

TUGAS AKHIR

“ANALISIS RUGI-RUGI DAYA TRANSMISI 275 KV PADA SALURAN TRANSMISI PT.PLN (PERSERO)PANGKALAN SUSU-BINJAI”

*Diajukan Guna Memenuhi Tugas-Tugas dan Syarat-Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

ROTUAH AKBAR

NPM : 1107220049



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (PERSERO) GI Tragi Binjai, saluran transmisi merupakan komponen penting dalam penyaluran daya listrik oleh karenanya rugi-rugi daya pada saluran transmisi harus kecil agar daya listrik yang diterima harus mendekati daya listrik yang dikirimkan. Adanya rugi-rugi daya pada saluran transmisi merupakan suatu masalah yang harus diatasi, dimana hal ini diakibatkan oleh besarnya impedansi saluran dan panjang saluran itu sendiri. Hal ini juga dapat mengakibatkan kerugian financial bagi pemproduksi energi listrik. Tegangan 275 KV adalah tegangan tinggi dimana pengaruh kapasitansi tidak dapat diabaikan oleh karena itu pemecahan masalahnya menggunakan sistem saluran transmisi menengah, (nominal T, dan nominal phi), daya total yang dikirim sebesar 150 MW yang Dikirim melalui transmisi udara dengan menempuh jarak 69.9 KM. Daya yang dikirimkan yaitu sebesar 150 MW, sedangkan daya yang diterima sesampainya ditujuan sebesar 145,637 MW dengan rugi-rugi daya sebesar 4.36 MW atau sebesar 2,9 % (berdasarkan analisa metode nominal phi), dan daya diterima sebesar 145,5 mw, dengan rugi-rugi daya sebesar 4.5 mw atau sebesar 3.% (berdasarkan analisa metode nominal T).

Kata kunci : *Transmisi, impedansi, rugi-rugi daya.*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan rasa syukur atas kehadiran Allah SWT, melalui segala waktu dan upaya yang ada penulis dapat menyelesaikan Skripsi Tugas Akhir, yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Jenjang kesarjanaan (Strata-1) di Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul Skripsi Tugas Akhir ini adalah :

"Analisis Rugi-Rugi Daya Transmisi 275 Kv Pada Saluran Transmisi PT, PLN (PERSERO) Pangkalan Susu- Binjai"

Selama dalam menyelesaikan Skripsi Tugas Akhir ini, penulis telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Sehingga atas selesainya Skripsi Tugas Akhir ini, penulis dengan rendah hati mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan Skripsi Tugas Akhir ini, Terutama kepada :

1. Kepada Ayahanda (**Sujarno**) dan Ibunda (**Nurmaini hutagaol**) tercinta, Adik (**Gita arsita dan falguna akbar**), Kakak (**Anggun Alverani S,pd**) dan keluarga besar tercinta yang tersayang, yang telah banyak memberi nasehat dan doanya serta pengorbanannya berupa dukungan baik moral maupun material dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kepada Bapak **Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M** sebagai pembimbing I dan kepada Ibu **Noorly Evalina, S.T, M.T** sebagai Pembimbing II yang telah membantu dan memberikan arahannya serta pemikirannya kepada penulis sehingga terselesaikan Tugas Akhir ini.
3. Kepada Bapak **Rahmatullah, S.T., M.Sc.** Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Kepada Bapak **Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T** dan Bapak **Partaonan Harahap, S.T., M.T** Selaku Ketua Program Studi dan Sekretaris Program

Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Kepada Bapak, Ibu staf pengajar serta pegawai Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Kepada Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Elektro Stambuk 2011, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, khususnya Jamsbrong. yang telah banyak membantu sekaligus mendorong semangat dan memberi masukan-masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Studi Strata-1 yang bermanfaat bagi penulis.

