

TUGAS AKHIR
ANALISA EFEK KORONA TERHADAP RUGI – RUGI DAYA PADA
SALURAN TRANSMISI 275 KV GI PANGKALAN
SUSU – GI BINJAI

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas – Tugas Dan Syarat-Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Pada Fakultas Teknik Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

DEA FARADIKA AZRI
1907220136P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Dea Faradika Azri
NPM : 1907220136P
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Efek Korona terhadap Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi 275 kV GI Pangkalan Susu – GI Binjai
Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 14 Oktober 2022

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing

Noorly Evalina, S.T., M.T.

Dosen Pembanding I

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

Dosen Pembanding II

Partaon Harahap, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Dea Faradika Azri
Tempat/Tanggal Lahir : Tebing Tinggi / 22 Juli 2022
NPM : 1907220136P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

“Analisa Efek Korona terhadap Rugi-rugi Daya pada Saluran Transmisi 275 kV GI Pangkalan Susu – GI Binjai”

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

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

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

Medan, 14 Oktober 2022

Yang menyatakan



1000
METERAI
TEMPER
76E.88AKX133248876

Dea Faradika Azri

ABSTRAK

Fenomena korona adalah suatu permasalahan yang perlu untuk diperhatikan dalam sistem transmisi daya listrik dengan tingkatan tegangan yang lebih tinggi. Karena dampak korona, selain merusak peralatan, berisik, dan mengganggu gelombang radio, korona juga menimbulkan rugi-rugi daya yang besarnya berbanding lurus dengan panjang saluran transmisi. Tujuan tugas akhir ini adalah menghitung rugi-rugi daya korona pada saluran transmisi 275 kV yang menghubungkan gardu induk Pangkalan Susu dengan gardu induk Binjai. Metode yang digunakan untuk menghitung rugi-rugi daya korona adalah metode Formula's Peek. Dimana hasil akhir didapatkan bahwa nilai rugi-rugi daya korona pada saluran transmisi 275 kV G.I Pangkalan Susu – G.I Binjai bervariasi selama satu tahun dengan nilai rata-rata rugi-rugi korona perbulannya adalah sebesar 0,2265007157 kW. Nilai efisiensi saluran transmisi apabila ditinjau dari rugi-rugi korona sebesar 99,88674964%. Nilai rugi-rugi korona yang memengaruhi hanya sebesar 0,11325036% dari daya yang disalurkan pada saluran transmisi Gardu Induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai.

Kata Kunci : Rugi-Rugi Daya Korona, Saluran Transmisi 275 kV, Gardu Induk

ABSTRACT

The corona phenomenon is a problem that needs to be considered in electrical power transmission systems with higher voltage levels. Due to the impact of corona, in addition to damaging equipment, making noise, and disturbing radio waves, corona also causes power losses that are directly proportional to the length of the transmission line. The purpose of this final project is to calculate corona power losses on a 275 kV transmission line that connects the Pangkalan Susu substation with the Binjai substation. The method used to calculate corona power losses is the Formula's Peek method. Where the final result is that the value of corona power losses on the 275 kV transmission line G.I Pangkalan Susu - G.I Binjai varies for one year with an average monthly corona loss of 0.2265007157 kW. The value of the efficiency of the transmission line when viewed from the corona losses is 99.88674964%. The value of corona losses that affect only 0.11325036% of the power transmitted to the transmission line of the Pangkalan Susu Substation to the Binjai Substation.

Keywords: *Corona Power Loss, 275 kV Transmission Line, Substation*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang berjudul “**ANALISA EFEK KORONA TERHADAP RUGI – RUGI DAYA PADA SALURAN TRANSMISI 275 KV GI PANGKALAN SUSU – GI BINJAI**” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Kedua orang tua Penulis, Papa Suhepinal Azwan,S.T, Ibunda Sri Wahyuni,A.Md, yang telah memberikan dukungan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk penulis demi selesainya Tugas Akhir ini.
3. Adik-adik Penulis Raihan Dika Azri, Farisa Dika Azri, Mhd. Kafi Andika Azri yang selalu memotivasi Penulis agar segera menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
8. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd, selaku Sekretaris Program Studi Teknik

Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

10. Ibu Noorly Evalina, S.T., M.T, selaku Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan Penulis hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
11. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu keteknik listrikan kepada Penulis.
12. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
13. Seluruh Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro stambuk 19 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam Penulisan tugas akhir ini, hal ini Penulis menyadari karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki Penulis. Oleh karena itu, saran dan masukan yang membangun sangat diharapkan untuk menyempurnakan skripsi ini. Besar harapan Penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi Penulis dan bagi orang lain pada umumnya.

Medan, 14 Oktober 2022

Penulis

Dea Faradika Azri

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Sistem Tenaga Listrik	6
2.2.2 Sistem Transmisi	8
2.2.3. Korona	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.1.1 Tempat Penelitian	30
3.1.2 Waktu Penelitian	30
3.2 Metode Penelitian	30
3.3 Teknik Analisa Data	32
3.4. Diagram Alir Penelitian	33
3.5. Lokasi Saluran Transmisi	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Data Parameter Saluran Transmisi GI Binjai – GI Pangkalan Susu ...	35
4.2 Data Klimatologi	36
4.3 Rata-rata Rugi-rugi Korona SUTET 275 kV Gardu Induk Pangkalan	

Susu – Gardu Induk Binjai.....	50
4.4. Efisiensi Saluran Transmisi dilihat dari Rugi-rugi Daya Korona....	53
BAB 5 PENUTUP	54
5.1. Kesimpulan	54
5.2. Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi	10
Gambar 2.3 Saluran Kabel Bawah Tanah	10
Gambar 2.4 Menara Transmisi 500 kV	12
Gambar 2.5 Menara Transmisi 150 kV	13
Gambar 2.6 Lattice Tower	16
Gambar 2.7 Tubular Steel Pole	16
Gambar 2.8 Concrete Pole	17
Gambar 2.9 Wooden Pole	17
Gambar 2.10 Proses Terjadi Korona pada Saluran Udara Tegangan Tinggi...	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2 One Line Diagram Gardu Induk Pangkalan Susu 275 kV	32
Gambar 4.1 Kurva Faktor Kerapatan Udara pada Saluran Transmisi Gardu Induk Pangkalan Susu – Binjai tahun 2021	42
Gambar 4.2 Grafik Rugi-Rugi Korona pada Saluran Transmisi 275 kV Gardu Induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai	49
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Rugi-Rugi Daya Korona terhadap Faktor Kerapatan Udara Wilayah Pangkalan Susu	51

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Parameter Saluran Transmisi Binjai – Pangkalan Susu	35
Tabel 4.2 Data Klimatologi Kabupaten Langkat dalam angka 2022 Wilayah Pangkalan Susu.....	36
Tabel 4.3 Faktor Kerapatan Udara Wilayah Pangkalan Susu Tahun 2021	41
Table 4.4 Tegangan Krisis Disruptif dan Rugi-rugi Korona Total pada Saluran Transmisi G.I Pangkalan Susu menuju G.I Binjai Tahun 2021	48
Tabel 4.5 Data Klimatologi Besar Curah Hujan Daerah Pangkalan Susu dan Rugi-Rugi Daya Korona Saluran Transmisi 275 kV Gardu Induk Pangkalan Susu – Gardu Induk Binjai Tahun 2022	52

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem transmisi merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (Power Plant) hingga saluran distribusi listrik (substation distribution) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik. Standar tegangan pada sistem transmisi di Indonesia diklasifikasikan sebagai tegangan ekstra tinggi (TET) yaitu dengan nilai tegangan 275 kV dan 500 kV dan tegangan tinggi (TT) dengan nilai tegangan 70 kV dan 150 kV. Tujuan tegangan dinaikkan agar dapat meminimalisir rugi – rugi daya dan drop tegangan karena penyaluran pasti melalui jalur yang panjang, semakin panjang jalur saluran maka akan semakin berpengaruh pada rugi – rugi daya jika tegangan tidak dinaikkan. (Rudolfus, dkk, 2019)

Sistem yang menyediakan energi listrik adalah sistem tenaga listrik. Dimana dalam sistem tenaga listrik terdiri dari 3 sub sistem, yaitu sub sistem pembangkitan, sub sistem transmisi, dan sub sistem distribusi. Sub sistem transmisi memiliki peran yang sangat penting dalam proses penyaluran energi listrik dari sub sistem pembangkitan menuju sub sistem distribusi.

Pada saluran udara tegangan ekstra tinggi 275 kV, salah satu penyebab terjadinya kerusakan tenaga listrik adalah munculnya efek korona. Masalah korona merupakan suatu masalah yang sudah harus diperhitungkan. Korona dapat didefinisikan sebagai suatu peristiwa pelepasan muatan listrik (elektron) yang diemisikan dari permukaan sebuah kawat penghantar atau konduktor yang disebabkan karena besarnya kuat medan atau gradien tegangan pada permukaan kawat penghantar melebihi dari kuat medan tembus udara Korona ditandai dengan timbulnya cahaya yang berwarna violet muda di sekitar permukaan kawat penghantar yang disertai dengan suara mendesis dan berbau ozon. Fenomena korona ini menyebabkan adanya rugi-rugi daya pada saluran transmisi. Rugi-rugi daya akibat korona tersebut dapat dipengaruhi oleh: luas penampang kawat penghantar, jarak antara kawat penghantar, keadaan permukaan kawat penghantar dan kondisi cuaca. Untuk mereduksi rugi-rugi daya akibat korona, dapat dilakukan

dengan memperbesar jarak antara kawat penghantar, memperbesar luas penampang kawat penghantar dan transposisi jaringan transmisi. (Novi & Dewi, 2014)

Pada kondisi hujan, saluran transmisi akan mengalami rugi – rugi daya korona jauh lebih banyak dibandingkan pada kondisi cerah. Pada sistem transmisi saluran udara tak lepas dari gangguan. Kerusakan pada sistem tenaga listrik dapat disebabkan oleh gangguan internal berupa korona, maupun gangguan eksternal berupa surja tegangan lebih.

Rugi-rugi daya akibat korona ini sangatlah merugikan pihak penyedia energi listrik maupun dari pihak konsumen. Oleh sebab itu, tugas akhir ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis efek korona terhadap rugi – rugi daya pada saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 275 KV.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis akan melakukan penelitian dengan judul ANALISA EFEK KORONA TERHADAP RUGI – RUGI DAYA PADA SALURAN TRANSMISI 275 KV GI PANGKALAN SUSU – GI BINJAI.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan diatas adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Berapa besar rugi – rugi daya korona pada saluran transmisi 275 kV yang menghubungkan Gardu Induk Pangkalan Susu – Gardu Induk Binjai?
2. Bagaimana pengaruh korona terhadap rugi – rugi daya?

1.3 Ruang Lingkup

Agar suatu pembahasan tidak menyimpang dari tujuannya maka diperlukan adanya pembatasan ruang lingkup masalah pada suatu pokok persoalan. Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Perhitungan besarnya rugi – rugi daya korona dilakukan pada saluran transmisi 275 kV yang menghubungkan Gardu Induk Pangkalan Susu – Gardu Induk Binjai dengan menggunakan satu sample konfigurasi saluran yang berada di wilayah Kota Binjai saja.
2. Pembahasan pada tugas akhir ini hanya membahas saluran transmisi jarak

pendek dengan tegangan 275 kV.

3. Pembahasan pada tugas akhir ini hanya membahas tentang berapa besar temperature udara, tekanan udara, faktor kerapatan udara, tegangan krisis diruptif dan rugi – rugi daya korona serta efisiensi saluran transmisi.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menghitung besarnya rugi – rugi daya korona pada saluran transmisi 275 kV yang menghubungkan Gardu Induk Pangkalan Susu – Gardu Induk Binjai.
2. Untuk Menganalisa pengaruh korona terhadap rugi – rugi daya.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan wawasan dan pengetahuan kepada pembaca tentang efek korona terhadap rugi – rugi daya.
2. Dapat digunakan sebagai referensi untuk mengerjakan penelitian tentang pengaruh korona terhadap rugi-rugi daya pada sistem saluran udara tegangan tinggi.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memahami lebih jelas penelitian ini, maka materi – materi yang tertera pada skripsi ini dikelompokkan menjadi beberapa sub bab dengan sistematika penyampaian sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini merupakan langkah awal dari penulisan yang berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan penjelasan teori yang menguraikan pendapat dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan penjelasan metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi. Pada metode penelitian skripsi juga wajib terdapat teknik penelitian. Teknik penelitian memiliki beberapa jenis yaitu dapat dilakukan dengan angket (kuesioner), observasi, wawancara, dokumentasi dan lain – lain.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian, pembahasan, perhitungan serta analisis hasil penelitian.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari penulis yang berkaitan dengan analisa dan optimalisasi sistem berdasarkan yang telah diuraikan pada bab – bab sebelumnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti di bidang teknik elektro, yaitu :

Menurut (Massarang dkk, 2019), dalam penelitiannya yang berjudul “Efek Korona pada Saluran Transmisi Gardu Induk Tello Sulawesi Selatan” jika nilai tegangan permukaan suatu konduktor lebih besar dari nilai tegangan permukaan kritis suatu konduktor maka efek korona akan terjadi sehingga akan mempengaruhi besarnya nilai rugi – rugi daya korona yang akan terjadi pada saluran transmisi tersebut. Jika diameter suatu konduktor semakin kecil maka efek korona akan semakin cepat terjadi sehingga akan mempengaruhi suatu besarnya nilai rugi – rugi daya korona yang akan terjadi pada saluran transmisi tersebut.

Menurut (Novi dan Dewi, 2014) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisa Pengaruh Akibat Korona terhadap Rugi – rugi Daya Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV (G.I. Lubuk Alung – G.I. P.I.P. – G.I. Pauh Limo)” umumnya korona terjadi pada saluran udara tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi dimana terdapat terdapat perbedaan tegangan antara masing – masing fasa dan juga antara fasa dengan tanah. Pada saat cuaca cerah nilai tegangan disruptif kritis semakin besar dan rugi – rugi daya akibat korona yang terjadi di permukaan saluran penghantar semakin kecil sedangkan keadaan sebaliknya terjadi pada saat hujan. semakin besar rugi – rugi daya akibat korona dan rugi – rugi daya tahanan pada saluran penghantar, mengakibatkan semakin besar pula rugi – rugi daya total saluran penghantar.

