



**EVALUASI PEMILIHAN KONDUKTOR ACCC (*ALUMINIUM  
CONDUCTOR COMPOSITE CORE*) PADA TRANSMISI 150KV  
PROBOLINGGO-LUMAJANG SECARA  
MEKANIS DAN ELEKTRIS**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi syarat-syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Ahmad Sofiyuddin**

**NIM 121910201032**

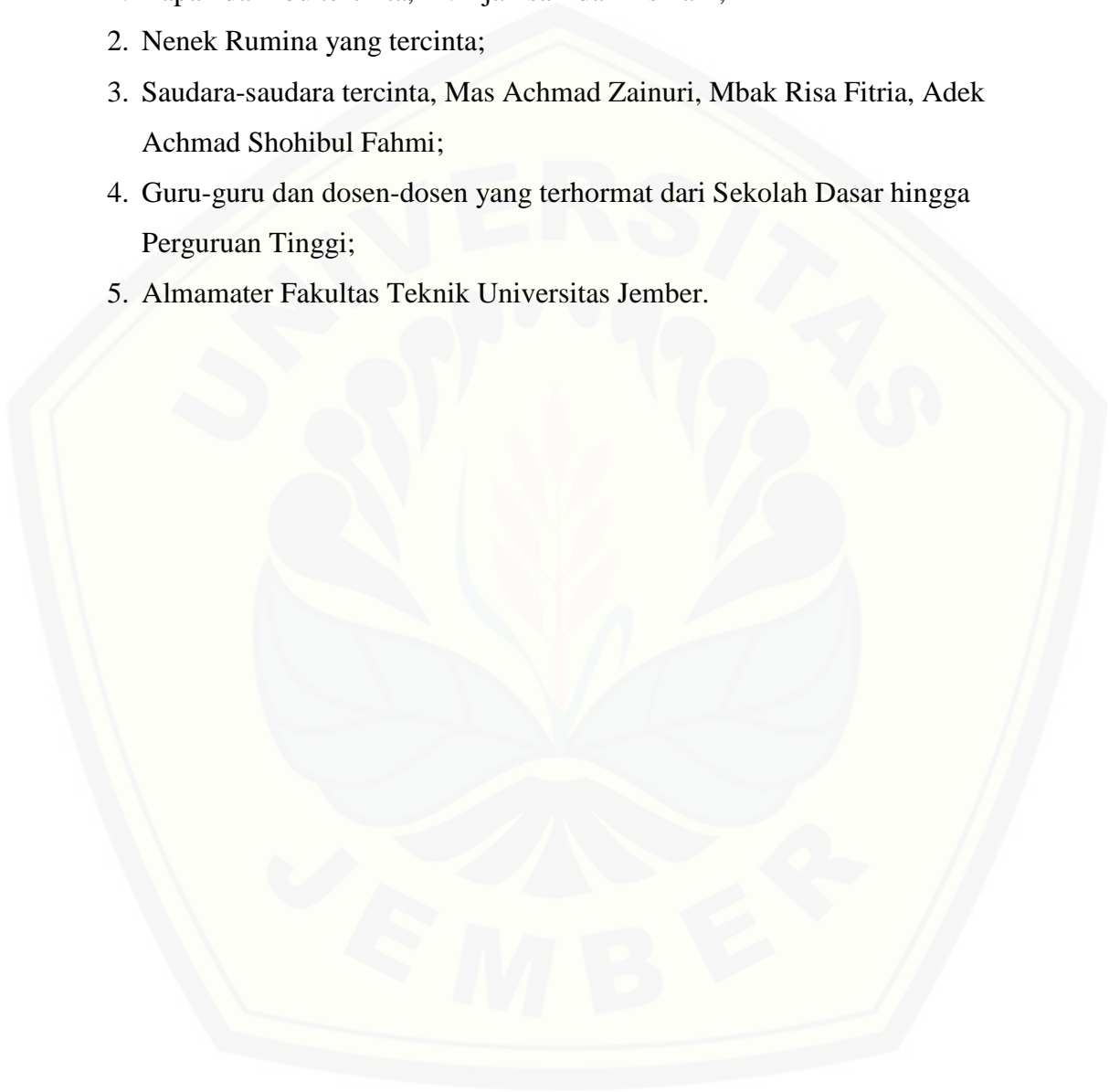
**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2016**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Bapak dan Ibu tercinta, M. Djamsari dan Asmani;
2. Nenek Rumina yang tercinta;
3. Saudara-saudara tercinta, Mas Achmad Zainuri, Mbak Risa Fitria, Adek Achmad Shohibul Fahmi;
4. Guru-guru dan dosen-dosen yang terhormat dari Sekolah Dasar hingga Perguruan Tinggi;
5. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.



## MOTO

“Katakanlah samakah orang yang mengetahui dengan orang yang tidak mengetahui?”

(Az-Zumar ayat 9)

“Barang siapa menghendaki kehidupan dunia maka dapat dicapainya dengan ilmu, barang siapa menghendaki kehidupan akhirat maka dapat dicapainya dengan ilmu, dan barang siapa menghendaki keduanya juga dapat dicapainya dengan ilmu.”

(Sayyidina Muhammad SAW)

“Jadikan bagi dirimu bagian yang cukup dan tinggalkan nikmatnya tidur, mungkin suatu hari nanti kamu hadir di suatu majelis dan menjadi tokoh besar dalam majelis itu.”

(Imam Syafi’i)

“Sepiro gedhening sengsoro yen tinompo among dadi cubo”

(seberat-berat kesengsaraan, jika dijalani dengan sabar hanyalah berupa ujian semata)

(Ki Ngabehi Soerodiwirjo)

“Ya Tuhanku lapangkanlah dadaku. Mudahkanlah urusanku. Dan lepaskanlah kekakuan lidahku. Supaya mereka mengerti perkataanku.”

(Taha ayat 25-28)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Ahmad Sofiyuddin

NIM : 121910201032

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “*Evaluasi Pemilihan Konduktor ACCC (Aluminium Conductor Composite Core) pada Transmisi 150kv Probolinggo-Lumajang Secara Mekanis Dan Elektris*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam 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 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, 17 November 2016

Yang menyatakan,

Ahmad Sofiyuddin

NIM 121910201032

**SKRIPSI**

**EVALUASI PEMILIHAN KONDUKTOR ACCC (*ALUMINIUM  
CONDUCTOR COMPOSITE CORE*) PADA TRANSMISI 150KV  
PROBOLINGGO-LUMAJANG SECARA  
MEKANIS DAN ELEKTRIS**

oleh

Ahmad Sofiyuddin  
NIM 121910201032

Pembimbing

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

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

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Evaluasi Pemilihan Konduktor ACCC (*ALUMINIUM CONDUCTOR COMPOSITE CORE*) pada Transmisi 150kv Probolinggo-Lumajang Secara Mekanis Dan Elektris” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 17 November 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

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

NIP 19700404 199601 1 001

NIP 19800610 200501 1 003

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

H.R.B Moch. Gozali, S.T.,M.T.

NIP 19700826 199702 1 001

NIP 19690608 199903 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir Entin Hidayah, M.UM.

NIP 19661215 199503 2 001



Evaluasi Pemilihan Konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*)  
pada Transmisi 150kV Probolinggo-Lumajang Secara  
Mekanis dan Elektris

**Ahmad Sofiyuddin**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember*

**ABSTRAK**

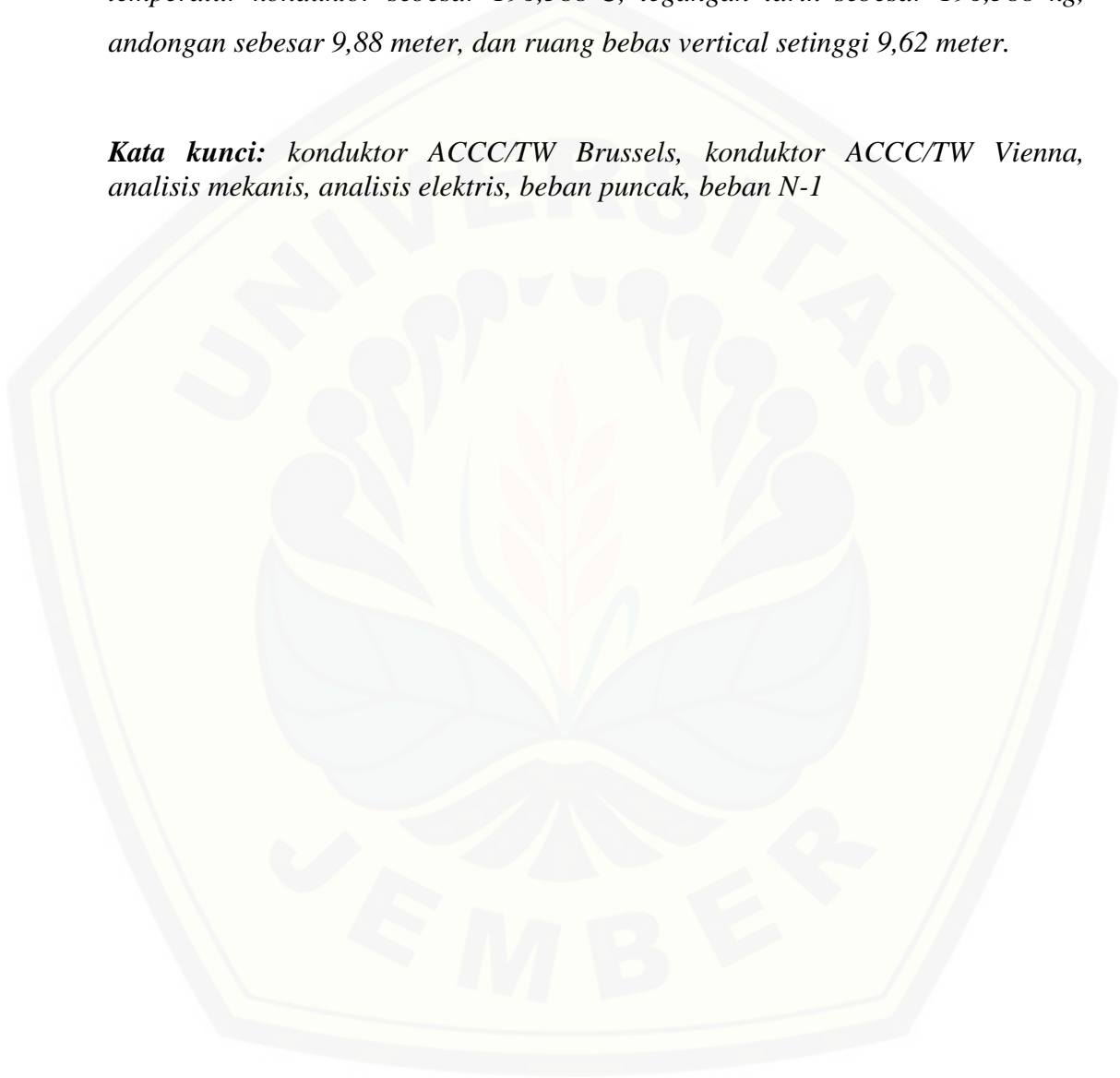
*Pada era modern ini, listrik merupakan kebutuhan yang sangat vital. Pertumbuhan kebutuhan listrik sangatlah tinggi, sehingga mengharuskan penyedia jasa listrik untuk terus-menerus meningkatkan jumlah daya listrik yang disalurkan pada konsumen. Pada tahun 2014 saluran transmisi Probolinggo-Lumajang telah mencapai 61,22% dari kapasitas konduktor salurannya sehingga Perusahaan Listrik Negara (PLN) melakukan reconductoring pada saluran tersebut dari konduktor ACSR 330 menjadi ACCC/TW Brussels. Dengan upaya reconductoring tersebut perlu adanya evaluasi apakah pemilihan konduktor ACCC/TW Brussels sudah tepat bagi saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang baik secara mekanis maupun secara elektris.*

*Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan dan analisis pada saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang menggunakan software Matlab 7.11.0 R2010b. Analisis difokuskan pada perubahan parameter mekanis seperti temperatur, tegangan tarik, andongan, dan ruang bebas dibawah konduktor. Analisis juga difokuskan pada perubahan parameter elektris seperti rugi-rugi daya dan drop tegangan, serta dihitung pula kapasitas hantar arus konduktor.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa konduktor ACCC/TW Brussels, masih mampu memikul beban-beban puncak saluran hingga tahun 2023, namun secara elektris sudah tidak mampu memikul beban manuver saat terjadi N-1 mulai tahun 2018 karena drop tegangan pada tahun 2018 mencapai 10,07% dan pada tahun 2019 arus salurannya telah mencapai 1639,06 A dan melebihi kapasitas hantar arus konduktor. Adapun secara mekanis konduktor ACCC/TW Brussels tidak mampu memikul beban manuver saat terjadi N-1 mulai tahun 2019*

*karena temperatur konduktor telah mencapai 208,108°C. Oleh karenanya pada penelitian ini direkomendasikan penggunaan konduktor ACCC/TW Vienna yang mampu memikul beban manuver saat terjadi N-1 hingga tahun 2023 dengan kapasitas hantar arus sebesar 2075 A dan drop tegangan sebesar 9,375%, temperatur konduktor sebesar 196,588°C, tegangan tarik sebesar 196,588 kg, andongan sebesar 9,88 meter, dan ruang bebas vertical setinggi 9,62 meter.*

**Kata kunci:** *konduktor ACCC/TW Brussels, konduktor ACCC/TW Vienna, analisis mekanis, analisis listrik, beban puncak, beban N-1*





*Mechanical and Electrical Evaluation of ACCC Conductor (Aluminium Conductor Composite Core) Selection on 150kV Transmission of Probolinggo-Lumajang*