Dalam penulisan Skripsi Tugas Akhir ini, Penulis telah berupaya semaksimal mungkin dengan kemampuan yang ada untuk dapat menyelesaikannya. Dan penulis menyadari adanya kekurangan dan kejanggalan dalam penyusunan ini maupun penulisan kata-kata, maka pada kesempatan ini dengan kerendahan hati penulis menerima kritik dan saran dari pembaca sekalian yang bersifat membangun demi kesempurnaan Skripsi Tugas Akhir ini. Akhir kata, penulis sekali lagi mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu, Kiranya tulisan ini bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Medan, 15 September

2017

Penulis

(ROTUAH AKBAR)

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	X
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Metode Penulisan.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan pustaka Relevan	7
2.2 Sejarah Singkat Listrik Di Indonesia	9
2.2.1 Sejarah Singkat Listrik Di Sumatra Utara	10
2.3 Sistem Tenaga Listrik	11
2.4 Saluran Transmisi	12
2.4.1 Kategori Saluran Transmisi Berdasarkan Arus Listrik	12
2.4.1.1 Saluran Transmisi AC (alternating current)	13
2.4.1.2 Saluran Transmisi DC (direct current)	13

2.4.2	Komponen Utama Saluran Transmisi	15
2.4.3	Model Saluran Transmisi	20
2.5	Karakteristik Dari Saluran Transmisi	20
2.5.1	Resistansi	21
2.5.2	Induktansi	22
2.5.3	kapasitansi	27
2.5.4	Impedansi	28
2.6	Arus Listrik	29
2.7	Daya Listrik	31
2.7.1	Daya Aktif	31
2.7.2	Daya Reaktif	32
2.7.3	Daya Semu	32
2.7.4	Faktor Daya	33
2.7.5	Rugi-Rugi Daya Saluran	34
2.8	Jatuh Tegangan	36
2.9	Rangkaian Katub Empat	37
2.10	Saluran Transmisi Jarak Pendek	38
2.10.1	Saluran Transmisi Jarak Pendek Dengan Tegangan Kerja 275 kV	41
2.10.2	Metode Nominal T	42
2.10.3	Metode Nominal π	43

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Lokasi Riset	45
3.2	Jalannya Penelitian	45

3.3	Variable Penelitian	46
3.4	Teknik Analisa Data	48
3.4.1	Analisa Perhitungan Daya	48

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1	Umum	50
4.2	Pembahasan	51
4.2.1	Metode Nominal Phi	51
4.2.2	Metode Nominal T	56

BAB VPENUTUP

5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran	61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	koefisien resistivitas dan temperatur dari resistansi21
Tabel 4.1	Data Hasil Penelitian50
Tabel 4.2	Perbandingan Pengolahan Data Dengan Data Hasil Riset59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	One Line Diagram Sistem Tenaga Listrik	12
Gambar 2.2	Menara Transmisi	16
Gambar 2.3	Isolator Gantung	17
Gambar 2.4	Kawat Konduktor Tipe Aac	17
Gambar 2.5	Kawat Konduktor Tipe Aaac	18
Gambar 2.6	Kawat Konduktor Tipe Acsr	18
Gambar 2.7	Kawat Konduktor Tipe Acar	19
Gambar 2.8	Model Saluran Transmisi	20
Gambar 2.9	Aliran Resistansi Pada Kawat Penghantar	22
Gambar 2.10	Aliran Induktansi Pada Kawat Penghantar	23
Gambar 2.11	Penampang Saluran Tiga Fasa Dengan Jarak Sama.....	25
Gambar 2.12	Siklus Transposisi	25
Gambar 2.13	Penampang Saluran Tiga Fasa Dengan Jarak Tidak Sama.....	26
Gambar 2.14	Aliran Kapasitansi Pada Kawat Penghantar	27
Gambar 2.15	Segitiga Daya	32
Gambar 2.16	Segitiga Daya Yang Bersifat Induktif	33
Gambar 2.17	Segitiga Daya Yang Bersifat Kapasitif.....	34
Gambar 2.18	Rangkaian Katup Empat	37
Gambar 2.19	Rangkaian Ekuivalen Transmisi Jarak Pendek	39
Gambar 2.20	Diagram Fasor Transmisi Jarak Pendek Yang Terhubung Pada Beban Induktif	40
Gambar 2.21	Diagram Fasor Transmisi Jarak Pendek Yang Terhubung Pada Beban Kapasitif	41

