086 kN. Sedangkan pada konduktor ACCC Dove pada arus 30 A dengan suhu sebesar 36,321 °C tegangan tarik yang dibutuhkan adalah 20,483 kN. Saat arus dinaikkan hingga mencapai maksimal yaitu sebesar 1590 A pada suhu 196,004°C besaran tegangan tarik menjadi 12,825 kN. Jika diperhatikan tegangan tarik berbanding terbalik dengan kenaikan dari arus saluran. Hal ini terjadi karena tegangan tarik maksimal terjadi pada saat andongan minimum dan suhu minimum. Semakin besar RTS maka semakin tinggi pula tegangan tarik yang dihasilkan. Sesuai dengan data karakteristik konduktor RTS dari masing-masing konduktor berturut-turut konduktor ACCC Dove, ACCR Groobreak 636-T16, dan TACSR Rook sebesar 122,3 kN, 111,6 kN, dan 98 kN.

#### 4.2.1.4 Pengaruh Pembebanan Arus Terhadap Panjang Konduktor HTLS

Perbedaan spesifikasi pada konduktor ini khususnya pada koefisien muai panjang menyebabkan pemuluran yang terjadi terhadap masing-masing konduktor berbeda. Konduktor terjadi pemuluran meningkat ketika arus pembebanan meningkat seperti yang ditunjukkan pada grafik 4.8



Grafik 4.8 Hubungan Arus Terhadap Panjang Konduktor Konduktor HTLS

Jika ditinjau dari grafik 4.8 hubungan antara arus dan panjang konduktor dengan arus awal yang sama yaitu sebesar 30 A mempunyai panjang konduktor yang berbeda-beda dari masing-masing konduktor. Jika ditinjau dari konduktor TACSR Rook pada arus awal panjang konduktor sebesar 212,675 m namun pada saat mencapai arus maksimal panjang konduktor mencapai 213,316 m. Sedangkan pada konduktor ACCR 636-T16 Groosbreak di suhu awal 30 A panjang konduktor sebesar 212,617 m dan pada saat mencapai di titik kerja suhu maksimal pada arus 1490 A panjang konduktor sebesar 213,036 m. Pada konduktor ACCC Dove panjang awal pada arus 30 A sebesar 212,606 m. Ketika mencapai temperatur maksimal sebesar 1590 A panjang konduktor sebesar 212,774 m. Jika dilihat dari arus yang sama pada 30 A panjang masing-masing konduktor berbeda, jika dilihat konduktor yang mempunyai tegangan tarik semakin tinggi panjang konduktor semakin rendah begitu pun sebaliknya. Dengan hal ini tegangan tarik mempengaruhi panjang konduktor, sehingga dalam pemasangan lebih menguntungkan apabila pemuaiannya tidak terlalu besar. Dan konduktor ACCC Dove memiliki pemuaiannya yang paling kecil mengingat kapasitas hantar arus yang dihasilkan jauh lebih besar apabila dibandingkan dengan konduktor ACCR 636-T16 Groosbreak dan TACSR Rook.

#### 4.2.2 Pengujian Elektrik

Pengujian elektrik dilakukan untuk mengetahui kehandalan dalam kemampuan untuk menyalurkan energi listrik dari masing-masing konduktor. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui kesetimbangan terhadap kerja konduktor antara sifat mekanik dan sifat elektrik yang dihasilkan dari masing-masing konduktor.

##### 4.2.2.1 Pencapaian Target.

Dalam *upgrade* transmisi tegangan tinggi dengan cara menaikkan kapasitas hantar arus, dalam hal ini pihak PLN khususnya APP Surabaya mempunyai target yang akan dicapai dalam memenuhi kapasitas listrik yang akan disalurkan sesuai dengan kebutuhan yang telah diperhitungkan sebelumnya. Pada saluran transmisi Perak-Ujung, pihak APP Surabaya telah menyesuaikan kapasitas hantar arus yang akan ditingkatkan dengan menyesuaikan kebutuhan yang akan di suplai oleh saluran transmisi ini. APP Surabaya mencanangkan menaikkan kapasitas hantar arus sebesar 1480 A atau dua kali lebih besar dari kapasitas hantar arus yang tersalurkan pada saat ini.

Jika ditinjau dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka dari tiga pemilihan konduktor HTLS terdapat konduktor yang tidak dapat memenuhi dari target yang telah dicanangkan. Konduktor tersebut adalah konduktor jenis TACSR yang hanya mampu menaikkan kapasitas hantar arus sebesar 1130 A. Sedangkan konduktor HTLS jenis Groosbreak 636-T16 dapat meningkatkan kapasitas hantar arus hingga 1490 A. Namun untuk menaikkan kapasitas hantar arus pada ACCR ini harus mencapai titik kerja suhu maksimal yaitu hingga  $236,970^{\circ}\text{C}$ . Dengan mempertimbangkan pembebanan harian konduktor ACCR dapat bekerja hingga suhu  $210^{\circ}\text{C}$ . Jika ditinjau dari grafik 4.5 untuk pembebanan harian pada konduktor ACCR arus yang dapat ditingkatkan sebesar 1390 A. Hal ini menunjukkan konduktor ACCR harus mencapai titik kerja pada suhu maksimum untuk mencapai target yang telah dicanangkan. Yang pada dasarnya konduktor



dapat bekerja hingga titik kerja suhu maksimal apabila terjadi pembebanan darurat.

Pada konduktor HTLS jenis ACCC Dove dari hasil perhitungan dapat menaikkan arus sebesar 1560 A pada titik kerja suhu maksimal. Konduktor jenis ini dapat beroperasi pada pembebanan harian hingga suhu  $180^{\circ}\text{C}$ . Jika ditinjau dari grafik 4.5 maka pada suhu  $180,111^{\circ}\text{C}$  dapat menyalurkan arus hingga 1510 A. Dengan mempertimbangkan pada operasi pembebanan harian konduktor yang diijinkan, maka konduktor ACCC Dove jauh lebih dipertimbangkan jika dibandingkan dengan konduktor ACCR. Sehingga dalam pertimbangan ini akan diketahui konduktor yang sesuai dengan struktur yang ada pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV Perak-Ujung.

#### 4.2.2.2 Kemampuan Penyuplaian Daya dan Rugi Daya

*Upgrade* saluran transmisi tegangan tinggi yaitu menambah kapasitas hantar arus pada saluran transmisi udara tersebut. Hal ini dilakukan karena peningkatan kebutuhan beban yang cukup meningkat setiap tahunnya. Dengan meningkatkan kemampuan hantar arus maka penyuplaian daya akan ikut meningkat. Namun seiring meningkatnya pembebanan arus maka rugi-rugi yang dihasilkan akan meningkat pula. Pada saluran transmisi Perak-Ujung kebutuhan dayanya sangat signifikan dalam kurun waktu empat tahun terakhir. Hal ini dibuktikan dari rata-rata beban puncak yang dicapai setiap tahunnya yang ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rata-Rata Beban Puncak.

Tahun	Rata-Rata Beban Puncak (MW)	Pertambahan Beban Per- Tahun (MW)
2012	54,8	25,2
2013	80	24,5442
2014	104,5442	43,5978
2015	148,142	
Rata-rata	96,8715	31,114

Sumber : APP Surabaya (2016)

Jika dilihat dari tabel 4.3 dalam kurun empat tahun terakhir, kenaikan daya yang disalurkan oleh saluran Perak-Ujung mengalami kenaikan yang sangat signifikan. Terutama yang terjadi pada tahun 2013 menuju 2014 kenaikannya mencapai 43,5978 MW. Hal ini terjadi karena kawasan Perak-Ujung merupakan kawasan industri serta merupakan basis militer sehingga kebutuhan akan energi listrik harus tetap terpenuhi.

Dari hasil perhitungan daya serta rugi daya yang dihasilkan oleh masing-masing konduktor HTLS akan ditunjukkan oleh tabel 4.4

Tabel 4.4 Perhitungan Daya dan Rugi-Rugi

Konduktor	Daya (MW)	Rugi-Rugi Daya (MW)
ACCC	413,048	0,769279
ACCR	387,070	1,071251
TACSR	293,550	0,526718

Dalam hasil perhitungan daya yang dihasilkan oleh konduktor ACCC Dove jauh lebih besar dibandingkan dengan ACCR 636-T16 Groosbreak TACSR. Pada suhu maksimum daya yang dapat disalurkan oleh konduktor ACCC Dove adalah 413,048 MW lebih besar sekitar 6,7 % dari konduktor ACCR yang dapat menyuplai daya hingga 387,070 MW dan sebesar 40,7% dari konduktor TACSR yang dapat menyuplai daya hingga 293,550 MW. Walaupun daya yang dihasilkan konduktor ACCC Dove lebih besar, rugi-rugi daya pada ACCC lebih kecil jika dibandingkan dengan ACCR 636-T16 Groosbreak. Pada suhu maksimal rugi daya yang dihasilkan oleh konduktor ACCC Dove sebesar 0,769279 MW sedangkan pada konduktor ACCR sebesar 1,071251 MW. Dan pada TACSR rugi-rugi yang dihasilkan sebesar 0,526718 MW.

Jika ditinjau dari rekapitulasi rata-rata beban puncak pada tabel 4.3 beban puncak pada tahun 2015 mencapai 148,142 MW. Dengan mempertimbangkan pembebanan harian menggunakan konduktor ACCC Dove penyuplaian daya dapat ditingkatkan sebesar 164,79 %. Sedangkan dengan menggunakan konduktor

ACCR 636-T16 Groosbreak penyupalaian daya dapat ditingkatkan hingga 143,75 %. Lebih kecil 21,04 % dari penyuplaian daya konduktor ACCC Dove.

#### 4.2.3 Rekomendasi Pemilihan Konduktor

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, dari tiga pemilihan jenis konduktor HTLS, maka ACCC Dove yang di rekomendasikan untuk mengganti konduktor ACSR/AS 340/30 yang digunakan pada saat ini di saluran transmisi Perak-Ujung.