**Ahmad Sofiyuddin**

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

**ABSTRACT**

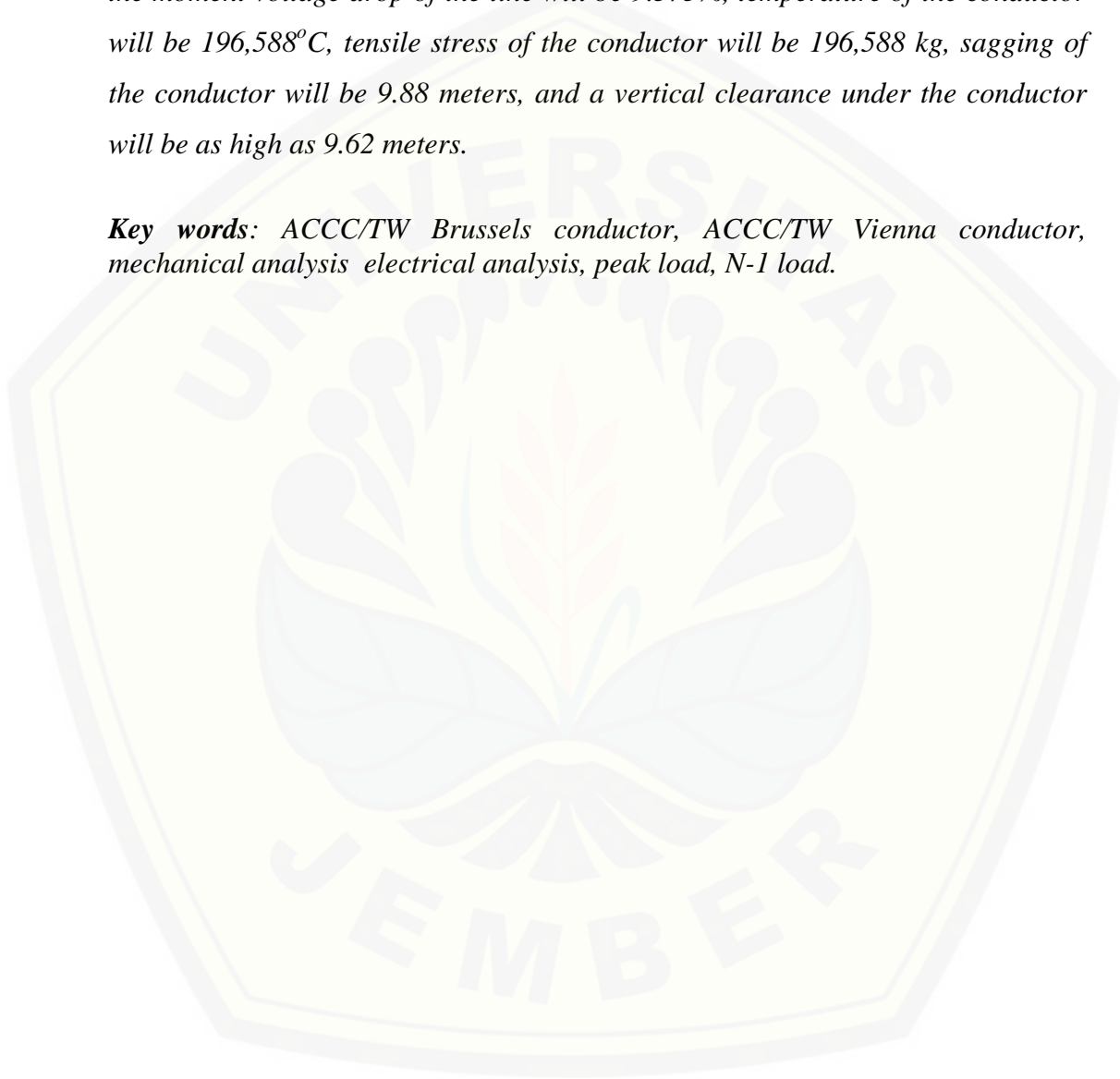
*In this modern era, electricity is a vital requirement. Growth of electric power demand is very high, thus electric service providers have to continuously increase the electric power that supplied to consumers. In 2014 the electrical current of Probolinggo-Lumajang transmission line had reached 61.22% of the conductor current-carrying capacity on the line, so that Perusahaan Listrik Negara (PLN) replaced the ACSR 330 conductor of the line into ACCC/TW Brussels conductor. Based on this case, it needs to evaluate what ACCC/TW Brussels is good for Probolinggo-Lumajang 150 kV transmission line mechanically and electrically.*

*In this research, Probolinggo-Lumajang 150 kV transmission line was calculated and analyzed using software Matlab R2010b 7.11.0. The analysis focused on the changing of mechanical parameters such as temperature, tensile stress, sag, and clearance under the conductor. The analysis also focused on changes of electrical parameters such as power loss and voltage drop, and also calculated current-carrying capacity of the conductor.*

*Results of the research showed that the ACCC/TW Brussels conductor will be still able to carry the electric current of Probolinggo-Lumajang transmission line peak loads until 2023, but electrically it will be unable to carry the electric current of N-1 load in 2018 because the voltage drop in 2018 will be 10.07% and in 2019 the electric current of the line will be 1639.06 A and it will be higher of the current-carrying capacity of the conductor. Mechanically ACCC/TW Brussels conductor will be unable to carry the electrical current of N-1 load in 2019*

*because conductor temperature will be 208,108°C. Therefore in this study ACCC/TW Vienna conductor is recommended for Probolinggo-Lumajang transmission line, because this conductor will be able to carry the electrical current of N-1 load until 2023 with the current-carrying capacity is 2075 A and at the moment voltage drop of the line will be 9.375%, temperature of the conductor will be 196,588°C, tensile stress of the conductor will be 196,588 kg, sagging of the conductor will be 9.88 meters, and a vertical clearance under the conductor will be as high as 9.62 meters.*

**Key words:** *ACCC/TW Brussels conductor, ACCC/TW Vienna conductor, mechanical analysis electrical analysis, peak load, N-1 load.*



## RINGKASAN

**Evaluasi Pemilihan Konduktor ACCC (Aluminium Conductor Composite CorE) pada Transmisi 150kv Probolinggo-Lumajang Secara Mekanis dan Elektris;** Ahmad Sofiyuddin, 121910201032; 2016; 73 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam tugas akhir ini dilakukan evaluasi terhadap konduktor ACCC/TW Brussels yang merupakan konduktor pilihan PLN dalam upaya *reconductoring* saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang. Konduktor ACCC/TW Brussels mulai dipasang pada saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang pada tahun 2014.

Evaluasi yang dilakukan pada konduktor ACCC/TW Brussels dalam penelitian ini difokuskan pada beberapa parameter mekanis seperti temperatur, andongan, tegangan tarik, dan ruang bebas vertikal di bawah saluran dan difokuskan pada parameter-parameter elektrik seperti kapasitas hantar arus, rugi-rugi daya, dan *drop* tegangan yang terjadi pada saluran. Dalam penelitian dianalisis hubungan perubahan arus saluran terhadap parameter-parameter mekanis dan elektrik tersebut.

Secara mekanis suatu konduktor akan dinilai sesuai bagi suatu saluran transmisi jika pada praktiknya temperatur konduktor tidak melebihi batas maksimumnya, dalam hal ini konduktor ACCC memiliki batas kemampuan 175°C, namun masih mampu bekerja pada temperatur 200°C dalam kondisi darurat. Selain temperatur, tegangan tarik dan andongan juga menjadi faktor penting. Dalam pemasangannya, jika tegangan tarik melebihi kemampuan maksimum konduktor, maka konduktor akan putus. Begitu juga dengan andongan. Jika andongan konduktor terlalu besar, maka akan membahayakan bagi objek-objek dibawahnya. Menurut Peraturan Menteri ESDM No.18 (2015) ruang bebas vertikal minimum di bawah saluran transmisi 150 kV untuk tanah lapang adalah setinggi 8,5 meter.

Secara elektrik konduktor akan dinilai mampu memikul beban saluran jika pada praktiknya besar arus saluran yang melalui konduktor tidak melebihi kapasitas hantar arusnya. Selain itu perhitungan rugi-rugi daya listrik juga sangat penting. Jika rugi-rugi daya terlalu besar, maka akan menyebabkan *drop* tegangan yang terlalu besar juga sehingga tegangan di sisi penerima menjadi tidak ideal. *Drop* tegangan yang masih bisa ditoleransi adalah *drop* tegangan di bawah 10% (Hontong dkk, 2015).

Untuk mengetahui kesesuaian konduktor ACCC/TW Brussels pada saluran transmisi Probolinggo-Lumajang baik secara mekanis maupun secara elektrik, maka dianalisis kinerja konduktor pada beban-beban puncak saluran mengingat pada saat itulah arus saluran terbesar melewati konduktor. Selain analisis beban puncak, analisis pada beban manuver saat terjadi N-1 juga harus dilakukan karena kemampuan saluran untuk memikul beban manuver saat terjadi N-1 merupakan salah satu parameter keandalan konduktor. Kriteria N-1 mensyaratkan apabila suatu sirkit transmisi padam, baik karena mengalami gangguan maupun dalam pemeliharaan, maka sirkit-sirkit transmisi yang tersisa harus mampu menyalurkan keseluruhan arus beban, sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik terjaga (RUPTL PLN, 2016).

Menurut RUPTL PLN (2016) pengembangan suatu sistem kelistrikan harus berjangka panjang, yakni 10 tahun. Dengan demikian konduktor ACCC/TW Brussels yang digunakan pada saluran transmisi Probolinggo-Lumajang harus mampu memikul beban-beban puncak bahkan beban-beban manuver saat terjadi N-1 hingga pembebanan dalam jangka waktu 10 tahun. Oleh karenanya dalam penelitian ini juga dibahas mengenai prakiraan pembebanan jangka panjang 10 tahun dari saat *reconductoring* dilakukan.

Dalam penelitian ini diketahui bahwa dengan semakin besarnya arus saluran maka secara mekanis temperatur dan andongan konduktor semakin tinggi, namun tegangan tarik dan jarak bebas vertikal semakin kecil. Adapun secara elektrik dengan semakin besarnya arus saluran maka rugi-rugi daya dan *drop* tegangan semakin besar.

Konduktor ACCC/TW Brussels mampu memikul beban-beban puncak saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang hingga pembebanan tahun 2023. Namun untuk pembebanan N-1, konduktor ACCC/TW Brussels tidak mampu secara mekanis mulai tahun 2019 dengan temperatur konduktor telah mencapai  $208,108^{\circ}\text{C}$  dan tidak mampu secara elektrik mulai tahun 2018 dengan *drop* tegangan telah mencapai 10,07% dan pada tahun 2019 arus saluran telah melebihi kapasitas hantar arus konduktor ACCC/TW Brussels dengan arus saluran sebesar 1639,06 A.

Pada penelitian ini direkomendasikan penggunaan konduktor ACCC/TW Vienna untuk saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang dengan kapasitas hantar arus sebesar 1917 A pada temperatur maksimum ( $175^{\circ}\text{C}$ ) dan 2075 A pada *emergency temperature* ( $200^{\circ}\text{C}$ ). Jika penggunaan konduktor ACCC/TW Vienna ini dibandingkan dengan penggunaan konduktor ACCC/TW Brussels, penggunaan konduktor ACCC/TW Vienna terbukti lebih sesuai untuk saluran transmisi 150kV Probolinggo-Lumajang bahkan hingga pembebanan N-1 selama 10 tahun dengan temperatur konduktor pada pembebanan N-1 tahun 2023 sebesar  $196,588^{\circ}\text{C}$ , jarak bebas vertikal sebesar 9,62 meter, dan *drop* tegangan sebesar 9,357%.



## PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim, segala puji bagi Allah SWT yang telah mengijinkan penyelesaian laporan skripsi yang berjudul “Evaluasi Pemilihan Konduktor ACCC (Aluminium Conductor Composite Core) pada Transmisi 150kv Probolinggo-Lumajang Secara Mekanis Dan Elektris” ini. Sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menerangi zaman ini dengan risalahnya.

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

1. Suprihadi Prasetyo S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama sekaligus selaku Dosen Pembimbing Akademik dalam perkuliahan, Dedy Kurnia Setiawan S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I, H.R.B. Ghozali, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
3. M. Agung prawira N, S.T., M.T. selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
4. M. Djamsari dan Asmani, ayah bunda tercinta yang telah memberikan dukungan moril dan doa tulus yang tiada putus;
5. Rumina, nenek tercinta yang telah merawatku selama 22 tahun ini;
6. K.H. Ali Yasin Ahmad dan Almh. Ny. Mabruroh yang telah mendidik dengan ikhlas selama penulis menuntut ilmu di PP Ali Mabruh dan sangat penulis harapkan barokah ilmunya.
7. Saudara-saudara kandung A. Zainuri, Risa Fitria, dan Sohibul Fahmi yang telah mengisi ruang rindu mendalam di dalam hati dan senantiasa memberikan dukungan moril yang tak tergantikan;
8. Pak De, Bu De, Mas Jun, Mbak Yeni yang juga telah merawatku bertahun-tahun selama di Jember,

9. Wanita terbaik dalam hidupku Dinka Alif Ristamaya. yang telah memberikan dukungan materil dan moril serta selalu menemani dalam suka maupun dukaku.
10. Sahabat dan saudara seperjuangan Agus Men, Tiyog, Tutut, dan Jarwo yang selalu hadir untuk mengisi hari-hari sepi dengan kegilaan mereka dan tak lupa senantiasa menjadi alarm untuk kuliah.
11. Mas Febri dan Mbak Faris yang telah ikhlas dan penuh “kasih sayang” mendidik dengan didikan terbaik selama penulis menjadi siswa SH Terate.
12. Mas Surur dan Mas Dika yang juga telah meberikan didikan terbaiknya selama penulis menjadi siswa SH Terate.
13. Saudara seleting Feri Pred, Fitroh Zips, Khoiru Rijal, Vito Lazaro, Fuad Nabil, Febrian Eka, Atha Fawazaki, Desi Nur Aisyah, Riski Banteng, dan tentunya Dinka Alif Ristamaya sebagai saudara seperjuangan di SH Terate.
14. Saudara-saudara Komisariat Unej Feri Pred, Bang Marin, Juang, Saolin, Mas Aan, Mas Beni, Mas Aris, Danar, Sigit, Iqbal, Garin, Ajun, Willa, Wike, Wafi, dan banyak lagi yang tidak bisa penulis sebutkan dan telah bersama-sama berjuang untuk membesarkan nama Universitas Jember melalui wadah UKM Persaudaraan Setia Hati Terate.
15. teman-teman kontrakan Jl. Riau No. 60 Ivan, Yuski, Dian, Febri, Deni, Sulhan, dan Kusairi yang selalu menemani di dunia malam Jember.
16. Teman-teman senasib dalam skripsi Depri, Firdaus, dan Irfangi.
17. Bapak Yantoro sebagai pembimbing saat kerja praktek di PLTA Sutami Malang.
18. Pak Arif, Pak Dodi dan Pak Agus selaku pegawai PLN yang telah bersedia memberikan ilmu dan data-data berkaitan dengan penelitian
19. rekan-rekan *project D* yang telah membantu dalam proses penelitian.
20. dulur-dulur seperjuangan Teknik Elektro 2012 yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam perjuangan 4 tahun di bangku kuliah;
21. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.



Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun semua pihak yang menerima ataupun membaca laporan ini.

Jember, 17 November 2016

Penulis



**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>MOTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN.....</b>	<b>v</b>
<b>PENGESAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xx</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xxi</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>4</b>
<b>1.3 Tujuan .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Batasan Masalah.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Manfaat .....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2. TINTJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Saluran Transmisi Daya Listrik .....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Jenis-jenis Saluran Udara.....	6
2.1.2 Saluran Transmisi Probolinggo-Lumajang.....	7

<b>2.2 Konduktor Saluran Transmisi .....</b>	<b>8</b>
2.2.1 Konduktor Konvensional .....	8
2.2.3 Konduktor HTLS .....	8
2.2.4 Konduktor ACCC .....	10
<b>2.4 Analisis Mekanis dan Elektris Konduktor.....</b>	<b>12</b>
2.4.1 Analisis Mekanis Konduktor .....	12
A. Temperatur Konduktor .....	12
B. Tegangan Tarik dan Andongan Konduktor .....	18
2.4.2 Analisis Elektris Konduktor.....	31
A. Kapasitas Hantar Arus.....	31
B. Daya Tersalurkan dan Rugi-Rugi Daya Saluran .....	32
C. <i>Drop</i> Tegangan.....	33
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Tempat Penelitian.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Langkah-Langkah Penelitian .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan .....</b>	<b>36</b>
3.3.1 Alat.....	36
3.3.2 Bahan .....	36
<b>3.4 Flowchart Penelitian .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5 Pemrograman pada <i>Software</i> Matlab 7.11.0 R2010b.....</b>	<b>40</b>
3.5.1 Perhitungan Mekanis .....	40
A. Perhitungan Temperatur .....	40
B. Perhitungan tegangan tarik .....	43
C. Perhitungan Panjang Konduktor dan Andongan .....	44
3.5.2 Perhitungan Elektris.....	45

A. Kapasitas Hantar Arus.....	45
B. Rugi-Rugi Daya Saluran dan Daya Tersalurkan .....	45
C. <i>Drop</i> Tegangan.....	46
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 Pengaruh Perubahan Pembebanan Terhadap Konduktor .....</b>	<b>47</b>
4.1.1 Analisis Mekanis dan Elektris Pembebanan Tahun 2016.....	47
A. Analisis Mekanis dan Elektris Konduktor ACCC/TW Brussels pada Beban Puncak.....	47
B. Analisis Mekanis dan Elektris Konduktor ACCC/TW Brussels pada Beban N-1 .....	59
4.1.2 Kinerja Konduktor pada Pembebanan 10 Tahun Kedepan.....	60
A. Analisis Mekanis dan Elektris Konduktor ACCC/TW Brussels pada Beban-Beban Puncak Tahunan Hingga tahun 2023.....	61
B. Analisis Mekanis dan Elektris Konduktor ACCC/TW Brussels pada Beban N-1 hingga tahun 2023.....	63
<b>4.2 Pemilihan Konduktor.....</b>	<b>65</b>
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>71</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>71</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>72</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>73</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konduktor ACCC.....	11
Gambar 2. 2 Metode Newton-Rapson.....	17
Gambar 2. 3 Tiang penyangga sama tinggi.....	19
Gambar 2. 4 Segitiga ketimbangan pada busur S .....	20
Gambar 2. 5 Jarak Bebas.....	29
Gambar 3. 1 Flowchat penelitian .....	39
Gambar 4. 1 Grafik Pengaruh Arus Saluran terhadap Temperatur Konduktor ACCC/TW Brussels .....	54
Gambar 4. 2 Grafik Penurunan Tegangan Tarik Konduktor ACCC/TW Brussels akibat Kenaikan Arus Saluran.....	55
Gambar 4. 3 Grafik Perubahan Besar Andongan Konduktor ACCC/TW Brussels akibat Perubahan Arus Saluran .....	55
Gambar 4. 4 Grafik Kenaikkan Rugi-Rugi Daya Konduktor ACCC/TW Brussels akibat Kenaikan Arus Saluran.....	57
Gambar 4. 5 Grafik Kenaikkan <i>Drop</i> Tegangan Konduktor ACCC/TW Brussels akibat Kenaikan Arus Saluran.....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Kenaikan Beban Puncak Pada Saluran Transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang .....	2
Tabel 2. 1 Nilai variabel azimuth.....	14
Tabel 2. 2 Nilai atmosfer dengan ruang bebas.....	15
Tabel 2. 3 Nilai atmosfer daerah industri.....	15
Tabel 2. 4 Nilai faktor bentuk menurut diameter konduktor .....	24
Tabel 2. 5 Nilai tekanan angin spesifik.....	24
Tabel 2. 6 Jarak bebas SUTT 150 kV .....	30
Tabel 3. 1 Beban Puncak Bulanan Saluran Transmisi Probolinggo-Lumajang.....	37
Tabel 3. 2 <i>Data Sheet</i> Konduktor ACCC/TW Brussels 415 .....	37
Tabel 3. 3 Data Tower pada Saluran Transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang.....	38
Tabel 4. 1 Besar Parameter-Parameter Mekanis Konduktor ACCC/Brussels saat Beban Puncak tahun 2016.....	56
Tabel 4. 2 Besar Parameter-Parameter Elektris Konduktor ACCC/Brussels saat Beban Puncak tahun 2016.....	59
Tabel 4. 3 Besar Parameter-Parameter Elektris Konduktor ACCC/Brussels saat Beban N-1 tahun 2016 .....	59
Tabel 4. 4 Besar Parameter-Parameter Mekanis Konduktor ACCC/Brussels saat Beban N-1 tahun 2016 .....	60
Tabel 4. 5 Prediksi Pembebanan Saluran Transmisi 150 kV Probolinggo- Lumajang.....	61
Tabel 4. 6 Kinerja Elektris Konduktor ACCC/TW Brussels pada Pembebanan hingga tahun 2023 .....	62
Tabel 4. 7 Kinerja Mekanis Konduktor ACCC/TW Brussels pada Pembebanan hingga tahun.....	62
Tabel 4. 8 Kinerja Elektris Konduktor ACCC/TW Brussels pada Pembebanan hingga tahun 2023 ketika Terjadi N-1 .....	63
Tabel 4. 9 Tabel 4.9 Kinerja Mekanis Konduktor ACCC/TW Brussels pada Pembebanan hingga tahun 2023 ketika Terjadi N-1 .....	64

Tabel 4. 10 <i>Data Sheet</i> berbagai tipe Konduktor ACCC/TW.....	65
Tabel 4. 11 Kapasitas Hantar Arus Konduktor Rekomendasi .....	66
Tabel 4. 12 Kinerja Elektris Konduktor Rekomendasi pada Pembebanan N- 1Tahun 2023 dengan Arus Saluran 2053,7 A .....	66
Tabel 4. 13 Kinerja Mekanis Konduktor Rekomendasi pada Pembebanan N- 1Tahun 2023 dengan Arus Saluran 2053,7 A .....	67





## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era modern ini, listrik merupakan kebutuhan yang sangat vital. Pertumbuhan kebutuhan listrik sangatlah tinggi, sehingga mengharuskan penyedia jasa listrik untuk terus-menerus meningkatkan jumlah daya listrik yang disalurkan pada konsumen. Permintaan tenaga listrik meningkat sekitar 25% per dekade, sementara baru fasilitas transmisi yang sedang dibangun hanya 4% per dekade. (Chan dkk., 2008). Dengan demikian, saluran-saluran transmisi yang ada berpotensi *overload*.

Ketika terjadi *overload* saluran transmisi, arus saluran yang besar mengakibatkan temperatur konduktor naik hingga melampaui batas temperatur maksimum konduktor tersebut. Temperatur konduktor yang melampaui batas temperatur maksimumnya, akan menyebabkan konduktor mengalami degradasi. Oleh karenanya *overload* saluran transmisi sebisa mungkin harus dihindari.

Selain *overload* pada saluran transmisi, keandalan sistem menjadi sebuah pertimbangan penting dalam sebuah perencanaan saluran transmisi. Menurut RUPTL PLN tahun 2016, perencanaan transmisi dibuat dengan menggunakan kriteria keandalan N-1, baik statis maupun dinamis. Kriteria N-1 statis mensyaratkan apabila suatu sirkit transmisi padam, baik karena mengalami gangguan maupun dalam pemeliharaan, maka sirkit-sirkit transmisi yang tersisa harus mampu menyalurkan keseluruhan arus beban, sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik terjaga. Pemadaman pada salah satu sirkit akan menyebabkan sirkit yang lain memikul beban manuver yang jauh lebih besar sehingga berpotensi *overload*.

Menurut Suprihadi (2007), dengan mempertimbangkan peningkatan beban yang semakin pesat, dibutuhkan penambahan kapasitas saluran transmisi dengan membangun saluran transmisi baru, akan tetapi diperlukan biaya yang tinggi.

Menurut RUPTL PLN tahun 2016, pembangunan saluran transmisi baru juga memerlukan waktu yang lama, sehingga salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menambah kapasitas saluran adalah dengan melakukan *reconductoring*. *Reconductoring* saluran transmisi memerlukan biaya yang lebih rendah karena hanya sedikit memodifikasi atau bahkan tidak perlu memodifikasi tower-tower transmisi yang ada atau dengan *Right of Way* (ROW) yang tetap (Suprihadi, 2007).

Saluran-saluran transmisi daya listrik biasanya menggunakan konduktor ACSR (Aluminium Conductor Alloy Reinforced) yang memiliki batas temperatur kerja yang diijinkan sebesar 90°C (Stephanus dkk, 2006). Baru-baru ini ditemukan konduktor HTLS (High Termal Low Sag) yang mampu beroperasi pada suhu lebih tinggi serta mampu mengurangi andongan akibat naiknya suhu konduktor tersebut. Salah satu jenis HTLS adalah konduktor jenis ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*). Konduktor ACCC mampu menahan suhu hingga 180°C (Chan dkk., 2008). Dengan kemampuan konduktor ACCC bekerja pada suhu yang lebih tinggi dan dengan andongan yang lebih kecil memungkinkan *reconductoring* saluran transmisi menggunakan konduktor ini tanpa mengubah ROW dari saluran yang ada.

Pada tahun 2014 arus yang mengalir pada saluran transmisi 150kV Probolinggo-Lumajang telah mencapai 61,22% dari kapasitas hantar arus konduktor dengan rincian yang disajikan dalam tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Beban Puncak Perfasa Pada Saluran Transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang Tahun 2014

No	Bulan	Jenis Konduktor	Arus Saluran <sup>1</sup> (A)	Arus Nominal <sup>2</sup> (A)	%IN
1.	April	ACSR	397	740	53,65%
2.	Mei	ACSR	400	740	54,05%
3.	Juni	ACSR	403	740	54,46%
4.	Juli	ACSR	413	740	55,81%
5.	Agustus	ACSR	453	740	61,22%
6.	September	ACSR	447	740	60,41%

(Sumber: Data Pembebanan PLN GI Lumajang Tahun 2014)

<sup>1</sup> Arus saluran adalah arus listrik yang diukur pada satu fasa konduktor

<sup>2</sup> Aarus nominal adalah arus lisyrik maksimum persatu fasa konduktor

Tabel 1.1 menunjukkan bahwa besar arus listrik yang melewati saluran telah mencapai 61,22% dari kapasitas maksimum saluran. Dengan demikian ketika terjadi N-1, arus beban manuver yang melewati saluran tersebut akan melebihi kapasitas maksimum saluran. Dengan adanya kasus tersebut PLN (Perusahaan Listrik Negara) melakukan *reconductoring* pada saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang dari konduktor ACSR menjadi konduktor ACCC/TW Brussels yang memiliki kapasitas hantar arus yang lebih besar. Konduktor jenis ACCC dipilih karena konduktor jenis ACCC dapat diproduksi sendiri di Indonesia.

Dengan adanya *reconductoring* saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang, maka perlu dilakukan penelitian terhadap konduktor ACCC yang dipasang pada saluran transmisi tersebut dengan tujuan untuk mengevaluasi kesesuaian konduktor tersebut terhadap perubahan arus pada saluran. Karena *reconductoring* dilakukan dengan ROW yang tetap, maka selain mempertimbangkan kapasitas hantar arus dan temperatur konduktor, analisis juga harus mempertimbangkan perubahan mekanis konduktor saat terjadi perubahan arus saluran seperti tegangan tarik, andongan konduktor, dan ruang bebas vertical di bawah saluran. Selain itu dipertimbangkan juga perubahan parameter-parameter listrik lainnya berupa rugi-rugi daya saluran dan *drop* tegangannya.

Evaluasi Pemilihan konduktor ACCC pada saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang ini akan berfokus pada pada kinerja konduktor saat beban-beban puncak, karena pada saat tersebut konduktor harus memikul beban yang lebih berat dari saat-saat yang lain. Selain berfokus pada beban-beban puncak transmisi, evaluasi pemilihan konduktor pada saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang juga harus mempertimbangkan besar arus saluran ketika terjadi N-1, karena pada saat tersebut arus saluran naik akan naik secara signifikan. Pada kasus transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang hanya terdapat dua sirkit, sehingga ketika terjadi N-1, salah satu saluran harus memikul beban hingga dua kali lipat. Dengan demikian evaluasi kinerja konduktor pada saat terjadi N-1 pada studi kasus *reconductoring* saluran transmisi Probolinggo-Lumajang menjadi sangat penting. Selain itu pertumbuhan beban selama 10 tahun kedepan harus

dipertimbangkan, mengingat perencanaan pengembangan proyek-proyek kelistrikan yang dilakukan PLN harus berjangka panjang, yakni dalam jangka waktu 10 tahun (RUPTL PLN, 2016).