(L.M. Dirgantara dkk, 2018), dengan penelitiannya yang berjudul ”Perhitungan Besar Rugi – rugi Daya Korona pada Sistem Saluran Transmisi 275 kV GI Mambong Malaysia – GI Bengkayang Indonesia” Dalam analisisnya didapatkan hasil dari perhitungan berdasar data yang telah didapatkannya selama melakukan penelitian. Dari grafik hubungan antara rugi -rugi daya korona SUTET 275 kV Mambong – Bengkayang terhadap rata – rata perbulan faktor kerapatan udara wilayah bengayang, maka dapat diketahui nilai rugi – rugi daya korona mempunyai hubungan

keterbalikan dengan nilai faktor kerapatan udara. Kurva hubungan kerapatan udara dengan peningkatan nilai rugi – rugi daya korona selama setahun tersebut tidak dapat membuktikan lebih jauh tentang formula Peek's yang menyebutkan bahwa nilai rugi – rugi korona akan semakin besar pada saat cuaca yang lembab karena data – data tekanan udara dan suhu tidak dapat membuktikan kelembaban udara daerah tersebut. Maka penulis berasumsi bahwa mungkin ada hubungan antara peningkatan rugi – rugi korona yang terjadi pada saluran transmisi 275 kV GI Mambong – GI Bengkayang dengan jumlah curah hujan yang ada pada wilayah saluran tersebut.

Menurut Rusdi Syahbana, Rugi-rugi daya akibat korona dapat dipengaruhi oleh luas penampang kawat penghantar, jarak antara kawat penghantar, keadaan permukaan kawat penghantar dan kondisi cuaca. Adapun cara mengatasi rugi korona yaitu dengan membuat bundle atau disatukannya penghantar dalam satu ruang terisolasi, semakin banyak bundle yang dibuat semakin meminimalisir korona yang akan terjadi, menghilangkan komponen-komponen yang runcing, membersihkan komponen pada sistem transmisi tenaga listrik seperti switchgear dan transformer dan memasang pemanas anti kondensasi untuk mengontrol ruang panel agar kelembaban tetap terjaga.

Arfita Yuana Dewi,dkk. Untuk melihat pengaruh suhu terhadap rugi-rugi korona dilakukan perhitungan menggunakan suhu maksimum dan suhu minimum sebagai acuannya.

Devi Picalista. Rugi daya korona (P_k) dipengaruhi oleh tegangan disruptif korona (V_d). Pada saat tegangan disruptif korona (V_d) naik biasanya terjadi pada kondisi cuaca cerah maka rugi-rugi daya korona (P_k) akan turun, begitu pula sebaliknya. Saat suhu udara di sekitar sistem transmisi naik maka nilai rugi-rugi daya korona juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan rugi-rugi daya korona dipengaruhi oleh kerapatan udara relatif dimana kerapatan udara relatif sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu lingkungan dan tekanan udara.

2.2 Landasan Teori

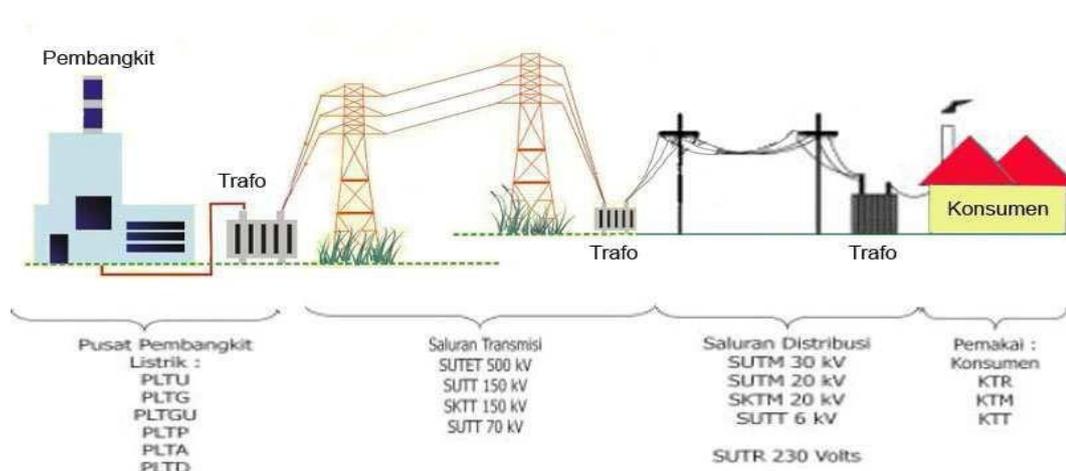
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan kumpulan atau gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran

transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan sehingga membentuk suatu sistem.

Sistem tenaga listrik secara umum merupakan suatu sistem yang terdiri dari lima sub sistem utama yaitu pembangkit listrik, sistem transmisi, gardu induk, sistem distribusi dan beban. Sumber listrik berasal dari pembangkit tenaga listrik. Lokasi pembangkit tenaga listrik umumnya berada jauh dari sumber beban, sehingga untuk menyalurkan energi listrik yang telah dibangkitkan harus disalurkan melalui sistem transmisi. energi listrik yang dibangkitkan tegangannya akan dinaikkan menggunakan transformator penaik tegangan (step-up transformer) untuk kemudian disalurkan melalui sistem transmisi menuju gardu induk untuk kemudian dapat disalurkan ke sumber beban. Tegangan ini dinaikkan dengan maksud untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Setelah daya listrik yang disalurkan mendekati sumber beban atau gardu induk, maka selanjutnya tegangan transmisi diturunkan melalui transformator penurun tegangan (step-down transformator) di gardu induk tersebut. Tegangan diturunkan menjadi tegangan menengah 20 kV untuk dapat disalurkan ke gardu distribusi. Kemudian dari gardu distribusi tegangan kembali diturunkan menjadi tegangan rendah 220 V / 380 V sehingga selanjutnya dapat disalurkan melalui saluran distribusi menuju pusat – pusat beban atau konsumen.

Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit listrik sampai ke konsumen dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

2.2.2 Sistem Transmisi

Energi listrik merupakan bentuk energi yang sangat bermanfaat. Kemajuan suatu negara dapat diukur berdasarkan konsumsi energi listrik pada negara tersebut. Energi listrik merupakan energi yang menyenangkan karena dapat dengan mudah disalurkan serta dikonversikan ke berbagai bentuk energy lain.

Energi listrik dibangkitkan pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik seperti Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) dan lain-lain. Pusat-pusat pembangkit tersebut umumnya jauh dari daerah-daerah dimana energy listrik itu digunakan, yang disebut sebagai pusat-pusat beban (*load centres*). Oleh karena itu, energy listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui suatu saluran transmisi.

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga *substation distribution* sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik melalui suatu bahan konduktor.

Transmisi tenaga listrik sebenarnya tidak hanya penyaluran energi listrik dengan menggunakan tegangan tinggi dan melalui saluran udara (*overhead line*), namun transmisi adalah proses penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat lainnya, yang besaran tegangannya adalah Tegangan Ultra Tinggi (UHV), Tegangan Ekstra Tinggi (EHV), Tegangan Tinggi (HV), Tegangan Menengah (MHV), dan Tegangan Rendah (LV). Sedangkan Transmisi Tegangan Tinggi adalah berfungsi menyalurkan energi listrik dari satu substation (gardu) induk ke gardu induk lainnya. Terdiri dari konduktor yang direntangkan antara tiang (tower) melalui isolator, dengan sistem tegangan tinggi. Standar tegangan tinggi yang berlaku di Indonesia adalah 30kV, 70kV dan 500kV. Karena tegangan yang dihasilkan generator umumnya relatif rendah (berkisar 6 kV hingga 24 kV), maka tegangan ini biasanya dinaikkan dengan bantuan transformator daya ke tingkat tegangan yang lebih tinggi antara 30 kV sampai 500 kV.

Tingkat tegangan yang lebih tinggi ini selain untuk memperbesar daya hantar saluran yang berbanding lurus dengan kuadrat tegangan juga untuk

memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Dengan mempertinggi tegangan, maka timbul suatu persoalan lain yaitu tingkat isolasi yang harus lebih tinggi, dengan demikian biaya peralatan juga semakin tinggi.

Penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi pertama-tama dilakukan di gardu induk (GI), dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah misalnya dari 500 kV ke 150 kV atau dari 150 kV ke 70 kV dan sebagainya. Kemudian penurunan kedua dilakukan di gardu induk distribusi dari 150 kV ke 20 kV atau dari 70 kV ke 20 kV. Tegangan 20 kV ini disebut tegangan distribusi primer.

2.2.2.1 Klasifikasi Saluran Transmisi

Berdasarkan konstruksinya, saluran transmisi dibagi menjadi dua kategori, yaitu :

1. Saluran Udara (*Overhead Lines*)

Saluran transmisi yang menyalurkan energy listrik melalui penghantar yang digantungkan pada menara atau tiang transmisi dengan perantara isolator.

Kelebihan dari saluran transmisi udara antara lain :

- Mudah dalam perbaikan
- Mudah dalam perawatan
- Mudah dalam mengetahui letak gangguan
- Lebih murah

Kekurangan dari saluran transmisi udara, antara lain :

- Karena berada di ruang terbuka, maka cuaca sangat berpengaruh terhadap keandalannya, dengan kata lain mudah terjadi gangguan dari luar, seperti gangguan hubungan singkat, gangguan tegangan bila tersambar petir dan gangguan lainnya.
- Dari segi estetika/keindahan kurang, sehingga saluran transmisi bukan pilihan yang ideal untuk transmisi di dalam kota.



Gambar 2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi

2. Saluran Kabel Bawah Tanah (*Underground Cable*)

Saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam di dalam tanah. Kategori saluran seperti ini adalah favorit untuk pemasangan di dalam kota karena berada di dalam tanah maka tidak mengganggu keindahan kota dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam. Namun tetap memiliki kekurangan antara lain mahal dalam instalasi dan investasi serta sulitnya menentukan titik gangguan dan perbaikannya.



Gambar 2.3 Saluran Kabel Bawah Tanah

Berdasarkan jenis arus yang digunakan, saluran transmisi dibedakan atas saluran transmisi arus bolak balik (AC) dan saluran transmisi arus searah (DC). 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. Sistem tiga fase mempunyai beberapa keuntungan diantaranya :

- Daya yang disalurkan lebih besar
- Nilai sesaatnya (*instantaneous value*) konstan
- Mempunyai medan magnet putar

Terkait dengan keuntungan-keuntungannya, dewasa ini hampir seluruh penyaluran energi listrik dilakukan dengan menggunakan arus bolak balik.

Namun sejak beberapa tahun terakhir penyaluran menggunakan arus searah mulai dikembangkan di beberapa negara. Penyaluran dengan tegangan searah mempunyai beberapa keuntungan diantaranya :

- Isolasinya yang relatif sederhana
- Daya guna (efisiensi) yang lebih tinggi (karena faktor dayanya 1)
- Tidak ada masalah stabilitas, sehingga dapat digunakan untuk jarak yang sangat jauh.

Akan tetapi persoalan ekonominya harus dihitung. Penyaluran tenaga listrik dengan sistem DC baru dapat dianggap ekonomis jika jarak saluran udara yang sangat jauh (diatas 400 km) atau untuk saluran bawah tanah yang lebih dari 50 km. Hal ini disebabkan biaya peralatan pengubah AC ke DC atau sebaliknya (*converter* dan *inverter equipment*) yang sangat mahal.

2.2.2.2 Klasifikasi Tegangan Saluran Transmisi

Ditinjau dari klasifikasi tegangannya, transmisi listrik dibagi menjadi tiga yaitu :

1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 200 kV – 500 kV

Pada umumnya saluran transmisi di Indonesia digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 500 kV. Dimana tujuannya adalah agar drop tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Akan tetapi terdapat permasalahan mendasar dalam pembangunan SUTET ialah konstruksi tiang (*tower*) yang besar dan tinggi,

memerlukan tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga memerlukan biaya besar. Masalah lain yang timbul dalam pembangunan SUTET

adalah masalah sosial, yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan. Pembangunan transmisi ini cukup efektif untuk jarak 100 km sampai 500 km.



Gambar 2.4 Menara Transmisi 500 kV

2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 30 kV – 150 kV

Sedangkan Transmisi Tegangan Tinggi berfungsi menyalurkan energi listrik dari satu substation (gardu) induk ke gardu induk lainnya. Terdiri dari konduktor yang direntangkan antara tiang (tower) melalui isolator dengan sistem tegangan tinggi. Pada saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30 kV sampai 150 kV. Standar tegangan tinggi yang berlaku di Indonesia adalah 150 kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya *single* atau *double* sirkuit, dimana 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat. Biasanya hanya 3 kawat dan penghantar netralnya diganti oleh tanah sebagai saluran kembali. Apabila kapasitas daya yang disalurkan besar, maka penghantar pada masing-masing fasa terdiri dari dua atau empat kawat (*Double* atau *Quadrupole*) dan Berkas konduktor disebut *Bundle Conductor*. Jarak terjauh yang paling efektif dari saluran transmisi ini ialah 100 km. Jika jarak transmisi lebih dari 100 km maka tegangan jatuh (*drop voltage*) terlalu besar, sehingga tegangan diujung transmisi menjadi rendah. Untuk mengatasi hal tersebut maka sistem transmisi dihubungkan secara ring system atau interconnection system. Ini sudah diterapkan di Pulau Jawa dan akan dikembangkan di pulau-pulau besar lainnya di Indonesia.



