

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERBANDINGAN JENIS KONDUKTOR SALURAN  
TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 kV  
(STUDI KASUS PT. VALE INDONESIA TBK SOROWAKO)**

Disusun oleh :

**MUH. AS'AD FADHAL**

**D041 20 1061**



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****ANALISIS PERBANDINGAN JENIS KONDUKTOR SALURAN  
TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 kV  
(STUDI KASUS PT. VALE INDONESIA TBK SOROWAKO)**

Disusun dan diajukan oleh

**Muh. As'ad Fadhal**  
**D041201061**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 09 September 2024  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,  
Pembimbing Utama,



Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T.

NIP. 197609142008011006

Ketua Program Studi,



Prof. Dr.-Ing. Irfan Arza Samman, ST, MT, IPU, AseanEng, ACPE

NIP. 197506052002121004

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. As'ad Fadhal

NIM : D041201061

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### **ANALISIS PERBANDINGAN JENIS KONDUKTOR SALURAN TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 kV (STUDI KASUS PT. VALE INDONESIA TBK SOROWAKO)**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 09 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Muh. As'ad Fadhal

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWWT, karena atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah serta kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir (Skripsi) yang berjudul **“ANALISIS PERBANDINGAN JENIS KONDUKTOR SALURAN TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 kV (STUDI KASUS PT. VALE INDONESIA TBK SOROWAKO)”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana (S.T) pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Dalam penyusunan laporan hasil penelitian ini, penulis banyak mendapatkan wawasan dan juga pengalaman baru yang berharga terkait dengan bidang studi saya.

Penulis menyadari bahwa banyak selama penyusunan skripsi ini, penulis banyak dihadapi dengan berbagai hambatan, namun berkat adanya bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, sepantasnya penulis dengan hormat mengucapkan terima kasih dan mendoakan semoga Allah Subhanahu wa ta'ala memberikan balasan terbaik kepada:

1. Allah SWT atas berkah dan rahmatNya yang tidak pernah putus kepada penulis.
2. Kedua orang tua (Agustam & Sariati), saudara (Muh. Afwan Ghalib dan Atifah Dian Calysta), dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, motivasi serta dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
3. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal Arya Samman, ST, MT, IPU, AseanEng, ACPE. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan meluangkan waktunya selama proses penyusunan skripsi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik dari awal hingga selesai.

5. Bapak Prof. Dr. Ir. Salama, M.T. dan Ir. Tajuddin Waris, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam perbaikan tugas akhir penulis.
6. Bapak dan Ibu dosen serta staf Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
7. Pak Danto, Pak Ahsar, Pak Sundara, Pak Baso, Pak Mandong, Pak Busayiri dan seluruh staff PT Vale Indonesia Tbk khususnya departemen *Energi & Logistic (E&L) section Transmission Line* yang telah mengizinkan dalam pengambilan data serta membantu dan membimbing dalam proses pengambilan data penulis.
8. Teman – teman angkatan Teknik Elektro 2020 (*Procez20r*) yang senantiasa kebersamai penulis dalam suka dan duka.
9. Keluarga besar laboratorium teknik energi terkhusus LABTE 2024.
10. Rara Pasolang selaku orang terkasih penulis yang senantiasa setia menjadi pendengar atas keluh kesah penulis, tidak pernah bosan memberikan motivasi dan selalu ada membantu dalam proses sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
11. Teman-teman KP & TA PTVI Batch 2 yang kebersamai penulis selama pengambilan data.
12. Dan seluruh pihak-pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat ditulis dan disebutkan namanya satu persatu.

Akhir kata penulis menyadari bahwa tidak ada yang sempurna, penulis masih melakukan kesalahan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis memohon maaf yang sedalam – dalamnya atas kesalahan yang dilakukan oleh penulis. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi pembaca, serta dapat dijadikan referensi demi pengembangan yang lebih baik kedepannya.

Gowa, 09 Oktober 2024

Penulis

## ABSTRAK

**MUH. AS'AD FADHAL.** *Analisis Perbandingan Jenis Konduktor Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV (Studi Kasus PT Vale Indonesia Sorowako)* (dibimbing oleh Ikhlas Kitta)

Listrik telah menopang banyak sekali kebutuhan-kebutuhan manusia dan mempermudah segala aktivitas manusia. Salah satu sektor yang sangat membutuhkan listrik adalah sektor industri pertambangan seperti PT. Vale Indonesia. Sektor industri ini perlu untuk menjaga kualitas penyaluran daya listriknya agar dapat bekerja secara optimal. Salah satu Upaya yang dapat dilakukan PT. Vale Indonesia adalah melakukan penggantian konduktor dengan konduktor yang lebih baik. Dalam penggantian konduktor tentunya kita perlu melakukan perbandingan dengan konduktor lain. Umumnya akan dipilih konduktor dengan kuat hantar arus yang sama dan luas penampang yang sama. Perbandingan pertama yang bisa dilakukan adalah melihat rugi daya yang dihasilkan. ACCC Brussels memiliki rugi daya terendah dibandingkan dengan konduktor lain karena penjumlahan rugi korona dan rugi resistannya adalah yang terendah. Karena rugi daya nya kecil maka efisiensi yang konduktor tergolong tinggi. Untuk jatuh tegangan ACCC Brussels juga merupakan yang terendah karena impedansi saluran yang terkecil. Kemudian untuk nilai andongan terkecil adalah ACCC Copenhagen karena merupakan konduktor yang paling ringan sehingga nilai panjang konduktor terpasangnya adalah yang terpendek. Dalam aspek ekonomis, kerugian daya kWh dalam rupiah terkecil adalah ACCC Brussels karena memiliki efisiensi penyaluran daya yang paling baik. Kemudian untuk biaya pemasangan konduktor termurah adalah AAC Lilac karena harga per-meternya yang paling murah dibandingkan dengan konduktor lain. Untuk secara umum, konduktor yang paling unggul adalah ACCC Brussels. Konduktor tersebut dapat menjadi salah satu pertimbangan PT Vale Indonesia jika akan dilakukan penggantian jenis konduktor. Walaupun biaya pemasangan bukan yang termurah, tetapi untuk jangka panjang masih menjadi pilihan terbaik mengingat jatuh tegangan nya kecil dan efisiensi penyaluran tinggi yang membuat nilai kerugian ekonomis untuk daya terbuang tergolong kecil.

**Kata kunci:** Listrik, konduktor, rugi daya, jatuh tegangan, efisiensi saluran, andongan, nilai ekonomis.

## **ABSTRACT**

**MUH. AS'AD FADHAL.** *Analysis of The Comparison of Conductor Types 150 kV High Voltage Transmission Line (Case Study PT Vale Indonesia Sorowako) (supervised by Ikhlas Kitta)*

*Electricity has supported many human needs and facilitated all human activities. One of the sectors that really needs electricity is the mining industry sector such as PT Vale Indonesia. This industrial sector needs to maintain the quality of its electrical power distribution so that it can work optimally. One of the efforts that PT Vale Indonesia can make is to replace the conductor with a better conductor. In replacing conductors, of course, we need to make comparisons with other conductors. Generally, a conductor with the same current conductivity and the same cross-sectional area will be chosen. The first comparison that can be made is to look at the resulting power loss. ACCC Brussels has the lowest power loss compared to other conductors because the sum of corona loss and resistance loss is the lowest. Because the power loss is small, the efficiency of the conductor is high. For voltage drop ACCC Brussels is also the lowest due to the smallest line impedance. Then for the smallest sag value is ACCC Copenhagen because it is the lightest conductor so that the value of the length of the installed conductor is the shortest. In the economic aspect, the smallest kWh power loss in rupiah is ACCC Brussels because it has the best power delivery efficiency. Then for the cost of installing the cheapest conductor is AAC Lilac because its per-meter price is the cheapest compared to other conductors. In general, the most superior conductor is ACCC Brussels. This conductor can be one of PT Vale Indonesia's considerations when replacing the type of conductor. Although the installation cost is not the cheapest, but for the long term it is still the best choice considering its small voltage drop and high distribution efficiency which makes the economic loss value for wasted power relatively small.*

**Keywords:** *Electricity, conductor, power loss, voltage drop, line efficiency, sag, economic value.*

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR PERSAMAAN</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2 Analisis Aliran Daya .....	6
2.3 Saluran Transmisi .....	7
2.4 Kawat Penghantar Saluran Transmisi .....	10
2.5 Rugi Daya Resistansi .....	13
2.6 Rugi Korona .....	14
2.7 Jatuh Tegangan .....	16
2.8 Regulasi Tegangan .....	17
2.9 Andongan Konduktor .....	17
2.10 Penelitian Terdahulu .....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	25
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	25
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	25