Gambar 2.22	Gambar Metode Nominal T.....	42
Gambar 2.23	Gambar Metode π	43
Gambar 3.1	Diagram Alir Jalannya Penelitian	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Surat izin riset di GI PT. PLN Tragi Binjai
Lampiran	Dokumentasi riset

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat pembangkit listrik seperti : PLTA, PLTU, PLTP, PLTG, PLTD, PLTN dan sebagainya. Pusat-pusat pembangkit listrik itu umumnya terletak jauh dari pusat-pusat beban seperti perkotaan, industri atau pemukiman penduduk. Dengan demikian, energi listrik yang dibangkitkan di pusat pembangkit tenaga listrik harus ditransmisikan ke pusat-pusat beban.

Tegangan yang rendah yang dihasilkan oleh generator dapat ditingkatkan menjadi lebih tinggi dengan bantuan transformator dengan kisaran tegangan yang dihasilkan antara 30 kV-500 kV. Melalui tegangan tinggi ini akan disalurkan daya yang lebih besar dan memperkecil rugi-rugi daya dengan jenis konduktor tertentu. Karena jarak yang sangat jauh dari pusat beban, daya listrik disalurkan melalui saluran transmisi listrik.

Transmisi listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit listrik sampai ke saluran distribusi listrik sehingga dapat di salurkan ke konsumen. Dilihat dari jarak atau panjangnya saluran transmisi dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu :

- a. Saluran transmisi jarak pendek (*short line transmission*) saluran transmisi yang panjang nya kurang dari 80 km.
- b. Saluran transmisi jarak menengah (*medium line transmission*) saluran transmisi yang panjangnya antara 80 – 240 km.

- c. Saluran transmisi jarak jauh (*long line transmission*) saluran transmisi yang panjangnya lebih dari 240 km.

Berdasarkan hal diatas saluran transmisi yang menyalurkan daya dari Gardu Induk PT. PLN Pangkalan Susu menuju ke Gardu induk PT. PLN Tragi Binjai yang berjarak 70 km termasuk dalam kategori transmisi jarak pendek, jaringan transmisi tersebut menyalurkan daya dengan besar tegangan 275 kV, 3 fasa, 2 line arah dengan jumlah tower 219 buah.

Daya listrik selalu mengalir menuju beban, karna itu dalam hal ini aliran daya juga merupakan aliran beban. Beban-beban itu dipersentasikan sebagai impedansi saluran tetap (Z), tegangan (V), dan arus (I). Pada saluran transmisi terdapat rugi-rugi daya yang disebabkan oleh beberpa faktor yaitu : faktor tahanan konduktor dan juga faktor kebocoran isolator, shingga mengakibatkan tegangan mengalami penurunan atau bisa disebut dengan jatuh tegangan. Hal tersebut juga terjadi apabila tegangan pada pangkal pengirim dan pada ujung penerima ada perbedaan. Hilangnya sebagian daya pada saluran transmisi mengakibatkan Perusahaan Listrik Negara (PLN) disebagian tempat selalu mengalami kekurangan daya untuk didistribusikan ke konsumen listrik. Berdasarkan hal tersebut maka penulis akan mencoba melakukan penelitian tentang rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi tegangan tinggi 275 kV di Gardu Induk PT. PLN Pangkalan Susu sampai ke Gardu Induk PT. PLN Tragi Binjai dan sehingga dapat memberikan gambaran tentang kerugian daya yang terjadi pada saluran transmisi dan sebagai evaluasi untuk memperkecil daya yang hilang dan memaksimalkan daya yang dikirim dari sumber.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk mencegah keaburan pemahaman maka dalam suatu penelitian, masalah perlu sekali dirumuskan. Perumusan masalah ini akan mempermudah langkah-langkah berikutnya yang harus ditempuh oleh penulis. Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, maka permasalahan yang akan diamati adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar jatuh tegangan yang terjadi pada saluran transmisi 275 kV dari Pangkalan Susu-Binjai.
2. Berapa besar kerugian daya yang terjadi pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 275 kV pada saluran transmisi Pangkalan Susu-Binjai.
3. Berapa besar efisiensi saluran transmisi 275 kV Pangkalan Susu-Binjai.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui jatuh tegangan pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 275 kV.
2. Mengetahui rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 275 kV pada transmisi Pangkalan Susu-Binjai.
3. Mengetahui efisiensi saluran transmisi 275 kV Pangkalan Susu-Binjai.