Gambar 2.5 Menara Transmisi 150 kV

3. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 30 kV - 150 kV

Saluran transmisi ini menggunakan kabel bawah tanah, dengan alasan beberapa pertimbangan :

- Ditengah kota besar tidak memungkinkan dipasang SUTT, karena sangat sulit mendapatkan tanah untuk tapak tower.
- Untuk Ruang Bebas juga sangat sulit dan pasti timbul protes dari masyarakat, karena padat bangunan dan banyak gedung-gedung tinggi.
- Pertimbangan keamanan dan estetika.
- Adanya permintaan dan pertumbuhan beban yang sangat tinggi

Jenis kabel yang digunakan :

- Kabel yang berisolasi (berbahan) poly ethaline atau kabel jenis cross link poly ethaline (XLPE).
- Kabel yang isolasinya berbahan kertas yang diperkuat dengan minyak (*oil paper impregnated*).

Pada sistem tenaga listrik, jarak antara pembangkit dengan beban yang cukup jauh, akan menimbulkan adanya penurunan kualitas tegangan yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada jaringan. Sehingga dibutuhkan suatu peralatan untuk memperbaiki kualitas tegangan dan diletakkan pada saluran yang mengalami drop tegangan. SVC (*Static Var Compensator*) berfungsi sebagai pemelihara

kestabilan kondisi *steady state* dan dinamika voltase dalam batasan yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi berjarak jauh dan berbeban tinggi (*heavily loaded*). *Synchronous Condenser*, sebagai generator pensuplayarus gangguan, dan transformer dengan taps yang variabel ini adalah jenis khusus transformator listrik yang dapat menambah atau mengurangi *powered* gulungan kawat, sehingga meningkatkan atau menurunkan medan magnet dan tegangan keluaran dari transformator.

Kekurangan penggunaan SKTT adalah :

- Memerlukan biaya yang lebih besar jika disbanding SUTT
- Pada saat proses pembangunan memerlukan koordinasi dan penanganan yang kompleks, karena harus melibatkan banyak pihak, missal : pemerintah kota (Pemkot) sampai dengan jajaran terbawah, PDAM, Telkom, Perum Gas, Dinas Perhubungan, Kepolisian dan lain-lain.

2.2.2.3 Komponen Utama Saluran Transmisi

Komponen - komponen saluran transmisi dibagi menjadi :

1. Kawat penghantar (konduktor).

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan antara lain :

- Tembaga dengan konduktivitas 100% (cu 100%)
- Tembaga dengan konduktivitas 97,5% (cu 97,5%)
- Aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 60%)

Kawat Penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis :

a. AAC “All-Aluminium Conductor”, yaitu kawat penghantar yang semuanya terbuat dari aluminium.

b. AAAC “All-Aluminium-Alloy Conductor”, yaitu kawat aluminium yang semuanya terbuat dari campuran aluminium.

c. ACSR “Aluminium Conductor, Steel-Reinforced” yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.

d. ACAR “Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced”, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran .

Kawat penghantar tembaga memiliki kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium, karena konduktivitasnya lebih tinggi. Kawat

penghantar tembaga juga memiliki kelemahan yaitu untuk besar kawat yang sama, kawat penghantar tembaga lebih berat dibandingkan kawat penghantar aluminium. Selain itu kawat penghantar tembaga juga lebih mahal dibandingkan kawat penghantar aluminium. Hal inilah yang mendasari penggunaan kawat penghantar aluminium pada saluran transmisi.

Untuk memperkuat daya tarik dari kawat penghantar aluminium maka digunakan campuran kawat aluminium (*Alluminium Alloy*). Untuk saluran transmisi dengan tegangan tinggi yang jarak antar tiang menara mencapai ratusan meter maka dibutuhkan kawat penghantar dengan daya tarik yang lebih tinggi, yakni kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran atau ACSR (*Alluminium Conductor Allot Reinforced*).

Sebagai kawat tanah umumnya dipakai kawat baja (*steel wires*) yang lebih murah, tetapi biasa juga digunakan kawat ACSR.

2. Menara atau Tiang Transmisi

Konstruksi saluran tiang penyangga saluran transmisi dapat berupa saluran udara dan saluran bawah tanah, namun pada umumnya berupa saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antar kawat penghantar. Dan untuk menyanggah/merentangkan kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara/tower (menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu). Tiang-tiang baja, beton dan kayu umumnya digunakan pada saluran-saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (di bawah 70 kV). Antar menara/tower listrik dan kawat penghantar disekat oleh isolator.

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

paaa menara tower listrik mengakibatkan menara/tower listrik tersebut roboh sehingga penyaluran listrik ke konsumen pun terganggu.

Suatu menara/tower listrik harus kuat terhadap beban yang bekerja, antara lain :

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

Menurut konstruksinya, jenis-jenis menara/tower listrik dibagi menjadi 4 macam, yaitu :

- Lattice Tower



Gambar 2.6 Lattice Tower

- Tubular Steel Pole



Gambar 2.7 Tubular Steel Pole

- Concrete Pole



Gambar 2.8 Concrete Pole

- Wooden Pole



Gambar 2.9 Wooden Pole

3. Isolator

Isolator pada sistem transmisi tenaga listrik disini berfungsi untuk menahan bagian konduktor terhadap ground maupun mencegah terjadinya hubung singkat antara kawat penghantar dengan menara. Isolator disini biasanya terbuat dari bahan porseline, tetapi bahan gelas dan bahan isolasi sintetik juga sering digunakan disini. Bahan isolator harus memiliki resistansi yang tinggi untuk melindungi kebocoran arus dan memiliki ketebalan yang secukupnya (sesuai standar) untuk mencegah breakdown pada tegangan listrik tegangan tinggi sebagai pertahanan fungsi isolasi tersebut. Kondisinya harus kuat terhadap guncangan apapun dan beban konduktor.

Jenis isolator yang sering digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya, isolator diklasifikasikan menjadi 3 yaitu :

- Isolator jenis pasak
- Isolator jenis pos saluran
- Isolator jenis gantung

Isolator jenis pasak dan isolator jenis pos saluran digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan kerja relatif rendah (kurang dari 22-33 kV), sedangkan isolator jenis gantung dapat digandeng menjadi rentengan/rangkaian isolator yang jumlahnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Contoh penggunaannya yaitu jika satu piring isolator untuk isolasi sebesar 15 kV, jika tegangan yang digunakan adalah 150 kV, maka jumlah piring isolatornya adalah 10 piringan.

2.2.2.4 Jenis-Jenis Gangguan pada Saluran Transmisi

Gangguan yang terjadi pada sistem Saluran Transmisi listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem Saluran Transmisi listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan transmisi listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu:

- a. Gangguan yang berasal dari dalam sistem.
- b. Gangguan yang berasal dari luar sistem.

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain :

- a. Tegangan dan Arus abnormal.
- b. Pemasangan yang kurang baik.
- c. Kesalahan mekanis karena proses penuaan.
- d. Beban lebih.
- e. Kerusakan materi seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antarlain:

- a. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
- b. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir

dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*).

c. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda- benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi

a. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.

b. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya *circuit breaker* oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti.

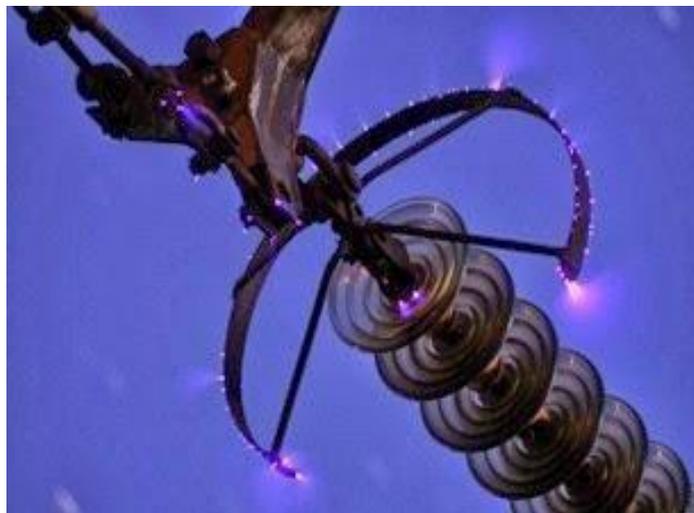
Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

2.2.3 Korona

Korona merupakan salah satu dari gejala tegangan tinggi. Korona dapat didefinisikan sebagai suatu peristiwa pelepasan muatan listrik (elektron) yang diemisikan dari permukaan sebuah kawat penghantar atau konduktor, yang disebabkan karena besarnya kuat medan atau gradien tegangan pada permukaan kawat penghantar tersebut. Korona terjadi jika pada daerah di sekitar kawat penghantar atau konduktor tegangan tinggi, kuat medannya lebih tinggi dari kuat medan tembus udara sehingga akan terjadi pelepasan muatan listrik ke udara. Pada

saluran transmisi untuk harga tegangan sistem di atas 100 kV, masalah korona sudah mulai muncul (serius) dan akan menjadi semakin kuat jika tegangan sistem dinaikkan. Umumnya korona terjadi pada saluran udara tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi dimana terdapat perbedaan tegangan antara masing-masing fasa dan juga antara fasa dengan tanah.

Pada tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi, korona terjadi pada setengah perioda gelombang tegangan positif dan negatif. Dari bukti-bukti eksperimen yang dilakukan bahwa korona AC selalu dimulai pada siklus negatif. Umumnya korona pada setengah siklus negatif ini terjadi pada daerah yang kuat medannya tinggi karena kondisi permukaan konduktor tidak beraturan, misalnya akibat adanya partikel-partikel kecil yang menempel pada permukaan konduktor tersebut. Apabila korona pada setengah siklus negative terjadi pada suatu tempat berupa titik tunggal maka arus pelepasan terdiri atas sejumlah pulsa-pulsa pendek yang terkonsentrasi pada puncak dari tegangan yang digunakan. Pulsa-pulsa ini akan meningkat jumlahnya dengan meningkatnya tegangan disertai suara mendesis yang ditunjukkan oleh frekuensi yang tinggi dan memancarkan sinar violet.



Gambar 2.10 Proses Terjadi Korona pada Saluran Udara Tegangan Tinggi

Permulaan dari korona pada setengah siklus positif tergantung dari beberapa faktor. Apabila korona pada setengah siklus positif terjadi pada suatu tempat berupa titik tunggal maka arus pelepasan biasanya terdiri atas satu pulsa per

setengah siklus. Magnitudo dari pulsa ini mempunyai ketinggian seribu kali dari pulsa-pulsa negatif dan magnitudo ini akan naik seiring dengan naiknya tegangan.

Proses ionisasi dimulai selama setengah siklus negatif karena adanya elektron-elektron bebas di atmosfer. Elektron bebas selalu terdapat di udara sebagai akibat adanya sinar ultra violet, radiasi sinar kosmis atau radiasi radioaktif alam. Dengan naiknya kuat medan, elektron-elektron bebas ini akan mendapatkan energy yang cukup untuk mengionisasikan atom-atom netral dan membentuk banjir elektron di dalam daerah yang kuat medannya tinggi. Banjiran elektron ini muncul sebagai pulsa arus. Karena adanya medan listrik, ion-ion positif akan tertarik mendekati konduktor sedangkan elektron-elektron bergerak meninggalkan konduktor secara radial.

Sifat pergerakan dari ion positif dan elektron berbeda, dimana elektron-elektron dapat bergerak dengan cepat sedangkan ion-ion positif relatif tidak dapat bergerak selama setengah siklus. Pada suatu jarak tertentu dari konduktor, medan listrik menjadi lemah dengan kata lain apabila harga sesaat dari tegangan yang digunakan mendekati nol. Elektron-elektron dapat bergabung dengan atom oksigen yang elektron positif sehingga menjadi *relative* tidak dapat bergerak.

Penggabungan ini cukup lemah sehingga elektron-elektron tersebut dapat mudah terlepas kembali menjadi elektron-elektron bebas dengan bertambah kuatnya medan listrik. Penggabungan dapat juga terjadi di dalam daerah yang kuat medannya tinggi apabila kecepatan elektron akibat tumbukan sangat lemah.

Pada akhir setengah siklus negatif, muatan-muatan negatif akan berada pada jarak yang agak jauh dari konduktor sedangkan muatan positif berada di dekat permukaan konduktor. Apabila konduktor menjadi positif maka muatan positif akan bergerak dengan lambat ke arah luar menjauhi konduktor sedangkan muatan negatif akan bergerak mendekati konduktor dengan kecepatan yang lebih tinggi. Kuat medan yang terjadi diantara muatan positif dan muatan negatif akan meningkat sampai suatu saat dimana korona mulai terjadi. Proses Pembentukan Korona

Bila kedua kawat sejajar yang penampangnya kecil (dibandingkan dengan jarak antara kedua kawat tersebut) diberi tegangan bolak-balik, maka korona dapat

terjadi. Dan pada tegangan yang cukup rendah tidak dapat terlihat kejadian tersebut. Bila tegangan dinaikkan, maka korona dapat terjadi secara bertahap. Awalnya kawat kelihatan bercahaya seperti sampul, mengeluarkan suara mendesis (hissing effect) dan berbau ozon. Warna cahayanya adalah ungu (violet) muda. Kegagalan pertama berawal dekat permukaan penghantar, yaitu tekanan elektrostatik atau gradien tegangannya maksimum dan ketebalan lapisan udara bertambah dengan penambahan tekanan. Dan jika tegangan terus dinaikkan, gejala tersebut akan semakin jelas terlihat, yakni cahaya bertambah terang terutama pada bagian yang runcing, kasar, dan kotor. Namun, kenaikan tegangan tidak boleh melebihi batasan tertentu karena dapat menyebabkan terjadinya lompatan api. Bila tegangan masih juga dinaikkan, maka dapat terjadi busur api dan korona mengeluarkan panas, yang dapat dibuktikan dengan menggunakan wattmeter.

Dalam keadaan udara lembab, korona menghasilkan asam nitrogen (nitrous acid) yang menyebabkan kawat menjadi berkarat.