3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	25
3.4 Metode Analisis Data.....	26
3.5 Diagram Alur Penelitian .....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
4.1 Gambaran Umum Perusahaan.....	28
4.2 Profil Perusahaan .....	28
4.3 Gambaran Umum Penelitian.....	31
4.4 Data Konduktor dan Saluran Transmisi PT. Vale Indonesia .....	32
4.5 Impedansi Saluran.....	38
4.6 Perhitungan Saluran Hiperbolik.....	41
4.8 Efisiensi Saluran .....	105
4.9 Andongan Konduktor.....	119
4.10 Analisis Ekonomis .....	131
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>138</b>
5.1. Kesimpulan .....	138
5.2. Saran.....	139
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>140</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>142</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Tegangan tinggi yang berlaku di Indonesia .....	9
Tabel 2 State Of The Art.....	21
Tabel 3 Kuat Hantar Arus Sama .....	33
Tabel 4 Luas Penampang Sama .....	33
Tabel 5 Data Panjang Saluran .....	34
Tabel 6 Data Ujung Penerima Pada Line 1.....	34
Tabel 7 Data Ujung Penerima Pada Line 2.....	35
Tabel 8 Data Ujung Penerima Pada Line 3.....	36
Tabel 9 Data Ujung Penerima Pada Line 4.....	37
Tabel 10 Nilai Resistansi disetiap Penghantar .....	39
Tabel 11 nilai GMR Konduktor .....	40
Tabel 12 nilai Induktansi Konduktor .....	40
Tabel 13 nilai Kapasitansi Konduktor .....	40
Tabel 14 nilai Impedansi Konduktor .....	40
Tabel 15 Rugi Resistansi Line 1 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	42
Tabel 16 Rugi Resistansi Line 2 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	43
Tabel 17 Rugi Resistansi Line 3 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	45
Tabel 18 Rugi Resistansi Line 4 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	46
Tabel 19 Rugi Resistansi Line 1 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	67
Tabel 20 Rugi Resistansi Line 2 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	68
Tabel 21 Rugi Resistansi Line 3 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	70
Tabel 22 Rugi Resistansi Line 4 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	71
Tabel 23 Rugi Korona Line 1 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	90
Tabel 24 Rugi Korona Line 2 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	91
Tabel 25 Rugi Korona Line 3 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	93
Tabel 26 Rugi Korona Line 4 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	94
Tabel 27 Rugi Korona Line 1 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	98
Tabel 28 Rugi Korona Line 2 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	99
Tabel 29 Rugi Korona Line 3 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	101
Tabel 30 Rugi Korona Line 4 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	102
Tabel 31 Jatuh Tegangan Line 1 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	51
Tabel 32 Jatuh Tegangan Line 2 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	52
Tabel 33 Jatuh Tegangan Line 3 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	54
Tabel 34 Jatuh Tegangan Line 4 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	55
Tabel 35 Jatuh Tegangan Line 1 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	75
Tabel 36 Jatuh Tegangan Line 2 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	76
Tabel 37 Jatuh Tegangan Line 3 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	78
Tabel 38 Jatuh Tegangan Line 4 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	79
Tabel 39 Regulasi Tegangan Line 1 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	59
Tabel 40 Regulasi Tegangan Line 2 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	60
Tabel 41 Regulasi Tegangan Line 3 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	62
Tabel 42 Regulasi Tegangan Line 4 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	62
Tabel 43 Regulasi Tegangan Line 1 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	83

Tabel 44 Regulasi Tegangan Line 2 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	84
Tabel 45 Regulasi Tegangan Line 3 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	86
Tabel 46 Regulasi Tegangan Line 4 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	87
Tabel 47 Efisiensi Saluran ACSRN Tern Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	106
Tabel 48 Efisiensi Saluran AAC Lilac Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	107
Tabel 49 Efisiensi Saluran Acar 853,7 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	108
Tabel 50 Efisiensi Saluran ACCC Copenhagen Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	108
Tabel 51 Efisiensi Saluran ACCC Brussels Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	109
Tabel 52 Efisiensi Saluran AAC Arbutus Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	110
Tabel 53 Efisiensi Saluran AAAC 800 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	111
Tabel 54 Efisiensi Saluran ACSRN Tern Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	113
Tabel 55 Efisiensi Saluran AAC Lilac Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	113
Tabel 56 Efisiensi Saluran Acar 853,7 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	114
Tabel 57 Efisiensi Saluran ACCC Copenhagen Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	115
Tabel 58 Efisiensi Saluran ACCC Brussels Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	116
Tabel 59 Efisiensi Saluran AAC Arbutus Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	117
Tabel 60 Efisiensi Saluran AAAC 800 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	117
Tabel 61 Data Andongan Konduktor .....	119
Tabel 62 Perhitungan Andongan Tiap Konduktor Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	124
Tabel 63 Perhitungan Andongan Tiap Konduktor Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	127
Tabel 64 Kerugian ACSR Tern 795.....	132
Tabel 65 Kerugian AAC Lilac .....	132
Tabel 66 Kerugian ACAR 853,7.....	133
Tabel 67 Kerugian ACCC Copenhagen.....	133
Tabel 68 Kerugian ACCC Brussels .....	133
Tabel 69 Kerugian AAC Arbutus .....	133
Tabel 70 Kerugian AAAC 800 .....	134
Tabel 71 Kerugian ACSR Tern 795.....	134
Tabel 72 Kerugian AAC Lilac .....	134
Tabel 73 Kerugian ACAR 853,7.....	135
Tabel 74 Kerugian ACCC Copenhagen.....	135
Tabel 75 Kerugian ACCC Brussels .....	135
Tabel 76 Kerugian AAC Arbutus .....	135
Tabel 77 Kerugian AAAC 800 .....	136
Tabel 78 Harga Konduktor/Meter.....	136
Tabel 79 Harga Pemasangan Konduktor Suhu 20 Derajat Celcius.....	136
Tabel 80 Harga Pemasangan Konduktor Suhu 75 Derajat Celcius.....	137

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Segitiga Daya .....	6
Gambar 2 Diagram Satu Garis Saluran Transmisi Radial .....	7
Gambar 3 Diagram Satu Garis Saluran Transmisi Sistem Ring .....	8
Gambar 4 Diagram Satu Garis Saluran Transmisi Sistem Interkoneksi .....	8
Gambar 5 Jenis-Jenis Kawat Penghantar .....	11
Gambar 6 Nilai GMD dan GMR Pada Tower Sirkuit Ganda Yang Di Transposisikan ...	12
Gambar 7 Korona Saluran Transmisi.....	14
Gambar 8 Andongan Vertikal .....	18
Gambar 9 Andongan Horizontal .....	20
Gambar 10 Diagram Alir Penelitian .....	27
Gambar 11 Logo Perusahaan PT. Vale Indonesia Tbk .....	28
Gambar 12 Persentase Pemegang Saham PTVI .....	30
Gambar 13 Struktur Organisasi PT Vale Indonesia Tbk .....	30
Gambar 14 Sistem Kelistrikan PTVI .....	31
Gambar 15 Tower .....	38
Gambar 16 Rugi Resistansi Line 1 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	48
Gambar 17 Rugi Resistansi Line 2 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	48
Gambar 18 Rugi Resistansi Line 3 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	48
Gambar 19 Rugi Resistansi Line 4 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	48
Gambar 20 Rugi Resistansi Line 1 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	73
Gambar 21 Rugi Resistansi Line 2 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	73
Gambar 22 Rugi Resistansi Line 3 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	73
Gambar 23 Rugi Resistansi Line 4 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	73
Gambar 24 Rugi Korona Line 1 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	96
Gambar 25 Rugi Korona Line 2 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	96
Gambar 26 Rugi Korona Line 3 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	96
Gambar 27 Rugi Korona Line 4 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius .....	97
Gambar 28 Rugi Korona Line 1 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	104
Gambar 29 Rugi Korona Line 2 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	104
Gambar 30 Rugi Korona Line 3 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	104
Gambar 31 Rugi Korona Line 4 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius .....	105
Gambar 32 Jatuh Tegangan Line 1 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	57
Gambar 33 Jatuh Tegangan Line 2 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	57
Gambar 34 Jatuh Tegangan Line 3 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	57
Gambar 35 Jatuh Tegangan Line 4 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	58
Gambar 36 Jatuh Tegangan Line 1 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	81
Gambar 37 Jatuh Tegangan Line 2 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	81
Gambar 38 Jatuh Tegangan Line 3 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	81
Gambar 39 Jatuh Tegangan Line 4 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	82
Gambar 40 Efisiensi Saluran Line 1 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	112
Gambar 41 Efisiensi Saluran Line 2 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	112
Gambar 42 Efisiensi Saluran Line 3 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	112
Gambar 43 Efisiensi Saluran Line 4 Suhu 20 <sup>0</sup> Celcius.....	112
Gambar 44 Efisiensi Saluran Line 1 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	118
Gambar 45 Efisiensi Saluran Line 2 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	119
Gambar 46 Efisiensi Saluran Line 3 Suhu 75 <sup>0</sup> Celcius.....	119