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh perubahan arus saluran terhadap konduktor ACCC/TW Brussels yang terpasang pada saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang?
- b. Apakah pemilihan konduktor ACCC/TW Brussels pada saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang sudah sesuai dan mampu memikul arus saluran saat beban puncak maupun saat beban manuver ketika terjadi N-1?
- c. Adakah tipe konduktor ACCC yang lebih sesuai untuk saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang dibandingkan dengan konduktor ACCC/TW Brussels?

## 1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini yakni untuk mengevaluasi pemilihan konduktor ACCC/TW Brussels pada saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang dan merekomendasikan konduktor yang paling sesuai untuk saluran transmisi tersebut dengan adanya perubahan arus saluran saat beban puncak maupun beban manuver saat terjadi N-1.

## 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- a. Kecepatan angin dianggap konstan.
- b. Besarnya daya yang disalurkan pada masing-masing saluran dan masing-masing fasa dianggap sama dan seimbang.
- c. Tidak ada pertimbangan ekonomis dalam pemilihan konduktor.
- d. Konduktor yang direkomendasikan hanya konduktor dari jenis ACCC mengingat konduktor ACCC adalah satu-satunya konduktor HTLS yang dapat diproduksi sendiri di Indonesia saat ini.

### 1.5 Manfaat

Dengan adanya penelitian ini maka diharapkan dicapai beberapa hal sebagai berikut:

- a. Penelitian menjadi media bagi mahasiswa untuk meningkatkan kemampuann akademik terutama di bidang transmisi daya listrik.
- b. Dengan dikembangkannya penelitian ini akan menjadi sumbangan materi untuk ilmu pengetahuan khususnya bidang transmisi daya listrik.
- c. Penelitian ini diharapkan akan menjadi bahan referensi maupun pertimbangan bagi instansi terkait khususnya Perusahaan Listrik Negara berkenaan dengan *reconductoring* saluran transmisi listrik yang telah maupun akan dilakukan.
- d. Sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya khususnya di bidang transmisi daya listrik.



## BAB 2. TINTJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Saluran Transmisi Daya Listrik

Untuk menyalurkan daya listrik dari pusat-pusat pembangkit listrik ke pusat-pusat beban digunakan saluran transmisi baik transmisi melalui saluran udara maupun saluran bawah tanah. Di Indonesia mayoritas menggunakan saluran udara karena lebih ekonomis.

#### 2.1.1 Jenis-jenis Saluran Udara

Menurut besar tegangannya saluran udara pada transmisi daya listrik dapat dibagi menjadi tiga, yakni:

1. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) memiliki tegangan operasi antara 30KV sampai dengan 150 kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya *single* atau *double* sirkit, dimana 1 sirkit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 konduktor. Biasanya hanya 3 konduktor dan konduktor netralnya digantikan oleh tanah sebagai saluran kembali.

2. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

SUTET menggunakan tegangan yang lebih besar dari SUTT yang berkisar antara 200kV sampai dengan 500kV. Tegangan dibuat sangat tinggi agar arus transmisi dapat serendah mungkin sehingga dapat mengurangi rugi-rugi daya maupun *drop* tegangan. Permasalahan mendasar pembangunan SUTET adalah: konstruksi tiang (tower) yang besar dan tinggi, memerlukan tapak tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga pembangunannya membutuhkan biaya yang besar. Masalah lain yang timbul dalam pembangunan SUTET adalah masalah sosial, yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan.

### 3. Saluran Udara Tegangan Ultra Tinggi (SUTUT)

Tegangan antara 765kV hingga 1100kV Digunakan di negara-negara yang memiliki wilayah sangat luas seperti USA dan Russia

#### 2.1.2 Saluran Transmisi Probolinggo-Lumajang

Saluran transmisi Probolinggo-Lumajang merupakan saluran udara tegangan tinggi 150 kV transmisi listrik yang menghubungkan GI Probolinggo dan GI Lumajang. Saluran transmisi ini dibawah kontrol PT.PLN (Persero) TJBTB APP Probolinggo. Saluran transmisi Probolinggo-Lumajang memiliki tegangan nominal 150 kV. Saluran ini terdiri dari dua saluran, yakni saluran Probolinggo 1 dan saluran Probolinggo 2.

Sebelum Oktober 2014, saluran transmisi Probolinggo Lumajang menggunakan konduktor ACSR. Kondutor tersebut mampu menahan arus listrik hingga 740 A. Dengan beban maksimum tahunan dibawah 740 A tentunya tidak menjadi masalah bagi saluran transmisi Probolinggo-Lumajang tetap menggunakan konduktor ACSR. Namun ketika terjadi *trip* pada salah satu saluran, maka dengan beban arus yang mendekati 740 A, saluran transmisi Probolinggo-Lumajang menjadi tidak handal karena saluran yang lain tidak mampu menopang dua beban saluran sekaligus.

Mulai Oktober 2014 saluran transmisi Probolinggo-Lumajang tidak lagi menggunakan konduktor konvensional ACSR, akan tetapi menggunakan konduktor HTLS ACCC. Sebelumnya konduktor ACSR hanya mampu menyalurkan daya dengan arus nominal 740 A. Setelah penggantian konduktor dilakukan arus nominal yang disalurkan dapat mencapai 1450 A. Dengan demikian diharapkan saluran tersebut tetap handal meskipun terjadi *trip* pada salah satu saluran.



## 2.2 Konduktor Saluran Transmisi

### 2.2.1 Konduktor Konvensional

Pada mulanya konduktor saluran transmisi masih menggunakan konduktor yang belum memiliki kemampuan bekerja pada suhu tinggi baik ditinjau secara mekanis maupun elektris. Dengan kemampuan konduktor pada suhu yang tidak terlalu tinggi tersebut menyebabkan konduktor tidak dapat menghantarkan arus yang lebih tinggi. Ada tiga jenis bahan yang digunakan sebagai konduktor tegangan tinggi, yakni tembaga (cu), alumunium (al), dan baja (*steel*). Jenis yang sering dipakai adalah jenis alumunium dengan campuran baja.

Ada beberapa jenis konduktor konvensional, yakni:

- a. AAC (*All-Alumunium Conductor*), yaitu konduktor yang seluruhnya terbuat dari alumunium.
- b. AAAC (*All-Alumunium-Alloy Conductor*), yaitu konduktor yang seluruhnya terbuat dari campuran alumunium.
- c. ACSR (*Alumunium Conductor, Steel-Reinforced*), yaitu konduktor alumunium berinti konduktor baja.
- d. ACAR (*Alumunium Conductor, Alloy-Reinforced*), yaitu konduktor alumunium yang diperkuat dengan logam campuran

Konduktor ACSR merupakan konduktor yang paling banyak digunakan pada saluran transmisi. Konduktor ini terbuat dari sekumpulan konduktor baja yang dilindungi dengan dua lapis konduktor berkas berbahan alumunium yang mampu bekerja pada suhu maksimum 90°C (Supriyadi, 2007). Konduktor baja digunakan untuk menopang berat konduktor alumunium karena aluminium belum tentu mampu menopang beratnya sendiri saat dipasang. Konduktor baja pada ACSR telah melalui proses galvanizing untuk menjadi konduktor tersebut tahan terhadap korosi. ACSR yang sering dipakai adalah ACSR 24/7, yaitu terdapat 7 buah konduktor baja dan 24 buah konduktor aluminium.

### 2.2.3 Konduktor HTLS

Selain konduktor konvensional, baru-baru ini telah ditemukan konduktor yang mampu beroperasi pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan

konduktor konvensional namun dengan andongan yang lebih kecil yang disebut dengan konduktor HTLS (*High Thermal Low Sag*). Karena kemampuannya beroperasi pada suhu yang lebih tinggi dan dengan andongan yang lebih kecil, maka konduktor ini memiliki kapasitas hantar arus yang lebih besar.

Ada beberapa jenis konduktor HTLS yang cukup populer dan dalam penelitiannya, Chan dkk (2008) menyimpulkan beberapa hal mengenai konduktor-konduktor tersebut sebagai berikut.

- a. ACSS dan ACSS/TW atau *Aluminum Conductor Steel Supported/Trapezoidal Wire-Annealed*, yakni konduktor yang benar-benar teruji dan tersedia secara komersial dari beberapa vendor di Amerika Serikat. ACSS pertama kali ditemukan pada tahun 1960 dan telah dijual secara luas di Amerika Utara selama lebih dari 30 tahun. Konduktor ini terdiri dari konduktor aluminium sepenuhnya anil (1350-O) terdampar lebih inti dari kekuatan tinggi, ekstra tinggi-kekuatan (EHS), ultra kekuatan tinggi (UHS) baja, dengan karakteristik lain yang mirip dengan konduktor ACSR. Konduktor ini mampu beroperasi hingga 250°C.
- b. G(Z)TACSR atau *Gap-type TAl (heat resistant) Aluminum Conductor Steel Reinforced*. Konduktor ini memiliki konstruksi yang unik. Ada celah kecil antara inti baja dan trapezium 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 es/salju dan angin. Hal ini membuat konduktor GTACSR dapat beroperasi pada suhu tinggi dan dengan andongan yang kecil. Suhu kerja konduktor ini mencapai 150°C.
- c. (Z)TACIR-ZTAl atau *Aluminum Conductor Invar steel Reinforced*. Konduktor ini mampu bekerja pada suhu 150°C untuk campuran aluminium

TAI dan 210°C untuk campuran aluminium ZTAI. Konduktor ini mirip dengan konduktor ACSR . Perbedaan utamanya inti konduktor ini terbuat dari *High Strength Invar Alloy*, bukan konduktor baja konvensional. Invar adalah paduan baja (64%) dan nikel (36%).

- d. ACCR atau *Aluminum Conductor Composite Reinforced* bisa juga disebut ZTAI atau *High-temperature alloy*, konduktor ini terbuat dari inti komposit serat aluminium. Titik kerja operasinya hingga 210°C dan dapat mencapai 240°C pada kondisi darurat.
- e. ACCC atau *Aluminium Conductor Composite Core* konduktor ini terbuat dari *Fiber Carbon* dan *Fiber Glass Clad* dan mampu beroperasi hingga suhu 180°C.

#### 2.2.4 Konduktor ACCC

Sebagai salah satu jenis konduktor HTLS adalah konduktor ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*). Konduktor ini terbuat dari Aluminium jenis Annealed berinti *composite* yang memiliki daya tarik mencapai 93,2 kN.

Konduktor ACCC terdiri dari 2 bagian, kedua bagian ini memiliki fungsi dan material yang berbeda.

##### a. Konduktor

Konduktor yang digunakan terbuat dari Aluminium *Annealed* (dilunakkan) dengan konduktivitas mencapai 63%, memiliki kekuatan tarik 58,6 Mpa. Penyaluran Daya listrik disalurkan hanya melalui konduktor ini, inti dari ACCC tidak dapat menghantarkan daya listrik, hanya digunakan sebagai penyokong. Konduktor disusun dengan struktur dasar berbentuk trapesium hingga melingkari inti, ACCC tipe *Lisbon* dibentuk dengan dua layer. Dengan resistivitas 0,027899  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  pada suhu 20°C, dengan kepadatan 2.705GR/m<sup>3</sup> (*Technical Data Sheet Midal Cable Ltd*).

##### b. Inti (*core*)

Inti yang digunakan pada ACCC terbuat dari campuran *Fiber Carbon* dan *Fiber Glass Clad*. Inti ACCC berfungsi sebagai penahan yang memiliki kuat tarik

$\geq 2414$  Mpa dengan diameter inti 9.53 mm dengan pemuaian hanya  $0.0000016/^{\circ}\text{C}$  didesain berbentuk bulat sebagai pondasi awal layer konduktor (*Technical Data Sheet Midal Cable Ltd*).



Gambar 2. 1 Konduktor ACCC

(Sumber: <http://indonesian.alibaba.com/product-gs/accc-bare-cable-aluminum-conductor-carbon-fiber-composite-core-reinforced-60251122123.html>)

## 2.4 Analisis Mekanis dan Elektris Konduktor

### 2.4.1 Analisis Mekanis Konduktor

#### A. Temperatur Konduktor

Setiap jenis konduktor memiliki batas temperatur yang berbeda. Semakin besar batas temperatur yang diijinkan pada konduktor konduktor tersebut semakin baik. Hal ini karena temperatur dapat mempengaruhi tegangan dan andongan konduktor.

Temperatur konduktor dipengaruhi oleh dua faktor, yakni rugi-rugi daya saluran dan penyerapan panas matahari. Rugi-rugi daya saluran yang ada pada saluran transmisi diubah menjadi panas, sehingga semakin besar rugi-rugi saluran maka temperatur konduktor semakin besar. Selanjutnya karena rugi-rugi daya akan semakin besar dengan semakin besarnya arus saluran, maka dapat dipastikan dengan semakin besarnya arus saluran maka temperatur saluran akan semakin besar.

Panas konduktor yang dihasilkan karena rugi-rugi daya dan penyerapan panas dari matahari disebarkan secara konveksi dan radiasi ke lingkungan sekeliling konduktor. Besarnya panas yang dibangkitkan sama dengan besarnya panas yang disebarkan oleh konduktor. Menurut standar IEEE Std 738-2012 besarnya penyebaran panas mengikuti persamaan 2.1 berikut.