Tabel 4.5 Perbandingan ACCC Dove dan ACSR/AS 340/30

Spesifikasi konduktor		Jenis Konduktor	
Tipe Konduktor		ACSR/AS 340/30	ACCC Dove
Diameter (mm)	Alumunium	18,00	15,8
	Inti ( <i>Core</i> )	6,99	7,75
	Total	24,99	23,55
Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Alumunium	339,29	361,6
	Inti ( <i>Core</i> )	29,85	47,1
	Total	369,14	408,7
Berat Konduktor (Kg/km)		1140	1083
Resistansi (ohm/km)		0,0827	0,0771
Andongan (m)		6,402	4,692
Daya (MW)		210,421	413,048
Rugi-rugi Daya (MW)		0,132636	0,769279
Arus (A)		810	1590
Panjang Konduktor (m)		213,012	212,774
Tegangan Tarik (kN)		9,929	12,825

Data tabel 4.5 merupakan perbandingan spesifikasi konduktor serta kemampuan kerja mekanis dan elektrik pada keadaan pembebanan maksimal. Dengan mempertimbangkan diameter dan berat konduktor, konduktor ACCC lebih kecil jika dibandingkan dengan ACSR/AS 340/30. Namun ACCC Dove mampu meningkatkan arus hingga 96,29 %. Dengan meningkatnya arus hingga 96,29 %

dalam pemasangan konduktor jauh lebih baik karena tidak memerlukan andongan yang besar yaitu 4,692 m dibandingkan dengan ACSR yang menghasilkan andongan 6,402 m dengan arus yang jauh lebih kecil. Daya yang disalurkan oleh ACCC dapat ditingkatkan hingga 164,79 % dari daya yang dihasilkan oleh konduktor ACSR. Sehingga dengan beberapa hasil perbandingan ini konduktor ACCC Dove dapat menggantikan peranan ACSR/AS dalam penyuplaian energi listrik saluran Perak-Ujung yang hampir mengalami titik jenuh.



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada keadaan mencapai titik kerja suhu maksimal konduktor HTLS dengan jenis ACCC, ACCR dan TACSR dapat menaikkan kapasitas hantar arus berturut-turut sebesar 1,96 kali ; 1,84 kali dan 1,40 kali lebih besar dari kapasitas hantar arus konduktor konvensional.
2. Konduktor HTLS yang sesuai dengan struktur saluran transmisi 150 kV Perak-Ujung adalah konduktor jenis ACCC dengan mempertimbangkan kenaikan kapasitas hantar arus hingga 1,96 kali dari konduktor konvensional dengan andongan sebesar 4,692 m, tegangan tarik sebesar 12,825 kN, pemuluran 0,168 m dan dapat menyalurkan daya hingga 413,048 MW.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat dikemukakan dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk penelitian lebih lanjut digunakan metode keseimbangan panas transient karena memperhitungkan respon dari perubahan cuaca terhadap pembebanan arus.
2. Diperhitungkan batas kinerja dari konduktor melalui pengujian mekanik dan pengujian elektrik.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Ananda, S. A., Hosea, E., & Chandra, V. 2006 . *Pengaruh Perubahan Arus Saluran Terhadap Tegangan Tarik dan Andongan pada Sutet 500 KV di Zona Krian*. Universitas Kristen Petra. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 6(1):8-14
- APP Surabaya. 2015. *Rekapitulasi Beban Puncak*. Surabaya: APP Surabaya
- Das, Debrapiya. 2006. *Electrical Power System*. West Bengal: Indians Institue of Technology
- Deb, Anjan K. 2000. *Powerline Ampacity System*. Washington DC: CRC Press LLC.
- Douglass, Dale dkk. 2012. *IEEE Standard for Calculating the Current Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors*. New York: The Institute of Electrical and Electronics, Inc.
- Hutauruk, T.S. 1996. *Transmisi Daya Listrik*. Cetakan IV. Jakarta : Erlangga
- Kurnaen, Jemjem dkk. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/ SUTET)*. Jakarta: PT. PLN
- Mamala, Andrzej dkk. 2015. *An Analytical Model for The High Temperature Low Sag Conductor Knee Point Determation*. AGH University of Science and Tecnhnology. Vol 641(2105):173-180.
- Mutaqin, A. Husni. 2013. *Evaluasi Pengaruh Faktor Eksternal Terhadap Mekanisme Kinerja Konduktor ACCC dan ACSR pada SUTT 150 kV*. Universitas Bung Hatta.
- Prasetyono, Supriyadi. 2007. *Analisis Unjuk Kerja Mekanis Konduktor ACCR Akibat Perubahan Arus Saluran*. Universitas Jember. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 7(1):18-25.
- Prasetyono, Supriyadi. 2007. *Kajian Mekanis Penggunaan Penghantar Termal ACCR Pada SUTET 500 kV*. Universitas Jember. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 11(1):43-48.
- PT PLN. 2015. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2015-2024*. JAKARTA: PT.PLN.

Slegers, James. 2011. *Transmission Line Loading (Sag Calculations and High-Temperature Conductor Technologies)*. Ames: IOAW State University.

Trisno, Bambang. (Tanpa Tahun). *Kabel dan Teknik Penyambungan*.

[www.ilmukabel.wordpress.com](http://www.ilmukabel.wordpress.com) [ diakses tanggal 17 April pukul 19:00]



LAMPIRAN

Hasil Perhitungan Konduktor ACSR/AS Pada Tower No.9 (Span: 118,408 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.453	16.525	118.440	1.187
50	36.562	16.495	118.440	1.189
70	36.725	16.449	118.440	1.192
90	36.943	16.388	118.440	1.197
110	37.215	16.314	118.441	1.202
130	37.543	16.225	118.441	1.209
150	37.926	16.123	118.441	1.216
170	38.365	16.008	118.442	1.225
190	38.860	15.882	118.442	1.235
210	39.412	15.744	118.443	1.246
230	40.021	15.596	118.444	1.257
250	40.688	15.439	118.444	1.270
270	41.414	15.272	118.445	1.284
290	42.200	15.098	118.446	1.299
310	43.046	14.916	118.447	1.315
330	43.953	14.728	118.448	1.332
350	44.922	14.535	118.449	1.349
370	45.954	14.337	118.450	1.368
390	47.051	14.135	118.451	1.388
410	48.213	13.930	118.453	1.408
430	49.441	13.722	118.454	1.430
450	50.737	13.512	118.455	1.452
470	52.103	13.301	118.457	1.475
490	53.539	13.089	118.459	1.499
510	55.047	12.877	118.460	1.524
530	56.629	12.665	118.462	1.549
550	58.287	12.453	118.464	1.576
570	60.021	12.242	118.466	1.603
590	61.834	12.033	118.468	1.631
610	63.728	11.825	118.470	1.660
630	65.705	11.619	118.472	1.689
650	67.766	11.415	118.475	1.719
670	69.915	11.213	118.477	1.750
690	72.152	11.014	118.480	1.782
710	74.480	10.818	118.482	1.815
730	76.901	10.624	118.485	1.848
750	79.418	10.433	118.488	1.882
770	82.032	10.246	118.491	1.916
790	84.747	10.061	118.494	1.952
810	87.565	9.879	118.497	1.988

Hasil Perhitungan Konduktor ACSR/AS Pada Tower No.10 (Span: 115,427 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.453	16.525	115.456	1.128
50	36.562	16.494	115.456	1.130
70	36.725	16.448	115.457	1.133
90	36.943	16.388	115.457	1.137
110	37.215	16.313	115.457	1.142
130	37.543	16.224	115.457	1.148
150	37.926	16.122	115.458	1.156
170	38.365	16.008	115.458	1.164
190	38.860	15.881	115.459	1.173
210	39.412	15.744	115.459	1.184
230	40.021	15.596	115.460	1.195
250	40.688	15.438	115.461	1.207
270	41.414	15.271	115.461	1.220
290	42.200	15.097	115.462	1.234
310	43.046	14.915	115.463	1.249
330	43.953	14.728	115.464	1.265
350	44.922	14.534	115.465	1.282
370	45.954	14.336	115.466	1.300
390	47.051	14.134	115.467	1.319
410	48.213	13.929	115.468	1.338
430	49.441	13.721	115.470	1.358
450	50.737	13.511	115.471	1.380
470	52.103	13.300	115.472	1.402
490	53.539	13.088	115.474	1.424
510	55.047	12.876	115.475	1.448
530	56.629	12.664	115.477	1.472
550	58.287	12.452	115.479	1.497
570	60.021	12.241	115.481	1.523
590	61.834	12.032	115.482	1.550
610	63.728	11.824	115.484	1.577
630	65.705	11.618	115.487	1.605
650	67.766	11.414	115.489	1.634
670	69.915	11.212	115.491	1.663
690	72.152	11.013	115.493	1.693
710	74.480	10.817	115.496	1.724
730	76.901	10.623	115.498	1.756
750	79.418	10.432	115.501	1.788
770	82.032	10.245	115.504	1.821
790	84.747	10.060	115.506	1.855
810	87.565	9.878	115.509	1.889

Hasil Perhitungan Konduktor ACSR/AS Pada Tower No.11 (Span: 189,274 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.453	16.546	189.404	3.032
50	36.562	16.515	189.404	3.038
70	36.725	16.470	189.405	3.046
90	36.943	16.409	189.406	3.057
110	37.215	16.335	189.407	3.071
130	37.543	16.246	189.408	3.088
150	37.926	16.144	189.410	3.108
170	38.365	16.030	189.412	3.130
190	38.860	15.903	189.414	3.155
210	39.412	15.766	189.417	3.183
230	40.021	15.618	189.419	3.213
250	40.688	15.461	189.422	3.246
270	41.414	15.294	189.426	3.281
290	42.200	15.120	189.429	3.319
310	43.046	14.939	189.433	3.360
330	43.953	14.751	189.437	3.403
350	44.922	14.558	189.441	3.448
370	45.954	14.361	189.446	3.496
390	47.051	14.159	189.451	3.546
410	48.213	13.954	189.456	3.598
430	49.441	13.747	189.462	3.653
450	50.737	13.537	189.468	3.709
470	52.103	13.327	189.474	3.769
490	53.539	13.115	189.481	3.830
510	55.047	12.903	189.488	3.893
530	56.629	12.691	189.495	3.958
550	58.287	12.480	189.502	4.026
570	60.021	12.270	189.510	4.095
590	61.834	12.061	189.519	4.167
610	63.728	11.854	189.527	4.240
630	65.705	11.648	189.536	4.316
650	67.766	11.445	189.546	4.393
670	69.915	11.244	189.556	4.472
690	72.152	11.045	189.566	4.554
710	74.480	10.849	189.577	4.637
730	76.901	10.656	189.588	4.721
750	79.418	10.466	189.600	4.808
770	82.032	10.279	189.612	4.897
790	84.747	10.095	189.624	4.987
810	87.565	9.914	189.637	5.079