Korona terjadi karena adanya ionisasi dalam udara, yaitu adanya kehilangan elektron dari molekul udara. Oleh karena lepasnya elektron dan ion, maka apabila di sekitarnya terdapat medan listrik, maka elektron-elektron bebas ini mengalami gaya yang mempercepat gerakannya, sehingga terjadilah tabrakan dengan molekul lain. Akibatnya ialah timbul ion-ion dan elektro- elektron baru. Proses ini berjalan terus- menerus dan jumlah elektron dan ion bebas menjadi berlipat ganda bila gradien tegangan cukup besar. Kondisi yang mempengaruhi timbulnya korona :

- a. Pergerakan udara
- b. Suhu udara
- c. Kelembapan udara

Proses ionisasi (pelipatgandaan elektron) akan berhenti jika medan listrik menurun. Tumbukan elektron selain menyebabkan terjadinya ionisasi molekul juga menyebabkan terjadinya eksitasi elektron atom gas, yakni berubahnya kedudukan elektron dari orbitnya semula ke tingkat orbit yang lebih tinggi. Ketika elektron berpindah kembali ke tingkat orbit yang lebih dalam terjadi pelepasan energi berupa cahaya radiasi dan gelombang elektromagnetik, yakni berupa suara bising (noise).

2.2.3.1 Efek yang Ditimbulkan Korona

Akumulasi senyawa asam dan percikan listrik dapat menghasilkan karbon pada bahan penyekat. Korona juga berkontribusi terhadap kerusakan kimiawi yang terjadi pada lapisan pada penyekat. Kerusakan pada penyekat menyebabkan timbulnya medan listrik sehingga menimbulkan kebocoran, karbon dan kerusakan pada penyekat NCI. Dalam simulasi, lingkaran korona dimunculkan di sembarang tempat pada penyekat NCI saat tegangan mencapai 500 kV. Setelah dua tahun penyekat NCI diganti karena duapertiga terbakar.

a. Gangguan Bising

Bunyi-bunyi yang dibangkitkan korona biasa disebut *acoustical noise* atau gangguan bising. Gangguan bising merupakan bentuk korona yang mengganggu orang yang berada di sekitar lokasi dengan gangguan berisik. Gangguan bising yang dihasilkan korona dapat diukur dengan satuan dB.

Gangguan bising dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: besarnya gradien tegangan, kondisi cuaca dan jarak sumber bunyi. Diantara ketiga faktor tersebut, besar gradien tegangan merupakan faktor yang paling berpengaruh. Sedikit perubahan gradien tegangan dapat mengakibatkan adanya penambahan level daya dari gangguan bising. Pengaruh akibat gradien tegangan merupakan faktor yang paling penting dalam menghitung besarnya level daya dari gangguan bising.

b. Interferensi Frekuensi

Pada proses korona terjadi emisi energi yang kemudian meradiasi benda yang ada di sekitarnya. Salah satu radiasinya adalah munculnya sinyal *noise* pada jalur komunikasi, penerima radio dan penerima TV. Sinyal *noise* ini disebut sebagai interferensi radio. Interferensi radio diawali dengan adanya benturan-benturan yang diakibatkan oleh pergerakan elektron. Adanya pergerakan elektron akan menimbulkan aliran arus yang cukup lemah. Aliran arus tersebut akan menghasilkan medan magnet dan medan elektrostatis di sekitar pergerakannya. Akibat keduanya dibentuk secara tiba-tiba dan dengan waktu yang singkat, medan magnet dan elektrostatis ini memiliki frekuensi yang tinggi. Hal ini menyebabkan medan tersebut dapat menginduksi pulsa tegangan di dekat antena radio dan kemudian menghasilkan interferensi radio. Inilah mekanisme terjadinya interferensi radio akibat benturan elektron

c. Gangguan Pada Performa Peralatan Elektronik

Pada bahan isolasi, korona menyebabkan terjadinya transfer elektron dan lompatan- lompatan listrik di tempat yang seharusnya tidak boleh terjadi hal-hal tersebut. Dengan adanya kejadian ini akan menyebabkan adanya energi yang hilang. Pada saat yang sama, akibat adanya korona ini akan menyebabkan timbulnya panas di sekitar daerah terjadinya korona. Sedangkan pada bagian lain bahan isolasi, korona akan menghasilkan arus transien yang dapat mengalir ke peralatan yang terhubung dengan bahan isolasi tersebut. Menurut statistik IEEE, kegagalan isolasi merupakan penyebab utama terjadinya kerusakan pada sistem dan peralatan kelistrikan. Secara garis besar korona memiliki dua efek yang sangat penting secara ekonomis karena dapat menyebabkan naiknya biaya operasional dan perawatan dari peralatan listrik. Efek yang pertama adalah korona dapat mengurangi usia pakai dari bahan isolasi yang digunakan. Sedangkan efek yang kedua adalah kemungkinan terjadinya arus transien yang dapat mengganggu aktivitas kerja dari peralatan komunikasi, kontrol dan alat ukur.

2.2.3.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Korona

Dalam menganalisis pengaruh akibat korona terhadap rugi-rugi daya saluran udara tegangan tinggi maka diperlukan:

1. Kerapatan udara relatif

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t} \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

δ = Kerapatan udara relatif

b = Tekanan udara (cmHg)

T = Temperatur sekeliling (°C)

Harga kerapatan udara relatif ini dipengaruhi oleh tekanan udara dan temperatur sekeliling.

2. Gradien tegangan pada permukaan konduktor saluran transmisi

$$E_m = \frac{0,4343 E}{r \log 10 \frac{D}{r}} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

- Em = Gradien tegangan (kV/cm)
- E = Tegangan fasa (kV)
- D = Jarak antar saluran (cm)
- r = Jari-jari kawat satu konduktor (cm)

Ada beberapa sebab yang mempengaruhi besar kecilnya kuat medan atau gradient tegangan pada permukaan kawat penghantar yaitu :

- Diameter kawat penghantar
- Jarak antara kawat penghantar (kawat fasa)
- Jumlah kawat penghantar per fasa
- Tinggi kawat penghantar dari permukaan tanah
- Adanya partikel-partikel kecil yang menempel pada permukaan kawat penghantar
- Kondisi cuaca

Pada saluran transmisi dengan konfigurasi kawat mendatar, gradien tegangan pada permukaan fasa tengah lebih tinggi dari pada gradien tegangan pada fasa luar, sehingga koronanya juga lebih menonjol.

3. Tegangan Disruptif Kritis

Tegangan disruptif kritis didefinisikan sebagai tegangan dimana kerusakan dielektrik terjadi dengan sempurna. Tegangan ini dipengaruhi oleh gradient pada permukaan penghantar yang besarnya sama dengan kuat medan tembus dari udara.

Kuat medan tembus ini biasanya dinotasikan dengan Em. Em pada kondisi standar yaitu pada tekanan udara 76 cmHg dan suhu 25 °C adalah 21,1 kVrms/cm. berikut merupakan rumus tegangan kritis disruptif :

$$V_d = E_m \times \delta \times m_0 \times r \times \ln \frac{D}{r} \text{ kV} \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- V_d = Tegangan disruptif kritis per fasa (kV)
- E_m = Gradien tegangan tembus udara efektif (kV/cm)
- r = Jari-jari penampang kawat penghantar (cm)

- δ = Kerapatan udara relatif
- D = Jarak antar kawat fasa (cm)
- m_o = Faktor ketidakteaturan untuk terjadinya korona ($0 < m_o \leq 1$)
 - = 1,00 untuk kawat yang berpermukaan halus, mengkilat kuat dan bulat
 - = 0,93 – 0,98 untuk kawat pejal dan silinder
 - = 0,70 – 0,75 untuk kawat penghantar berlilit (stranded)
 - = 0,80 – 0,85 untuk korona tampak umum pada kondisi kawat penghantar berlilit (stranded)

Tegangan disruptif kritis dari korona ini sangat tergantung pada beberapa hal yaitu:

a. Kondisi atmosfir

1. Naiknya temperatur akan mempercepat ionisasi sehingga korona mulai pada tegangan disruptif kritis yang lebih rendah
2. Turunnya tekanan udara akan menyebabkan turunnya kerapatan molekul sehingga panjang jalan rata-rata dari molekul makin tinggi dan proses ionisasi akan berkurang
3. Kelembaban dapat menurunkan tegangan disruptif kritis korona
4. Naiknya harga kerapatan udara relative akan menyebabkan naiknya tegangan disruptif kritis

b. Keadaan dari permukaan kawat penghantar atau konduktor

Ionisasi disebabkan terutama oleh kondisi permukaan dari konduktor (bagian yang tajam, kasar, runcing, kotor dan berminyak).

c. Konfigurasi dari kawat penghantar atau konduktor

Konfigurasi konduktor dapat menentukan bentuk kuat medan di antara konduktor-konduktor tersebut.

2.2.3.4 Rugi – Rugi Daya Korona

Ion dan electron yang bergerak di udara, dapat bergerak dan memiliki percepatan karena energy kinetic yang diberikan. Energy kinetic tersebut diperoleh

dari system dan dikatakan energi yang hilang. Energi yang hilang ini terdisipasi dalam bentuk panas, suara dan cahaya. Energy yang terdisipasi inilah yang dimaksud dengan rugi daya korona.

Rugi- rugi daya akibat korona dapat dihitung dengan formula Peek sebagai berikut :

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

- P_c = Rugi – rugi daya korona (kW)
- δ = Faktor kerapatan udara (kg/m^3)
- f = Frekuensi (Hz)
- r = Jari – jari kawat (cm)
- D = Jarak antara kawat (cm)
- V = Tegangan fasa ke netral (kV)
- V_d = Tegangan disruptif kritis (kV)

Untuk menghitung rugi daya korona total, sebagai berikut :

$$P_{total} = P \times l \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- P = Daya total korona (kW)
- l = Panjang saluran (km)

Ada faktor yang mempengaruhi rugi-rugi daya yang ditimbulkan oleh peristiwa korona yaitu

1.Faktor listrik :

- Frekuensi dari *supply*

Frekuensi dapat memperbesar (menaikkan) arus dan rugi-rugi daya korona pada saluran transmisi tegangan tinggi.

- Kuat medan atau gradien tegangan di sekitar kawat penghantar

Rugi-rugi daya korona merupakan fungsi dari kuat medan atau gradient tegangan.

2.Faktor cuaca di sekitar kawat penghantar

- Kerapatan udara dan temperatur

Rugi-rugi daya korona pada kawat penghantar yang melalui daerah dataran tinggi lebih besar daripada daerah dataran rendah karena turunnya harga kerapatan udara relatif pada daerah yang tinggi

- Hujan, kabut, salju, hujan es

Hujan dapat menaikkan rugi-rugi daya korona karena titik hujan pada permukaan kawat penghantar dapat mengawali tembus korona lokal, sedangkan kabut, salju dan hujan es juga dapat menaikkan rugi-rugi daya korona tetapi efeknya kurang bila dibandingkan dengan pengaruh hujan.

- Konduktivitas udara (daya hantar udara)

Daya hantar ion dari udara sangat tergantung pada daerah.

2.2.3.5 Pengaruh Korona pada Kinerja Peralatan Listrik

Pada peristiwa korona terjadi pemindahan muatan elektron dalam suatu wilayah tertentu dalam material pengisolasi. Gejala listrik ini pada dasarnya adalah peluahan listrik karena energi hilang darinya dan daya didisipasikan. Peluahan seperti disamakan dengan peristiwa pembombardiran nuklir terhadap material ditempat terjadinya peluahan. Pada saat bersamaan, panas dihasilkan dalam wilayah ini.

Diluar material isolasi, peluahan yang terjadi menghasilkan arus transien yang mengalir ke dalam rangkaian yang terhubung dengan elektroda sistem isolasi ditempat terjadinya korona. Pulsa-pulsa arus ini memiliki waktu naik cepat dan durasinya juga cepat karena mereka merupakan hasil pergerakan muatan yang sangat cepat. Ukuran, amplitudo dan frekuensi timbulnya pulsa dapat sangat bervariasi karena pulsa ini dipengaruhi oleh banyak variabel.

Berikut ini akan dijelaskan lebih jauh mengenai pengaruh-pengaruh korona pada peralatan listrik.

1. Pengaruh Korona terhadap Material

Korona yang disertai dengan pembombardiran elektron atau ion digabung dengan pemanasan yang intens, dapat membuat erosi pada material, merusak atau merubah struktur atom atau molekul material dan menghasilkan material baru yang tidak ada sebelumnya sebagai akibat proses perubahan struktur. Material baru ini dapat bereaksi secara kimiawi dengan beberapa material lain di daerah dimana

korona terjadi. Reaksi ini dapat mengakibatkan korosi.

2. Pengaruh Korona pada Komunikasi, Kendali dan Pengukuran Listrik

Arus pulsa yang dihasilkan oleh korona dalam rangkaian peralatan dapat memiliki waktu puncak yang sangat singkat, frekuensi kejadian yang tinggi dan amplitudo yang sesuai untuk mensimulasi, memalsukan, mendistorsi atau memalsukan sinyal yang digunakan dalam komunikasi, kendali dan pengukuran. Arus pulsa korona ini dapat juga mengalir dari rangkaian dimana pulsa ini terbentuk ke rangkaian lain, tidak hanya melalui konduksi, tetapi juga dengan kopel elektromagnetik dan elektrostatik.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.3 Tempat Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan pengambilan data langsung di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Pangkalan Susu, Jalan PLTU Desa Tanjung Pasir, Kecamatan Pangkalan Susu, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara.

3.1.4 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian tugas akhir ini berlangsung dimulai dari bulan November 2021 – Desember 2021.

3.2 Metode Penelitian

Penelitian dan pengambilan data dilaksanakan mulai bulan Februari – Juni bertempat di GI Pangkalan Susu. Objek penelitian ini adalah hal – hal yang berkaitan dengan pengaruh korona pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi GI Pangkalan Susu – GI Binjai. Pengumpulan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yaitu pengambilan data yang diambil sesuai dengan kondisi di lapangan, sedangkan data sekunder didapatkan dari studi literatur baik berupa buku, jurnal – jurnal, rekap pembukuan GI Pangkalan Susu, melakukan konsultasi dan diskusi dengan pembimbing akademik dan pegawai PT. PLN (Persero) bagian HAR transmisi sehingga data yang diperoleh pada penelitian ini berupa data kualitatif dan kuantitatif. Untuk menyelesaikan tugas akhir maka dilakukan beberapa metode, yaitu :

4 Studi Literatur

Tahap studi literature dilakukan dengan mempelajari buku transmisi daya listrik, operasi system tenaga listrik dan jurnal – jurnal tentang rugi – rugi daya korona. Studi literatur dilakukan sebagai acuan peneliti dalam pengambilan data dan proses perhitungan

5. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data bertujuan mencari dan mengumpulkan data klimatologi yang diambil dari katalog Sumatera Utara dalam angka 2021 wilayah Pangkalan Susu (Langkat), kemudian pengambilan data pada saluran transmisi gardu induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai untuk melengkapi berbagai macam data – data tulisan yang akan diselesaikan oleh penulis, agar lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

6. Analisa Data dan Perhitungan

Pada tahap analisa data dan perhitungan bertujuan untuk mengolah data yang di dapat dari hasil penelitian menjadi informasi, sehingga datanya bermanfaat untuk menjawab masalah – masalah yang berkaitan dengan kegiatan penelitian.