Gambar 47 Efisiensi Saluran Line 4 Suhu $75^{\circ}$ Celcius.....	119
Gambar 48 Andongan Vertikal.....	121
Gambar 49 Andongan Vertikal Tower 2-3.....	131
Gambar 50 Andongan Horizontal Tower 37-38 dan 75-76.....	131

**DAFTAR PERSAMAAN**

Persamaan (1).....	11
Persamaan (2).....	11
Persamaan (3).....	12
Persamaan (4).....	12
Persamaan (5).....	12
Persamaan (6).....	12
Persamaan (7).....	12
Persamaan (8).....	12
Persamaan (9).....	12
Persamaan (10).....	12
Persamaan (11).....	12
Persamaan (12).....	13
Persamaan (13).....	13
Persamaan (14).....	13
Persamaan (15).....	13
Persamaan (16).....	13
Persamaan (17).....	13
Persamaan (18).....	13
Persamaan (19).....	14
Persamaan (20).....	15
Persamaan (21).....	15
Persamaan (22).....	15
Persamaan (23).....	16
Persamaan (24).....	16
Persamaan (25).....	16
Persamaan (26).....	16
Persamaan (27).....	17
Persamaan (28).....	18
Persamaan (29).....	18
Persamaan (30).....	18
Persamaan (31).....	18
Persamaan (32).....	19
Persamaan (33).....	19
Persamaan (34).....	19
Persamaan (35).....	19
Persamaan (36).....	19
Persamaan (37).....	19
Persamaan (38).....	19
Persamaan (39).....	19
Persamaan (40).....	19
Persamaan (41).....	19
Persamaan (42).....	19
Persamaan (43).....	20
Persamaan (44).....	20
Persamaan (45).....	20

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Nilai Kerugian Saluran Transmisi ACSR TERN 795 .....	142
Lampiran 2 Nilai Kerugian AAC Lilac.....	142
Lampiran 3 Nilai Kerugian Acar 853,7 .....	143
Lampiran 4 Nilai Kerugian ACCC Copenhagen .....	144
Lampiran 5 Nilai Kerugian ACCC Brussles.....	145
Lampiran 6 Nilai Kerugian AAC Arbutus.....	145
Lampiran 7 Nilai Kerugian AAAC 800.....	146

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Dalam kehidupan modern seperti saat ini, kemajuan teknologi begitu pesat. Energi listrik berperan sangat penting dalam menopang kemajuan teknologi tersebut. Setiap bidang kehidupan sekarang ini tergantung dengan ketersediaan energi listrik. Karena setiap bidang pada era modern ini bergantung pada energi listrik maka perlunya menjamin agar penyaluran energi listrik dari utilitas listrik ke konsumen terlasur dengan baik. Keandalan dari sistem tenaga listrik yang dimiliki oleh utilitas listrik sangat menentukan tingkat kepuasan konsumen terhadap pemasokan energi listrik tersebut. Utilitas listrik harus menjamin daya yang dibangkitkan dapat tersalurkan seefisien mungkin sampai ke konsumen. Untuk mencapai hal tersebut utilitas listrik perlu selalu mengevaluasi kualitas sistem penyaluran daya listrik dari pembangkitan hingga ke konsumen.

Dalam sebuah sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri atas empat unsur, yakni pembangkit, transmisi, distribusi dan beban. Energi listrik yang dibangkitkan di pusat tenaga listrik harus disalurkan atau ditransmisikan ke pusat-pusat pemakai melalui kawat (saluran). Dalam suatu sistem yang cukup besar, tegangan keluaran dari generator umumnya harus dinaikkan terlebih dahulu menjadi tegangan tinggi maupun ekstra tinggi. Menaikkan nilai tegangan bertujuan memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang terjadi mengingat proses transmisi merupakan penyaluran energi listrik yang memiliki jarak yang jauh (Purnomo, 2016).

Seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa energi listrik berperan penting dalam kemajuan teknologi. Kemajuan teknologi ini juga yang membantu mendorong perekonomian Indonesia. Banyak sektor yang terlibat dalam hal tersebut yang dimana salah satu sektor yang terlibat adalah industri pertambangan. Industri pertambangan kini tengah berkembang pesat akibat kebijakan pemerintah Indonesia dalam mendorong hilirisasi terutama pada produk tambang mineral seperti nikel. Banyak sekali industri pertambangan yang tengah berkembang pesat akibat dorongan hilirisasi dari pemerintah salah satunya adalah PT Vale Indonesia. Sebagai salah satu perusahaan tambang nikel terbesar didunia PT Vale Indonesia

berkomitmen untuk menerapkan praktik-praktik terbaik berkaitan dengan tata kelola perusahaan, baik dalam skala nasional maupun internasional. PT Vale Indonesia juga ikut mendukung pelaksanaan transisi energi menuju energi hijau.

PT Vale Indonesia dalam menjalankan seluruh operasional perusahaan tentunya membutuhkan energi listrik. Tahapan operasi seperti eksplorasi, penambangan, pengolahan, pemurnian hingga produksi nikel yang siap digunakan dalam berbagai industri memerlukan energi listrik dalam prosesnya. Maka dari itu PT Vale Indonesia melalui departemen *Energy & Logistic* perlu menjaga kualitas penyaluran daya listrik dari pembangkit listrik yang dimiliki sampai ke komponen-komponen operasional yang membutuhkan. Tentunya salah satu proses yang perlu diperhatikan adalah pada tahap penyaluran yakni proses transmisi daya listrik. Perusahaan perlu terus mengevaluasi dan melakukan maintenance pada proses transmisi daya listrik tersebut.

Perusahaan PT. Vale Indonesia Tbk itu sendiri memiliki sistem transmisi pada level tegangan 150 kV. Sistem transmisi ini menghubungkan 3 gardu induk yakni gardu induk larona dan gardu induk balambano pada sisi pengirim dan gardu induk thermal pada sisi penerima. Pada saluran transmisi tersebut terdapat 4 line yang menghubungkan gardu induk tersebut. Dimana, 2 line berasal dari gardu induk larona dan 2 line lainnya berasal dari gardu induk balambano yang kemudian 4 line tersebut menuju ke gardu induk Thermal. Untuk jenis penghantar yang digunakan pada keempat line tersebut adalah ACSR Tern 795. Panjang saluran transmisi pada line 1 dan 2 berkisar 30 km dan untuk line 3 dan line 4 memiliki panjang sekitar 20 km. Indikator dari saluran transmisi inilah salah satu hal penting yang mempengaruhi rugi daya dan jatuh tegangan.

Tentunya dalam proses transmisi ini salah satu yang berperan penting adalah penghantar yang digunakan. Pemilihan penghantar memberi pengaruh pada rugi daya dan jatuh tegangan saluran transmisi. Dalam upaya meningkatkan nilai efisiensi dari saluran transmisi kita dapat melakukan penggantian jenis penghantar yang digunakan pada saluran transmisi. 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. Maka untuk itu penelitian ini digunakan untuk melihat efek penggantian konduktor terhadap rugi daya dan jatuh tegangan saluran transmisi (Ajiatmo, 2023).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan aspek listrik pada setiap konduktor dalam SUTT PT. Vale Indonesia Tbk?
2. Bagaimana perbandingan aspek mekanis dalam hal ini andongan konduktor pada SUTT PT. Vale Indonesia Tbk pada setiap jenis konduktor?
3. Bagaimana perbandingan aspek ekonomis pada SUTT PT Vale Indonesia Tbk pada setiap jenis konduktor?