Hasil Perhitungan Konduktor ACSR/AS Pada Tower No.12 (Span: 212,498 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.453	16.555	212.681	3.822
50	36.562	16.524	212.682	3.829
70	36.725	16.479	212.683	3.839
90	36.943	16.418	212.684	3.854
110	37.215	16.344	212.686	3.871
130	37.543	16.255	212.688	3.892
150	37.926	16.153	212.691	3.917
170	38.365	16.039	212.693	3.945
190	38.860	15.913	212.696	3.977
210	39.412	15.775	212.700	4.012
230	40.021	15.627	212.704	4.050
250	40.688	15.470	212.708	4.091
270	41.414	15.304	212.713	4.136
290	42.200	15.130	212.718	4.184
310	43.046	14.949	212.723	4.235
330	43.953	14.761	212.729	4.289
350	44.922	14.568	212.735	4.346
370	45.954	14.371	212.742	4.406
390	47.051	14.169	212.749	4.469
410	48.213	13.965	212.756	4.535
430	49.441	13.757	212.764	4.604
450	50.737	13.548	212.772	4.676
470	52.103	13.338	212.781	4.750
490	53.539	13.126	212.790	4.827
510	55.047	12.915	212.800	4.907
530	56.629	12.703	212.810	4.989
550	58.287	12.492	212.821	5.074
570	60.021	12.282	212.832	5.162
590	61.834	12.073	212.844	5.252
610	63.728	11.866	212.856	5.345
630	65.705	11.661	212.869	5.440
650	67.766	11.458	212.883	5.537
670	69.915	11.257	212.897	5.637
690	72.152	11.059	212.911	5.740
710	74.480	10.863	212.927	5.844
730	76.901	10.670	212.942	5.951
750	79.418	10.480	212.959	6.060
770	82.032	10.293	212.976	6.172
790	84.747	10.109	212.994	6.286
810	87.565	9.929	213.012	6.402

Hasil Perhitungan Konduktor ACSR/AS Pada Tower No.13 (Span: 190,004 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.453	16.546	190.135	3.055
50	36.562	16.516	190.136	3.061
70	36.725	16.470	190.136	3.070
90	36.943	16.410	190.137	3.081
110	37.215	16.335	190.138	3.095
130	37.543	16.246	190.140	3.112
150	37.926	16.144	190.142	3.132
170	38.365	16.030	190.144	3.154
190	38.860	15.904	190.146	3.179
210	39.412	15.766	190.148	3.207
230	40.021	15.618	190.151	3.238
250	40.688	15.461	190.154	3.271
270	41.414	15.295	190.157	3.307
290	42.200	15.120	190.161	3.345
310	43.046	14.939	190.165	3.386
330	43.953	14.752	190.169	3.429
350	44.922	14.559	190.173	3.475
370	45.954	14.361	190.178	3.523
390	47.051	14.159	190.183	3.573
410	48.213	13.954	190.189	3.626
430	49.441	13.747	190.194	3.681
450	50.737	13.538	190.200	3.738
470	52.103	13.327	190.206	3.798
490	53.539	13.115	190.213	3.859
510	55.047	12.904	190.220	3.923
530	56.629	12.692	190.227	3.989
550	58.287	12.481	190.235	4.057
570	60.021	12.270	190.243	4.127
590	61.834	12.061	190.251	4.199
610	63.728	11.854	190.260	4.273
630	65.705	11.649	190.269	4.349
650	67.766	11.445	190.279	4.427
670	69.915	11.244	190.289	4.507
690	72.152	11.046	190.300	4.589
710	74.480	10.850	190.310	4.672
730	76.901	10.657	190.322	4.758
750	79.418	10.466	190.333	4.845
770	82.032	10.279	190.346	4.934
790	84.747	10.095	190.358	5.025
810	87.565	9.914	190.372	5.118

Hasil Perhitungan Konduktor ACSR/AS Pada Tower No.14 (Span: 149,906 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.453	16.533	149.970	1.902
50	36.562	16.503	149.971	1.905
70	36.725	16.457	149.971	1.911
90	36.943	16.397	149.971	1.918
110	37.215	16.322	149.972	1.927
130	37.543	16.233	149.973	1.937
150	37.926	16.131	149.974	1.949
170	38.365	16.017	149.975	1.963
190	38.860	15.890	149.976	1.979
210	39.412	15.753	149.977	1.996
230	40.021	15.605	149.978	2.015
250	40.688	15.447	149.980	2.036
270	41.414	15.281	149.981	2.058
290	42.200	15.106	149.983	2.082
310	43.046	14.925	149.985	2.107
330	43.953	14.737	149.987	2.134
350	44.922	14.544	149.989	2.163
370	45.954	14.346	149.992	2.193
390	47.051	14.144	149.994	2.224
410	48.213	13.939	149.997	2.257
430	49.441	13.732	149.999	2.291
450	50.737	13.522	150.002	2.327
470	52.103	13.311	150.005	2.364
490	53.539	13.099	150.009	2.402
510	55.047	12.887	150.012	2.442
530	56.629	12.675	150.016	2.483
550	58.287	12.463	150.019	2.525
570	60.021	12.253	150.023	2.569
590	61.834	12.044	150.028	2.614
610	63.728	11.836	150.032	2.660
630	65.705	11.630	150.036	2.707
650	67.766	11.427	150.041	2.756
670	69.915	11.225	150.046	2.805
690	72.152	11.026	150.051	2.856
710	74.480	10.830	150.056	2.908
730	76.901	10.637	150.062	2.962
750	79.418	10.446	150.068	3.016
770	82.032	10.258	150.074	3.071
790	84.747	10.074	150.080	3.128
810	87.565	9.893	150.087	3.186

Hasil Perhitungan Konduktor ACCC Dove Pada Tower No.9 (Span: 118,408 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.321	20.462	118.427	0.910
50	36.415	20.416	118.427	0.912
70	36.554	20.348	118.427	0.915
90	36.741	20.259	118.427	0.919
110	36.974	20.148	118.427	0.924
130	37.254	20.017	118.427	0.930
150	37.581	19.867	118.428	0.937
170	37.955	19.700	118.428	0.945
190	38.375	19.516	118.429	0.954
210	38.843	19.316	118.429	0.964
230	39.359	19.103	118.429	0.975
250	39.922	18.877	118.430	0.987
270	40.532	18.640	118.430	0.999
290	41.190	18.394	118.431	1.013
310	41.896	18.140	118.432	1.027
330	42.650	17.878	118.432	1.042
350	43.453	17.611	118.433	1.058
370	44.304	17.340	118.434	1.074
390	45.204	17.065	118.435	1.091
410	46.152	16.789	118.436	1.109
430	47.150	16.511	118.437	1.128
450	48.198	16.233	118.438	1.147
470	49.295	15.956	118.439	1.167
490	50.442	15.680	118.440	1.188
510	51.640	15.406	118.441	1.209
530	52.888	15.134	118.442	1.231
550	54.187	14.866	118.443	1.253
570	55.537	14.601	118.445	1.276
590	56.938	14.460	118.445	1.288
610	58.391	14.439	118.445	1.290
630	59.896	14.418	118.446	1.292
650	61.453	14.397	118.446	1.294
670	63.063	14.374	118.446	1.296
690	64.726	14.351	118.446	1.298
710	66.442	14.328	118.446	1.300
730	68.211	14.304	118.446	1.303
750	70.034	14.279	118.446	1.305
770	71.911	14.253	118.446	1.307
790	73.843	14.227	118.447	1.310
810	75.829	14.200	118.447	1.312
830	77.870	14.173	118.447	1.315
850	79.965	14.145	118.447	1.317
870	82.117	14.117	118.447	1.320
890	84.323	14.088	118.447	1.323

910	86.586	14.058	118.448	1.325
930	88.904	14.028	118.448	1.328
950	91.278	13.997	118.448	1.331
970	93.709	13.965	118.448	1.334
990	96.195	13.934	118.448	1.337
1010	98.738	13.901	118.448	1.340
1030	101.338	13.868	118.449	1.344
1050	103.993	13.835	118.449	1.347
1070	106.706	13.801	118.449	1.350
1090	109.474	13.766	118.449	1.353
1110	112.299	13.731	118.449	1.357
1130	115.180	13.696	118.450	1.360
1150	118.117	13.660	118.450	1.364
1170	121.110	13.624	118.450	1.368
1190	124.159	13.587	118.450	1.371
1210	127.263	13.550	118.451	1.375
1230	130.421	13.513	118.451	1.379
1250	133.635	13.475	118.451	1.383
1270	136.902	13.437	118.451	1.387
1290	140.223	13.398	118.452	1.391
1310	143.597	13.359	118.452	1.395
1330	147.024	13.320	118.452	1.399
1350	150.503	13.281	118.452	1.403
1370	154.033	13.241	118.453	1.407
1390	157.613	13.201	118.453	1.412
1410	161.243	13.161	118.453	1.416
1430	164.923	13.120	118.453	1.420
1450	168.650	13.080	118.454	1.425
1470	172.424	13.039	118.454	1.429
1490	176.245	12.998	118.454	1.434
1510	180.111	12.957	118.455	1.438
1530	184.020	12.915	118.455	1.443
1550	187.973	12.874	118.455	1.448
1570	191.968	12.832	118.455	1.452
1590	196.004	12.791	118.456	1.457

Hasil Perhitungan Konduktor ACCC Dove Pada Tower No.10 (Span: 115,427 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.321	20.462	115.444	0.865
50	36.415	20.415	115.444	0.867
70	36.554	20.348	115.444	0.870
90	36.741	20.258	115.445	0.874
110	36.974	20.147	115.445	0.878
130	37.254	20.017	115.445	0.884
150	37.581	19.867	115.445	0.891



170	37.955	19.699	115.446	0.898
190	38.375	19.515	115.446	0.907
210	38.843	19.316	115.446	0.916
230	39.359	19.102	115.447	0.926
250	39.922	18.876	115.447	0.938
270	40.532	18.640	115.448	0.949
290	41.190	18.393	115.448	0.962
310	41.896	18.139	115.449	0.976
330	42.650	17.878	115.450	0.990
350	43.453	17.611	115.450	1.005
370	44.304	17.339	115.451	1.021
390	45.204	17.065	115.452	1.037
410	46.152	16.788	115.453	1.054
430	47.150	16.511	115.454	1.072
450	48.198	16.233	115.454	1.090
470	49.295	15.955	115.455	1.109
490	50.442	15.679	115.456	1.129
510	51.640	15.405	115.458	1.149
530	52.888	15.134	115.459	1.170
550	54.187	14.865	115.460	1.191
570	55.537	14.600	115.461	1.213
590	56.938	14.459	115.462	1.224
610	58.391	14.439	115.462	1.226
630	59.896	14.418	115.462	1.228
650	61.453	14.396	115.462	1.230
670	63.063	14.374	115.462	1.232
690	64.726	14.351	115.462	1.234
710	66.442	14.327	115.462	1.236
730	68.211	14.303	115.462	1.238
750	70.034	14.278	115.463	1.240
770	71.911	14.253	115.463	1.242
790	73.843	14.226	115.463	1.244
810	75.829	14.200	115.463	1.247
830	77.870	14.172	115.463	1.249
850	79.965	14.144	115.463	1.252
870	82.117	14.116	115.463	1.254
890	84.323	14.087	115.463	1.257
910	86.586	14.057	115.464	1.259
930	88.904	14.027	115.464	1.262
950	91.278	13.996	115.464	1.265
970	93.709	13.965	115.464	1.268
990	96.195	13.933	115.464	1.271
1010	98.738	13.900	115.464	1.274
1030	101.338	13.868	115.465	1.277
1050	103.993	13.834	115.465	1.280
1070	106.706	13.800	115.465	1.283
1090	109.474	13.766	115.465	1.286
1110	112.299	13.731	115.465	1.289