7. Kesimpulan

Pada tahap pengambilan kesimpulan, kesimpulan diambil dari hasil analisi yang melalui tahap perhitungan data sehingga mendapatkan hasil yang memuaskan.

3.3 Teknik Analisa Data

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

1. Melakukan Pengumpulan Data

Data pendukung untuk penulisan tugas akhir ini didapatkan di PT PLN (Persero) GI Pangkalan Susu. Data yang diambil merupakan data sekunder yang sudah ada di arsip PT PLN (Persero) GI Pangkalan Susu.

2. Pengolahan Data

Data yang sudah didapat akan diolah untuk mendapatkan hasil rugi – rugi daya korona. Dalam pengolahan data akan mencari nilai rugi – rugi daya korona.

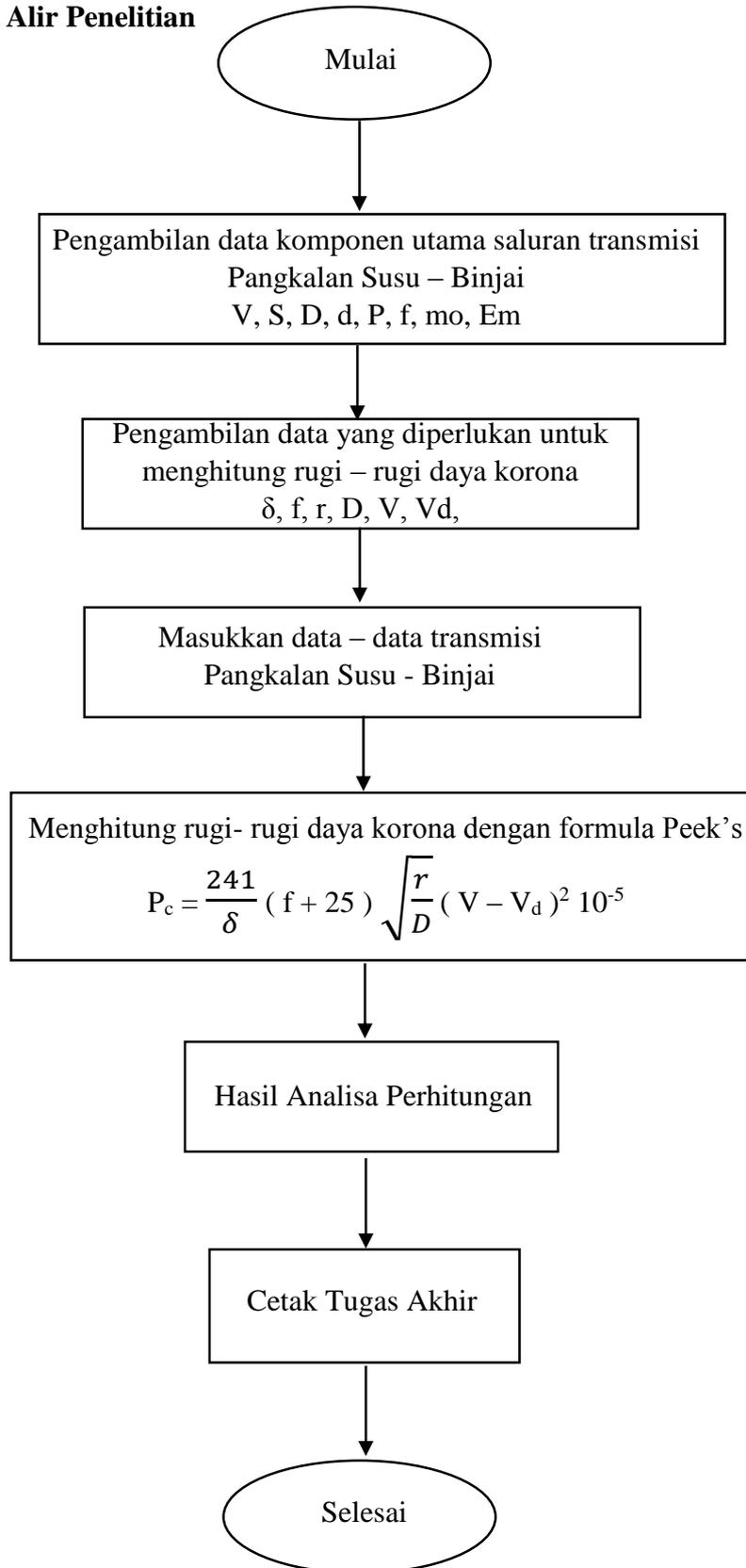
3. Analisa Data

Menghitung dan memahami data yang diperoleh.

4. Pembuatan Laporan

Hasil dari keseluruhan akan dituliskan pada tugas akhir.

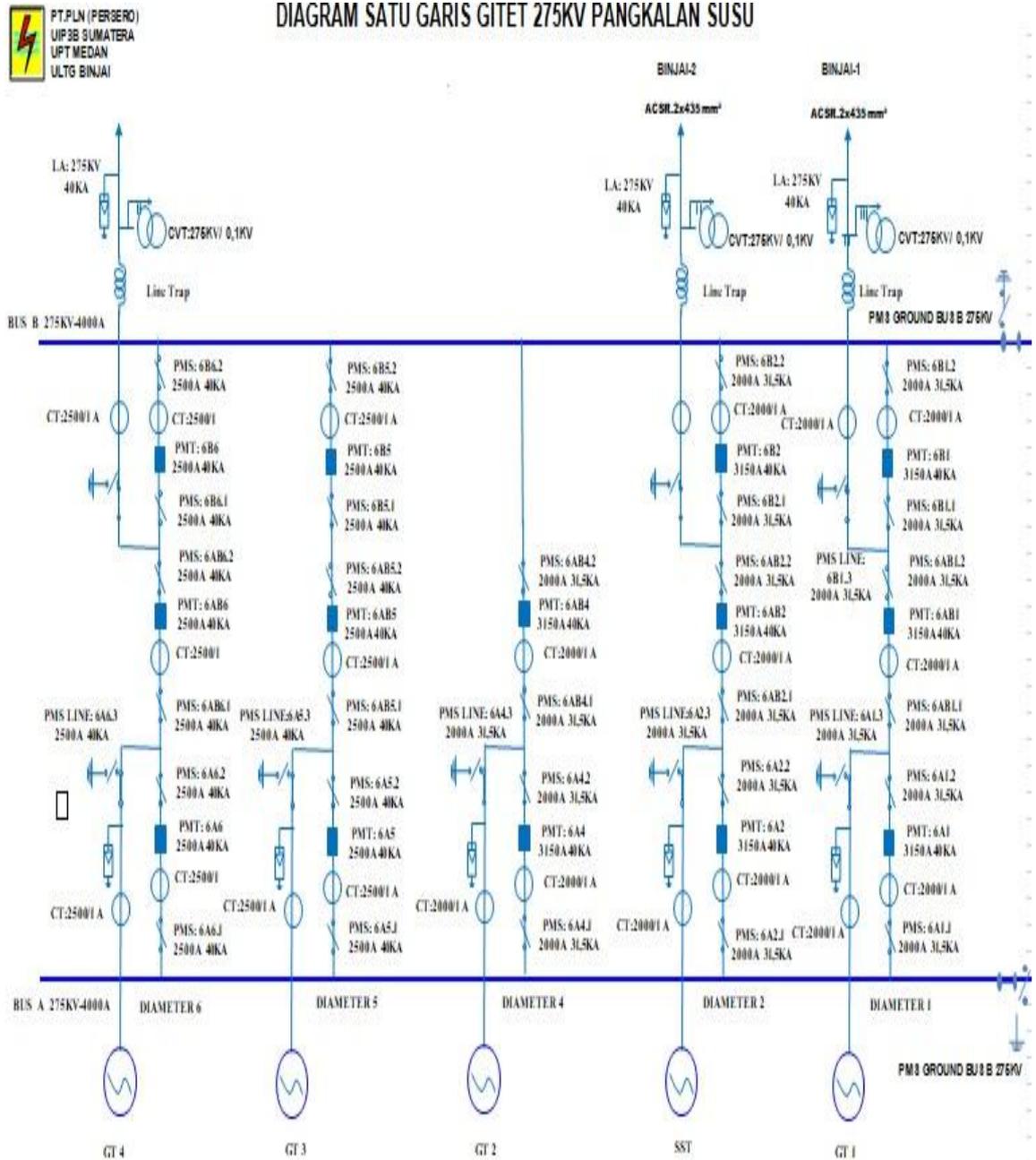
3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Lokasi Saluran Transmisi

Lokasi saluran transmisi Gardu Induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai sebagai berikut :



Gambar 3.2 One Line Diagram Gardu Induk Pangkalan Susu 275 kV

Sumber : PT. PLN (Persero) Gardu Induk Pangkalan Susu

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Parameter Saluran Transmisi GI Binjai – GI Pangkalan Susu

Ketika penelitian dan pengambilan data di Kantor PT. PLN (Persero) GI Binjai – GI Pangkalan Susu maka diperoleh data parameter pada saluran transmisi 275 kV Gardu Induk Binjai menuju Gardu Induk Pangkalan Susu untuk dianalisis.

Adapun data parameter saluran transmisi 275 kV Binjai – Pangkalan Susu sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Parameter Saluran Transmisi Binjai – Pangkalan Susu

No.	Parameter	Nilai
1.	Tegangan sisi terima (V)	275 kV
2.	Daya yang dikirim (P_s)	200 MW
3.	Frekuensi	50 Hz
4.	Jarak span antar tower (S)	320 m
5.	Jarak antar fasa (D)	18,8 m
6.	Spacer (S)	0,35 m
7.	Diameter konduktor (d)	2,88 cm
8.	Jumlah berkas konduktor	2
9.	Faktor ketidakrataan permukaan konduktor (m_o)	0,87
10.	Kuat medan tembus udara pada permukaan penghantar kondisi kering (E_m)	20,2 kV/cm

Sumber : PT. PLN (Persero) Gardu Induk Pangkalan Susu

Data perhitungan rugi – rugi korona untuk tahun 2022 dihitung berdasarkan perhitungan kerapatan udara rata – rata perbulan yang diambil dari BMKG wilayah Binjai, Langkat, Sumatera Utara.

Data klimatologi yang dibutuhkan dalam menganalisis data dalam perhitungan kemudian di analisa menggunakan rumus mencari factor kerapatan udara, tekanan udara dan rugi – rugi korona total.

4.2 Data Klimatologi

Dari data klimatologi Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat Dalam Angka 2022, faktor kerapatan udara dapat kita analisis dengan menggunakan data temperatur udara dan ketinggian wilayah kita dapat mencari tekanan udara.

Ketinggian wilayah Pangkalan Susu pada tahun 2021 menurut data data klimatologi Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat dalam angka 2022 sebesar 6 m.

Berikut data klimatologi Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat dalam angka 2022 wilayah Pangkalan Susu :

Tabel 4.2 Data Klimatologi Kabupaten Langkat dalam angka 2022 Wilayah Pangkalan Susu

Bulan	Temperatur Udara (°C)	Curah Hujan
Januari	26,8	455
Februari	27,5	29
Maret	27,7	160
April	27,7	60
Mei	28,5	116
Juni	27,6	97
Juli	27,8	212
Agustus	27,1	342
September	27,3	93
Oktober	27,7	226

November	27,3	0
Desember	26,6	293

Sumber : langkatkab.bps.go.id

Salah satu sifat udara adalah menekan ke segala arah. Udara di atmosfer permukaan bumi terdiri dari banyak campuran gas, meliputi nitrogen, oksigen, karbon dioksida dan aneka macam jenis gas lainnya. Nilai tekanan udara antara satu tempat dengan tempat lain bias berbeda karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi besar atau kecilnya tekanan udara di suatu tempat. Salah satu faktor yang mempengaruhi besar tekanan udara adalah ketinggian suatu tempat.

Besar tekanan di suatu tempat dapat diukur menggunakan sebuah alat yang disebut barometer atau manometer. Besar tekanan udara dapat dinyatakan dalam atmosfer (atm), millimeter kolom air raksa (mmHg), atau milibar (mbar). Hubungan besar tekanan udara dan ketinggian pada suatu tempat pertama kali disampaikan oleh Evangelista Torricelli pada tahun 1643 dimana percobaan tersebut dikenal dengan dengan percobaan Torricelli. Kesimpulan dari percobaan Torricelli yang diperoleh adalah besar tekanan udara berbanding terbalik dengan ketinggian suatu tempat. Semakin tinggi suatu tempat, tekanan udara semakin rendah atau dapat dikatakan setiap kenaikan 100 m, besar tekanan udara turun 1 cmHg.