## **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis dan melakukan perbandingan dari aspek listrik pada setiap konduktor pada SUTT PT. Vale Indonesia Tbk.
2. Menghitung dan melakukan perbandingan besar andongan pada setiap konduktor pada SUTT PT. Vale Indonesia Tbk.
3. Menghitung dan melakukan perbandingan mengenai nilai ekonomis untuk setiap konduktor pada SUTT PT. Vale Indonesia Tbk.

#### **1.4 Manfaat**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini akan membantu untuk mengetahui perbandingan dari aspek elektrik pada setiap jenis konduktor.
2. Dapat mengetahui tentang nilai aspek mekanis dalam hal ini besar andongan pada setiap konduktor
3. Mengetahui nilai perbandingan aspek ekonomis untuk setiap jenis konduktor pada saluran transmisi PT. Vale Indonesia.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah penelitian ini meliputi hal-hal sebagai berikut.

1. Penelitian ini terfokus pada sistem saluran transmisi 150 kV PT Vale Indonesia.
2. Penelitian ini mempertimbangkan kondisi saluran transmisi PT Vale Indonesia sebelum dan sesudah penggantian konduktor.
3. Penelitian berfokus pada analisis aspek elektrik, mekanis dan ekonomis untuk setiap konduktor.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik**

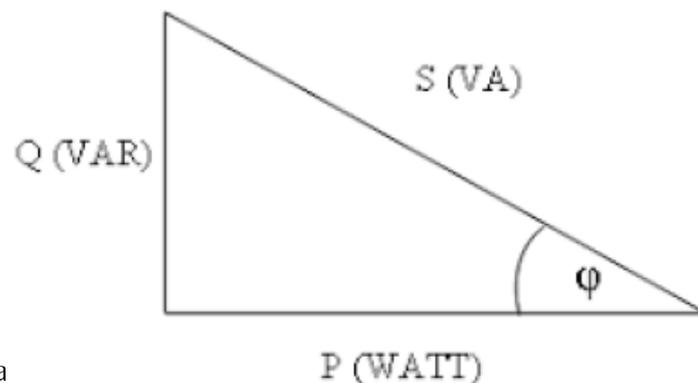
Dalam sistem tenaga listrik secara umum terdiri dari empat unsur penting, yakni pembangkit, transmisi, distribusi dan beban. Pembangkit listrik terdiri atas berbagai jenis pusat tenaga listrik, berbagai pusat listrik tersebut merupakan tempat dibangkitkannya energi listrik pertama kali, dimana pada pusat listrik tersebut terdapat turbin yang merupakan penggerak mula (*prime mover*) dan generator yang membangkitkan listrik. Umumnya, pusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Pada gardu induk, terdapat peralatan utama antara lain seperti transformer yang memiliki fungsi untuk menaikkan nilai tegangan keluaran dari generator untuk kebutuhan transmisi tegangan tinggi, kemudian terdapat juga peralatan pengaman dan pengatur listrik yang dibangkitkan di pusat tenaga listrik harus di salurkan atau ditransmisikan ke pusat-pusat pemakai melalui konduktor (saluran). Pada suatu sistem yang cukup besar, tegangan yang keluar dari generator harus dinaikkan lebih dahulu dari tegangan menengah menjadi tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi. Penyaluran energi listrik melalui jarak jauh dilakukan dengan menaikkan tegangan guna memperkecil kerugian yang terjadi, berupa rugi –rugi daya (Amir & Winarno, 2020).

Ada dua kategori saluran transmisi yaitu saluran udara (*Overhead lines*) dan saluran kabel tanah (*Underground Cable*). Yang pertama menyalurkan tenaga listrik melalui kawat yang digantung pada menara atau tiang transmisi dengan perantara isolator, sedangkan kategori kedua menyalurkan tenaga listrik melalui kabel yang ditanam dibawah permukaan tanah. Kedua cara penyaluran diatas mempunyai untung ruginya sendiri-sendiri. Dibandingkan dengan saluran udara, saluran bawah tanah tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, topan, hujan, angin, bahaya petir dan sebagainya. Saluran bawah tanah dipandang lebih estetik karena tidak mengganggu pemandangan sehingga dengan alasan ini saluran bawah tanah lebih disukai terutama untuk daerah yang padat penduduknya dan kota – kota besar. Akan tetapi biaya pembangunannya jauh lebih mahal di bandingkan dengan pembangunan

saluran udara dan perbaikannya lebih sukar apabila terjadi gangguan hubung singkat dan kesukaran – kesukaran lain (Rifal dkk., 2019).

## 2.2 Analisis Aliran Daya

Analisis Aliran Daya Untuk menghitung dan mengetahui besar kecilnya *losses* dan *drop voltage*, penyediaan daya reaktif dan kemampuan sistem dalam memenuhi pertumbuhan beban yaitu dengan cara menggunakan analisis aliran daya untuk mendapatkan hasil berupa besar sudut fasa tegangan pada setiap saluran (bus), daya nyata dan daya reaktif yang ada pada setiap saluran. Pada sistem tenaga listrik terdapat tiga jenis daya, yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S). ketiga daya tersebut dinyatakan dalam segitiga daya (Handayani dkk., 2019).



Dari segitiga da

$$S = V \times I$$

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

$$Q = V \times I \times \sin\phi$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA)

P = Daya Aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (Var)

I = Arus

V = Tegangan

$\cos\phi$  = Faktor Daya Aktif

$\sin\phi$  = Faktor Daya Reaktif

## 2.3 Saluran Transmisi

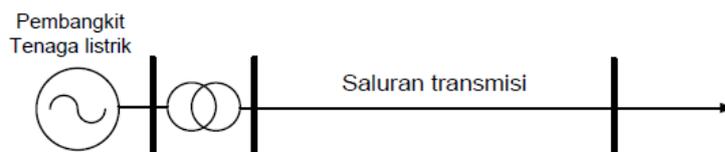
Saluran transmisi tenaga listrik berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit tenaga listrik ke pusat beban. Dalam konstruksi saluran transmisi udara (Over Head Lines) peralatan-peralatan yang digunakan terdapat bermacam-macam, dan tiap peralatan tersebut mempunyai fungsi berlainan yang menunjang terlaksananya fungsi dari saluran transmisi, sehingga saluran tersebut dapat bekerja dengan baik. Peralatan-peralatan yang penting pada saluran transmisi udara antara lain (Ajiatmo, 2023).

- a. Kawat Penghantar
- b. Isolator Gantung
- c. Menara Transmisi
- d. Peralatan Pembantu Kawat Penghantar

Saluran transmisi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi beberapa hal, antara lain: Sistem hubungan saluran, sistem tegangan saluran, jenis arus yang melalui saluran dan letak saluran.

### 2.3.1 Saluran transmisi sistem radial

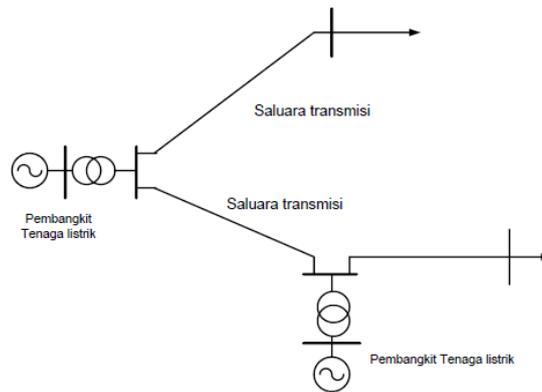
Sistem radial adalah sistem yang menghubungkan pembangkit tenaga listrik dengan gardu induk dan kemudian ke saluran distribusinya.



Gambar 2 Diagram Satu Garis Saluran Transmisi Radial

### 2.3.2 Saluran Transmisi Sistem Ring

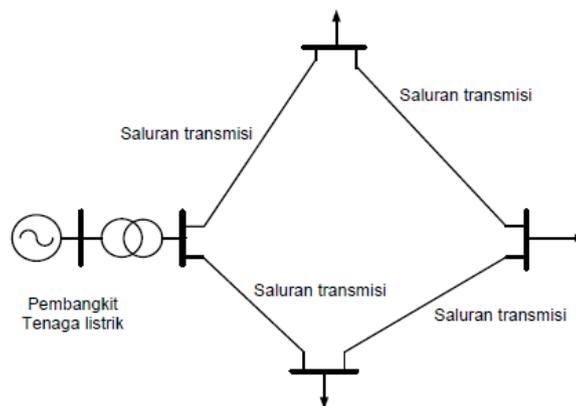
Sistem ring adalah suatu sistem dimana beberapa gardu induk saling dihubungkan sehingga merupakan rangkaian tertutup, dan sumber tenaga listriknya dari satu pusat pembangkit tenaga listrik (Aziz & Nurdin, 2019).