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

(2.1)

dengan :

$q_c$  = penyebaran panas secara konveksi (W/m)

$q_r$  = penyebaran panas yang secara radiasi (W/m)

$q_s$  = penyerapan energi sinar matahari (W/m)

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

$I$  = Arus yang melewati konduktor (A)

$R$  = Tahanan (Ohm/meter)



### 1. Penyerapan Panas dari Matahari

Panas yang diserap dari matahari  $q_s$  diberikan oleh rumus 2.2 berikut.

$$q_s = \alpha \cdot Q_s \cdot \sin(\theta) \cdot A' \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan

$$\theta = \arccos[\cos(H_c) \cdot \cos(Z_c - Z_1)] \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

$q_s$  : penyerapan energi panas matahari (W/m)

$Q_s$  : total intensitas panas matahari (W/m<sup>2</sup>)

$H_c$  : ketinggian matahari

$D_0$  : diameter Konduktor (m)

$Z_c$  : azimuth matahari

$Z_1$  : azimuth saluran

Persamaan 2.4 menunjukkan nilai ketinggian matahari ( $H_c$ ) menurut standar IEEE Std 738-2012, dalam derajat (atau radian).

$$H_c = \arcsin[\cos(\text{Lat}) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\text{Lat}) \cdot \sin(\delta)] \dots\dots\dots(2.4)$$

Sudut jam (*hour angle*)  $\omega$ , adalah sudut ditempuh yang sejak bumi berotasi mulai dari siang hari, dirumuskan dalam persamaan 2.5.

$$\omega = (ts - 12) \times \frac{360}{24} \dots\dots\dots(2.5)$$

Pada persamaan 2.5,  $ts$  merupakan jam pada saat pengukuran. Selanjutnya deklinasi matahari ( $\delta$ ) dalam derajat di rumuskan oleh persamaan 2.6 berikut ini.

$$\delta = 23,46 \cdot \sin \left[ \frac{284 + N}{365} \cdot 360 \right] \dots\dots\dots(2.6)$$

Pada persamaan 2.6,  $N$  adalah nomor urut hari dalam setahun dimulai dari tanggal 1 Januari hingga 31 Desember. Tanggal 1 Januari memiliki nilai  $N$  sebesar 1, tanggal 2 Februari memiliki nilai  $N$  sebesar 33, dan seterusnya. 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:

$$Z_c = C + \arctan(\chi) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan:

$$X = \frac{\sin(\omega)}{\sin(\text{Lat}) \cdot \cos(\omega) - \cos(\text{Lat}) \cdot \tan(\delta)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Pada standar IEEE Std 738-2012 nilai azimuth matahari konstan, C (dalam derajat), merupakan fungsi dari sudut jam ( $\omega$ ) dan variabel azimuth matahari ( $\chi$ ) seperti tertera pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 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,  $Q_{se} \left(\frac{W}{m^2}\right)$  tergantung pada ketinggian matahari dan kejernihan atmosfer dan  $Q_{se}$  dapat dihitung dengan persamaan 2.9 berikut:

$$Q_{se} = A + B \cdot H_e + C \cdot H_c^2 + D \cdot H_c^3 + E \cdot H_c^4 + F \cdot H_c^5 + G \cdot H_c^6 \dots\dots(2.9)$$

Besar koefisien A sampai G tergantung pada tipe atmosfer sebagaimana terdapat pada standar IEEE Std 738-2012 sesuai tabel 2.2 dan tabel 2.3 berikut.



Tabel 2. 2 Nilai atmosfer dengan ruang bebas

Clear atmosphere	SI	US
A	-42.2391	-3.9241
B	63.8044	5.9276
C	-1.9220	-1.7856x10-1
D	3.46921x10-2	3.223x10-3
E	-3.61118X10-4	-3.3549x10-5
F	1.94318x10-6	1.8053x10-7
G	-4.07608x10-9	-3.7868x10-10

Tabel 2. 3 Nilai atmosfer daersah industri

Industrial atmosphere	SI	US
A	53.1821	4.9408
B	14.2110	1.3202
C	6.6138x10-1	6.1444x10-2
D	-3.1658x10-2	-2.9411x10-3
E	+5.4654X10-4	5.07752X10-5
F	-4.3446X10-6	-4.03627X10-7
G	+1.3236X10-8	1.22967X10-9

2. Penyebaran Panas Secara Radiasi

Panas menyebar dari konduktor dengan cara radiasi dan konveksi. Panas yang disebarkan secara radiasi sesuai dengan hukum Stefan Boltzman yang menyatakan bahwa jumlah panas tersebar oleh radiasi berbanding pangkat empat dari suhu mutlak konduktor.

$$q_r = 17.8 \cdot D_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_s+273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a+273}{100} \right)^4 \right] \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan:

- $q_r$  : Penyebaran panas secara radiasi (W/m)
- $D_0$  : Diameter Konduktor (m)
- $T_s$  : Temperatur konduktor (°C)
- $T_a$  : Temperatur ambient (°C)

### 3. Penyebaran Panas Secara Konveksi

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

$$q_{cf1} = K_{angle} \cdot [1.01 + 1.35 \cdot N_{Re}^{0.5}] \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \dots\dots\dots(2.11)$$

$$q_{cf2} = K_{angle} \cdot 0.754 \cdot N_{Re}^{0.6} \cdot k_f \cdot (T_s - T_a) \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan  $K_{angle}$  merupakan faktor pergerakan arah angin terhadap konduktor yang diasumsikan sebesar 1. Persamaan 2.11 lebih sesuai digunakan untuk kecepatan angin rendah, namun kurang sesuai untuk kecepatan angin yang tinggi. Sebaliknya persamaan 2.12 lebih sesuai untuk kecepatan angin tinggi dan kurang sesuai untuk kecepatana angin yang rendah. Standar IEEE Std 738-2012 merekomendasikan hasil perhitungan terbesar dari kedua persamaan untuk dipilih sebagai hasil perhitungan.

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

$$q_{cn} = 3.645 \cdot \rho_f^{0.5} \cdot D_0^{0.75} \cdot (T_s - T_a)^{1.25} \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan:

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

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

$$N_{Re} = \frac{D_0 \cdot \rho_f \cdot V_w}{\mu_f} \dots\dots\dots(2.14)$$

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

$$T_{film} = \frac{T_s - T_a}{2} \dots\dots\dots(2.15)$$

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

$$\mu_f = \frac{1.458 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{\text{film}} + 273)^{1.5}}{T_{\text{film}} + 383.4} \dots\dots\dots(2.16)$$

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

$$\rho_f = \frac{1.293 - 1.525 \cdot 10^{-4} \cdot H_e + 6.397 \cdot 10^{-9} \cdot H_e^2}{1 + 0.00367 \cdot T_{\text{film}}} \dots\dots\dots(2.17)$$

dengan:

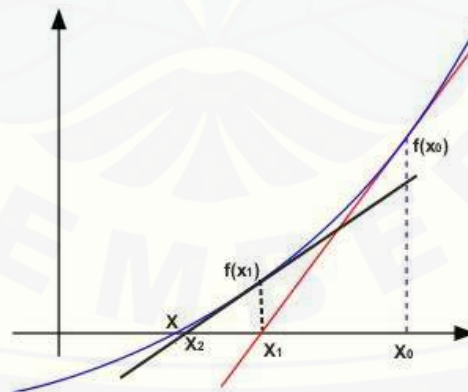
$H_e$  : ketinggian diatas permukaan laut (m)

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

$$k_f = 2.424 \cdot 10^{-2} + 7.477 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{film}} - 4.407 \cdot 10^{-9} \cdot T_{\text{film}}^2 \dots\dots(2.18)$$

#### 4. Metode Newton-Raphson

Metode Newton-Raphson adalah metode untuk menghitung akar-akar dari suatu persamaan  $f(x)$ . Dalam metode ini dilakukan iterasi berkali-kali hingga dihasilkan nilai akar-akar dengan nilai eror maksimum yang diinginkan.



Gambar 2. 2 Metode Newton-Rapson

Pada metode Newton-Raphson ditentukan terlebih dahulu sebarang nilai  $x_0$  sebagai titik awal, kemudian menarik garis lurus (misal garis l) yang menyinggung titik  $f(x_0)$ . Hal ini berakibat garis l memotong sumbu -x di titik  $x_1$ .

Setelah itu diulangi langkah sebelumnya tapi sekarang  $x_1$  dianggap sebagai titik awalnya. Dari mengulang langkah-langkah sebelumnya akan mendapatkan  $x_2$ ,  $x_3$ , ...  $x_n$  dengan  $x_n$  yang diperoleh adalah bilangan riil yang merupakan akar atau mendekati akar yang sebenarnya. Proses perulangan tersebut disebut proses iterasi.

Secara matematis metode Newton-Raphson dapat ditulis sebagai berikut.

$$x_n = x_{n-1} - \frac{f(x_{n-1})}{f'(x_{n-1})} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan  $n = 1, 2, 3, \dots$

Adapun iterasi dapat dihentikan jika:

$$x_n - x_{n-1} < b \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan  $b$  adalah nilai eror maksimum yang diharapkan.

## B. Tegangan Tarik dan Andongan Konduktor

Sebuah konduktor dengan panjang dan berat tertentu jika dibentangkan maka akan menimbulkan tegangan. Hal ini terjadi karena adanya berat konduktor itu sendiri. Selanjutnya menurut hukum Hooke, sebuah benda dengan modulus elastisitas tertentu jika diberikan gaya maka akan terjadi pertambahan panjang pada benda tersebut. Sehingga dengan adanya berat dan pertambahan panjang pada konduktor timbullah andongan. Oleh karenanya konduktor tidak akan membentuk garis lurus ketika dibentangkan, namun akan melengkung.

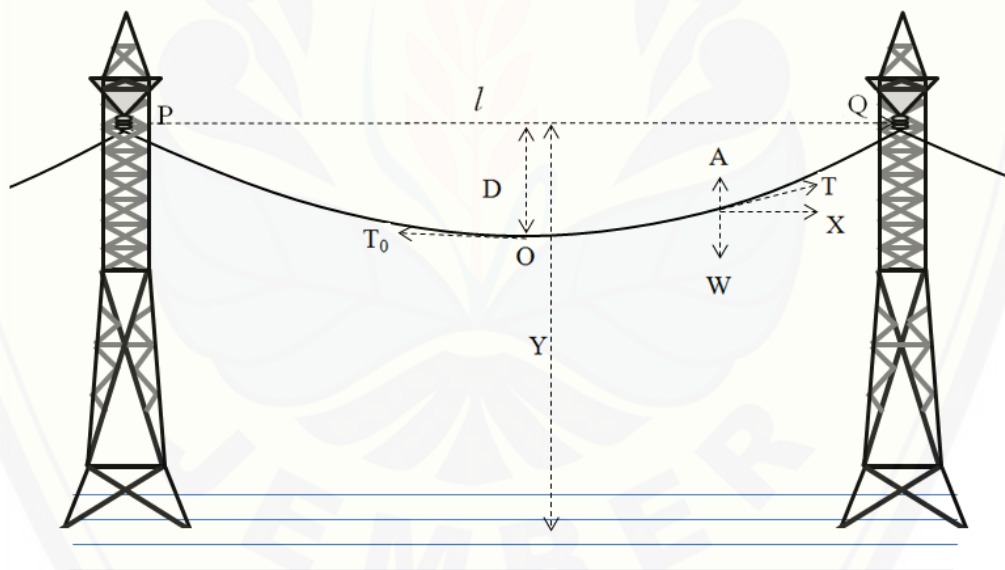
Tegangan sebuah konduktor tidak boleh berlebihan. Tegangan yang berlebihan akan mengakibatkan putusya konduktor atau rusaknya tiang penyangga. temperatur sebuah konduktor dapat mempengaruhi tegangan konduktor. Dengan semakin tingginya temperatur maka akan perjadi pemuaiian

pada konduktor sehingga panjang konduktor bertambah dan tegangan konduktor akan menurun.

Selain mempengaruhi tegangan konduktor, temperatur juga mempengaruhi andongan konduktor. Semakin besar temperatur maka andongan akan semakin besar. Hal ini terjadi karena pemuaian yang terjadi pada konduktor saat temperatur naik.

### 1. Tegangan dan Andongan Konduktor pada Kondisi Normal

Gambar 2.3 memperlihatkan sepotong konduktor yang ditumpu pada titik P dan Q yang tingginya sama. Pada titik O tidak ada komponen tegangan Y, sehingga komponen tegangan pada titik (x,y) sama dengan pembebanan antara titik (0,0) dan (x,y).



Gambar 2. 3 Tiang penyangga sama tinggi

dengan :

$L$  = Panjang konduktor

$l$  = Lebar gawang (span)

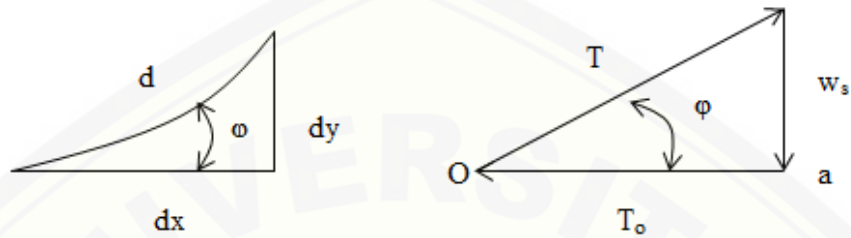
$D$  = Andongan (sag)

$w$  = Berat konduktor per satuan panjang

$T$  = Kuat tarik pada titik A.

$T_o$  = Kuat tarik pada titik O (tegangan tarik horisontal)

Jika ditinjau busur kecil misalnya  $S = OA$ , maka berat konduktor sepanjang busur S adalah  $w_s$ , pada busur S akan bekerja gaya-gaya  $T$ ,  $w_s$  dan  $T_o$ .



Gambar 2. 4 Segitiga ketimbangan pada busur S

Dari gambar 3 diperoleh :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{w_s}{T_o}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{dy}{dx}$$

maka:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{w_s}{T_o}$$

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$

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

$$= 1 + \left(\frac{w_s}{T_o}\right)^2$$

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



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

maka:

$$\begin{aligned} x &= \int \frac{ds}{\sqrt{1 + \left(\frac{w_s}{T_o}\right)^2}} \\ &= \frac{T_o}{w} \int \frac{d\left(\frac{w_s}{T_o}\right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{w_s}{T_o}\right)^2}} \end{aligned}$$

dari hasil integral didapatkan:

$$x = \frac{T_o}{w} \operatorname{arc\,sinh} \frac{w_s}{T_o} + C_1$$

dengan  $C_1$  merupakan konstanta integrasi, pada titik O.

untuk  $x = 0$ , maka  $S = 0$

$$0 = \frac{T_o}{w} \operatorname{arc\,sinh} 0 + C_1, \text{ maka } C_1 = 0$$

$$x = \frac{T_o}{w} \operatorname{arc\,sinh} \frac{w_s}{T_o}$$

$$\frac{wx}{T_o} = \operatorname{arc\,sinh} \frac{w_s}{T_o} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{w_s}{T_o} = \sinh \frac{wx}{T_o}$$

$$dy = \sinh \frac{wx}{T_o} dx$$

$$y = \int \sinh \frac{wx}{T_o} dx$$



$$y = \frac{T_o}{w} \cosh \frac{wx}{T_o} + C_2$$

syarat awal:

untuk  $x = 0$ , maka  $y = 0$

$$0 = \frac{T_o}{w} \cosh 0 + C_2, \text{ maka } C_2 = - \frac{T_o}{w}$$

$$y = \frac{T_o}{w} \left( \cosh \frac{wx}{T_o} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.22)$$

Persamaan 2.20 ini dikenal sebagai sebagai persamaan garis rantai (*Caternary Equation*).