Berdasarkan percobaan Torricelli, dapat diperoleh sebuah persamaan. Persamaan ini menyatakan rumus tekanan udara pada suatu ketinggian yaitu sebagai berikut :

$$b = 76 \text{ cmHg} - \frac{h}{100} \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan :

b = Tekanan udara pada suatu ketinggian (cmHg atau mbar)

h = Ketinggian suatu tempat (m)

Perhitungan cepat konversi Centimeter Of Mercury ke Millibars (cmHg ke mBar) :

$$1 \text{ cmHg} = 13.3322 \text{ mBar}$$

$$1 \times 13.3322 \text{ mBar} = 13.3322 \text{ millibars}$$

Untuk analisis data mencari tekanan udara dari data klimatologi Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat dalam angka 2022 wilayah Pangkalan Susu yaitu dilihat dari ketinggian suatu tempat. Ketinggian wilayah Pangkalan Susu pada tahun 2021 dari data Klimatologi Sumatera Utara dalam angka 2021 sebesar 6 m, maka dapat dilakukan perhitungan mencari suatu tekanan udara dilihat dari ketinggian suatu tempat sebagai berikut :

$$b = 76 \text{ cmHg} - \frac{h}{100}$$

$$b = 76 \text{ cmHg} - \frac{6}{100}$$

$$b = 75,94 \text{ cmHg}$$

$$b = 75,94 \times 13,33224 \text{ mbar}$$

$$b = 1.012,4503056 \text{ mbar}$$

Untuk analisis data perhitungan mencari faktor kerapatan udara dari data klimatologi Sumatera Utara dalam angka 2021 (tekanan udara dan temperature udara) wilayah Pangkalan Susu pada tahun 2021 yaitu sebagai berikut :

Dihitung mulai dari bulan Januari hingga Desember dengan nilai tekanan udara sebesar $P = 1.012,4503056 \text{ mbar}$.

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan Januari

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 26,8}$$

$$\delta = 0,975977780$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan Februari

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 27,5}$$

$$\delta = 0,973704287$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan Maret

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 27,7}$$

$$\delta = 0,973056662$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan April

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 27,7}$$

$$\delta = 0,973056662$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan Mei

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 28,5}$$

$$\delta = 0,970474754$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan Juni

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 27,6}$$

$$\delta = 0,973380367$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan Juli

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 27,8}$$

$$\delta = 0,972733173$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan Agustus

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 27,1}$$

$$\delta = 0,975002127$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan September

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 27,3}$$

$$\delta = 0,974352775$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan Oktober

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 27,7}$$

$$\delta = 0,973056662$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan November

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 27,3}$$

$$\delta = 0,974352775$$

- Perhitungan Faktor Kerapatan Udara Bulan Desember

$$\delta = \frac{0,289 b}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{0,289 (1012,4503056)}{273 + 26,6}$$

$$\delta = 0,976629300$$

Dengan menggunakan rumus yang sama untuk analisa data perhitungan tekanan udara dan faktor kerapatan udara bulan Februari sampai dengan bulan

Desember dari data Klimatologi Sumatera Utara dalam angka 2021 di Wilayah Pangkalan Susu (Langkat) akan ditunjukkan pada Tabel 4.2 sebagai berikut :

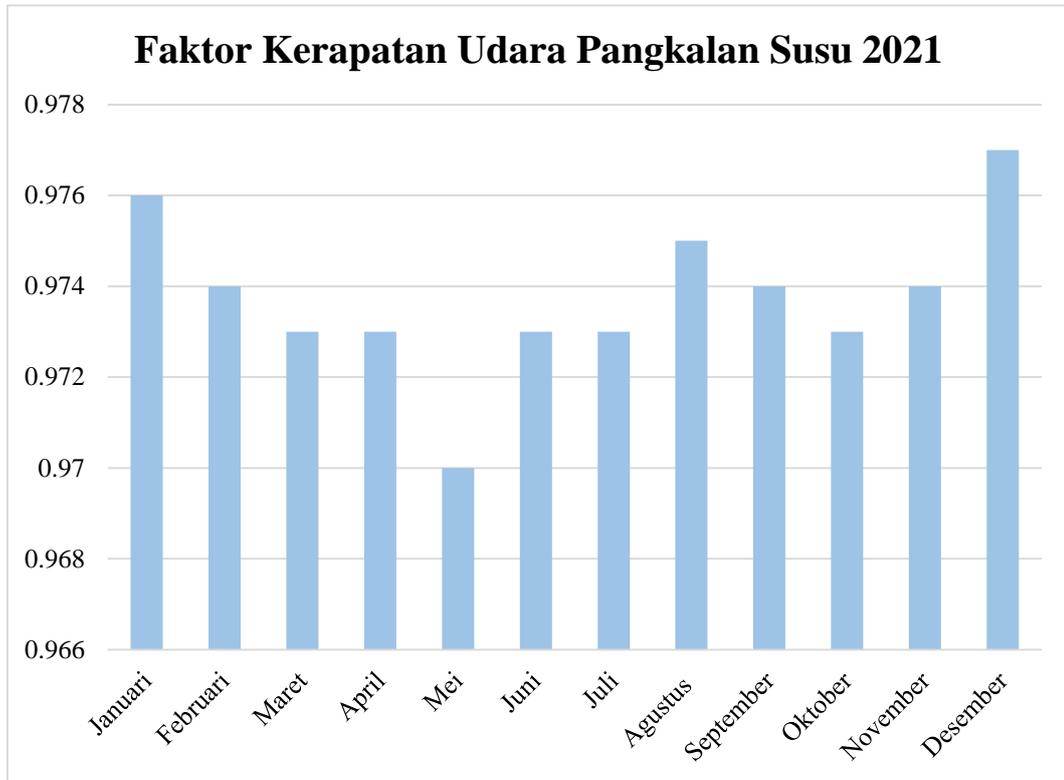
Tabel 4.3 Faktor Kerapatan Udara Wilayah Pangkalan Susu Tahun 2021

Bulan	Temperatur Udara (°C)	Faktor Kerapatan Udara
Januari	26,8	0,975977780
Februari	27,5	0,973704287
Maret	27,7	0,973056662
April	27,7	0,973056662
Mei	28,5	0,970474754
Juni	27,6	0,973380367
Juli	27,8	0,972733173
Agustus	27,1	0,975002127
September	27,3	0,974352775
Oktober	27,7	0,973056662
November	27,3	0,974352775
Desember	26,6	0,976629300

Tabel 4.3 menunjukkan menunjukkan hasil perhitungan untuk mencari faktor kerapatan udara wilayah Pangkalan Susu pada tahun 2021 menggunakan data klimatologi Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat dalam Angka 2022 yaitu data temperature udara dan ketinggian. Nilai faktor kerapatan udara pada saluran transmisi G.I Pangkalan Susu – G.I Binjai tahun 2021 mengalami variasi. Nilai faktor kerapatan udara tertinggi terjadi pada bulan Desember yaitu 0,976629300, sedangkan nilai faktor kerapatan udara terendah terjadi pada bulan Mei yaitu 0,970474754. Untuk mencari tekanan udara pada suatu tempat menggunakan rumus percobaan Torricelli.

Setelah menganalisis dan menghitung faktor kerapatan udara maka diperoleh sebuah kurva dari rata-rata faktor kerapatan udara wilayah Pangkalan Susu tahun 2021.

Berikut adalah kurva dari rata-rata faktor kerapatan udara wilayah Pangkalan Susu Tahun 2021 yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1 sebagai berikut :



Gambar 4.1 Kurva Faktor Kerapatan Udara pada Saluran Transmisi Gardu Induk Pangkalan Susu – Binjai tahun 2021

Analisis data perhitungan menggunakan rumus mencari faktor kerapatan udara dapat digunakan dalam mencari nilai tegangan disruptif untuk analisis perhitungan rugi-rugi daya korona total pada saluran transmisi G.I Pangkalan Susu – G.I Binjai. Untuk analisis data perhitungan mencari tegangan krisis disruptif dan rugi-rugi daya korona diperoleh dari data saluran transmisi dan analisis data perhitungan faktor kerapatan udara tahun 2021 wilayah Pangkalan Susu yaitu sebagai berikut :

Dimulai dari bulan Januari, dimana :

Diketahui :

Kuat medan tembus udara (E_m) = 21,1 kV/cm

Kerapatan udara (δ) = 0,975977780

Faktor ketidakaturan permukaan konduktor (m_o) = 0,87

Jarak antar fasa (D) = 18,8 m = 1.880 cm

Diameter konduktor (d) = 2,88 cm

Jari-jari konduktor (r) = 1,44 cm

Tegangan sisi terima (V) = 275 kV

Frekuensi (f) = 50 Hz.

Maka diperoleh tegangan krisis disruptif selama satu tahun mulai dari bulan Januari sampai bulan Desember, sebagai berikut :

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan Januari

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,975977780 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1.880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan Februari

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,973704287 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1.880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 184,661303414 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan Maret

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,973056662 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1.880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan April

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,973056662 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1.880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan Mei

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,970474754 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1,880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan Juni

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,973380367 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1,880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan Juli

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,972733173 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1,880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan Agustus

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,975002127 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1,880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan Spetember

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,974352775 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1,880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan Oktober

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,973056662 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1,880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan November

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ Kv/cm} \times 0,974352775 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1,880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

- Perhitungan Tegangan Krisis Disruptif pada Bulan Desember

$$V_d = E_m \delta m_o r \ln \frac{D}{r}$$

$$V_d = 21,1 \text{ kV/cm} \times 0,976629300 \times 0,87 \times 1,44 \text{ cm} \ln \frac{1,880 \text{ cm}}{1,44 \text{ cm}}$$

$$V_d = 185,0924673568 \text{ kV}$$

Dan dapat diperoleh rugi-rugi daya korona selama satu tahun mulai dari bulan Januari sampai Bulan Desember sebagai berikut :

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan Januari

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan Februari

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan Maret

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan April

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan Mei

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan Juni

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan Juli

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan Agustus

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan September

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan Oktober

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan November

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

- Perhitungan Rugi-Rugi Daya Korona pada Bulan Desember

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5}$$

$$P_c = \frac{241}{0,975977780} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,44}{1880}} (275 - 177,197527992)^2 10^{-5}$$

$$P_c = 0,2266828754 \text{ kW}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama untuk hasil analisis data perhitungan menggunakan rumus mencari faktor kerapatan udara maka diperoleh sebuah analisis data perhitungan tegangan krisis disruptif dan rugi-rugi korona total pada saluran transmisi Garduk Induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai

tahun 2021 bulan Januari sampai Desember dengan ditunjukkan dalam table 4.4. sebagai berikut :

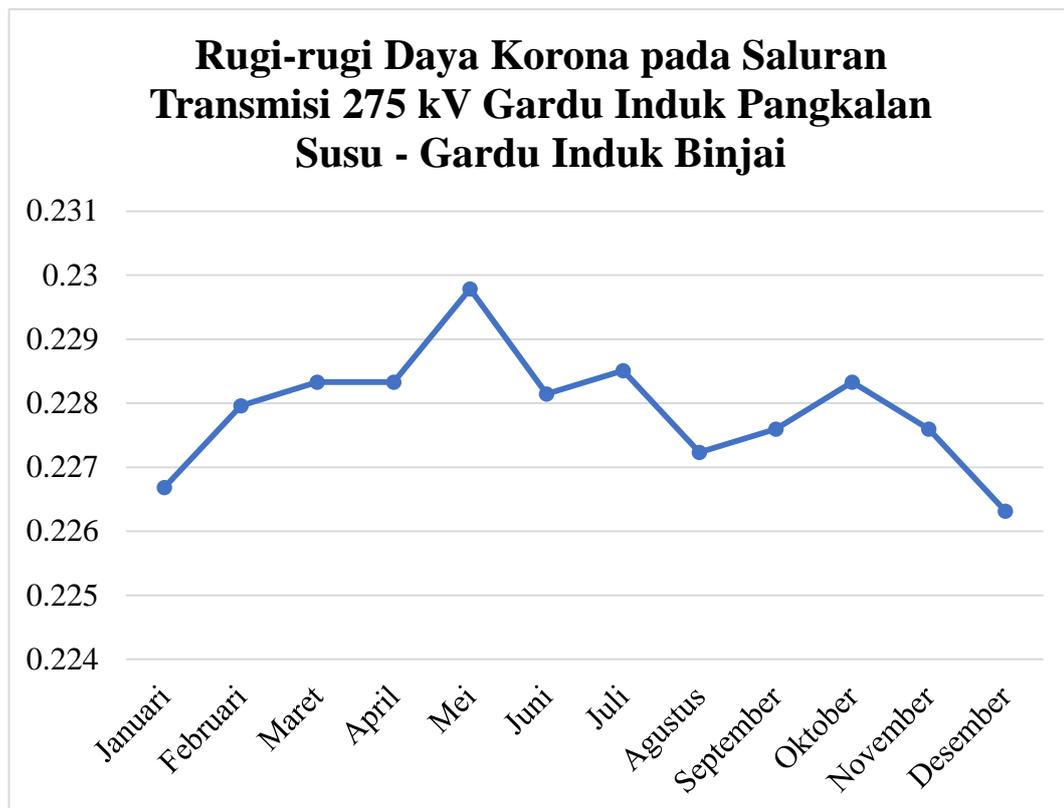
Table 4.4 Tegangan Krisis Disruptif dan Rugi-rugi Korona Total pada Saluran Transmisi G.I Pangkalan Susu menuju G.I Binjai Tahun 2021

No.	Bulan	Faktor Kerapatan Udara	Tegangan Krisis Disruptif	Pc (kW)
1.	Januari	0,975977780	185,0924673568	0,2266828754
2.	Februari	0,973704287	184,661303414	0,2279628206
3.	Maret	0,973056662	176,6671727942	0,2283281985
4.	April	0,973056662	176,6671727942	0,2283281985
5.	Mei	0,970474754	176,1984042172	0,2297882932
6.	Juni	0,973380367	176,7259443431	0,2281455241
7.	Juli	0,972733173	176,6084404621	0,2285108402
8.	Agustus	0,975002127	177,0203894307	0,2272316287
9.	September	0,974352775	176,9024937455	0,227597312
10.	Oktober	0,973056662	176,6671727942	0,2283281985
11.	November	0,974352775	176,9024937455	0,227597312
12.	Desember	0,976629300	177,3158172972	0,2263168507

Tabel 4.4 memperlihatkan bahwa rugi-rugi yang terjadi pada pengiriman energi daya listrik dari Gardu Induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai tidak terlalu besar. Kehilangan daya terendah terjadi pada bulan Desember mencapai 0,2263168507 kW. Sedangkan kehilangan daya terbesar terjadi pada Bulan Mei mencapai 0,2297882932 kW. Terjadinya rugi-rugi daya korona pada saluran transmisi ini menunjukkan bahwa tidak semua daya yang dikirim oleh Gardu Induk Pangkalan Susu diterima seutuhnya oleh Gardu Induk Binjai.