1130	115.180	13.695	115.466	1.293
1150	118.117	13.660	115.466	1.296
1170	121.110	13.623	115.466	1.300
1190	124.159	13.587	115.466	1.303
1210	127.263	13.549	115.466	1.307
1230	130.421	13.512	115.467	1.310
1250	133.635	13.474	115.467	1.314
1270	136.902	13.436	115.467	1.318
1290	140.223	13.397	115.467	1.322
1310	143.597	13.358	115.468	1.325
1330	147.024	13.319	115.468	1.329
1350	150.503	13.280	115.468	1.333
1370	154.033	13.240	115.468	1.337
1390	157.613	13.200	115.469	1.341
1410	161.243	13.160	115.469	1.346
1430	164.923	13.119	115.469	1.350
1450	168.650	13.079	115.469	1.354
1470	172.424	13.038	115.470	1.358
1490	176.245	12.997	115.470	1.362
1510	180.111	12.956	115.470	1.367
1530	184.020	12.915	115.470	1.371
1550	187.973	12.873	115.471	1.376
1570	191.968	12.832	115.471	1.380
1590	196.004	12.790	115.471	1.385

Hasil Perhitungan Konduktor ACCC Dove Pada Tower No.11 (Span: 189,274 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.321	20.477	189.350	2.325
50	36.415	20.431	189.351	2.331
70	36.554	20.364	189.351	2.338
90	36.741	20.274	189.352	2.349
110	36.974	20.163	189.353	2.3 62
130	37.254	20.033	189.354	2.377
150	37.581	19.883	189.355	2.395
170	37.955	19.715	189.356	2.415
190	38.375	19.532	189.358	2.438
210	38.843	19.332	189.360	2.463
230	39.359	19.119	189.361	2.491
250	39.922	18.893	189.364	2.521
270	40.532	18.657	189.366	2.553
290	41.190	18.411	189.368	2.587
310	41.896	18.156	189.371	2.623
330	42.650	17.895	189.374	2.662
350	43.453	17.629	189.377	2.702
370	44.304	17.358	189.380	2.745

390	45.204	17.083	189.384	2.789
410	46.152	16.807	189.387	2.835
430	47.150	16.530	189.391	2.883
450	48.198	16.252	189.395	2.932
470	49.295	15.975	189.399	2.983
490	50.442	15.700	189.404	3.036
510	51.640	15.426	189.408	3.090
530	52.888	15.155	189.413	3.145
550	54.187	14.886	189.418	3.202
570	55.537	14.622	189.424	3.260
590	56.938	14.481	189.427	3.292
610	58.391	14.461	189.427	3.297
630	59.896	14.440	189.428	3.302
650	61.453	14.418	189.428	3.307
670	63.063	14.396	189.429	3.312
690	64.726	14.373	189.429	3.317
710	66.442	14.349	189.430	3.323
730	68.211	14.325	189.430	3.328
750	70.034	14.300	189.431	3.334
770	71.911	14.275	189.431	3.340
790	73.843	14.249	189.432	3.346
810	75.829	14.222	189.432	3.352
830	77.870	14.195	189.433	3.359
850	79.965	14.167	189.434	3.366
870	82.117	14.138	189.434	3.372
890	84.323	14.109	189.435	3.379
910	86.586	14.080	189.436	3.387
930	88.904	14.050	189.436	3.394
950	91.278	14.019	189.437	3.401
970	93.709	13.988	189.438	3.409
990	96.195	13.956	189.438	3.417
1010	98.738	13.923	189.439	3.425
1030	101.338	13.890	189.440	3.433
1050	103.993	13.857	189.441	3.441
1070	106.706	13.823	189.442	3.450
1090	109.474	13.789	189.443	3.458
1110	112.299	13.754	189.443	3.467
1130	115.180	13.719	189.444	3.476
1150	118.117	13.683	189.445	3.485
1170	121.110	13.647	189.446	3.495
1190	124.159	13.610	189.447	3.504
1210	127.263	13.573	189.448	3.514
1230	130.421	13.535	189.449	3.523
1250	133.635	13.498	189.450	3.533
1270	136.902	13.460	189.451	3.543
1290	140.223	13.421	189.452	3.554
1310	143.597	13.382	189.453	3.564
1330	147.024	13.343	189.454	3.575

1350	150.503	13.304	189.455	3.585
1370	154.033	13.264	189.456	3.596
1390	157.613	13.224	189.457	3.607
1410	161.243	13.184	189.458	3.618
1430	164.923	13.144	189.460	3.629
1450	168.650	13.103	189.461	3.640
1470	172.424	13.062	189.462	3.652
1490	176.245	13.021	189.463	3.663
1510	180.111	12.980	189.464	3.675
1530	184.020	12.939	189.466	3.687
1550	187.973	12.898	189.467	3.699
1570	191.968	12.856	189.468	3.711
1590	196.004	12.815	189.469	3.723

Hasil Perhitungan Konduktor ACCC Dove Pada Tower No.12 (Span: 212,498 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.321	20.483	212.606	2.931
50	36.415	20.437	212.606	2.938
70	36.554	20.370	212.607	2.947
90	36.741	20.280	212.608	2.961
110	36.974	20.170	212.609	2.977
130	37.254	20.039	212.611	2.996
150	37.581	19.889	212.612	3.019
170	37.955	19.722	212.614	3.045
190	38.375	19.538	212.617	3.073
210	38.843	19.339	212.619	3.105
230	39.359	19.126	212.622	3.140
250	39.922	18.900	212.625	3.177
270	40.532	18.664	212.628	3.218
290	41.190	18.418	212.631	3.261
310	41.896	18.164	212.635	3.307
330	42.650	17.903	212.639	3.355
350	43.453	17.636	212.644	3.406
370	44.304	17.365	212.648	3.459
390	45.204	17.091	212.653	3.515
410	46.152	16.815	212.658	3.573
430	47.150	16.538	212.664	3.633
450	48.198	16.260	212.669	3.696
470	49.295	15.984	212.675	3.760
490	50.442	15.708	212.682	3.826
510	51.640	15.434	212.688	3.894
530	52.888	15.163	212.695	3.964
550	54.187	14.895	212.702	4.036
570	55.537	14.631	212.710	4.110
590	56.938	14.490	212.714	4.150

610	58.391	14.470	212.715	4.156
630	59.896	14.449	212.715	4.162
650	61.453	14.427	212.716	4.168
670	63.063	14.405	212.717	4.174
690	64.726	14.382	212.717	4.181
710	66.442	14.358	212.718	4.188
730	68.211	14.334	212.719	4.195
750	70.034	14.310	212.720	4.202
770	71.911	14.284	212.720	4.210
790	73.843	14.258	212.721	4.218
810	75.829	14.231	212.722	4.226
830	77.870	14.204	212.723	4.234
850	79.965	14.176	212.724	4.242
870	82.117	14.148	212.725	4.251
890	84.323	14.119	212.726	4.260
910	86.586	14.089	212.727	4.269
930	88.904	14.059	212.728	4.278
950	91.278	14.028	212.729	4.287
970	93.709	13.997	212.730	4.297
990	96.195	13.965	212.731	4.307
1010	98.738	13.933	212.732	4.317
1030	101.338	13.900	212.733	4.327
1050	103.993	13.867	212.734	4.338
1070	106.706	13.833	212.735	4.348
1090	109.474	13.798	212.736	4.359
1110	112.299	13.763	212.738	4.370
1130	115.180	13.728	212.739	4.382
1150	118.117	13.692	212.740	4.393
1170	121.110	13.656	212.741	4.405
1190	124.159	13.620	212.743	4.417
1210	127.263	13.583	212.744	4.429
1230	130.421	13.545	212.746	4.441
1250	133.635	13.507	212.747	4.454
1270	136.902	13.469	212.748	4.466
1290	140.223	13.431	212.750	4.479
1310	143.597	13.392	212.751	4.492
1330	147.024	13.353	212.753	4.506
1350	150.503	13.314	212.754	4.519
1370	154.033	13.274	212.756	4.533
1390	157.613	13.234	212.757	4.546
1410	161.243	13.194	212.759	4.560
1430	164.923	13.154	212.761	4.574
1450	168.650	13.113	212.762	4.589
1470	172.424	13.072	212.764	4.603
1490	176.245	13.031	212.766	4.618
1510	180.111	12.990	212.767	4.632
1530	184.020	12.949	212.769	4.647
1550	187.973	12.908	212.771	4.662



1570	191.968	12.867	212.773	4.677
1590	196.004	12.825	212.774	4.692

Hasil Perhitungan Konduktor ACCC Dove Pada Tower No.13 (Span: 190,004 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.321	20.477	190.081	2.343
50	36.415	20.431	190.081	2.349
70	36.554	20.364	190.082	2.356
90	36.741	20.274	190.083	2.367
110	36.974	20.163	190.083	2.380
130	37.254	20.033	190.085	2.396
150	37.581	19.883	190.086	2.414
170	37.955	19.715	190.087	2.434
190	38.375	19.532	190.089	2.457
210	38.843	19.332	190.090	2.483
230	39.359	19.119	190.092	2.510
250	39.922	18.893	190.095	2.540
270	40.532	18.657	190.097	2.573
290	41.190	18.411	190.099	2.607
310	41.896	18.157	190.102	2.644
330	42.650	17.896	190.105	2.682
350	43.453	17.629	190.108	2.723
370	44.304	17.358	190.111	2.766
390	45.204	17.084	190.115	2.810
410	46.152	16.808	190.119	2.857
430	47.150	16.530	190.122	2.905
450	48.198	16.252	190.127	2.955
470	49.295	15.976	190.131	3.006
490	50.442	15.700	190.135	3.059
510	51.640	15.426	190.140	3.114
530	52.888	15.155	190.145	3.170
550	54.187	14.887	190.150	3.227
570	55.537	14.622	190.156	3.286
590	56.938	14.481	190.158	3.318
610	58.391	14.461	190.159	3.322
630	59.896	14.440	190.159	3.327
650	61.453	14.418	190.160	3.332
670	63.063	14.396	190.160	3.337
690	64.726	14.373	190.161	3.343
710	66.442	14.350	190.161	3.348
730	68.211	14.325	190.162	3.354
750	70.034	14.301	190.162	3.360
770	71.911	14.275	190.163	3.366
790	73.843	14.249	190.164	3.372
810	75.829	14.222	190.164	3.378