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

sehingga didapat:

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

$$y = \frac{wx^2}{2T_o}$$

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

$$D = \frac{wl^2}{8T_o} \dots\dots\dots (2.23)$$

Panjang konduktor yang sebenarnya ( $L = POQ$ ), dari persamaan (2.21), apabila

$x = \frac{l}{2}$  maka  $S = \frac{l}{2}$

$$\frac{wL}{2T_o} = \sinh \frac{wl}{2T_o}$$

$$L = \frac{2T_o}{w} \sinh \frac{wl}{2T_o}$$

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

sehingga didapat:

$$L = l \left( 1 + \frac{w^2 l^2}{24 T_o^2} \right) \dots \dots \dots (2.24)$$

Tegangan tarik  $T$  dapat dihitung dari dua komponen vector  $T_x$  sebagai komponen horizontal dan  $T_y$  sebagai komponen vertikal.

$$T_x = T_o$$

$$T_y = ws$$

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

$$T = T_o \cosh \frac{wx}{T_o}$$

karena  $x = l/2$ , maka tegangan tarik konduktor adalah:

$$T = T_o \cosh \frac{wl}{2T_o}$$

$$T = T_o \left[ 1 + \frac{w^2 l^2}{8 T_o^2} + \frac{w^4 l^4}{384 T_o^4} + \frac{w^6 l^6}{46080 T_o^6} + \dots \right]$$

Sehingga:

$$T = T_o \left( 1 + \frac{w^2 l^2}{8 T_o^2} \right) \dots \dots \dots (2.25)$$

## 2. Pengaruh Tekanan Angin dan Temperatur terhadap Tegangan Tarik dan Andongan Konduktor

### a) Pengaruh Tekanan Angin

Tekanan angin akan mempengaruhi berat spesifik konduktor. Berat sendiri konduktor bekerja vertikal sedang tekanan angin dianggap seluruhnya bekerja horizontal. Jumlah vektoris kedua gaya ini menjadi berat total spesifik konduktor. Tekanan angin dinyatakan oleh :

$$P = f.p.F \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan :

$P$  = tekanan angin (kg)

$f$  = faktor bentuk.

$p$  = tekanan angin spesifik (kg/mm<sup>2</sup>)

$v$  = kecepatan angin (m/dt)

$F$  = Luas permukaan konduktor yang tegak lurus arah angin (m<sup>2</sup>)

Nilai faktor bentuk tergantung pada diameter konduktor sedangkan nilai tekanan angin spesifik ( $p$ ) bergantung pada ketinggian konduktor di atas permukaan tanah. Dalam bukunya, Hutauruk (1999) menyajikan nilai-nilai faktor bentuk sesuai dengan diameter konduktor sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2. 4 Nilai faktor bentuk menurut diamter konduktor

Diameter Konduktor	Faktor Bentuk (f)
0 sampai 12 mm	1,2
12 sampai 16 mm	1,1
Lebih dari 16 mm	1,0

Tabel 2.5 berikut menyajikan nilai tekanan angin spesifik ( $p$ ) sebagaimana yang tertulis dalam buku Hutauruk (1999).

Tabel 2. 5 Nilai tekanan angin spesifik

Ketinggian konduktor (m)	$p$ (kg/m <sup>2</sup> )
0 sampai 25	60
25 sampai 60	70
60 sampai 100	90
100 sampai 150	115
150 sampai 200	130

Karena tekanan angin tidak merata maka digunakan koefisien ketidaksamaan ( $d$ ). Nilai ketidaksamaan di Indonesia menurut Hutauruk (1999) adalah 0.75, sehingga:

$$P = f.d.p.F \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan  $p$  bergantung dari tinggi konduktor diatas permukaan tanah dan  $f$  bergantung dari diameter konduktor.

Nilai dari  $F$  diambil sama dengan panjang konduktor dikalikan dengan diameter konduktor konduktor. Sehingga berat total spesifik konduktor ( $\text{Kg/m/mm}^2$ ) adalah:

$$\delta_m = \sqrt{\delta^2 + \delta_w^2} \dots\dots\dots$$

(2.27)

dengan :

$$\begin{aligned} \delta_w &= \text{tekanan angin spesifik} \\ &= P/q \text{ (kg.m}^{-1}\text{.mm}^{-2}\text{)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \text{berat sendiri spesifik konduktor} \\ &= W/q \text{ (kg.m}^{-1}\text{.mm}^{-2}\text{)}. \end{aligned}$$

$$\delta_m = \text{berat total spesifik konduktor (kg. m}^{-1}\text{.mm}^{-2}\text{)}.$$

#### b) Pengaruh Temperatur

Panjang konduktor bergantung kepada perubahan temperatur konduktor, apabila temperatur konduktor meningkat maka akan menyebabkan pemuluran (*creep*) konduktor.

Misalkan :

$l_o$  = panjang konduktor tidak ditegang pada  $0^{\circ}\text{C}$ .

$l_t$  = panjang konduktor tidak ditegang pada temperatur  $t^{\circ}\text{C}$ .

$L_o$  = panjang konduktor ditegang pada  $0^{\circ}\text{C}$ .

$L_t$  = panjang konduktor ditegang pada  $t^{\circ}\text{C}$ .

$\alpha$  = koefisien muai panjang.

$\epsilon_t$  = perpanjangan ideal konduktor oleh karena tegangan pada  $t^{\circ}\text{C}$ .

$E$  = modulus elastisitas konduktor.

$t$  = temperatur konduktor.

$\sigma_t$  = tegangan spesifik konduktor pada  $t^{\circ}\text{C}$ .

Maka ,

$$l_{t_1} = l_0 (1 + \alpha t_1) \text{ dan}$$

$$l_{t_2} = l_0 (1 + \alpha t_2)$$

Perubahan panjang konduktor karena perubahan temperatur,

$$l_{t_2} - l_{t_1} = l_0 \alpha (t_2 - t_1)$$

Perubahan temperatur akan menyebabkan perubahan tegangan (*stress*) dalam konduktor sesuai dengan hukum Hooke,

$$L_t = l_t (1 + \varepsilon_t) = l_t (1 + \sigma_t/E)$$

$$= l_0 (1 + \alpha t) (1 + \sigma_t/E)$$

Perubahan konduktor yang ditegang karena perubahan temperatur dari  $t_1$  ke  $t_2$  adalah ;

$$L_{t_2} - L_{t_1} = l_0 (1 + \alpha t_2) (1 + \sigma_{t_2}/E) - l_0 (1 + \alpha t_1) (1 + \sigma_{t_1}/E)$$

$$L_{t_2} - L_{t_1} = l_0 [\alpha(t_2 - t_1) + \frac{1}{E} (\sigma_{t_2} - \sigma_{t_1}) + (\alpha/E)(t_2 \sigma_{t_2} - t_1 \sigma_{t_1})] \dots\dots\dots$$

(2.28)

Suku baris kedua dari persamaan terakhir ini kecil sekali sehingga dapat diabaikan.

Jadi secara pendekatan,

$$L_{t_2} - L_{t_1} = l_0 [\alpha(t_2 - t_1) + \frac{1}{E} (\sigma_{t_2} - \sigma_{t_1})] \dots\dots\dots$$

(2.29)

### c) Nilai Tegangan dan Andongan akibat Perubahan Temperatur dan Tekanan Angin

Perubahan nilai temperatur konduktor akan menyebabkan pemuluran sehingga akan berubah pula tegangan tarik dan andongan pada konduktor. Dari persamaan (21), maka panjang konduktor pada temperatur  $t_1$  adalah :

$$L_{t_1} = l + \frac{l^3 \delta_m^2}{24 \sigma_{t_1}^2}$$

Panjang konduktor pada  $t_2$  adalah :

$$L_{t_2} = l + \frac{l^3 \delta_m^2}{24 \sigma_{t_2}^2}$$

Dari persamaan (22), maka perubahan konduktor karena perubahan temperatur dari  $t_1$  ke  $t_2$  adalah :

$$L_{t_2} - L_{t_1} = l_0 [\alpha(t_2 - t_1) + \frac{1}{E} (\sigma_{t_2} - \sigma_{t_1})]$$

sehingga ;

$$l + \frac{l^3 \delta_m^2}{24\sigma_{t_1}^2} - l + \frac{l^3 \delta_m^2}{24\sigma_{t_2}^2} = l_0 [\alpha(t_2 - t_1) + \frac{1}{E} (\sigma_{t_2} - \sigma_{t_1})]$$

Jika  $l_o = l$ , yaitu sama dengan keadaan konduktor diletakkan diatas permukaan tanah pada temperatur  $0^\circ\text{C}$  maka,

$$\frac{l^2 \delta_m^2}{24\sigma_{t_1}^2} - \frac{l^2 \delta_m^2}{24\sigma_{t_2}^2} = (\alpha.t_2 - \alpha.t_1 + \sigma_{t_2}/E - \sigma_{t_1}/E) \dots\dots\dots (2.30)$$

Dengan mengalikan ruas kiri dan kanan dengan  $\sigma_{t_2}^2 E$ , didapat :

$$\sigma_{t_2}^3 + (\frac{l^2 \delta_m^2}{24\sigma_{t_1}^2} E + \alpha E(t_2 - t_1) - \sigma_{t_1}) \sigma_{t_2}^2 = \frac{l^2 \delta_m^2 E}{24}$$

$$\sigma_{t_2}^3 + A \sigma_{t_2}^2 = B \dots\dots\dots (2.31)$$

dengan :

$$A = \frac{l^2 \delta_m^2}{24\sigma_{t_1}^2} E + \alpha E(t_2 - t_1) - \sigma_{t_1} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$B = \frac{l^2 \delta_m^2 E}{24} \dots\dots\dots (2.33)$$

Tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan tarik nominal konduktor pada keadaan temperatur  $t_1$ , sehingga,

$$\sigma_{t_1} = \frac{T_r}{k.q} \dots\dots\dots (2.34)$$

dengan :

$T_r$  = tegangan tarik nominal konduktor (kg)

$\sigma_{t_1}$  = tegangan tarik spesifik permulaan (kg.mm<sup>-2</sup>)

$k$  = faktor keamanan (2 - 5)

Dengan demikian tegangan tarik horisontal pada temperatur  $t_2$  dapat dihitung sebagai berikut :



$$T_{ot2} = \sigma_{t2} \cdot q \quad \dots\dots\dots$$

(2.35)

Tegangan tarik pada temperatur  $t_2$  adalah :

$$T_{t2} = T_{ot2} + \frac{l^2 w^2}{8T_{ot2}} \quad \dots\dots\dots$$

(2.36)

Panjang konduktor pada temperatur  $t_2$  adalah :

$$L_{t2} = l + \frac{l^3 w^2}{24T_{ot2}^2} \quad \dots\dots\dots$$

(2.37)

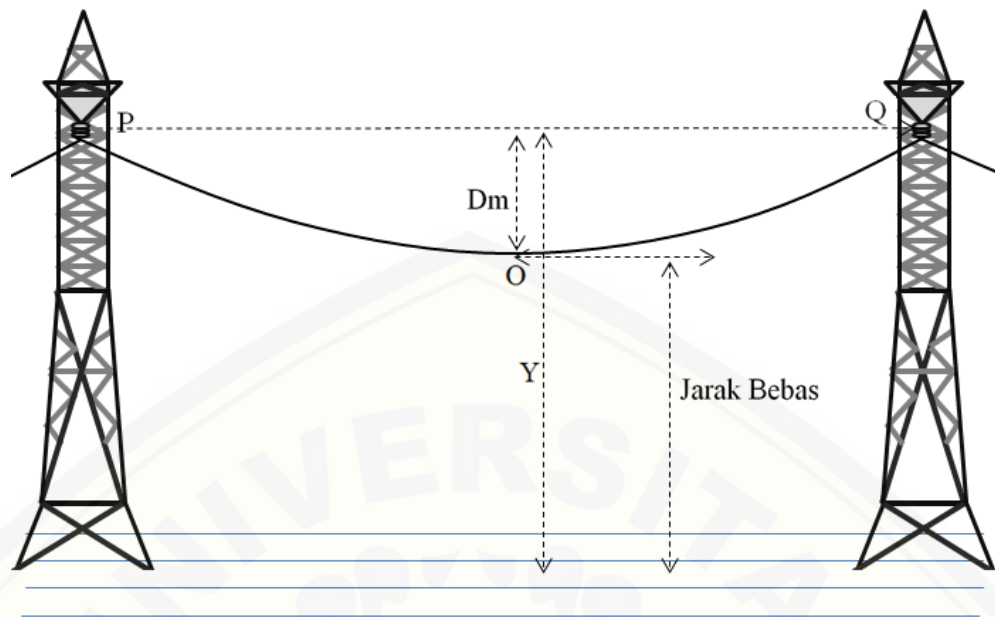
Andongan pada temperatur  $t_2$  adalah :

$$D_{t2} = \frac{l^2 w}{8T_{ot2}} \quad \dots\dots\dots$$

(2.38)

d) *Right of Way* (ROW)

Andongan suatu konduktor dibatasi oleh ROW (*Right of Way*) merupakan jarak bebas horizontal dan vertical yang diijinkan di sekitar saluran udara transmisi listrik. 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 untu tegangan 100kV, sedangkan jika melalui jalan raya aka menjadi tujuh meter. Untuk tegangan lebih dari 100kV, maka jarak bebasnya sebagai berikut.



Gambar 2. 5 Jarak Bebas

$$\Delta h = \frac{V - 100}{150}$$

(2.39)

dengan :

 $\Delta h$  = penambahan jarak bebas (m) $V$  = Tegangan (kV)

sehingga diperoleh ketinggian tiang :

$$h = D_m + 7 + \Delta h + t$$

(2.40)

dengan :

 $h$  = tinggi tower (m) $D_m$  = andongan maksimum (m) $t$  = tinggi yang dilewati (m).