Setelah menganalisis dan menghitung hasil data maka diperoleh sebuah kurva dari rugi-rugi daya korona pada saluran transmisi Gardu Induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai 2021.

Berikut adalah kurva dari data rugi-rugi korona total pada saluran transmisi Gardu Induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai Tahun 2021 yang ditunjukkan oleh gambar 4.2 sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Rugi-Rugi Korona pada Saluran Transmisi 275 kV Gardu Induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai

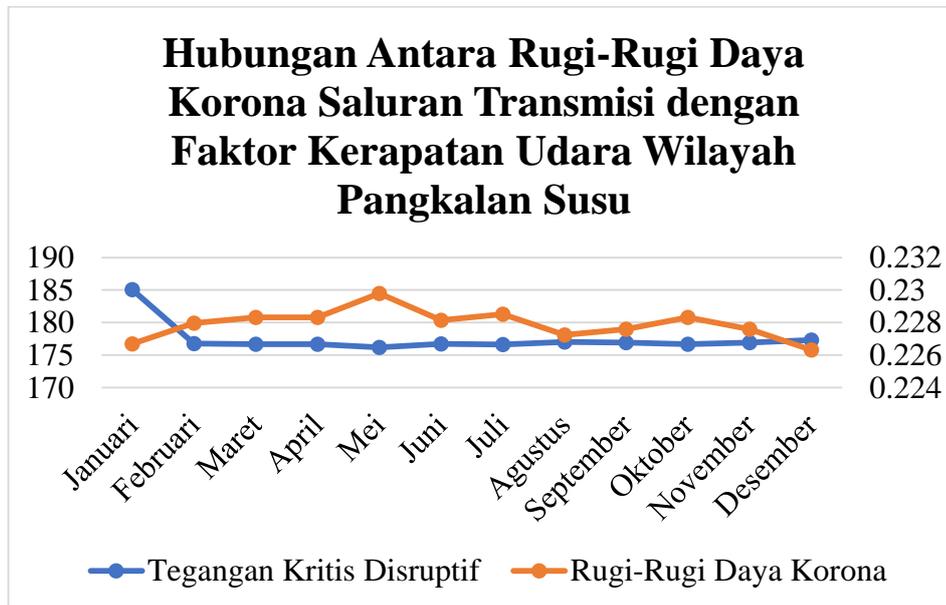
Pada kurva rugi-rugi daya korona dapat dilihat bahwa adanya terjadi peningkatan drastis pada bulan Mei dan penurunan pada bulan-bulan di akhir tahun.

4.3 Rata-rata Rugi-rugi Korona SUTET 275 kV Gardu Induk Pangkalan Susu – Gardu Induk Binjai

Total rugi-rugi daya korona selama tahun 2021 setelah dijumlahkan adalah sebesar 2,7180085885 kW sepanjang saluran transmisi, maka rata-rata perbulan rugi-rugi korona saaluran transmisi Gardu Induk Pangkalan Susu – Gardu Induk Binjai yaitu :

$$\begin{aligned}
 P_c \text{ Rata-rata} &= \sum \frac{P_c \text{ Bulan}}{12} \text{ kW} \\
 &= \sum \frac{2,7180085885}{12} \text{ kW} \\
 &= 0,2265007157 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Pada kurva rugi-rugi daya korona rata-rata perbulan SUTT 275 kV Pangkalan Susu – Binjai tahun 2021, terjadi peningkatan besar nilai rugi-rugi korona pada bulan Mei dan penurunan nilai rugi-rugi daya korona pada bulan-bulan di akhir tahun. Berikut adalah kurva hubungan antara rugi-rugi daya korona pada saluran transmisi 275 kV dengan faktor kerapatan udara di wilayah Pangkalan Susu – injai. Rata-rata perbulan ditunjukkan oleh Gambar 4.3 sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Rugi-Rugi Daya Korona terhadap Faktor Kerapatan Udara Wilayah Pangkalan Susu

Dilihat dari kurva diatas maka dapat kita ketahui bahwa nilai rugi-rugi daya korona mempunyai hubungan keterbalikan dengan nilai faktor kerapatan udara. Kurva hubungan kerapatan udara dengan nilai-rugi-rugi daya korona selama

setahun tersebut tidak dapat membuktikan lebih jauh tentang formula Peek yang menyebutkan bahwa nilai rugi-rugi daya korona akan semakin besar pada saat cuaca yang lembab karena data-data tekanan udara dan suhu tidak dapat membuktikan kelembaban udara daerah tersebut. Jika memungkinkan ada hubungan antara rugi-rugi daya korona yang terjadi pada saluran transmisi 275 kV gardu induk Pangkalan Susu menuju Binjai dengan jumlah curah hujan yang ada pada wilayah saluran tersebut.

Adapun data klimatologi untuk jumlah curah hujan pada wilayah Pangkalan Susu tahun 2021 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Data Klimatologi Besar Curah Hujan Daerah Pangkalan Susu dan Rugi-Rugi Daya Korona Saluran Transmisi 275 kV Gardu Induk Pangkalan Susu – Gardu Induk Binjai Tahun 2021

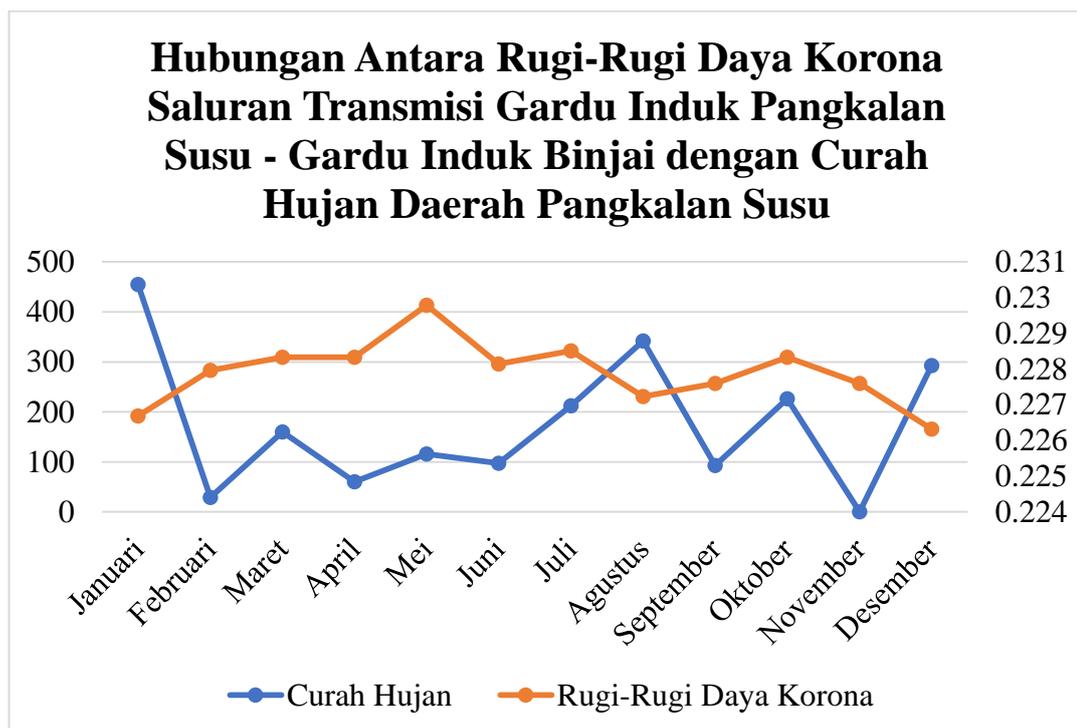
Bulan	Curah Hujan (mm)	Pc (kW)
Januari	455	0,2266828754
Februari	29	0,2279628206
Maret	160	0,2283281985
April	60	0,2283281985
Mei	116	0,2297882932
Juni	97	0,2281455241
Juli	212	0,2285108402
Agustus	342	0,2272316287
September	93	0,227597312
Oktober	226	0,2283281985
November	0	0,227597312
Desember	293	0,2263168507

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa curah hujan pada wilayah Pangkalan Susu bervariasi selama tahun 2021. Curah hujan terendah terjadi pada bulan November mencapai 0 mm sedangkan curah hujan terbesar terjadi pada bulan Januari

mencapai 455 mm. curah hujan merupakan salah satu bagian dari faktor yang memengaruhi rugi-rugi daya korona.

Faktor cuaca yang sering terjadi di Indonesia terkhusus wilayah Pangkalan Susu adalah faktor curah hujan. Curah hujan dapat menaikkan rugi-rugi daya korona karena titik hujan pada permukaan kawat penghantar dapat mengawali tembus korona total. Efek yang ditimbulkan hujan lebih besar menimbulkan rugi-rugi daya korona dibandingkan efek dari faktor cuaca lainnya.

Berikut adalah kurva hubungan antara rugi-rugi korona saluran transmisi 275 kV Gardu Induk Pangkalan Susu – Gardu Induk Binjai dengan curah hujan daerah Pangkalan Susu yang diambil dari data BMKG setempat dalam Katalog : 1102001.1213 Kabupaten Langkat Dalam Angka 2022 yang diterbitkan oleh BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Langkat ditunjukkan oleh Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Rugi-Rugi Daya Korona Saluran Transmisi Gardu Induk Pangkalan Susu - Gardu Induk Binjai dengan Curah Hujan Daerah Pangkalan Susu

4.4 Efisiensi Saluran Transmisi dilihat dari Rugi-rugi Daya Korona

Karena nilai rugi-rugi korona berupa energy maka perlu untuk mengetahui efisiensi dari saluran transmisi ditinjau dari rugi-rugi korona yang terjadi. Karena

rugi-rugi korona juga termasuk faktor dalam rugi-rugi daya total pada saluran transmisi.

Efisiensi saluran transmisi ditinjau dari besar rugi-rugi daya korona dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Diketahui :

P kirim = 200 kW

Rugi-rugi daya korona (Pc) = 0,2265007157 kW

$$\eta = \frac{P_{kirim} - P_c}{P_{kirim}} \times 100\%$$
$$\eta = \frac{200 \text{ kW} - 0,2265007157 \text{ kW}}{200 \text{ kW}} \times 100\%$$
$$\eta = 99,8867496422$$

Nilai rugi-rugi daya korona yang memengaruhi sekitar 0,1132503578% dari daya yang disalurkan pada saluran transmisi, sedangkan nilai dari efisiensi saluran transmisi ditinjau dari besar rugi-rugi daya korona sekitar 99,8867496422%. Ini membuktikan bahwa kondisi saluran transmisi yang menghubungkan gardu induk pangkalan susu menuju gardu induk binjai dianggap cukup baik dgfari konfigurasi jaringan yang digunakan, daya yang disalurkan serta kondisi cuaca pada daerah saluran transmisi setelah diperhitungkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan rugi-rugi korona pada SUTET 275 kV yang menghubungkan Gardu Induk Pangkalan Susu dengan Gardu Induk Binjai, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai rugi-rugi daya korona pada saluran transmisi Gardu Induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai bervariasi selama satu tahun, dengan nilai rata-rata rugi-rugi korona perbulannya sebesar 0,2265007157 kW, dimana semakin besar curah hujan yang terjadi maka semakin besar pula nilai rugi-rugi daya korona pada saluran tersebut. Serta efisiensi saluran transmisi apabila ditinjau dari rugi-rugi korona tersebut adalah sebesar 99,887%.
2. Kerugian daya pada saluran transmisi Gardu Induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai masih terlalu kecil sehingga tidak diperlukan penggantian alat pada saluran tersebut.
3. Nilai efisiensi pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi gardu induk Pangkalan Susu menuju Gardu Induk Binjai sangatlah baik rata-rata hampir mencapai 100%

5.2 Saran

Adapun saran yang akan disampaikan pada penelitian ini adalah Peneliti selanjutnya diharapkan dapat membuat perbandingan besar rugi-rugi daya korona dengan bentuk konfigurasi dan jenis menara yang lain

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Thoriq Maulana, M. Hilmi Habibullah, Sunandar, N. Sholihah, M. Ainul Rifqi L. P., and F. Fahrudin, “Laporan Akhir Laporan Akhir,” *Lap. Akhir*, vol. 1, no. 201310200311137, pp. 78–79, 2015.
- [2] R. Akbar, “Tugas akhir ‘analisis rugi -rugi daya transmisi 275 kv pada saluran transmisi pt.pln (persero)pangkalan susu- binjai,’” 2017.
- [3] M. L. Manik, “Institut Teknologi - PLN,” no. 11150331000034, pp. 1–147, 2013.
- [4] M. Azizurrohman, “Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV Gardu Induk Batang – Gardu Induk Pekalongan Dengan Jenis Konduktor ACCC Lisbon,” *Uty*, p. pp 4-17, 2019.
- [5] D. PICALISTA, “Analisis Rugi-Rugi Akibat Korona Pada Transmisi Daya 500 Kv Gitet Paiton - Gitet Grati,” 2017, [Online]. Available: <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/81054>.
- [6] S. Transmisi, K. V Antara, G. I. Harapan, and B. Gi, “ANALISIS ASPEK EKONOMI AKIBAT RUGI-RUGI KORONA PADA,” vol. 2, no. September 2021, pp. 42–49, 2022.
- [7] H. Sujatmiko, “Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500,” *J. Tek. Elektro Vol. 1 No*, vol. 1, 2009.
- [8] J. Naomi *et al.*, “Analisa Efek Korona pada Saluran Transmisi Gardu Induk Paniki.”
- [9] D. Chairani, “Analisis Pengaruh Korona Terhadap Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi,” *J. Pendidik. Sains dan Komput.*, vol. 2, no. 2, pp. 2809–476, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.47709/jpsk.v2i2.1525>.