1.4 Batasan masalah

Agar suatu pembahasan tidak menyimpang dari tujuannya memerlukan adanya pembatasan ruang lingkup masalah pada suatu pokok persoalan. Masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Riset dilakukan pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 275 kV pada saluran transmisi Pangkalan Susu-Binjai.
2. Pembahasan pada tugas akhir ini hanya membahas tentang berapa besar resistansi saluran, kapasitansi saluran, admitansi saluran, impedensi saluran, faktor daya saluran, besar tegangan pada pangkal pengirim dengan tegangan pada ujung penerima, rugi- rugi daya dan efisiensi saluran transmisi.
3. Penulisan tugas akhir ini hanya membahas saluran transmisi jarak pendek dengan tegangan 275 kV.

1.5 Metode Penulisan

Metode yang digunakan dalam menyusun Tugas Akhir ini antara lain :

1. Mengidentifikasi, menganalisa, dan merumuskan masalah, dalam hal ini masalah rugi-rugi daya transmisi 275 kV pada saluran transmisi Pangkalan Susu-Binjai.
2. Mengumpulkan beberapa data dari PT. PLN (Persero) P3BS dan GI PT. PLN Pangkalan Susu dan GI Tragi Binjai untuk dijadikan bahan.
3. Studi literatur : mengambil bahan dari buku-buku referensi, jurnal, dan perpustakaan.

4. Melakukan analisa dan perhitungan data dari PT. PLN (Persero) P3BS, GI PT. PLN Pangkalan Susu dan GI Tragi Binjai.
5. Mengambil kesimpulan dari pengamatan Tugas Akhir.

Adapun sumber data yang digunakan sebagai bahan untuk menyusun Tugas Akhir ini meliputi :

- a. Sumber data primer yaitu sumber data yang berasal dari peninjauan langsung pada objek pengamatan.
- b. Sumber data sekunder yaitu sumber data yang berasal dari buku-buku referensi dan dari internet yang berhubungan dengan masalah yang di bahas.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang penulisan, maksud dan tujuan penulisan, rumusan masalah, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan sebagai gambaran umum dari tugas akhir ini secara menyeluruh.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai, sejarah listrik dan sejarah berdirinya PT. PLN dan teori-teori yang mendukung dalam mengerjakan tugas akhir, serta teori-teori tentang penyaluran daya listrik, sistem transmisi dari

GI PT. PLN Pangkalan Susu sampai ke GI PT. PLN Tragi Binjai.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan diuraikan mengenai langkah-langkah melakukan pengolahan data yang bersumber dari PT .PLN P3BS dan GI PT. PLN Pangkalan Susu.

BAB IV : ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN

Disini penulis membahas mengenai analisa data dan perhitungn berdasarkan judul serta dasar teori yang telah dibuat.