Gambar 3 Diagram Satu Garis Saluran Transmisi Sistem Ring

### 2.3.3 Saluran Transmisi Sistem Interkoneksi

Saluran transmisi sistem interkoneksi adalah suatu sistem dimana lebih dari satu pusat pembangkit tenaga listrik dihubungkan melalui saluran transmisi. Dalam sistem interkoneksi pusat pembangkit tenaga listrik (PPTL) harus lebih dari satu dan saling dihubungkan, yang akan memberi daya pada beberapa gardu induk.



Gambar 4 Diagram Satu Garis Saluran Transmisi Sistem Interkoneksi

### 2.3.4 Klasifikasi Saluran Transmisi

Berdasarkan konstruksinya, saluran transmisi dibedakan atas saluran udara (*overhead lines*) dan saluran bawah tanah (*underground cable*). Saluran udara menyalurkan energi listrik melalui penghantar yang digantungkan pada menara atau tiang transmisi dengan perantaraan isolator, sedang saluran bawah tanah menyalurkan energi listrik melalui kabel-kabel yang ditanam di bawah permukaan tanah. Kedua jenis saluran transmisi itu masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Dibandingkan dengan saluran udara, saluran bawah tanah tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, taufan. Hujan deras, angin kencang, petir, dan gangguan alam lainnya. Selain itu saluran bawah tanah lebih estetik karena tidak

mengganggu pemandangan, sehingga tampak lebih rapi. Karena alasan-alasan ini saluran bawah tanah lebih disukai terutama untuk daerah yang padat penduduknya seperti daerah perkotaan. Akan tetapi dari segi investasi saluran bawah tanah lebih besar dibandingkan dengan saluran udara. Selain itu perbaikannya lebih sukar jika terjadi gangguan hubung singkat, kabel putus, dan lain-lain (Ajiatmo, 2023).

Berdasarkan jenis arus yang digunakan, saluran transmisi dibedakan atas saluran transmisi arus bolak-balik (AC: *alternating current*) dan saluran transmisi arus searah (DC: *direct current*). Dalam sistem AC, kenaikan dan penurunan tegangan transmisi dapat mudah dilakukan yaitu dengan menggunakan transformator. Karena alasan inilah sehingga dewasa ini saluran transmisi di dunia sebagian besar menggunakan saluran transmisi bolak-balik (AC). Dalam sistem transmisi AC ada yang menggunakan satu fase dan tiga fase (Ajiatmo, 2023).

### 2.3.5 Tegangan Saluran Transmisi

Untuk daya yang sama, jika tegangan transmisi ditinggikan maka rugi-rugi transmisi dapat diperkecil sehingga efisiensi transmisi akan naik. Akan tetapi peninggian tegangan transmisi berarti juga kenaikan isolasi dan biaya peralatan dan gardu induk. Oleh karena itu pemilihan tegangan dilakukan dengan memperhitungkan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jenis penyaluran, keandalan (*reliability*), biaya peralatan untuk tegangan tertentu, serta tegangan-tegangan yang sekarang ada dan yang direncanakan. Kecuali itu, penentuan tegangan merupakan bagian dari perancangan sistem secara keseluruhan (Octary dkk., 2020).

Tabel 1 Tegangan tinggi yang berlaku di Indonesia

Tegangan Nominal (kV)	Tegangan Tertinggi Untuk Peralatan (kV)
30	36
66	72,5
150	170
220	245
380	420
500	525

(Octary, dkk., 2019)

## 2.4 Kawat Penghantar Saluran Transmisi

Kawat penghantar adalah komponen yang memegang peranan penting dalam menyalurkan tenaga listrik dari satu tempat ke tempat yang lain. Pada saluran transmisi udara biasanya kawat penghantar yang digunakan adalah kawat penghantar telanjang (*bare wire*). Bahan-bahan untuk membuat kawat penghantar adalah tembaga, aluminium atau campuran logam-logam diatas dengan logam jenis lain. Dalam memilih kawat penghantar yang digunakan untuk saluran transmisi harus dipertimbangkan beberapa faktor antara lain (Purnomo, 2016):

- a. Konduktor harus mempunyai konduktivitas listrik yang cukup baik
- b. Cukup kuat menahan gaya-gaya mekanis
- c. Harganya harus cukup murah

### 2.4.1 Jenis Kawat Penghantar

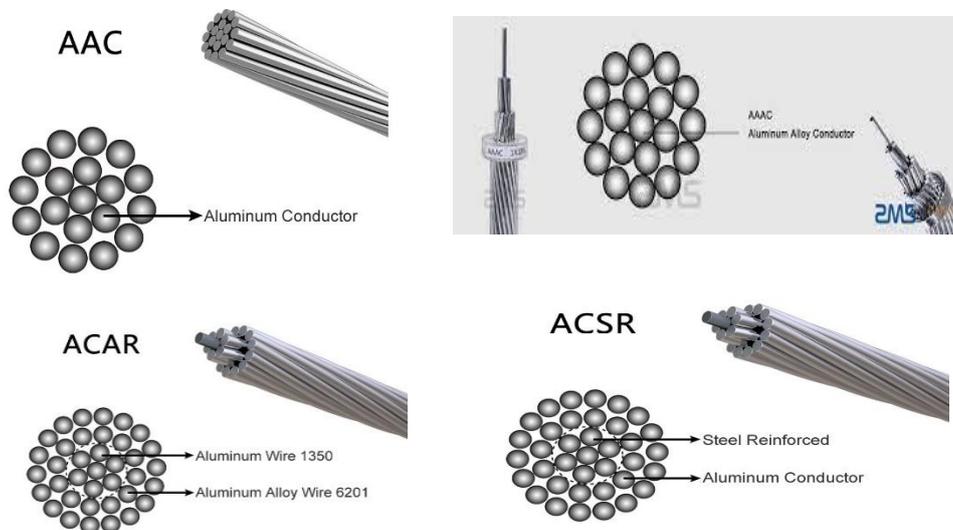
Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5 % ( Cu 97,5%), dan aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan leumpang sebagai berikut (Setiawan, dkk., 2017):

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

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Akan tetapi kelemahannya ialah untuk besar hambatan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium dan juga lebih mahal.

Untuk memperbesar kuat tarik kawat aluminium digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi,

dimana jarak antar menara sangat jauh, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.



Gambar 5 Jenis-Jenis Kawat Penghantar

#### 2.4.2 Konstanta Kawat Penghantar

Impedansi ( $Z$ ) terdiri dari resistansi ( $R$ ) dan reaktansi ( $X$ ), impedansi merupakan parameter utama pada saluran transmisi. Impedansi merupakan suatu besaran kompleks yang terdiri dari besaran ril (resistansi) dan besaran imajiner (reaktansi). Penulisan impedansi kompleks yang menunjukkan besaran ril dan imajiner disebut dengan penulisan rectangular, impedansi saluran suatu sistem tenaga listrik dari resistansi dan reaktansi saluran diformulasikan sebagai persamaan (Octary dkk., 2020):

$$Z = R + jX \quad (1)$$

Keterangan :

$Z$  = Impedansi Saluran (Ohm)

$R$  = Tahanan Saluran (Ohm)

$X$  = Reaktansi Saluran (Ohm)

Nilai tahanan pada saluran ditentukan oleh resistivitas konduktor ( $\rho$ ), panjang saluran ( $l$ ), dan luas penampang konduktor ( $A$ ). Dapat ditunjukkan seperti persamaan dibawah ini:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

Resistansi Saluran yang dipengaruhi oleh temperature lingkungan saat dialiri beban menggunakan rumus:

$$R_2 = R_1 [ 1 + a(T_2 - T_1) ] \quad (3)$$

Dimana:

$R_2$  = Resistansi saat suhu n derajat

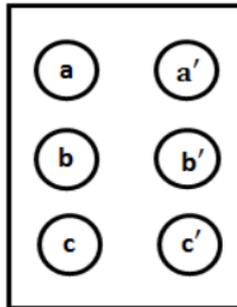
$R_1$  = Resistansi AC saat suhu lingkungan ( $20^{\circ}$ )

$a$  = Koefisien Suhu Alumunium

$T_2$  = Suhu lingkungan saat waktu tertentu

$T_1$  = Suhu standar lingkungan ( $20^{\circ}$ )

Untuk mencari nilai Impedansi dan Kapasitansi untuk menghitung nilai reaktansi saluran didapatkan dengan menghitung nilai GMD dan GMR Saluran. Untuk Saluran PT. Vale Indonesia sendiri merupakan saluran sirkuit ganda transposisi, untuk mencari nilai GMD dan GMR pada tower sirkuit ganda yang ditransposisikan dapat dilihat pada persamaan berikut (Stevenson, 1984).