- [10] A. A. Hutasuhut, M. D. Aprilio, N. Evalina, and F. I. Pasaribu, “Analisis Traveling Wave Signal untuk Menentukan Titik Gangguan Pada Saluran Tranmisi 150 KV PT PLN (Persero) Gardu Induk Glugur,” pp. 57–64.
- [11] A. Hasibuan and E. S. Nasution, “Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150kV Rantauprapat- Padang Sidempuan,” *J. Energi Elektr.*, vol. 5, no. 2, p. pp 49-54, 2016.
- [12] P. Harahap, M. Adam, and A. Prabowo, “Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6.0,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 62–69, 2019, doi: 10.30596/rele.v1i2.3002.
- [13] M. Haddin and A. Bahtiar, “Rugi Daya Dan Energi Akibat Korona Pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 Kv,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 6, no. 2, p. 225, 2018, doi: 10.36055/setrum.v6i2.2769.
- [14] W. ANGGARA, “Studi . Rugi Daya Listrik Akibat Korona Pada Saluran Udara Ungaran,” 2019.
- [15] R. Syahbana, “Analisa Terbentuknya Korona pada Saluran Kubicle Tegangan 20Kv Serta Pengaruhnya Terhadap Rugi-Rugi Daya,” *Lensa*, vol. 2, no. 48, pp. 14–21, 2019.
- [16] G. I. L. Alung, G. I. P. I. P. G. I. P. Limo, N. Kurniasih, and P. Sari, “ANALISIS PENGARUH AKIBAT KORONA TERHADAP RUGI-RUGI DAYA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI 150 kV,” *Kurniasih, Novi Sari, Dewi Purnama*, vol. 3, no. 1, pp. 54–65, 2014.
- [17] A. Dewi, “Studi Analisa Pengaruh Temperatur Dan Tekanan Udara Terhadap Rugi Daya Korona SUTT 150 kV,” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 9, no. 1, pp. 47–53, 2020, doi: 10.21063/jte.2020.3133909.

- [18] S. T. Teknik-pln, “RUGI-RUGI DAYA PADA SALURAN UDARA TEGANGAN MUKHAMAD DWI RIFALDI,” 2016.
- [19] K. V Pangkalan and S. Binjai, “SKRIPSI OLEH: RIHOTLIAN MANULLANG FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN,” 2020.
- [20] E. A. Yahaya, “Power loss due to Corona on High Voltage Transmission Lines,” *IOSR J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 14–19, 2013, doi: 10.9790/1676-0831419.
- [21] F. Leplingard *et al.*, “FWM-Assisted Raman Laser for Second-Order Raman Pumping,” *Optics InfoBase Conference Papers*. pp. 431–432, 2003.
- [22] R. Masarrang, L. S. Patras, H. Tumaliang, and A. P. S. Transmisi, “Efek Korona pada Saluran Transmisi Gardu Induk Tello Sulawesi Selatan,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 2, pp. 67–74, 2019.
- [23] C. Yahya, “Unit Commitment Atthermal Generatorwith Lambda Iterationusing Delphi 7,” pp. 5–12, 2019, [Online]. Available: <http://repository.untag-sby.ac.id/id/eprint/13398>.
- [24] A. Saraswati, T. Sukmadi, S. Handoko, and L. Belakang, “Perhitungan Korona, Audible Noise dan Radio Interference Pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV Dengan Variasi Jarak Antar Kawat dan Jarak Antar Sirkuit,” *J. Elektro*, vol. 14, no. 4, pp. 141–148, 2012.
- [25] L. M. Dirgantara and U. A. Gani, “Perhitungan Besar Rugi-Rugi Daya Korona Pada Sistem Saluran Transmisi 275 Kv Gi Mambong Malaysia – Gi,” no. 1, 2018.
- [26] T. R. Korona and A. Noise, “Perhitungan pengaruh andongan konduktor terhadap rugi korona ,” 2017.

LAMPIRAN

Tabel 1.2.1 Curah Hujan dan Banyaknya Hari Hujan di Kab. Langkat Menurut Daerah Pengamatan dan Bulan, 2021
Rain-fall and Number of Rain-day by Month and Observation in Langkat Regency, 2021

Daerah Pengamatan Observation	Jan / Jan		Peb / Feb		Mar / Mar	
	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
BPP Bahorok	487	19	15	1	355	10
BPP Tg. Langkat	462	16	125	7	264	8
Ktr. Camat Kuala	393	22	86	6	96	16
BPP Selesai	415	11	95	3	103	5
BPP Sei Bingai	295	22	40	8	153	23
BPP Kw. Begumit	301	18	47	5	46	8
BPP Perdamaian	234	14	27	2	45	7
BPP Cempa	288	14	75	14	120	14
Ktr. Camat Pd. Tualang	198	7	43	7	69	7
Ktr. Camat Bt. Serangan	296	10	62	10	74	10
BPP Babalan	379	10	177	10	32	10
BPP Brandan Barat	649	15	57	15	152	15
BPP Besitang	361	18	46	3	157	8
Ktr. Camat Pkl. Susu	455	26	29	4	160	8
BPP Gebang	295	22	138	7	36	11
BPP Pem. Jaya	378	24	0	4	83	10
BPP Secanggang	328	18	28	2	124	10
BPP Tanjung Pura	116	13	116	11	116	16
BPP Sei Lengan	446	15	60	6	29	10
BPP Sirapit	245	18	110	5	86	11
BPP Kutambaru	404	16	118	6	250	7
BPP Sawit Seberang	259	19	84	9	140	11

GEOGRAFI DAN IKLIM

Lanjutan Tabel/Continued Table 1.2.1

Daerah Pengamatan Observation	Apr / Apr		Mei / May		Juni / June	
	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
BPP Bahorok	280	10	424	15	234	9
BPP Tg. Langkat	292	14	331	11	180	9
Ktr. Camat Kuala	548	17	253	18	238	17
BPP Selesai	409	8	324	10	237	8
BPP Sei Bingai	461	15	319	14	232	21
BPP Kw. Begumit	223	13	212	10	128	15
BPP Perdamaian	109	8	131	10	181	15
BPP Cempa	130	14	51	14	177	14
Ktr. Camat Pd. Tualang	195	7	80	7	216	7
Ktr. Camat Bt. Serangan	274	10	222	10	183	10
BPP Babalan	169	10	60	10	-	10
BPP Brandan Barat	34	15	72	15	144	15
BPP Besitang	42	7	146	10	290	15
Ktr. Camat Pkl. Susu	60	7	116	11	97	12
BPP Gebang	102	13	55	14	136	20
BPP Pem. Jaya	130	14	171	9	152	20
BPP Secanggang	121	10	100	10	110	13
BPP Tanjung Pura	116	8	116	10	116	9
BPP Sei Lengan	255	11	122	8	152	10
BPP Sirapit	369	11	149	11	180	12
BPP Kutambaru	370	17	192	9	223	9
BPP Sawit Seberang	218	15	-	-	-	-
BPP Peternakan Desa Lubuk Kasih	202	7	321	9	460	11
BPP Wampu	-	-	-	-	-	-
BPP Sei Siur Pkl. Susu	85	8	97	8	257	14
Rata-rata/ Average	207,76	10,76	162,56	10,12	172,92	11,8

Daerah Pengamatan <i>Observation</i>	Juli / July		Agus / Aug		Sep / Sept	
	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
BPP Bahorok	517	16	416	12	147	9
BPP Tg. Langkat	248	8	349	12	341	12
Ktr. Camat Kuala	150	12	298	19	84	14
BPP Selesai	216	9	189	8	145	6
BPP Sei Bingai	102	12	294	21	277	24
BPP Kw. Begumit	204	12	272	19	282	15
BPP Perdamaian	123	10	136	15	247	15
BPP Cempa	233	14	172	14	184	14
Ktr. Camat Pd. Tualang	168	7	217	7	226	7
Ktr. Camat Bt. Serangan	339	10	340	10	348	10
BPP Babalan	114	10	274	10	104	10
BPP Brandan Barat	61	15	215	15	174	15
BPP Besitang	166	11	213	13	232	13
Ktr. Camat Pkl. Susu	212	12	342	21	93	15
BPP Gebang	134	15	212	23	217	18
BPP Pem. Jaya	171	15	209	23	181	13
BPP Secanggang	123	13	214	23	284	14
BPP Tanjung Pura	116	14	116	-	116	10
BPP Sei Lengan	110	9	224	12	-	-
BPP Sirapit	148	9	182	16	181	15
BPP Kutambaru	403	13	677	21	269	12
BPP Sawit Seberang	-	-	-	-	-	-
BPP Peternakan Desa Lubuk Kasih	282	5	440	15	408	9
BPP Wampu	-	-	-	-	-	-
BPP Sei Siur Pkl. Susu	112	12	239	21	99	15
Rata-rata/ Average	178,08	10,52	249,60	14	185,56	11,4

Lanjutan Tabel/Continued Table 1.2.1

Daerah Pengamatan <i>Observation</i>	Okt / Oct		Nop / Nov		Des / Dec	
	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)	Curah Hujan/ Precipitation (mm)	Hari Hujan/ Rainy Days (Hari)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
BPP Bahorok	-	-	835	20	273	12
BPP Tg. Langkat	465	13	1012	21	93	7
Ktr. Camat Kuala	162	13	542	22	127	14
BPP Selesai	196	6	483	19	65	7
BPP Sei Bingai	212	17	558	24	130	19
BPP Kw. Begumit	279	12	333	22	156	13
BPP Perdamaian	128	9	303	17	226	9
BPP Cempa	178	14	317	14	197	14
Ktr. Camat Pd. Tualang	231	7	186	7	215	7
Ktr. Camat Bt. Serangan	214	10	623	10	292	10
BPP Babalan	319	10	297	10	292	10
BPP Brandan Barat	237	15	273	15	183	15
BPP Besitang	249	8	333	18	235	14
Ktr. Camat Pkl. Susu	226	11	-	-	293	19
BPP Gebang	237	16	352	25	276	20
BPP Pem. Jaya	142	14	209	22	294	23
BPP Secanggang	241	12	258	17	204	15
BPP Tanjung Pura	116	10	116	13	116	12
BPP Sei Lengan	-	-	-	-	-	-
BPP Sirapit	196	10	365	15	99	9
BPP Kutambaru	-	-	807	25	586	24
BPP Sawit Seberang	-	-	-	-	-	-
BPP Peternakan Desa Lubuk Kasih	333	8	322	14	317	11
BPP Wampu	-	-	-	-	-	-
BPP Sei Siur Pkl. Susu	128	12	170	21	179	19
Rata-rata/ Average	179,56	9,08	347,76	14,84	193,92	12,12

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisa Efek Korona terhadap Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi 275 kV GI Pangkalan Susu – GI Binjai

NAMA : DEA FARADIKA AZRI
 NPM : 1907220136P

Dosen Pembimbing : Noorly Evalina, S.T, M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	25-2-2021	Acc Judul - Rumus Unsur, - Tegangan	Suati
2.	5-3-2021	- Perhitungan koefisien pergerakan kabel	Suati
3.	25-3-2021	Perbaikan rumus perolehan	Suati
4.	2-4-2021	Perhitungan detail RSK - Perolehan - Metode perolehan	Suati
5	26-4-2021	Perhitungan flow chart	Suati
6	20-8-2021	Acc Seminar Proposal	Suati

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisa Efek Korona terhadap Rugi-rugi Daya pada Saluran Transmisi 275 kV G.I Pangkalan Susu – G.I Binjai

NAMA : DEA FARADIKA AZRI

NPM : 1907220136P

Dosen Pembimbing : Noorly Evalina, S.T, M.T

No	Hari / Tanggal	Kegiatan	Paraf
	Revisi / 0 - 2022	Amplifikasi data pulsif pada Korona	
	Revisi / 20-9-2022	Ace Fajar Lail	
	12 / 10-10-2022	Ace Sidang TA	



Nomor : 0457/SDM.02.04/C24060000/2022
Lampiran : 1 Lembar
Sifat : Segera
Perihal : Ijin Pengambilan Data

08 April 2022

UIP3B SUMATERA/
UPT MEDAN

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

Menunjuk Surat dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (Fakultas Teknik) Jl. Mukhtar Basri No.3 Medan Nomor Surat : 426/II/3-AU/UMSU-07/F/2022 pada tanggal 11 Maret 2022 perihal Pengambilan Data/Riset atas Nama :

No	Nama Mahasiswa	Npm	Jurusan
1.	Dea Faradika Azri	1907220136P	Teknik Elektro

Bersama ini dikonfirmasi bahwa untuk Pengambilan Data tersebut dapat dilaksanakan di lingkungan kantor PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan Gardu Induk Pangkalan Susu di mulai tanggal 13 April 2022 sampai dengan tanggal 25 April 2022, adapun dalam pelaksanaan Pengambilan Data tersebut hal-hal yang perlu diperhatikan Mahasiswa sebagai berikut:

1. Mengisi Daftar hadir.
2. Menjaga Etika, sopan santun dan melaksanakan tata tertib di perusahaan PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan dan Gardu Induk Pangkalan Susu.
3. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak menyediakan transportasi dan akomodasi
4. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak memberikan honorarium dan konsumsi.
5. PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera Unit Pelaksana Transmisi Medan tidak Menanggung biaya pemeriharaan kesehatan dan resiko kecelakaan
6. Menunjukkan hasil swab/PCR test atau test Antigen (ke Kantor UPT Medan dan G.I Pangkalan Susu) yang masih berlaku sebelum memuali pelaksanaan Pengambilan Data
7. Mengikuti Protokol Kesehatan yang berlaku.
8. Peserta Pengambilan Data tidak akan mengekspose data/informasi Perusahaan kepada pihak lain
9. Menyerahkan copy laporan hasil Pengambilan Data setelah selesai dilaksanakan
10. Untuk laporan Pengambilan Data ijin dan mekanisme dapat menghubungi Manager ULTG Binjai dan Supv Jargi Pangkalan Susu.

Demikian disampaikan untuk dapat dipergunakan seperlunya terimakasih.

MANAGER UNIT PELAKSANA
TRANSMISI MEDAN



Tembusan :
1. MAN ULTG Binjai
2. SUPV JARGI Pangkalan Susu

l. Listrik No. 12, Kel. Petisah Tengah, Kec. Medan Petisah, Medan 20112
f (061) 4579900 F (061) 4577700 E upt_medan@p3b-sumatera.co.id

Paraf _____