Adapun di Indonesia tinggi ruang bebas di bawah saluran transmisi sudah diatur dalam Peraturan Menteri ESDM No. 18 Tahun 2015. Dalam peraturan tersebut dijelaskan tinggi jarak bebas minimum untuk berbagai kondisi sebagaimana disajikan dalam tabel 2.6 berikut.

Tabel 2. 6 Jarak bebas SUTT 150 kV (Peraturan Menteri ESDM No. 18 Tahun 2015)

No.	Lokasi	Jarak bebas (m)
1.	Lapangan terbuka atau daerah terbuka	8,5
2.	Daerah dengan keadaan tertentu	
	- Bangunan, jembatan	5,0
	- Tanaman/tumbuhan, hutan, perkebunan	5,0
	- Jalan raya, rel kereta api	9,0
	- Lapangan umum	13,5
	- SUTT lain, SUTR, SUTM, saluran udara komunikasi, antena, kereta gantung	4,0
	- Titik tertinggi tiang kapal pada kedudukan air pasang/tertinggi pada lalu lintas air	4,0

Dalam suatu kasus *reconductoring* 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 *reconductoring* dengan sesudah *reconductoring*, karena *reconductoring* yang dimaksudkan hanya menggantikan konduktornya saja tanpa mengubah menara penyangga.

## 2.4.2 Analisis Elektris Konduktor

### A. Kapasitas Hantar Arus

Kapasitas hantar arus merupakan arus maksimum yang diijinkan pada suatu konduktor. Suatu konduktor dengan temperatur kerja maksimum yang lebih tinggi akan memiliki kapasitas hantar arus yang lebih tinggi pula.

Rumus untuk menghitung kemampuan hantar arus konduktor yang merupakan standart dari IEEE std.732 (2012) yaitu:

$$I = \sqrt{\frac{qc+qr-qs}{R(T_{avg})}} \dots\dots\dots(2.41)$$

dengan:

- 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)

Menurut standar IEEE Std 738-2012 besar resistansi saluran terhadap tempeatur konduktor ditunjukkan oleh persamaan 2.40 berikut.

$$RT_{avg} = RTL + \frac{(RTH-RTL)(T_{avg}-TL)}{TH-TL} \dots\dots\dots(2.42)$$

Dengan:

- T<sub>avg</sub> : temperatur konduktor
- TH : temperatur tertentu dengan nilai relatif tinggi
- TL : temperatur tertentu dengan nilai relatif rendah
- RTH : resistansi konduktor pada temperatur TH
- RTL : resistansi konduktor pada temperatur TL
- R<sub>tavg</sub> : resistansi konduktor pada temperatur T<sub>avg</sub>.

### B. Daya Tersalurkan dan Rugi-Rugi Daya Saluran

Rugi-rugi daya tiap saluran bergantung pada besarnya arus yang melewati konduktor. Semakin besar arus yang melewati suatu konduktor, maka rugi-rugi dayanya akan semakin besar. 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 tiap fasa pada suatu saluran transmisi listrik.

$$P_L = 3 \times I^2 \times R(T_{avg}) \dots\dots\dots(2.43)$$

dengan:

$P_L$  : Rugi-rugi Daya

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

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

Daya yang tersalurkan merupakan selisih antara daya yang dikirim dengan rugi-rugi daya saluran transmisi.

$$P = \sqrt{3} V \times I - P_L \dots\dots\dots(2.44)$$

dengan:

$P$  : daya Listrik (VA)

$V$  : tegangan listrik dalam satuan volt (V)

$I$  : arus listrik dalam satuan ampere (A)

### C. Drop Tegangan

Dengan adanya rugi-rugi daya saluran maka akan menyebabkan selisih tegangan pada GI Probolinggo dan GI Lumajang yang disebut *drop* tegangan. *Drop* tegangan tersebut akan sebanding dengan rugi-rugi daya saluran sebagaimana dirumuskan pada persamaan 2.43 berikut.

$$\Delta V = (V_1 - \frac{P}{\sqrt{3}I}) \dots\dots\dots(2.45)$$

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.46)$$

dengan:

$\Delta V$  : *drop* tegangan

$V_1$  : tegangan pada sisi pengirim



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan PT PLN APP Probolinggo, Jl. Hos Cokoroaminoto no.942 Probolinggo berikut dengan sudi lapangan di GI dan saluran transmisi terkait.

#### 3.2 Langkah-Langkah Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut:

##### 1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan kajian-kajian bagi penulis sebagai acuan dari penelitian yang dilakukan baik berupa buku, jurnal maupun karya ilmiah yang yang berhubungan dengan penyelesaian laporan ini.

##### 2. Perijinan Penelitian

Penelitian ini bersangkutan dengan pihak penyedia layanan listrik, yakni PT PLN APP Probolinggo yang menjadi sumber data dalam penelitian ini sehingga dibutuhkan perijinan dari instansi tersebut.

##### 3. Pengambilan Data

Data penelitian ini berupa data spesifikasi menara penyangga, jarak antar menara, dan spesifikasi konduktor ACCC pada trasnmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang.

##### 4. Pengolahan Data

Data spesifikasi dan karakteristik saluran transmisi yang di peroleh dari PT PLN APP Probolinggo akan diolah dan dianalisis menggunakan *software* Matlab 7.11.0 R2010b untuk diketahui kapasitas hantar arus, rugi-rugi daya, *drop* tegangan, temperatur, andongan, dan tegangan tarik konduktor. Analisis difokuskan pada beban-beban puncak saluran serta beban N-1, serta dianalisis juga untuk pembebanan 10 tahun kedepan. Konduktor dapat dikatakan sesuai untuk suatu saluran transmisi jika arus saluran yang melalui konduktor tidak

melebihi kapasitas hantar arus konduktor tersebut dan *drop* tegangan yang terjadi tidak melebihi 10% (Hontong dkk, 2015). Selain itu secara mekanis andongan tidak boleh terlalu besar dan harus menyisihkan ruang bebas di bawah konduktor minimal 8,5 meter (Peraturan Menteri ESDM No. 18, 2015) dan tegangan tarik konduktor tidak boleh melebihi kuat tarik maksimumnya.

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat

1. Satu unit komputer/Laptop.

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

2. *Software* Matlab 7.11.0 R2010b

Penelitian ini menggunakan *Software* Matlab 7.11.0 R2010b untuk mengolah dan menganalisis data yang didapat dari PT PLN APP Proboinggo.

#### 3.3.2 Bahan

Bahan penelitian ini merupakan data pembebanan, spesifikasi konduktor, dan spesifikasi menara penyangga pada saluran transmisi daya listrik Probolinggo-Lumajang yang didapat dari PT PLN APP Probolinggo.

- a. Data Pembebanan Saluran Transmisi Probolinggo-Lumajang

Tabel 3.1 berikut ini menunjukkan besar arus listrik yang melewati saluran saat beban puncak bulanan dari bulan Januari 2015 hingga Maret 2016.

Tabel 3. 1 Beban Puncak Perfasa Bulanan pada Transmisi 15 kV Probolinggo-Lumajang

No	Bulan	Tahun	Jenis Konduktor	Arus Saluran (A)	Arus Nominal (A)	%IN
1.	Agustus	2015	ACCC/TW	500	1450	34,48%
2.	September	2015	ACCC/TW	500	1450	34,48%
3.	Oktober	2015	ACCC/TW	500	1450	34,48%
4.	Nopember	2015	ACCC/TW	500	1450	34,48%
5.	Desember	2015	ACCC/TW	480	1450	33,10%
6.	Januari	2016	ACCC/TW	500	1450	34,48%
7.	Februari	2016	ACCC/TW	634	1450	43,72%
8.	Maret	2016	ACCC/TW	692	1450	47,72%
9.	April	2016	ACCC/TW	513	1450	35,38%
10.	Mei	2016	ACCC/TW	500	1450	34,48%
11.	Juni	2016	ACCC/TW	500	1450	34,48%
12.	Juli	2016	ACCC/TW	533	1450	36,76%

b. Spesifikasi Konduktor pada Saluran Transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang

Saluran transmisi Probolinggo-Lumajang menggunakan konduktor ACCC/TW tipe *Brussels* 415, dengan diameter 25,14 mm. *Data sheet* konduktor ACCC/TW tipe *Brussels* dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 *Data Sheet* Konduktor ACCC/TW *Brussels* 415

No.	Parameter	Nilai
1.	Diameter	25,14 mm
2.	Luas penampang	477,2 mm <sup>2</sup>
3.	Masa persatuan panjang	1177,4 kg/km
4.	Modulus elastisitas	73600 Mpa
5.	Koefisien muai panjang	1,6 x 10 <sup>-6</sup> /°C
6.	Temperatur maksimum	175°C
7.	<i>Emergency temperature</i>	200°C
8.	Resistansi pada 20°C	0,0673 Ω/km
9.	Resistansi pada 120°C	0,09593 Ω /km
10.	Tegangan tarik maksimum	112,1 kN

c. Konstruksi Tower pada Saluran Transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang

Adapun konstruksi tower pada saluran transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang disajikan pada tabel 3.3 berikut.

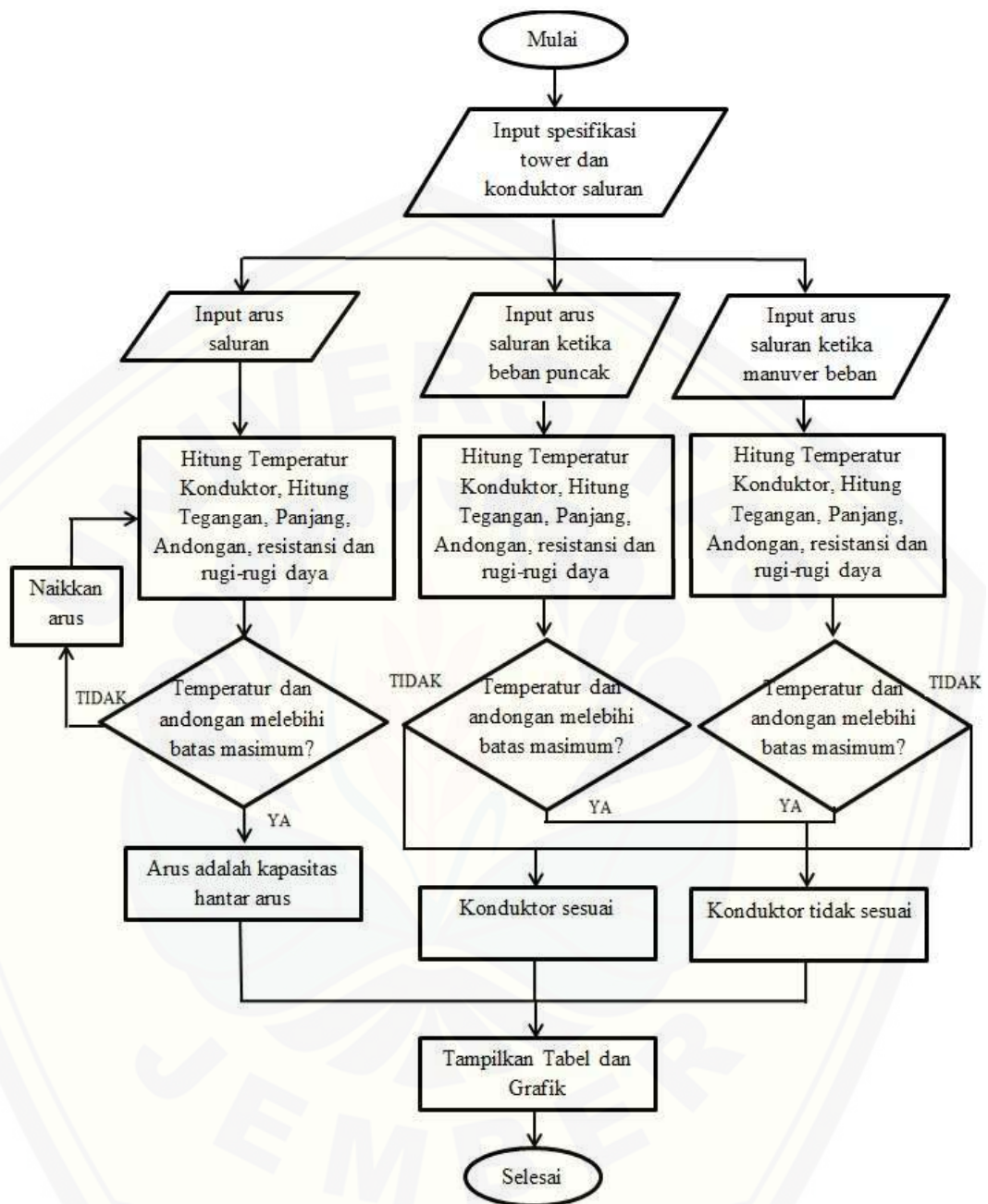
Tabel 3. 3 Data Tower pada Saluran Transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang

Jenis Tower	Tinggi Total (m)	Tinggi Penyangga Konduktor Fasa (m)			Jarak Span (m)	Kekuatan Tarikan Mekanik (kg)
		R	S	T		
AA+0	32,2	28,1	23,8	19,5	350	3000
AA-1	33,8	30,9	26,2	21,5	350	3000
BB+0	31,7	27,7	23,6	19,5	350	3000
BB-1	32,2	28,1	23,8	19,5	350	3000
CC+0	31,7	27,7	23,6	19,5	350	3000
CC-1	32,2	28,1	23,8	19,5	350	3000

### 3.4 Flowchart Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan menghitung kapasitas arus saluran yakni ketika temperatur konduktor mencapai temperatur maksimum. Kemudian dihitung panjang konduktor dan andongannya. Selanjutnya secara elektrik dihitung juga rugi-rugi daya dan *drop* tegangan yang terjadi. Dengan cara yang sama dihitung parameter-parameter tersebut saat arus puncak saluran dan saat terjadi manuver beban pada saluran ketika terjadi N-1.