Gambar 6 Nilai GMD dan GMR Pada Tower Sirkuit Ganda Yang Di Transposisikan

Untuk mencari nilai GMD (Geometric Mean Distance) adalah sebagai berikut.

Terlebih dahulu mencari nilai GMD antar fasa.

$$Dab = \sqrt[4]{Dab \times Dab' \times Da'b' \times Da'b} \quad (4)$$

$$Dbc = \sqrt[4]{Dbc \times Dbc' \times Db'c' \times Db'c} \quad (5)$$

$$Dca = \sqrt[4]{Dca \times Dca' \times Dc'a' \times Dc'a} \quad (6)$$

Kemudian didapatkan nilai GMD Ekuivalen dari saluran transmisi.

$$Deq = \sqrt[3]{Dab \times Dbc \times Dca} \quad (7)$$

Kemudian untuk mencari nilai dari GMR (Geometric Mean Radius), terlebih dahulu mencari nilai GMR masing-masing fasa menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Posisi } a - a' = \sqrt{\text{Jarak } a - a' \times GMR} \quad (8)$$

$$\text{Posisi } b - b' = \sqrt{\text{Jarak } b - b' \times GMR} \quad (9)$$

$$\text{Posisi } c - c' = \sqrt{\text{Jarak } c - c' \times GMR} \quad (10)$$

Kemudian didapatkan nilai GMR Ekuivalen dari saluran transmisi.

$$Ds = \sqrt{GMR \ a - a' \times GMR \ b - b' \times GMR \ c - c'} \quad (11)$$

Kemudian mencari nilai induktansi dari saluran transmisi dengan persamaan :

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \quad (12)$$

$$XL = 2\pi fL \quad (13)$$

Kemudian kita dapat mencari nilai kapasitansi saluran transmisi dengan persamaan:

$$r = \frac{\text{Outside Diameter}}{2 \times 12} \quad (14)$$

$$D_c = \sqrt[6]{r \times (\text{Posisi } aa' \times \text{Posisi } bb' \times \text{Posisi } cc')} \quad (15)$$

$$C_n = \frac{2\pi \times 8,85 \times 10^{-12}}{\ln\left(\frac{D_{eq}}{D_c}\right)} \quad (16)$$

$$B_c = 2\pi f c \quad (17)$$

## 2.5 Rugi Daya Resistansi

Mengurangi rugi daya dan memperbaiki profil tegangan merupakan salah satu cara untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan. Rugi daya merupakan daya yang dibangkitkan oleh sumber energi listrik (pembangkit) tetapi tidak dapat digunakan atau bisa dikatakan daya tersebut hilang, hilangnya daya tersebut dapat merugikan bagi penyedia energi listrik (PLN) karena daya yang hilang tersebut tidak terbayarkan (Ariangga dkk., 2021).

Rugi daya atau susut daya listrik adalah daya hilang dalam proses penyaluran dari sumber daya listrik utama sampai ke suatu beban. Pada saat penyaluran energi listrik sering terjadi kerugian daya relatif tinggi, hal tersebut diakibatkan oleh komponen-komponen pada saluran penghantar itu sendiri. Rugi-rugi daya terjadi karena adanya daya hilang pada saluran dapat mempengaruhi kualitas daya pada sisi penerima, kerugian daya besar dapat mengakibatkan kerugian finansial pada perusahaan pengelola listrik (Ariangga dkk., 2021).

Nilai rugi-rugi daya pada saluran transmisi tiga fasa dapat diketahui menggunakan persamaan :

$$P_{losses} = 3 \cdot I^2 R \quad (18)$$

Dimana :

$P_{losses}$  = Rugi-rugi daya (watt)

$I$  = Arus yang disalurkan (ampere)

$R$  = Tahanan Saluran (Ohm/meter)

Untuk mencari presentase kerugian daya pada saluran transmisi dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$\%Rugi - rugi\ daya = \frac{PS - PR}{PR} \times 100\% \quad (19)$$

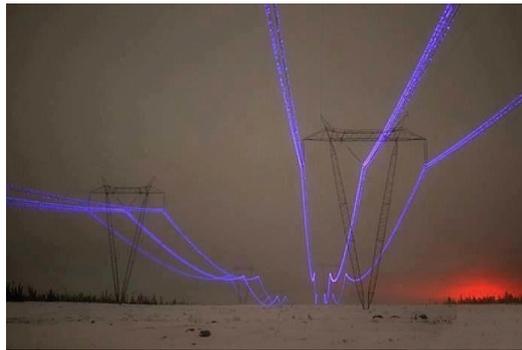
Dimana :

PS = Daya Kirim

PR = Daya Diterima

## 2.6 Rugi Korona

Korona adalah sebuah lucutan parsial dan berlangsung pada permukaan konduktor jaringan transmisi ketika tekanan listrik, yaitu intensitas listrik tersimpan (atau permukaan gradien potensial), sebuah konduktor melebihi kuat jatuh tegangan udara sekitarnya. Seperti dalam sebuah medan nonuniform berbagai manifestasi visual dari ionisasi lokal yang terbatas dan proses penguatan dapat dilihat. Gangguan lokal ini (korona atau lucutan parsial) dapat berupa sebuah transien (tidak bertahan sendiri) atau sifat steady state (bertahan sendiri) (Syahbana, 2019).



Gambar 7 Korona Saluran Transmisi

Bila dua kawat sejajar yang penampangnya kecil (dibandingkan dengan jarak dua elektroda tersebut) diberi tegangan bolak-balik maka terjadi fenomena korona. Pada tegangan yang cukup rendah fenomena korona tidak akan terjadi bila tegangan dinaikan, maka peristiwa korona akan terjadi secara bertahap. Pertama-tama pada kawat penghantar kelihatan bercahaya yang berwarna ungu muda, mengeluarkan suara berdesis (*hissing*) dan berbau ozon. Jika tegangan dinaikkan terus, maka karakteristik diatas akan terlihat semakin jelas, terutama pada bagian yang kasar, runcing atau kotor serta cahaya bertambah besar dan terang. Bila tegangan masih terus dinaikkan akan terjadi busur api. Korona akan mengeluarkan panas, hal ini dapat dibuktikan dengan melakukan pengukuran dengan menggunakan *wattmeter* (Prayoga dkk., 2022).

Korona terjadi karena adanya ionisasi dalam udara, yaitu adanya kehilangan electron dari molekul udara. Oleh karena lepasnya electron dan ion, maka apabila disekitarnya terdapat medan listrik, maka electron-elektron bebas ini mengalami gaya yang mempercepat gerakannya, sehingga terjadilah tabrakan dengan molekul lain. Akibatnya adalah timbul ion-ion dan elektron-elektron baru. Proses ini berjalan terus-menerus dan jumlah electron dan ion bebas menjadi berlipat ganda bila gradient tegangan cukup besar: peristiwa ini disebut korona. Untuk mencari nilai rugi korona dapat dilihat pada persamaan (Prayoga dkk., 2022):

$$P = \frac{A}{\delta} (f + 25) r^2 (E_g - m \delta E'_{go}) 10^{-2} \quad (20)$$

Dimana :

$E'_{go}$  = 21,1 kV/cm Gradien tegangan permukaan kawat

$A$  = 0,448 untuk kawat padat dan 0,375 untuk kawat lilit

$m$  =  $m_o \times m_1$  (Dimana  $m_o$  bernilai 83 yang merupakan faktor permukaan kawat untuk kawat lilitan, kemudian  $m_1$  faktor udara, untuk udara baik 1,0 dan untuk hujan 0,8)

$\delta$  = Kerapatan udara relatif

$E_g$  = Gradien tegangan pada permukaan kawat untuk saluran transmisi 3 fasa

$r$  = Jari-jari penghantar

Kemudian menghitung kerapatan udara relative dapat digunakan persamaan:

$$\delta = \frac{0,386b}{272 + t} \quad (21)$$

Dimana :