830	77.870	14.195	190.165	3.385
850	79.965	14.167	190.165	3.392
870	82.117	14.139	190.166	3.398
890	84.323	14.110	190.167	3.406
910	86.586	14.080	190.167	3.413
930	88.904	14.050	190.168	3.420
950	91.278	14.019	190.169	3.428
970	93.709	13.988	190.170	3.435
990	96.195	13.956	190.170	3.443
1010	98.738	13.924	190.171	3.451
1030	101.338	13.891	190.172	3.459
1050	103.993	13.857	190.173	3.468
1070	106.706	13.823	190.174	3.476
1090	109.474	13.789	190.174	3.485
1110	112.299	13.754	190.175	3.494
1130	115.180	13.719	190.176	3.503
1150	118.117	13.683	190.177	3.512
1170	121.110	13.647	190.178	3.522
1190	124.159	13.610	190.179	3.531
1210	127.263	13.573	190.180	3.541
1230	130.421	13.536	190.181	3.551
1250	133.635	13.498	190.182	3.561
1270	136.902	13.460	190.183	3.571
1290	140.223	13.421	190.184	3.581
1310	143.597	13.383	190.185	3.592
1330	147.024	13.343	190.186	3.602
1350	150.503	13.304	190.187	3.613
1370	154.033	13.264	190.188	3.624
1390	157.613	13.224	190.189	3.635
1410	161.243	13.184	190.191	3.646
1430	164.923	13.144	190.192	3.657
1450	168.650	13.103	190.193	3.669
1470	172.424	13.063	190.194	3.680
1490	176.245	13.022	190.195	3.692
1510	180.111	12.981	190.196	3.703
1530	184.020	12.939	190.198	3.715
1550	187.973	12.898	190.199	3.727
1570	191.968	12.857	190.200	3.739
1590	196.004	12.815	190.202	3.752

Hasil Perhitungan Konduktor ACCC Dove Pada Tower No.14 (Span: 149,906 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.321	20.468	149.944	1.459
50	36.415	20.422	149.944	1.462
70	36.554	20.354	149.944	1.467

90	36.741	20.264	149.945	1.473
110	36.974	20.154	149.945	1.481
130	37.254	20.023	149.946	1.491
150	37.581	19.873	149.946	1.502
170	37.955	19.706	149.947	1.515
190	38.375	19.522	149.948	1.529
210	38.843	19.322	149.948	1.545
230	39.359	19.109	149.949	1.563
250	39.922	18.883	149.950	1.581
270	40.532	18.647	149.952	1.601
290	41.190	18.400	149.953	1.623
310	41.896	18.146	149.954	1.646
330	42.650	17.885	149.956	1.670
350	43.453	17.618	149.957	1.695
370	44.304	17.347	149.959	1.722
390	45.204	17.072	149.960	1.749
410	46.152	16.796	149.962	1.778
430	47.150	16.519	149.964	1.808
450	48.198	16.241	149.966	1.839
470	49.295	15.963	149.968	1.871
490	50.442	15.688	149.970	1.904
510	51.640	15.414	149.973	1.938
530	52.888	15.142	149.975	2.009
550	54.187	14.874	149.978	2.045
570	55.537	14.609	149.980	2.065
590	56.938	14.468	149.982	2.068
610	58.391	14.448	149.982	2.071
630	59.896	14.427	149.982	2.074
650	61.453	14.405	149.983	2.077
670	63.063	14.383	149.983	2.081
690	64.726	14.360	149.983	2.084
710	66.442	14.336	149.983	2.088
730	68.211	14.312	149.984	2.091
750	70.034	14.287	149.984	2.095
770	71.911	14.262	149.984	2.099
790	73.843	14.236	149.984	2.103
810	75.829	14.209	149.985	2.107
830	77.870	14.182	149.985	2.111
850	79.965	14.154	149.985	2.115
870	82.117	14.125	149.986	2.120
890	84.323	14.096	149.986	2.124
910	86.586	14.066	149.986	2.129
930	88.904	14.036	149.987	2.134
950	91.278	14.005	149.987	2.138
970	93.709	13.974	149.987	2.143
990	96.195	13.942	149.988	2.148
1010	98.738	13.910	149.988	2.153
1030	101.338	13.877	149.988	2.159

1050	103.993	13.843	149.989	2.164
1070	106.706	13.809	149.989	2.169
1090	109.474	13.775	149.990	2.175
1110	112.299	13.740	149.990	2.181
1130	115.180	13.705	149.991	2.186
1150	118.117	13.669	149.991	2.192
1170	121.110	13.633	149.991	2.198
1190	124.159	13.596	149.992	2.204
1210	127.263	13.559	149.992	2.210
1230	130.421	13.522	149.993	2.216
1250	133.635	13.484	149.993	2.223
1270	136.902	13.446	149.994	2.229
1290	140.223	13.407	149.994	2.236
1310	143.597	13.368	149.995	2.242
1330	147.024	13.329	149.995	2.249
1350	150.503	13.290	149.996	2.256
1370	154.033	13.250	149.997	2.009
1390	157.613	13.210	149.997	2.263
1410	161.243	13.170	149.998	2.269
1430	164.923	13.129	149.998	2.276
1450	168.650	13.089	149.999	2.284
1470	172.424	13.048	149.999	2.291
1490	176.245	13.007	150.000	2.298
1510	180.111	12.966	150.001	2.305
1530	184.020	12.925	150.001	2.313
1550	187.973	12.883	150.002	2.320
1570	191.968	12.842	150.002	2.328
1590	196.004	12.800	150.003	2.335

Hasil Perhitungan Konduktor ACCR Groosbreak Pada Tower No. 9 (Span: 118,408 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.467	19.166	118.429	0.957
50	36.568	19.127	118.429	0.959
70	36.719	19.069	118.429	0.962
90	36.922	18.993	118.429	0.966
110	37.175	18.899	118.429	0.971
130	37.479	18.787	118.429	0.977
150	37.835	18.659	118.430	0.983
170	38.243	18.515	118.430	0.991
190	38.703	18.356	118.431	1.000
210	39.216	18.183	118.431	1.009
230	39.781	17.998	118.431	1.020
250	40.401	17.801	118.432	1.031
270	41.075	17.593	118.432	1.043

290	41.803	17.377	118.433	1.056
310	42.588	17.151	118.434	1.070
330	43.428	16.919	118.434	1.085
350	44.326	16.680	118.435	1.100
370	45.283	16.436	118.436	1.117
390	46.298	16.188	118.437	1.134
410	47.373	15.936	118.438	1.152
430	48.509	15.682	118.439	1.170
450	49.708	15.426	118.440	1.190
470	50.969	15.272	118.441	1.202
490	52.296	15.177	118.441	1.209
510	53.688	15.080	118.441	1.217
530	55.147	14.979	118.442	1.225
550	56.675	14.876	118.442	1.234
570	58.273	14.770	118.443	1.243
590	59.943	14.661	118.443	1.252
610	61.686	14.550	118.444	1.261
630	63.504	14.437	118.444	1.271
650	65.398	14.321	118.445	1.282
670	67.371	14.203	118.446	1.292
690	69.424	14.083	118.446	1.303
710	71.560	13.962	118.447	1.315
730	73.779	13.838	118.448	1.327
750	76.084	13.713	118.448	1.339
770	78.478	13.587	118.449	1.351
790	80.962	13.459	118.450	1.364
810	83.538	13.329	118.451	1.377
830	86.208	13.199	118.452	1.391
850	88.975	13.068	118.452	1.405
870	91.841	12.935	118.453	1.419
890	94.808	12.802	118.454	1.434
910	97.878	12.669	118.455	1.449
930	101.053	12.534	118.456	1.465
950	104.335	12.400	118.457	1.481
970	107.727	12.265	118.458	1.497
990	111.231	12.130	118.460	1.514
1010	114.847	11.995	118.461	1.531
1030	118.579	11.860	118.462	1.548
1050	122.427	11.725	118.463	1.566
1070	126.394	11.591	118.465	1.584
1090	130.480	11.457	118.466	1.603
1110	134.687	11.324	118.467	1.622
1130	139.015	11.191	118.469	1.641
1150	143.466	11.059	118.470	1.661
1170	148.039	10.928	118.472	1.681
1190	152.735	10.799	118.473	1.701
1210	157.554	10.670	118.475	1.722
1230	162.494	10.543	118.476	1.742



1250	167.557	10.417	118.478	1.764
1270	172.739	10.292	118.480	1.785
1290	178.039	10.169	118.482	1.807
1310	183.457	10.047	118.483	1.829
1330	188.988	9.928	118.485	1.851
1350	194.632	9.810	118.487	1.873
1370	200.384	9.694	118.489	1.896
1390	206.241	9.579	118.491	1.918
1410	212.200	9.467	118.493	1.941
1430	218.256	9.357	118.495	1.964
1450	224.407	9.249	118.497	1.987
1470	230.646	9.143	118.499	2.010
1490	236.970	9.039	118.501	2.034

Hasil Perhitungan Konduktor ACCR Groosbreak Pada Tower No. 10 (Span: 115,427 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.467	19.165	115.446	0.910
50	36.568	19.126	115.446	0.912
70	36.719	19.069	115.446	0.914
90	36.922	18.992	115.446	0.918
110	37.175	18.898	115.447	0.923
130	37.479	18.787	115.447	0.928
150	37.835	18.658	115.447	0.934
170	38.243	18.514	115.447	0.942
190	38.703	18.355	115.448	0.950
210	39.216	18.183	115.448	0.959
230	39.781	17.997	115.449	0.969
250	40.401	17.800	115.449	0.980
270	41.075	17.593	115.450	0.991
290	41.803	17.376	115.450	1.004
310	42.588	17.151	115.451	1.017
330	43.428	16.918	115.452	1.031
350	44.326	16.680	115.452	1.045
370	45.283	16.435	115.453	1.061
390	46.298	16.187	115.454	1.077
410	47.373	15.936	115.455	1.094
430	48.509	15.682	115.456	1.112
450	49.708	15.426	115.457	1.131
470	50.969	15.271	115.457	1.142
490	52.296	15.177	115.458	1.149
510	53.688	15.079	115.458	1.157
530	55.147	14.979	115.458	1.164
550	56.675	14.875	115.459	1.172
570	58.273	14.769	115.459	1.181