BAB V : PENUTUP

Merupakan bab terakhir yang berisi kesimpulan dari seluruh pembahasan dalam Tugas Akhir ini. Saran-saran yang dikemukakan diharapkan bisa dipakai untuk perbaikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka relevan

Adapun hasil dari teori-teori penelitian terdahulu yang bersangkutan dengan judul tugas akhir penulis ini sebagai berikut :

1. Menurut hermawan sujatmiko (2009) dalam jurnalnya yang berjudul analisis kerugian daya pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV di PT. PLN (Persero) Penyaluran & Pusat pengaturan beban Jawa Bali Regional Jawa Tengah & DIY unit pelayanan transmisi Semarang, Saluran transmisi membawa tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban melalui saluran tegangan tinggi. Batas ketinggian tegangan transmisi pada masing-masing negara berbeda tergantung dari kemajuan teknologi tenaga listrik di negara-negara tersebut. Transmisi tegangan tinggi di Indonesia pada saat ini adalah 70 kV dan 150 kV sedangkan untuk transmisi tegangan ekstra tinggi menerapkan tegangan 500 kV.
2. Menurut Deny Reza (2009) dalam tugas akhirnya yang berjudul Perlindungan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV dari sambaran petir dengan menggunakan arching horn pada isolator gantung, pada saluran udara konduktansi G sangat kecil sehingga dengan mengabaikan konduktansi G perhitungan-perhitungan akan jauh lebih mudah dan pengaruhnya masih dalam batas yang dapat di abaikan.
3. Jatuh tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengirim (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerima (*receiving end*), (Hermawan Sujatmiko, 2009).

4. Menurut Fathoni Aziz,(2009), melalui jurnalnya yang berjudul Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi EHV (*Extra High Voltage*) di PT. PLN (Pesero) P3B Jawa Bali Regional Jawa Tengah Dan DIY Unit Pelayanan Transmisi Unggaran kerugian daya harus di upayakan dalam batas normal 5 % - 15 %
5. Menurut Sugeng A Karim (2006) dalam tugas akhirnya yang berjudul analisis rugi-rugi daya pada saluran transmisi sistem Sulsel 150 kV menggunakan metode teorema poynting berkesimpulan jarak pengantar R-S-T yang dekat 4-10 meter akan mengakibatkan semakin kuat besar medan listrik, sehingga rugi-rugi daya saluran akan semakin besar pula. Juga di pengaruhi oleh panjang saluran dan besar arus yang mengalir disepanjang saluran tersebut.
6. Menurut Zenny Jaelani (2008) dalam tugas akhirnya yang berjudul analisis rugi-rugi daya pada saluran 500 kV dengan menggunakan digisilent (studi kasus pada saluran transmisi Saguling-Bandung selatan di PT. PLN (Persero) P3B (Jawa-Bali) berkesimpulan nilai efisiensi transmisi pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 500 kV Saguling-Bandung selatan masih sangat baik sekali karena rata-rata mendekati 96,6 % - 99,605 % jadi tidak perlu adanya penggantian penghantar.
7. Menurut Liem Ek Bien, Ishak Kasim, dan Erni Aprianti Pertiwi (2005) dalam jurnalnya yang berjudul analisa kerugian daya perhitungan pada jaringan tegangan menengah feeder serimpi, pam 1 dan pam 2 pada jaringan area Gambar PT. PLN (persero) distribusi Jakarta Raya dan Tangerang berkesimpulan untuk memperkecil *losses* maka dapat dilakukan dengan cara

antara lain pemecahan beban pada gardu distribusi, dan melakukan pemeliharaan terhadap kabel JTM tersebut.