$b$  = Tekanan Udara

$t$  = Suhu Udara

Kemudian menghitung gradien tegangan digunakan persamaan berikut:

$$E_g = \frac{0,4343 \times E}{r \log_{10} \left( \frac{D}{r} \right)} \quad (22)$$

Dimana :

$E$  = Tegangan Fasa

$r$  = Jari-jari

$D$  = Jarak ekivalen antar kawat

## 2.7 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan (*Voltage Collapse*) adalah fenomena yang mungkin terjadi dalam sistem tenaga listrik dengan beban yang sangat besar. Hal ini dapat terjadi dalam bentuk urutan kejadian bersamaan dengan ketidakstabilan tegangan yang dapat menyebabkan pemadaman (*black out*) atau level tegangan berada di jauh di bawah standar dari yang ditetapkan. Karena sifat nonlinear dari jaringan listrik, sebagai fenomena yang berkaitan dengan sistem tenaga, maka diperlukan teknik nonlinear untuk menganalisa *voltage collapse* dan menemukan solusi untuk menghindari runtuhnya tegangan tersebut. Persamaan menghitung besarnya jatuh tegangan (Rifal dkk., 2019) :

$$\Delta V = \sqrt{3} I L (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (23)$$

Dimana :

$\Delta V$  = Jatuh Tegangan (Volt)

$I$  = Arus Beban (Ampere)

$R$  = Tahanan (Ohm/Km)

$X$  = Reaktansi (Ohm/Km)

$L$  = Jarak (Km)

Presentase (%) Jatuh Tegangan :

$$\Delta V(\%) = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \% \quad (24)$$

Dimana:

$\Delta V(\%)$  = Jatuh Tegangan dalam %

$V_s$  = Tegangan Kirim (Volt)

$V_r$  = Tegangan Terima (Volt)

Kerugian disebabkan energi yang disalurkan dari pembangkit sampai ke beban memiliki selisih daya yang diterima tidak sebesar daya yang dikirim, sehingga energi yang dikirim tidak terjual semua. oleh karena itu pemasok energi listrik mengakibatkan kerugian. Berikut persamaan perhitungan (Rifal dkk., 2019):

$$E = p \times t \quad (25)$$

$$\text{Biaya Listrik} = \left( \frac{E}{1000} \right) \times TTL \quad (26)$$

Keterangan :

$E$  = Energi Listrik (watt/jam)

$p$  = Daya alat Listrik (watt)

t = Lama Pemakaian (jam)  
 TTL = Tarif tenaga listrik (Rp)

## 2.8 Regulasi Tegangan

Regulasi tegangan adalah ukuran yang menggambarkan seberapa besar perubahan tegangan di antara kondisi tanpa beban dan berbeban pada saluran transmisi. Secara umum, regulasi tegangan menyatakan perubahan tegangan sebagai persentase dari tegangan di kondisi berbeban (Rifal dkk., 2019).

$$\text{Regulasi Tegangan} = \frac{V \text{ No Load} - V \text{ Load}}{V \text{ Load}} \times 100\% \quad (27)$$

Dimana:

V No Load adalah tegangan di sisi sumber ketika saluran tidak berbeban (tegangan tanpa beban).

V Load adalah tegangan di sisi sumber ketika saluran berbeban (tegangan berbeban).

## 2.9 Andongan Konduktor

Andongan (*sag*) adalah jarak proyeksi yang diukur dari tinggi menara saluran transmisi terhadap jarak lingkungan penghantar yang terendah. Hal ini terjadi karena beratnya penghantar yang direntangkan antara dua tiang transmisi. Karena kondisi permukaan tanah yang tidak rata akan menyebabkan tiang menara mempunyai perbedaan tinggi antara satu dengan yang lainnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi andongan pada suatu rentang kawat penghantar antar menara dalam saluran udara adalah sebagai berikut: Berat kawat per satuan panjang, Modulus elastisitas, Koefisien perubahan panjang, *Ultimate strength*, Diameter kawat, Jarak antara dua menara (*span*), Kondisi lingkungan sekitar yang mungkin berpengaruh, misalnya angin, es, debu dan suhu (Naomi dkk., 2022).

Wilayah dengan topografi permukaan yang tidak rata memiliki menara transmisi yang tidak sama tinggi, sehingga kawat yang dibentangkan pada menara tidak akan sama tinggi. Andongan tak simetris ini terjadi karena posisi tiang penyangga saluran transmisi terletak tidak di daerah mandatar, dalam arti saluran transmisi melintasi beberapa wilayah, seperti melintasi daerah rawa, melintasi perbukitan, melintasi sungai, dan melintasi lembah yang bersungai. Umumnya



D = Andongan Sama Tinggi (m)

H = Selisih ketinggian antara dua tower (m)

Lalu kita dapat mencari nilai X1 yang merupakan jarak dari tiang terendah ke titik O, dan X2 yang merupakan jarak dari tiang tertinggi ke titik O.

$$X1 = \frac{T h}{w l} - \frac{l}{2} \quad (32)$$

$$X2 = \frac{T h}{w l} + \frac{l}{2} \quad (33)$$

Kemudian kita dapat mencari nilai X yang merupakan jarak dari titik O ke titik P (Simetris).

$$X = \frac{l}{2} + X1 \quad (34)$$

Lalu kita dapat mencari nilai Smid, yang merupakan jarak ketinggian antara titik O dan titik P.

$$S_{mid} = \frac{w x^2}{2T} \quad (35)$$

Kemudian untuk mencari h1, h2, A ke P, B ke P, A ke B digunakan rumus:

$$h1 = \text{Tinggi Tower 1} - S1 \quad (36)$$

$$h2 = S_{mid} + h1 \quad (37)$$

$$A \text{ to } P = X - X1 \quad (38)$$

$$B \text{ to } P = X2 - X \quad (39)$$

$$A \text{ to } B = \sqrt{H^2 + l^2} \quad (40)$$

Kemudian untuk mencari nilai andongan simetris dari saluran, digunakan rumus berikut.

$$S_{simetris} = \frac{w x AB^2}{8T} \quad (41)$$

Untuk menghitung panjang sebenarnya dari konduktor digunakan persamaan berikut.

$$L = l \left( 1 + \frac{1}{24} \left( \frac{wl^2}{T} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{h}{s} \right)^2 \right) \quad (42)$$

## 2.9.2 Andongan Horizontal

Andongan horizontal adalah keadaan dimana beda ketinggian antara kedua tower tidak signifikan. Ditandai dengan titik O (Andongan Horizontal) masih berada diantara kedua tower. Untuk gambar dari keadaan Andongan Horizontal dapat dilihat pada gambar berikut (Ihsan dkk., 2017).



## 2.10 Penelitian Terdahulu

Tabel 2 State Of The Art

No.	Penulis	Judul Penelitian	Metode yang Digunakan	Hasil yang Dicapai
1.	Septian Ardhana, Koesardhinata, Aris Heri, Andriawan, Gatut Budiono, Izzah Aula Wardah, Balok Hariadi, Ratna Hartayu, dan Santoso (2023)	Analisa Rugi-Rugi Daya pada Jaringan Transmisi 150 KV Gardu Induk Waru Bay Sidoarjo	Metode observasi lapangan dan menggunakan alat software ETAP 12.6	Hasil perhitungan manual rugi-rugi daya pada beban puncak menunjukkan hasil bahwa nilai losses terjadi cukup besar sebesar 0.372 MW. Kemudian nilai kehilangan daya terkecil 0.151 MW. Total kerugian daya saluran transmisi sebesar 163,128 MW dan total rata-rata losses perhari sebesar 7.414 MWh. Sedangkan hasil simulasi rugi-rugi daya saluran transmisi kehilangan daya terbesar yaitu 0.062 MW. Kemudian nilai kehilangan daya terkecil sebesar 0.025 MW. Total kerugian daya saluran transmisi sebesar 27 MW dan total rata-rata perhari sebesar 1.227 MWh. Selisih antara perhitungan manual memiliki presentase sebesar 6.04 %. Selisih nilai ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti kondisi lapangan yang tidak selalu stabil dan normal.
2.	Catra Indra Cahyadi, Kurniaty Atmia, dan Ayu Fitriani (2022)	Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Transmisi 150 kV Menggunakan Software Etap 12.6	Metode observasi lapangan dan menggunakan alat software ETAP 12.6	Rugi- rugi energi paling tinggi terjalin pada sore hari pada 30 desember 2017 sebesar 0, 998 MW pada pembebanan 15% terjalin pada GI langsa ke GI pangkalan brandan. sebaliknya pada pembebanan 50% rugi- rugi daya sangat besar sebesar 0, 7175 MW terjalin pada GI langsa ke GI panton labu. Puncak rugi- rugi energi paling tinggi terjalin pada malam hari ialah pada 30 desember 2017 sebesar 0, 84 MW buat pembebanan 15% yang terjalin pada GI langsa ke GI panton labu. Sebaliknya pada pembebanan 50% rugi- rugi daya sangat besar 0, 9452 MW terjalin pada GI langsa ke GI tualang cut. Rugi- rugi energi paling tinggi terjalin sore hari serta malam hari ialah di 30 desember 2017 sebesar 1. 148 MW terjalin pada GI langsa ke GI pangkalan Brandan. Sebaliknya rugi- rugi daya terendah 0, 635 MW terjalin di GI langsa ke GI tualang cut.