590	59.943	14.661	115.460	1.190
610	61.686	14.549	115.460	1.199
630	63.504	14.436	115.461	1.208
650	65.398	14.320	115.461	1.218
670	67.371	14.203	115.462	1.228
690	69.424	14.083	115.462	1.239
710	71.560	13.961	115.463	1.249
730	73.779	13.838	115.464	1.261
750	76.084	13.713	115.464	1.272
770	78.478	13.586	115.465	1.284
790	80.962	13.458	115.466	1.296
810	83.538	13.329	115.467	1.309
830	86.208	13.198	115.467	1.322
850	88.975	13.067	115.468	1.335
870	91.841	12.935	115.469	1.349
890	94.808	12.802	115.470	1.363
910	97.878	12.668	115.471	1.377
930	101.053	12.534	115.472	1.392
950	104.335	12.399	115.473	1.407
970	107.727	12.264	115.474	1.423
990	111.231	12.129	115.475	1.439
1010	114.847	11.994	115.476	1.455
1030	118.579	11.859	115.477	1.471
1050	122.427	11.724	115.478	1.488
1070	126.394	11.590	115.479	1.506
1090	130.480	11.456	115.481	1.523
1110	134.687	11.323	115.482	1.541
1130	139.015	11.190	115.483	1.560
1150	143.466	11.058	115.485	1.578
1170	148.039	10.928	115.486	1.597
1190	152.735	10.798	115.487	1.616
1210	157.554	10.669	115.489	1.636
1230	162.494	10.542	115.490	1.656
1250	167.557	10.416	115.492	1.676
1270	172.739	10.291	115.493	1.696
1290	178.039	10.168	115.495	1.717
1310	183.457	10.046	115.497	1.738
1330	188.988	9.927	115.498	1.759
1350	194.632	9.809	115.500	1.780
1370	200.384	9.693	115.502	1.801
1390	206.241	9.578	115.504	1.823
1410	212.200	9.466	115.506	1.845
1430	218.256	9.356	115.507	1.867
1450	224.407	9.248	115.509	1.888
1470	230.646	9.142	115.511	1.910
1490	236.970	9.038	115.513	1.932

Hasil Perhitungan Konduktor ACCR Groosbreak Pada Tower No. 11 (Span: 189,274 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.467	19.181	189.358	2.446
50	36.568	19.142	189.359	2.451
70	36.719	19.085	189.359	2.458
90	36.922	19.009	189.360	2.468
110	37.175	18.914	189.361	2.481
130	37.479	18.803	189.362	2.495
150	37.835	18.675	189.363	2.513
170	38.243	18.531	189.364	2.532
190	38.703	18.372	189.366	2.554
210	39.216	18.199	189.368	2.578
230	39.781	18.015	189.370	2.605
250	40.401	17.818	189.372	2.634
270	41.075	17.610	189.374	2.665
290	41.803	17.394	189.377	2.698
310	42.588	17.169	189.379	2.734
330	43.428	16.936	189.382	2.771
350	44.326	16.698	189.385	2.811
370	45.283	16.454	189.389	2.853
390	46.298	16.206	189.392	2.897
410	47.373	15.955	189.396	2.943
430	48.509	15.701	189.400	2.990
450	49.708	15.446	189.404	3.040
470	50.969	15.292	189.407	3.071
490	52.296	15.197	189.409	3.090
510	53.688	15.100	189.410	3.110
530	55.147	14.999	189.412	3.131
550	56.675	14.896	189.414	3.153
570	58.273	14.790	189.416	3.175
590	59.943	14.682	189.418	3.199
610	61.686	14.571	189.420	3.223
630	63.504	14.457	189.423	3.249
650	65.398	14.342	189.425	3.275
670	67.371	14.224	189.428	3.302
690	69.424	14.105	189.430	3.330
710	71.560	13.983	189.433	3.359
730	73.779	13.860	189.436	3.389
750	76.084	13.735	189.439	3.420
770	78.478	13.609	189.442	3.452
790	80.962	13.481	189.445	3.485
810	83.538	13.352	189.448	3.519
830	86.208	13.222	189.452	3.554
850	88.975	13.091	189.456	3.590
870	91.841	12.958	189.459	3.627

890	94.808	12.826	189.463	3.664
910	97.878	12.692	189.467	3.703
930	101.053	12.558	189.471	3.743
950	104.335	12.424	189.476	3.784
970	107.727	12.289	189.480	3.825
990	111.231	12.155	189.485	3.868
1010	114.847	12.020	189.490	3.912
1030	118.579	11.885	189.495	3.956
1050	122.427	11.751	189.500	4.002
1070	126.394	11.617	189.505	4.048
1090	130.480	11.483	189.510	4.096
1110	134.687	11.350	189.516	4.144
1130	139.015	11.218	189.522	4.193
1150	143.466	11.086	189.528	4.244
1170	148.039	10.956	189.534	4.295
1190	152.735	10.826	189.540	4.346
1210	157.554	10.698	189.547	4.399
1230	162.494	10.571	189.553	4.452
1250	167.557	10.445	189.560	4.506
1270	172.739	10.321	189.567	4.561
1290	178.039	10.198	189.574	4.617
1310	183.457	10.077	189.582	4.673
1330	188.988	9.958	189.589	4.729
1350	194.632	9.840	189.597	4.786
1370	200.384	9.724	189.605	4.844
1390	206.241	9.611	189.613	4.902
1410	212.200	9.499	189.621	4.960
1430	218.256	9.389	189.629	5.019
1450	224.407	9.281	189.637	5.078
1470	230.646	9.176	189.646	5.137
1490	236.970	9.072	189.654	5.196

Hasil Perhitungan Konduktor ACCR Groosbreak Pada Tower No. 12 (Span: 212,498 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.467	19.188	212.617	3.083
50	36.568	19.149	212.618	3.090
70	36.719	19.092	212.619	3.099
90	36.922	19.015	212.619	3.111
110	37.175	18.921	212.621	3.127
130	37.479	18.810	212.622	3.145
150	37.835	18.682	212.624	3.167
170	38.243	18.538	212.626	3.192
190	38.703	18.379	212.628	3.219
210	39.216	18.206	212.631	3.250

230	39.781	18.022	212.633	3.284
250	40.401	17.825	212.636	3.320
270	41.075	17.618	212.640	3.359
290	41.803	17.401	212.643	3.401
310	42.588	17.176	212.647	3.446
330	43.428	16.944	212.651	3.493
350	44.326	16.706	212.656	3.543
370	45.283	16.462	212.660	3.596
390	46.298	16.214	212.665	3.651
410	47.373	15.963	212.671	3.709
430	48.509	15.710	212.676	3.769
450	49.708	15.454	212.682	3.832
470	50.969	15.300	212.686	3.871
490	52.296	15.205	212.688	3.895
510	53.688	15.108	212.691	3.920
530	55.147	15.008	212.693	3.946
550	56.675	14.905	212.696	3.974
570	58.273	14.799	212.699	4.002
590	59.943	14.690	212.702	4.032
610	61.686	14.579	212.705	4.063
630	63.504	14.466	212.708	4.095
650	65.398	14.351	212.712	4.128
670	67.371	14.233	212.715	4.162
690	69.424	14.114	212.719	4.198
710	71.560	13.992	212.723	4.234
730	73.779	13.869	212.727	4.272
750	76.084	13.744	212.731	4.311
770	78.478	13.618	212.736	4.352
790	80.962	13.490	212.740	4.393
810	83.538	13.361	212.745	4.436
830	86.208	13.231	212.750	4.480
850	88.975	13.100	212.755	4.525
870	91.841	12.968	212.760	4.571
890	94.808	12.836	212.766	4.619
910	97.878	12.702	212.771	4.668
930	101.053	12.568	212.777	4.718
950	104.335	12.434	212.783	4.769
970	107.727	12.300	212.790	4.822
990	111.231	12.165	212.796	4.875
1010	114.847	12.030	212.803	4.930
1030	118.579	11.896	212.810	4.987
1050	122.427	11.762	212.817	5.044
1070	126.394	11.628	212.825	5.103
1090	130.480	11.494	212.832	5.163
1110	134.687	11.361	212.840	5.224
1130	139.015	11.229	212.849	5.286
1150	143.466	11.098	212.857	5.349
1170	148.039	10.968	212.866	5.413



1190	152.735	10.838	212.875	5.478
1210	157.554	10.710	212.884	5.545
1230	162.494	10.583	212.893	5.612
1250	167.557	10.457	212.903	5.680
1270	172.739	10.333	212.913	5.749
1290	178.039	10.211	212.923	5.819
1310	183.457	10.090	212.933	5.890
1330	188.988	9.971	212.944	5.961
1350	194.632	9.853	212.955	6.033
1370	200.384	9.738	212.966	6.105
1390	206.241	9.624	212.977	6.178
1410	212.200	9.512	212.989	6.252
1430	218.256	9.403	213.000	6.326
1450	224.407	9.295	213.012	6.400
1470	230.646	9.190	213.024	6.475
1490	236.970	9.086	213.036	6.550

Hasil Perhitungan Konduktor ACCR Groosbreak Pada Tower No. 13  
(Span: 190,004 m)

Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.467	19.181	190.089	2.465
50	36.568	19.143	190.090	2.470
70	36.719	19.085	190.090	2.477
90	36.922	19.009	190.091	2.487
110	37.175	18.915	190.092	2.500
130	37.479	18.803	190.093	2.515
150	37.835	18.675	190.094	2.532
170	38.243	18.531	190.095	2.552
190	38.703	18.372	190.097	2.574
210	39.216	18.200	190.099	2.598
230	39.781	18.015	190.101	2.625
250	40.401	17.818	190.103	2.654
270	41.075	17.610	190.105	2.686
290	41.803	17.394	190.108	2.719
310	42.588	17.169	190.111	2.755
330	43.428	16.937	190.113	2.793
350	44.326	16.698	190.117	2.833
370	45.283	16.454	190.120	2.875
390	46.298	16.206	190.124	2.919
410	47.373	15.955	190.127	2.965
430	48.509	15.702	190.131	3.013
450	49.708	15.446	190.136	3.063
470	50.969	15.292	190.138	3.094
490	52.296	15.197	190.140	3.114
510	53.688	15.100	190.142	3.134