2.2 Sejarah Singkat Listrik di Indonesia

Kelistrikan Hindia Belanda dimulai pada tahun 1897 ketika perusahaan listrik yang bernama *Nederlandche Indische Eelectriciteit Maatschappij (NIEM)* yang merupakan perusahaan listrik Hindia Belanda yang berada dibawah N.V. *Hendelsvennootschap* yang sebelumnya bernama *Maintz & Co.* Perusahaan ini berpusat di Amsterdam, Belanda. Di daerah Batavia (Jakarta), *NIEM* membangun PLTU di Gambir ditepi sungai Ciliwung, PLTU berkekuatan 3200 + 3000 + 1500 kW tersebut merupakan pembangkit listrik tenaga uap pertama di Hindia Belanda dan memasok kebutuhan listrik di Batavia dan sekitarnya. *NIEM* berekspansi ke Surabaya dengan mendirikan perusahaan gas yang bernama *Nederlansche Indische Gas Maatschappij (NIGM)*, perusahaan ini diberi hak untuk mebangun beberapa pembangkit tenaga listrik di beberapa kota besar di pulau Jawa. Pada tanggal 26 April 1909 *NIGM* mendirikan anak perusahaan *Algemeene Nederlandsche Indische Electriciteit Maatschappij (ANIEM)*, dalam waktu yang tidak berapalama *ANIEM* berkembang menjadi perusahaan listrik swasta terbesar di Hindia Belanda dan menguasai sekitar 40% dari kebutuhan listrik di Hindia Belanda. Kemudian pada tahun 1923 *ANIEM* melalui anak perusahaannya *N.V. Electriciteit Maatschappij Sumatra (EMS)* berekspansi ke pulau Sumatra untuk mendirikan pembangkit listrik.

2.2.1 Sejarah Singkat Listrik di Sumatra Utara

Pada tahun 1923 *N.V. Electriciteit Maatschappij Sumatra (EMS)* membangun sentral listrik di pertapakan yang saat ini menjadi lokasi kantor PLN Cabang Medan Jl.Listrik No.12 Medan, kemudian menyusul pembangunan kelistrikan di Tanjung Pura dan Pangkalan Berandan (1924), di tebing tinggi (1927), di Sibolga, Brastagi dan Tarutung (1929), di Tanjung Balai (1931), di Labuhan Bilik (1936), dan Tanjung Tiram pada tahun (1937).

Setelah diproklamirkannya kemerdekaan Indonesia, perusahaan listrik yang dikuasai pihak penjajah direbut oleh pemuda-pemuda Indonesia pada bulan September 1945, Pada tanggal 27 Oktober 1945 dengan penetapan pemerintah No. 1 S/D 45 ditetapkan sebagai hari listrik oleh Presiden Soekarno, waktu itu kapasitas pembangkit tenaga listrik hanya sebesar 157,5 MW. Dalam suasana hubungan Indonesia dan Belanda yang semakin buruk, maka pada tanggal 3 Oktober 1953 terbitlah surat keputusan Presiden No.163 yang memuat ketentuan nasionalisasi perusahaan listrik swasta milik Belanda sebagai bagian dari perwujudan pasal 33 ayat (2) UUD 1945. Lalu pada tahun 1955 PLN distribusi Cabang Sumut (Sumatra dan Tapanuli) berdiri, setelah dikeluarkan SK Menteri PUTL NO.16/1/20 tanggal 20 Mei 1961 organisasi kelistrikan diubah menjadi PLN Eksploitasi I, maka dengan keputusan Direksi PLN NO. 009/DIR.PLN/66 tanggal 14 April 1966 PLN Eksploitasi I dibagi menjadi 4 cabang dan 1 sektor yaitu Cabang Medan, Cabang Binjai, Cabang Sibolga, Cabang Pematang Siantar dan Sektor Tebing Tinggi.