3.	Syarifah Luluk Dalila, Mansur Gapy, dan Ramdhan Halid Siregar (2022)	Analisa Rugi - Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Dari Gardu Induk PLN Bireun Ke Gardu Induk PLN Banda Aceh	Metode observasi dan simulasi software <i>Power World</i> .	Rugi – rugi besar yang terjadi paling besar adalah rugi daya pada GI Bireun – GI Sigli yaitu sebesar 8.357 MW. Rugi – rugi yang terjadi paling kecil adalah rugi daya pada saluran transmisi GI Sigli – GI Banda Aceh yaitu sebesar 2.232 MW, dan Persentase drop tegangan saluran transmisi 150 KV dari GI Bireun – GI Banda Aceh berdasarkan hasil perhitungan didapatkan pada GI Bireun – GI Sigli adalah sebesar 7.060276586% dari rugi daya sebesar 16.714 MW yang berasal dari daya aliran pada bus sebesar 22.641 MW dan pada GI Sigli – GI Banda Aceh adalah sebesar 11.39859792% dari rugi daya sebesar 4.464 MW yang berasal dari daya aliran pada bus sebesar 22.641 MW. Dengan demikian, rugi daya yang terjadi pada GI Bireun – GI Banda Aceh masih dalam keadaan yang tidak efisien
4.	Rahmad Yusuf Desprianto, Suprihadi Prasetyono, dan Dedy Kurnia Setiawan (2017)	Studi Perencanaan Upgrade Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Perak-Ujung Menggunakan Konduktor HTLS (High Temperature-Low Sag)	Dengan metode penggantian konduktor dan perhitungan menggunakan perangkat lunak MATLAB	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. Dan 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.	Robby Choirul Huda, Muhammad Haddin, dan Gunawan (2022)	Perbaikan Jatuh Tegangan dengan Upgrading Konduktor pada Feeder PWI 03 GI 150/20 KV	Metode kuantitatif yaitu dengan observasi lapangan dan menganalisis menggunakan alat software ETAP Power Station 12.6.0	Analisis perbaikan dilakukan dengan penggantian konduktor berdiameter lebih besar untuk memperkecil nilai jatuh tegangan yang terjadi. Setelah dilakukan perhitungan manual, nilai jatuh tegangan sebesar 0,82% dan hasil simulasi menggunakan ETAP 12.6 pada feeder 52.PWI.F03.Z02.S01.SE01 menjadi 0.30% dan perbaikan ini mampu memperbaiki kondisi overload pada PWI.F03.Z02.S01.SE01 dan undervoltage pada setiap bus.

6.	Hernawan Sujatmiko (2009)	Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 Kv Di P.T. Pln (Persero) Penyaluran & Pusat Pengaturan Beban (P3b) Jawa Bali Regional Jawa Tengah & Diy Unit Pelayanan Transmisi Semarang	Metode analisis deskriptif persentase	Kerugian daya pada penghantarnya untuk saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV Ungaran – Pedan masih sangat kecil sehingga tidak perlu adanya penggantian atau perbaikan alat dan bahan pada saluran tersebut. Kerugian daya terbesar adalah terjadi pada hari Rabu, 15 Agustus jam 18.00 sebesar 6.179.710,62 Watt dan kerugian daya terkecil adalah terjadi pada hari Rabu, 15 Agustus 2007 jam 07.00 sebesar 2.756.777,168 Watt. Hal ini banyak dipengaruhi oleh arus, panjang saluran dan resistan penghantarnya.
7.	Wellington Octary, Hamzah Eteruddin, dan Abrar Tanjung (2020)	Susut Tegangan pada Penghantar ACCC di Saluran Transmisi 150 kV di PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru	Dengan observasi langsung dan diskusi terbuka	Banyak susut tegangan rugi-rugi daya dan andongan dari penghantar ACCC sebesar 5,098 kV kerugian daya sebesar 479,187 kW dan nilai andongan sebesar 6,950 m, dan akan dibandingkan dengan penghantar lama yaitu tipe ACSR sebesar 7,517 kV kerugian daya sebesar 828,863 dan nilai andongan sebesar 9,010 m disaluran transmisi 150 kV di PT. PLN Persero Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru.
8.	Mochammad Azizurrohan, dan Wira Fadlun (2019)	Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 Kv Gardu Induk Batang – Gardu Induk Pekalongan Dengan Jenis Konduktor Accc Lisbon	metode nominal $\pi$	Rugi-rugi daya terjadi karena beberapa faktor antara lain faktor korona, kebocoran isolator dan jenis atau konduktor yang dipakai untuk mentransmisikan energi listrik sehingga mengakibatkan tegangan juga mengalami penurunan atau biasa disebut dengan drop tegangan, untuk mengurangi kerugian daya yang begitu besar kemudian perhitungan menggunakan metode nominal $\pi$ dapat digunakan untuk mencari nilai rugi-rugi daya tegangan, arus dan daya. Susut tegangan perkilometer untuk konduktor ACSR sebesar 31,81 V, ACCC Lisbon sebesar 8,70 V dan untuk ACCC 1000 sebesar 2,16 V dan susut daya perkilometer untuk konduktor ACSR sebesar 12,86 MW, untuk jenis ACCC Lisbon sebesar 9,61 MW dan untuk ACCC 1000 sebesar 3,11 MW.

9.	Oktaria Handayani, Tasdik Darmana, dan Christine Widyastuti (2019)	Analisis Perbandingan Efisiensi Penyaluran Listrik Antara Penghantar ACSR dan ACCC pada Sistem Transmisi 150kV	Metode observasi lapangan dan metode kualitatif menggunakan rumus-rumus yang sesuai	Hasil perhitungan rugi daya total (watt) pada transmisi 150 kV Tebing Tinggi – Kuala Tanjung sebelum pengerjaan rekonduktoring menunjukkan nilai 4.788.669 dan efisiensi saluran sebesar 95,24% dan setelah rekonduktoring menunjukkan nilai 3.879.530 dan efisiensi saluran menjadi 96,59%. Dengan mengganti konduktor jenis ACSR ke konduktor jenis ACCC, mampu menurunkan rugi – rugi daya dan meningkatkan efisiensi sebesar 1,35%.
10.	Rohmanita Duanaputri, Ahmad Hermawana, dan Zulvina Arifaha (2022)	Analisis Aliran Daya Reconductoring Saluran Transmisi Paiton Kraksaan - Probolinggo 150 kV Terhadap Saluran Yang Terimbas	Metode open circuit dan simulasi menggunakan software ETAP	Setelah dilakukan recondutoring pada saluran transmisi Paiton-Kraksaan-Probolinggo 150 kV terjadi kenaikan %loading yang cukup signifikan pada saluran PROBOLINGGO_GDWETAN1 dan PROBOLINGGO_GDWETAN2 yang masing-masing mencapai 67,314% dan 67,606%. Dan Setelah dilakukan recondutoring nilai kapabilitas transfer daya pada saluran Paiton-Kraksaan-Probolinggo meningkat, dimana pada saluran PAITON_KRAKSAAN1 dan PAITON_KRAKSAAN2 meningkat menjadi 136 MW dimana sebelumnya 72,086 MW, pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO1 meningkat menjadi 164,12 MW dimana sebelumnya 96,172 MW, dan pada saluran KRAKSAAN_PROBOLINGGO2 meningkat menjadi 153,13MW dimana sebelumnya 89,669 MW