530	55.147	14.999	190.144	3.155
550	56.675	14.896	190.146	3.177
570	58.273	14.790	190.148	3.200
590	59.943	14.682	190.150	3.224
610	61.686	14.571	190.152	3.248
630	63.504	14.458	190.154	3.274
650	65.398	14.342	190.157	3.300
670	67.371	14.225	190.159	3.328
690	69.424	14.105	190.162	3.356
710	71.560	13.983	190.165	3.385
730	73.779	13.860	190.168	3.416
750	76.084	13.735	190.171	3.447
770	78.478	13.609	190.174	3.479
790	80.962	13.481	190.177	3.512
810	83.538	13.352	190.181	3.546
830	86.208	13.222	190.184	3.581
850	88.975	13.091	190.188	3.618
870	91.841	12.959	190.191	3.655
890	94.808	12.826	190.195	3.693
910	97.878	12.693	190.199	3.732
930	101.053	12.559	190.204	3.772
950	104.335	12.424	190.208	3.813
970	107.727	12.290	190.213	3.855
990	111.231	12.155	190.217	3.898
1010	114.847	12.020	190.222	3.942
1030	118.579	11.885	190.227	3.987
1050	122.427	11.751	190.232	4.033
1070	126.394	11.617	190.238	4.080
1090	130.480	11.483	190.243	4.127
1110	134.687	11.350	190.249	4.176
1130	139.015	11.218	190.255	4.226
1150	143.466	11.087	190.261	4.276
1170	148.039	10.956	190.267	4.328
1190	152.735	10.827	190.273	4.380
1210	157.554	10.698	190.280	4.433
1230	162.494	10.571	190.287	4.487
1250	167.557	10.446	190.293	4.541
1270	172.739	10.321	190.301	4.596
1290	178.039	10.199	190.308	4.652
1310	183.457	10.077	190.315	4.709
1330	188.988	9.958	190.323	4.766
1350	194.632	9.841	190.330	4.823
1370	200.384	9.725	190.338	4.881
1390	206.241	9.611	190.346	4.940
1410	212.200	9.499	190.355	4.998
1430	218.256	9.389	190.363	5.058
1450	224.407	9.282	190.371	5.117
1470	230.646	9.176	190.380	5.177

1490	236.970	9.072	190.389	5.236
------	---------	-------	---------	-------

Hasil Perhitungan Konduktor ACCR Groosbreak Pada Tower No. 14 (Span: 149,906 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.467	19.172	149.948	1.534
50	36.568	19.133	149.948	1.538
70	36.719	19.075	149.948	1.542
90	36.922	18.999	149.949	1.548
110	37.175	18.905	149.949	1.556
130	37.479	18.793	149.950	1.565
150	37.835	18.665	149.950	1.576
170	38.243	18.521	149.951	1.588
190	38.703	18.362	149.952	1.602
210	39.216	18.189	149.953	1.617
230	39.781	18.004	149.953	1.634
250	40.401	17.807	149.955	1.652
270	41.075	17.600	149.956	1.672
290	41.803	17.383	149.957	1.693
310	42.588	17.158	149.958	1.715
330	43.428	16.926	149.960	1.738
350	44.326	16.687	149.961	1.763
370	45.283	16.443	149.963	1.790
390	46.298	16.195	149.965	1.817
410	47.373	15.944	149.967	1.846
430	48.509	15.690	149.969	1.876
450	49.708	15.434	149.971	1.907
470	50.969	15.280	149.972	1.926
490	52.296	15.185	149.973	1.938
510	53.688	15.087	149.974	1.951
530	55.147	14.987	149.975	1.964
550	56.675	14.884	149.976	1.978
570	58.273	14.778	149.977	1.992
590	59.943	14.669	149.978	2.007
610	61.686	14.558	149.979	2.022
630	63.504	14.445	149.980	2.038
650	65.398	14.329	149.981	2.054
670	67.371	14.211	149.982	2.071
690	69.424	14.092	149.984	2.089
710	71.560	13.970	149.985	2.107
730	73.779	13.847	149.986	2.126
750	76.084	13.722	149.988	2.146
770	78.478	13.595	149.989	2.166
790	80.962	13.467	149.991	2.186
810	83.538	13.338	149.993	2.207

830	86.208	13.208	149.994	2.229
850	88.975	13.077	149.996	2.252
870	91.841	12.944	149.998	2.275
890	94.808	12.811	150.000	2.299
910	97.878	12.678	150.002	2.323
930	101.053	12.544	150.004	2.348
950	104.335	12.409	150.006	2.373
970	107.727	12.274	150.008	2.400
990	111.231	12.139	150.011	2.426
1010	114.847	12.005	150.013	2.454
1030	118.579	11.870	150.016	2.482
1050	122.427	11.735	150.018	2.510
1070	126.394	11.601	150.021	2.539
1090	130.480	11.467	150.023	2.569
1110	134.687	11.334	150.026	2.600
1130	139.015	11.201	150.029	2.630
1150	143.466	11.070	150.032	2.662
1170	148.039	10.939	150.035	2.694
1190	152.735	10.809	150.038	2.726
1210	157.554	10.681	150.041	2.759
1230	162.494	10.554	150.045	2.793
1250	167.557	10.428	150.048	2.827
1270	172.739	10.303	150.052	2.861
1290	178.039	10.180	150.055	2.896
1310	183.457	10.059	150.059	2.931
1330	188.988	9.939	150.063	2.966
1350	194.632	9.821	150.066	3.002
1370	200.384	9.706	150.070	3.038
1390	206.241	9.591	150.074	3.075
1410	212.200	9.479	150.078	3.111
1430	218.256	9.369	150.082	3.148
1450	224.407	9.261	150.086	3.185
1470	230.646	9.156	150.091	3.222
1490	236.970	9.052	150.095	3.259

Hasil Perhitungan Konduktor TACSR Rook Pada Tower No. 9 (Span: 118,408 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.441	17.268	118.439	1.166
50	36.550	17.236	118.439	1.169
70	36.713	17.188	118.439	1.172
90	36.932	17.125	118.439	1.176
110	37.205	17.047	118.439	1.182
130	37.533	16.955	118.440	1.188
150	37.918	16.848	118.440	1.196
170	38.358	16.729	118.441	1.204

190	38.854	16.597	118.441	1.214
210	39.407	16.453	118.442	1.224
230	40.018	16.299	118.442	1.236
250	40.687	16.134	118.443	1.248
270	41.414	15.961	118.444	1.262
290	42.201	15.779	118.445	1.277
310	43.049	15.589	118.446	1.292
330	43.957	15.394	118.447	1.309
350	44.927	15.192	118.448	1.326
370	45.961	14.986	118.449	1.344
390	47.058	14.775	118.450	1.364
410	48.221	14.561	118.451	1.384
430	49.450	14.344	118.452	1.405
450	50.746	14.126	118.454	1.426
470	52.111	13.905	118.455	1.449
490	53.547	13.684	118.457	1.473
510	55.054	13.463	118.458	1.497
530	56.634	13.242	118.460	1.522
550	58.289	13.021	118.462	1.548
570	60.021	12.802	118.464	1.574
590	61.830	12.584	118.466	1.602
610	63.720	12.367	118.468	1.630
630	65.691	12.152	118.470	1.659
650	67.746	11.940	118.472	1.688
670	69.886	11.730	118.475	1.719
690	72.114	11.523	118.477	1.750
710	74.431	11.318	118.479	1.781
730	76.840	11.116	118.482	1.814
750	79.343	10.918	118.485	1.847
770	81.943	10.722	118.488	1.881
790	84.640	10.530	118.491	1.915
810	87.439	10.341	118.494	1.950
830	90.340	10.155	118.497	1.986
850	93.346	9.973	118.500	2.023
870	96.460	9.794	118.504	2.060
890	99.684	9.619	118.507	2.098
910	103.019	9.447	118.511	2.136
930	106.469	9.278	118.515	2.175
950	110.035	9.113	118.518	2.215
970	113.719	8.952	118.522	2.255
990	117.523	8.794	118.527	2.296
1010	121.449	8.639	118.531	2.337
1030	125.498	8.524	118.534	2.369
1050	129.672	8.429	118.537	2.395
1070	133.973	8.335	118.540	2.423
1090	138.400	8.241	118.543	2.450
1110	142.954	8.148	118.546	2.479
1130	147.637	8.055	118.550	2.508



Hasil Perhitungan Konduktor TACSR Rook Pada Tower No. 10 (Span: 115,427 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.441	17.267	115.455	1.108
50	36.550	17.235	115.455	1.110
70	36.713	17.187	115.456	1.114
90	36.932	17.124	115.456	1.118
110	37.205	17.046	115.456	1.123
130	37.533	16.954	115.456	1.129
150	37.918	16.847	115.457	1.136
170	38.358	16.728	115.457	1.144
190	38.854	16.596	115.458	1.153
210	39.407	16.453	115.458	1.163
230	40.018	16.298	115.459	1.174
250	40.687	16.134	115.460	1.186
270	41.414	15.960	115.460	1.199
290	42.201	15.778	115.461	1.213
310	43.049	15.589	115.462	1.228
330	43.957	15.393	115.463	1.244
350	44.927	15.191	115.464	1.260
370	45.961	14.985	115.465	1.278
390	47.058	14.774	115.466	1.296
410	48.221	14.560	115.467	1.315
430	49.450	14.343	115.468	1.335
450	50.746	14.125	115.469	1.356
470	52.111	13.905	115.471	1.377
490	53.547	13.684	115.472	1.399
510	55.054	13.462	115.474	1.422
530	56.634	13.241	115.475	1.446
550	58.289	13.021	115.477	1.471
570	60.021	12.801	115.479	1.496
590	61.830	12.583	115.481	1.522
610	63.720	12.366	115.482	1.549
630	65.691	12.151	115.484	1.576
650	67.746	11.939	115.486	1.604
670	69.886	11.729	115.489	1.633
690	72.114	11.522	115.491	1.663
710	74.431	11.317	115.493	1.693
730	76.840	11.115	115.496	1.724
750	79.343	10.917	115.498	1.755
770	81.943	10.721	115.501	1.787
790	84.640	10.529	115.504	1.820
810	87.439	10.340	115.506	1.853
830	90.340	10.154	115.509	1.887
850	93.346	9.972	115.512	1.922
870	96.460	9.793	115.516	1.957

890	99.684	9.618	115.519	1.993
910	103.019	9.446	115.522	2.030
930	106.469	9.277	115.526	2.067
950	110.035	9.112	115.529	2.104
970	113.719	8.950	115.533	2.143
990	117.523	8.792	115.537	2.181
1010	121.449	8.637	115.541	2.221
1030	125.498	8.523	115.544	2.251
1050	129.672	8.428	115.547	2.276
1070	133.973	8.334	115.549	2.302
1090	138.400	8.240	115.552	2.329
1110	142.954	8.146	115.555	2.356
1130	147.637	8.053	115.558	2.383