Konduktor dapat dikatakan baik jika pada saat beban puncak maupun saat terjadi N-1, temperatur konduktor tidak melebihi temperatur maksimumnya dan *drop* tegangan harus di bawah 10% (Hontong dkk, 2015). Namun, meskipun temperatur konduktor tidak mencapai temperatur maksimumnya dan *drop* tegangan pun tidak melebihi 10%, jika ruang bebas di bawahnya kurang dari 8,5 meter (Peraturan Menteri ESDM No.18, 2015) dan tegangan tariknya melebihi kuat tarik maksimum konduktor, maka konduktor tersebut masih dikatakan tidak baik dan perlu memperbesar tegangan tarik awal (initial tensil) dari konduktor atau bahkan menggantinya dengan konduktor baru yang lebih baik.



Gambar 3. 1 Flowchat penelitian



### 3.5 Pemrograman pada *Software* Matlab 7.11.0 R2010b

#### 3.5.1 Perhitungan Mekanis

##### A. Perhitungan Temperatur

Temperatur Saluran dihitung dengan melakukan akar-akar dari persamaan 2.1 di halaman 12. Variabel  $q_c$  dan  $q_r$  pada persamaan tersebut masing-masing mengandung unsur variabel  $t_s$  (dalam persamaan lain juga disebut  $T_{avg}$ ) yang merupakan nilai dari temperatur konduktor pada arus tertentu. Dengan demikian nilai  $t_s$  dapat dihitung dengan mencari akar-akar persamaan 2.1 tersebut dengan menggunakan metode Newton Rapson. Namun sebelum menghitung nilai  $t_s$ , terlebih dahulu dihitung besar penyerapan panas oleh sinar matahari dan substitusi untuk variabel  $q_c$  dan  $q_r$  dalam bentuk yang kompleks.

##### 1) Penyerapan Panas dari Matahari

Penyerapan panas dari Matahari dalam penelitian ini memiliki nilai yang konstan, karena jam pengukuran, hari, kecepatan angin, dan lain sebagainya diasumsikan dengan nilai yang tetap. Penulisan program mengacu pada persamaan 2.2 dengan menurunkan nilai  $Q_s$  dan  $\theta$  dari persamaan 2.3 hingga persamaan 2.9. Adapun penulisan program tersebut sebagai berikut.

```

omega=(tsu-12)*(360/24)*(3.14/180);
sisi=(23.46*sin(((284+N)/365)*360*(3.14/180)))*(3.14/180);
X=(sin(omega))/((sin(Lat)*cos(omega))-cos(Lat)*tan(sisi));
if (omega<0)
    if (X >= 0)
        Ce = 0;
    else
        Ce = pi;
    end
else (0<omega);
    if (X >= 0)
        Ce = pi;
    else

```



```

        Ce = 2*pi;
    end
end
Zc=(Ce+(atan(X)))/(3.14/180);
Hc=(asin((cos(Lat)*cos(sisi)*cos(omega))+sin(Lat)*sin(sisi)))/(3.14/180);
Qs1=A+(B*Hc)+(C*Hc^2)+(D*Hc^3)+(E*Hc^4)+(F*Hc^5)+(G*Hc^6);
teta=(acos(cos(Hc*(3.14/180))*cos((Zc-Z1)*(3.14/180))))/(3.14/180);
Qs=alfafa*Qs1*sin(teta*(3.14/180))*Apetik;

```

## 2) Penyebaran Panas Secara Radiasi

Penyebaran panas secara radiasi sebagaimana pada persamaan 2.10 disimbolkan dengan  $q_r$ . Hasil perhitungan pada penurunan persamaan tersebut tidak menghasilkan nilai  $q_r$  sebagai sebuah angka, namun sebagai sebuah persamaan satu variabel dengan variabel  $T_s$  di dalamnya. Persamaan satu variabel tersebut nantinya akan disubstitusikan ke dalam persamaan 2.1.

Adapun pemrograman persamaan 2.10 beserta penurunan persamaan tersebut sebagai berikut.

```

qr=17.8*D0*Emi*(((ts+273)/100)^4)-(((ta+273)/100)^4);
Qr=inline(qr);
tfilm=(ts-ta)/2;
Tfilm=inline(tfilm);
myuf=((1.458/1000000)*((Tfilm(ts)+273)^1.5))/(Tfilm(ts)+383.4);
Myuf=inline(myuf);
pf=(1.293-((1.525/10000)*He)+
((6.397/1000000000)*(He^2)))/(1+(0.00367*Tfilm(ts)));%kerapatan
udara
Pf=inline(pf);
nre=(D0*pf*Vw)/Myuf(ts);
Nre=inline(nre);

```

```

kf=0.02424+((7.477/100000)*Tfilm(ts))-
((4.407/1000000000)*((Tfilm(ts))^2));%konduktivitas termal udara
pada suhu Tfilm
Kf=inline(kf);

```

### 3) Penyebaran Panas Secara Konveksi

Sebagaimana perhitungan penyebaran panas secara radiasi, pada persamaan perhitungan penyebaran panas secara konveksi pun tidak menghasilkan suatu nilai, namun menghasilkan persamaan baru dengan variabel  $T_s$  di dalamnya. Pemrograman persamaan untuk penyebaran panas secara konveksi mengacu pada persamaan 2.11, persamaan 2.12, dan persamaan 2.13 serta penurunannya dan ditulis sebagai berikut.

```

qc=Kangel*0.754*((Nre(ts))^0.6)*Kf(ts)*(ts-ta);
Qc=inline(qc);
tavg=ts;
Tavg=inline(tavg);
rTavg=RTL+((RTH-RTL)/(TH-TL))*(Tavg(ts)-TL);
RTavg=inline(rTavg);

```

### 4) Menghitung akar-akar persamaan untuk mengetahui nilai $T_s$

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya pada poin B dan poin C bahwa dalam persamaan dihasilkan masih berupa persamaan baru dengan unsur  $T_s$ . Dengan demikian persamaan tersebut akan disubstitusikan pada persamaan 2.1 sehingga didapat hubungan  $I$  (arus saluran) dengan  $T_s$ . Untuk itu dilakukan proses iterasi dengan menggunakan metode Newton-Raphson yang ditulis dalam program sebagai berikut.

```

—
Ii=(sqrt(((Qc(ts)+Qr(ts))-Qs)/RTavg(ts))-Isaluran;
I=inline(Ii);
dI=diff(I(ts));
DI=inline(dI);
b=1;
ts=180;
iter=0;
    while (b>0.0000001)
        ts2=ts-[I(ts)/DI(ts)];
        toleransi=abs(ts2-ts);
        %toleransi=abs(nfa);
        b=toleransi;
        iter=iter+1;
        ts=ts2;
    end
    if ts>tsmax
        break
    end
—

```

## B. Perhitungan tegangan tarik

Tegangan tarik konduktor berubah dengan perubahan temperatur konduktor. Selain itu ada juga pengaruh kecepatan angin yang berpengaruh pada berat konduktor sebagaimana dijelaskan pada persamaan 2.25. Pengaruh kecepatan angin pada persamaan 2.25 dan pengaruh temperatur terhadap andongan konduktor sebagaimana pada persamaan 2.29 hingga persamaan 2.34 dirumuskan dalam program sebagai berikut.

```

—
t2=ts;
p=(Vw^2)/16;
F2=350*0.02514;

```

```

P=f*d*p*F2;
siw=P/q;
sim=sqrt(w^2+siw^2);
sim1=sim*q;
Az= ((L^2*sim^2*E1)/(24*TAOt1^2))+ (alfa*E1*(t2-t1))- TAOt1;
Bz=(L^2*sim^2*E1)/24 ;
b=1;
te=17;
iter=0;
    while (b>0.000000001)
        nfa=te^3+(Az*(te^2))-Bz;
        ndfa=(3*te^2)+(2*Az*te);
        te2=te-(nfa/ndfa);
        toleransi=abs(te2-te);
        b=toleransi;
        iter=iter+1;
        te=te2;
    end
    TAOt2 = te2 ;
wx=sim*q;
%tegangan tarik horisontal pada temperatur t2 (T0t2)
T0t2(T)=TAOt2(1)*q;
tao1=T0t2(T);
%Tegangan tarik pada temperatur t2
Tt2=T0t2(T)+((L^2*wx^2)/(8*(T0t2(T))));

```

### C. Perhitungan Panjang Konduktor dan Andongan

Panjang konduktor dan andongan sebagaimana dirumuskan persamaan 2.35 dan persamaan 2.36 dituliskan dalam program matlab sebagai berikut.

```

%panjang konduktor pada temperatur t2
Panjangkonduktor = L + ((L^3*wx^2)/(24* ((T0t2(T))^2));
%andongan pada temperatur t2
Dt2=(L^2*wx)/(8*(T0t2(T)));

```

### 3.5.2 Perhitungan Elektris

#### A. Kapasitas Hantar Arus

Pada pemrograman Matlab, kapasitas hantar arus dihitung dengan melakukan *looping* pada program. Yakni dengan menaikkan nilai arus saluran hingga didapat nilai temperatur maksimum yakni 1175°C. Maka ketika itu besar kapasitas hantar arus dapat diketahui. Selain itu juga dapat diketahui besar arus maksimum saat *Emergency temperature* (200°C) dengan cara yang sama. Algoritma yang digunakan pada proses *looping* adalah sebagai berikut.

```

—
for T=1:range
Isaluran=T*rasio;
if ts>tsmax
    break
end
—

```

#### B. Rugi-Rugi Daya Saluran dan Daya Tersalurkan

Rugi-rugi daya dan daya tersalurkan saluran sebagaimana dirumuskan pada persamaan hingga 2.33 dan persamaan 2.44 dirumuskan dengan program berikut.

```

—
Tavg2=ts;
RTavg2=RTL+((RTH-RTL)/(TH-TL))*(Tavg2-TL);
Rtot2=RTavg2*48650;%48650 adalah jarak transmisi
daya= sqrt(3)*150000*Isaluran/1000000;
PL=3*Isaluran^2*Rtot2/1000000;
Ptersalur=daya-PL;
—

```

```
persent=(PL/daya)*100;
```

---

```
—
```

### C. Drop Tegangan

*Drop* tegangan dirumuskan dengan persamaan 2.45 dan 2.46. pada penelitian ini persamaan tersebut ditulis dalam program berikut.

```
—  
vdrop=(vsaluran-((Ptersalur*1000000)/(Isaluran*sqrt(3))));  
Vpersen=(vdrop/vsaluran)*100;
```

---

```
—
```



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini dengan menggunakan simulasi pada *Software Matlab* 7.11.0.584 r2010b. didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Secara mekanis semakin besar arus pada saluran, maka konduktor ACCC/TW Brussels mengalami kenaikan temperatur, penambahan andongan, dan penurunan tegangan tarik.
2. Secara elektrik semakin besar arus saluran, maka konduktor ACCC/TW Brussels mengalami kenaikan rugi-rugi daya dan *drop* tegangan.
3. Secara mekanis konduktor ACCC/TW Brussels mampu memikul beban puncak dan beban N-1 di tahun 2016, namun untuk proyeksi jangka panjang konduktor ACCC/TW Brussels mengalami kenaikan temperatur yang melebihi batas yang diijinkan pada tahun 2019 dengan temperatur naik hingga 208,108°C ketika terjadi N-1.
4. Secara elektrik konduktor ACCC/TW Brussels mampu memikul beban puncak dan beban N-1 di tahun 2016, namun untuk proyeksi jangka panjang konduktor ACCC/TW Brussels mengalami kenaikan *drop* tegangan hingga melebihi batas yang diijinkan pada tahun 2018 dengan besar 10,070% dan mengalami *overload* pada tahun 2019 dengan besar arus sebesar 1639,06A.
5. Pada penelitian ini direkomendasikan pemilihan konduktor ACCC/TW Vienna untuk saluran transmisi 150kV Probolinggo-Lumajang, karena berdasarkan perhitungan menggunakan simulasi Matlab 7.11.0 R2010b konduktor ACCC/TW Vienna mampu memikul beban saluran transmisi 150kV Probolinggo-Lumajang bahkan beban manuver saat terjadi N-1 hingga tahun 2023 dengan rugi-rugi daya konduktor sebesar 50,021 MW, *drop* tegangan sebesar 9,375%, temperatur sebesar 196,588°C, gaya tarik sebesar 27,606 kN, dan jarak bebas vertikal setinggi 9,620 meter.

## 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dengan menggunakan *software* Matlab 7.11.0 R2010b terhadap saluran transmisi 150kV Probolinggo-Lumajang, maka ada beberapa saran yang perlu dijadikan bahan pertimbangan khususnya bagi PLN sebagai pihak penyedia energi listrik negara.

- 1) Pemilihan konduktor ACCC/TW Brussels kurang sesuai untuk digunakan pada saluran transmisi 150kV Probolinggo-Lumajang karena tidak mampu memikul beban-beban manuver saat terjadi N-1 untuk proyeksi jangka panjang.
- 2) Pemilihan konduktor ACCC/TW Vienna lebih direkomendasikan dari pada konduktor ACCC/TW Brussels untuk saluran transmisi 150kV Probolinggo-Lumajang karena secara mekanis dan elektris mampu memikul beban-beban manuver saat terjadi N-1 untuk proyeksi jangka panjang hingga tahun 2023.
- 3) Diperlukan perhitungan pertumbuhan pembebanan transmisi 150 kV Probolinggo-Lumajang yang lebih spesifik untuk memperoleh akurasi prediksi beban puncak jangka panjang yang lebih baik.

**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.

Demonstration of Advanced Conductors for Overhead Transmission Lines. EPRI, Palo Alto, CA:2008. 1017448.

Gorur, R., Mobasher, B., & Olsen, R. (2009). *Characterization of Composite Cores for High Temperatur-Low Sag (HTLS) Conductors*. Power Systems Engineering Research Center.

IEEE Standard for Calculating the Current-Temperatur Relationship of Bare Overhead Conductors. (2012). New York: Institute of Electrical and Electronics.

Kopsidas, K., Rowland, S.M.. (2011). *Evaluating Opportunities for Increasing Power Capacity of Existing Overhead Line System*. Manchester: The University of Manchester.

Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 Tahun 2015

Prasetyono, S. (2007). *Kajian Mekanis Penggunaan Penghantar Termal ACCR Pada SUTET 500kV*. Jember: Universitas Jember.

T.S.Hutauruk. *Transmisi Daya Listrik*. Erlangga. Jakarta. 1999. p.152.