Hasil Perhitungan Konduktor TACSR Rook Pada Tower No. 11 (Span: 189,274 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg. Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.441	17.288	189.399	2.980
50	36.550	17.257	189.400	2.986
70	36.713	17.209	189.400	2.994
90	36.932	17.146	189.401	3.005
110	37.205	17.068	189.402	3.019
130	37.533	16.976	189.404	3.035
150	37.918	16.869	189.405	3.055
170	38.358	16.750	189.407	3.077
190	38.854	16.619	189.409	3.101
210	39.407	16.475	189.412	3.128
230	40.018	16.321	189.414	3.158
250	40.687	16.157	189.417	3.190
270	41.414	15.983	189.421	3.225
290	42.201	15.802	189.424	3.262
310	43.049	15.613	189.428	3.302
330	43.957	15.417	189.432	3.344
350	44.927	15.216	189.436	3.388
370	45.961	15.010	189.440	3.435
390	47.058	14.799	189.445	3.484
410	48.221	14.586	189.450	3.536
430	49.450	14.369	189.455	3.589
450	50.746	14.151	189.461	3.645
470	52.111	13.931	189.467	3.703
490	53.547	13.711	189.473	3.763
510	55.054	13.490	189.480	3.825
530	56.634	13.269	189.487	3.889
550	58.289	13.049	189.494	3.955
570	60.021	12.830	189.502	4.023

590	61.830	12.612	189.510	4.093
610	63.720	12.396	189.518	4.165
630	65.691	12.182	189.527	4.238
650	67.746	11.970	189.536	4.314
670	69.886	11.761	189.546	4.391
690	72.114	11.554	189.556	4.471
710	74.431	11.350	189.566	4.552
730	76.840	11.149	189.577	4.635
750	79.343	10.951	189.588	4.719
770	81.943	10.756	189.599	4.806
790	84.640	10.564	189.611	4.894
810	87.439	10.376	189.624	4.984
830	90.340	10.191	189.637	5.075
850	93.346	10.009	189.650	5.168
870	96.460	9.831	189.664	5.263
890	99.684	9.656	189.679	5.360
910	103.019	9.485	189.694	5.458
930	106.469	9.317	189.709	5.557
950	110.035	9.153	189.725	5.659
970	113.719	8.992	189.742	5.761
990	117.523	8.835	189.759	5.866
1010	121.449	8.680	189.776	5.971
1030	125.498	8.566	189.790	6.052
1050	129.672	8.472	189.802	6.121
1070	133.973	8.378	189.814	6.190
1090	138.400	8.285	189.826	6.261
1110	142.954	8.192	189.839	6.334
1130	147.637	8.100	189.852	6.407

Hasil Perhitungan Konduktor TACSR Rook Pada Tower No. 12 (Span: 212,274 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.441	17.297	212.675	3.757
50	36.550	17.265	212.676	3.764
70	36.713	17.218	212.677	3.774
90	36.932	17.155	212.678	3.788
110	37.205	17.077	212.680	3.805
130	37.533	16.985	212.682	3.826
150	37.918	16.879	212.684	3.850
170	38.358	16.759	212.687	3.878
190	38.854	16.628	212.690	3.909
210	39.407	16.485	212.693	3.943
230	40.018	16.330	212.697	3.980
250	40.687	16.166	212.701	4.021
270	41.414	15.993	212.705	4.065

290	42.201	15.811	212.710	4.112
310	43.049	15.622	212.715	4.162
330	43.957	15.427	212.721	4.215
350	44.927	15.226	212.727	4.271
370	45.961	15.020	212.733	4.330
390	47.058	14.810	212.740	4.392
410	48.221	14.596	212.747	4.456
430	49.450	14.380	212.755	4.524
450	50.746	14.162	212.763	4.594
470	52.111	13.942	212.771	4.667
490	53.547	13.722	212.780	4.743
510	55.054	13.501	212.790	4.821
530	56.634	13.281	212.799	4.901
550	58.289	13.061	212.810	4.985
570	60.021	12.842	212.821	5.070
590	61.830	12.624	212.832	5.159
610	63.720	12.409	212.844	5.249
630	65.691	12.195	212.856	5.342
650	67.746	11.983	212.869	5.438
670	69.886	11.774	212.882	5.535
690	72.114	11.567	212.896	5.635
710	74.431	11.363	212.911	5.737
730	76.840	11.163	212.926	5.842
750	79.343	10.965	212.942	5.949
770	81.943	10.770	212.958	6.057
790	84.640	10.579	212.975	6.168
810	87.439	10.391	212.993	6.282
830	90.340	10.206	213.012	6.397
850	93.346	10.025	213.031	6.514
870	96.460	9.847	213.050	6.634
890	99.684	9.672	213.071	6.756
910	103.019	9.501	213.092	6.879
930	106.469	9.334	213.114	7.005
950	110.035	9.170	213.136	7.132
970	113.719	9.009	213.160	7.262
990	117.523	8.852	213.184	7.393
1010	121.449	8.698	213.209	7.527
1030	125.498	8.584	213.228	7.629
1050	129.672	8.490	213.245	7.715
1070	133.973	8.397	213.262	7.803
1090	138.400	8.304	213.280	7.892
1110	142.954	8.211	213.298	7.983
1130	147.637	8.119	213.316	8.076

Hasil Perhitungan Konduktor TACSR Rook Pada Tower No. 13 (Span: 190,004 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.441	17.289	190.131	3.003
50	36.550	17.257	190.131	3.009
70	36.713	17.209	190.132	3.017
90	36.932	17.146	190.133	3.028
110	37.205	17.068	190.134	3.042
130	37.533	16.976	190.135	3.059
150	37.918	16.870	190.137	3.078
170	38.358	16.750	190.139	3.100
190	38.854	16.619	190.141	3.125
210	39.407	16.475	190.143	3.152
230	40.018	16.321	190.146	3.182
250	40.687	16.157	190.149	3.215
270	41.414	15.984	190.152	3.250
290	42.201	15.802	190.156	3.287
310	43.049	15.613	190.159	3.327
330	43.957	15.417	190.163	3.370
350	44.927	15.216	190.168	3.415
370	45.961	15.010	190.172	3.462
390	47.058	14.800	190.177	3.511
410	48.221	14.586	190.182	3.563
430	49.450	14.370	190.188	3.617
450	50.746	14.151	190.193	3.673
470	52.111	13.932	190.199	3.731
490	53.547	13.711	190.206	3.792
510	55.054	13.490	190.212	3.854
530	56.634	13.269	190.220	3.919
550	58.289	13.049	190.227	3.985
570	60.021	12.830	190.235	4.054
590	61.830	12.613	190.243	4.124
610	63.720	12.396	190.251	4.197
630	65.691	12.182	190.260	4.271
650	67.746	11.970	190.269	4.347
670	69.886	11.761	190.279	4.425
690	72.114	11.554	190.289	4.505
710	74.431	11.350	190.299	4.587
730	76.840	11.149	190.310	4.671
750	79.343	10.951	190.321	4.756
770	81.943	10.756	190.333	4.843
790	84.640	10.565	190.345	4.932
810	87.439	10.376	190.358	5.022
830	90.340	10.191	190.371	5.114
850	93.346	10.010	190.385	5.208
870	96.460	9.831	190.399	5.304



890	99.684	9.657	190.413	5.401
910	103.019	9.486	190.429	5.500
930	106.469	9.318	190.444	5.600
950	110.035	9.153	190.460	5.702
970	113.719	8.992	190.477	5.806
990	117.523	8.835	190.494	5.911
1010	121.449	8.681	190.512	6.017
1030	125.498	8.567	190.526	6.099
1050	129.672	8.473	190.538	6.168
1070	133.973	8.379	190.550	6.238
1090	138.400	8.285	190.563	6.310
1110	142.954	8.192	190.576	6.383
1130	147.637	8.100	190.589	6.457

Hasil Perhitungan Konduktor TACSR Rook Pada Tower No. 14 (Span: 149,906 m)				
Arus (A)	Suhu (der.°C)	Teg.Tarik Konduktor (kN)	Panjang konduktor (m)	Andongan (m)
30	36.441	17.276	149.968	1.870
50	36.550	17.244	149.968	1.873
70	36.713	17.196	149.969	1.878
90	36.932	17.133	149.969	1.885
110	37.205	17.055	149.970	1.894
130	37.533	16.963	149.970	1.904
150	37.918	16.856	149.971	1.916
170	38.358	16.737	149.972	1.930
190	38.854	16.605	149.973	1.945
210	39.407	16.462	149.974	1.962
230	40.018	16.307	149.976	1.981
250	40.687	16.143	149.977	2.001
270	41.414	15.970	149.979	2.023
290	42.201	15.788	149.980	2.046
310	43.049	15.598	149.982	2.071
330	43.957	15.403	149.984	2.098
350	44.927	15.201	149.986	2.125
370	45.961	14.995	149.989	2.155
390	47.058	14.784	149.991	2.186
410	48.221	14.571	149.993	2.218
430	49.450	14.354	149.996	2.251
450	50.746	14.135	149.999	2.286
470	52.111	13.916	150.002	2.323
490	53.547	13.695	150.005	2.360
510	55.054	13.473	150.008	2.399
530	56.634	13.252	150.012	2.439
550	58.289	13.032	150.015	2.481
570	60.021	12.813	150.019	2.523

590	61.830	12.595	150.023	2.567
610	63.720	12.378	150.027	2.612
630	65.691	12.164	150.032	2.659
650	67.746	11.952	150.036	2.706
670	69.886	11.742	150.041	2.755
690	72.114	11.535	150.046	2.804
710	74.431	11.330	150.051	2.855
730	76.840	11.129	150.056	2.907
750	79.343	10.931	150.062	2.960
770	81.943	10.735	150.068	3.015
790	84.640	10.543	150.074	3.070
810	87.439	10.354	150.080	3.126
830	90.340	10.169	150.086	3.184
850	93.346	9.987	150.093	3.242
870	96.460	9.809	150.100	3.301
890	99.684	9.633	150.107	3.362
910	103.019	9.462	150.114	3.423
930	106.469	9.293	150.122	3.486
950	110.035	9.129	150.130	3.549
970	113.719	8.967	150.138	3.614
990	117.523	8.809	150.147	3.679
1010	121.449	8.655	150.156	3.746
1030	125.498	8.540	150.162	3.796
1050	129.672	8.446	150.168	3.839
1070	133.973	8.352	150.174	3.883
1090	138.400	8.258	150.180	3.928
1110	142.954	8.165	150.187	3.973
1130	147.637	8.072	150.193	4.019