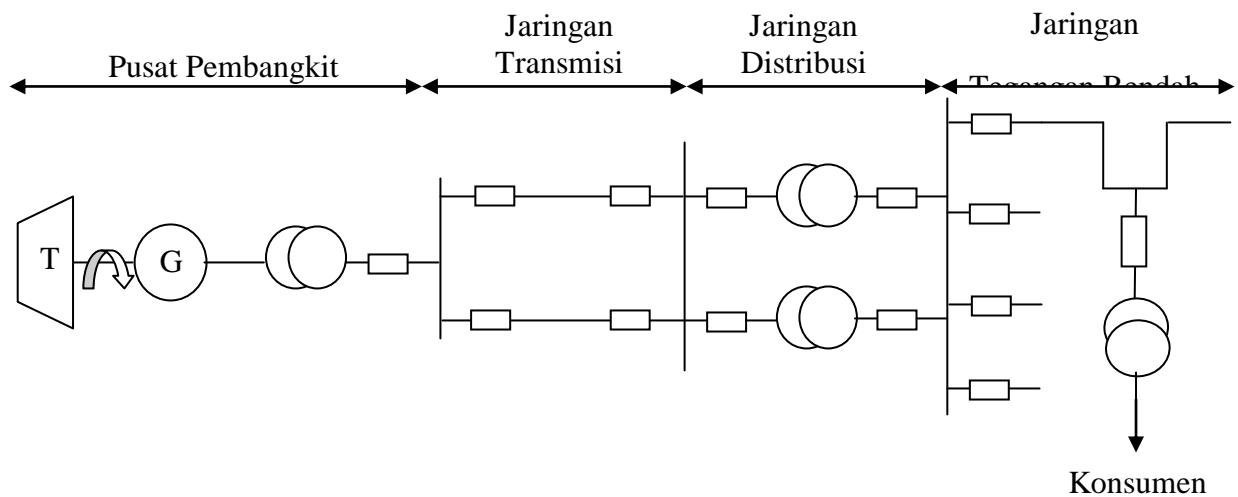
Sesuai dengan keputusan Menteri PUTL NO.01/PRT/73 yang merubah PLN Eksploitasi I menjadi PLN Eksploitasi II Sumatra Utara. Kemudian menyusul peraturan Menteri PUTL No.013/PRT/75 yang merubah PLN Eksploitasi II Sumatra Utara menjadi PLN PERUM Wilayah II Sumatra Utara. Pada tanggal 16 Juni 1994 yang di tetapkan oleh Presiden Republik Indonesia PLN berubah bentuk dari perusahaan umum (PERUM) menjadi Perseroan Terbatas (Persero). Dan berdasarkan surat keputusan No.078/k/023/DIR/1996 di bentuk organisasi baru bidang jasa pelayanan kelistrikan yaitu PT. PLN (Persero) pembangkitan dan penyaluran Sumatra Bagian Utara terpisah dari PLN Wilayah II, fungsi-fungsi pembangkit dan penyaluran dikelola PLN Pembangkitan dan penyaluran, sementara itu PLN Wilayah II Sumatra Utara berkonsentrasi pada distribusi dan penjualan tenaga listrik.

2.3 Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya pusat-pusat pembangkit terletak jauh dari konsumen atau pusat beban, karenanya listrik didistribusikan melalui sistem transmisi dan distribusi ke pusat beban, ada tiga komponen utama dari sistem tenaga listrik

1. Pembangkit
2. Transmisi
3. Distribusi

Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke pusat beban dapat di gambarkan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 One Line Diagram Sistem Tenaga Listrik

2.4 Saluran Transmisi

Di Indonesia standart tegangan transmisi adalah 66, 150, 275, 500 kV, klasifikasi menurut tegangan ini belum nyata. Tetapi di negara-negara maju dalam bidang kelistrikan seperti USA, Rusia dan Kanada, tegangan transmisi mencapai 1000 kV, maka disana klasifikasi berdasarkan tegangan adalah :

1. Tegangan tinggi (*high violtage*) 138 kV
2. Tegangan extra tinggi (*extra high voltage*) 220 sampai 765 kV
3. Tegangan ultra tinggi (*ultra high voltage*) diatas 765 kV

Penentuan deret tegangan diatas disesuaikan dengan rekomendasi *International Electrotechnical commission (IEC)*.

2.4.1 Kategori saluran transmisi berdasarkan arus listrik

Dalam dunia kelistrikan, dikenal dua kategori arus listrik, yaitu arus bolak-balik (*alternating current*) dan arus searah (*direct current*).

2.4.1.1 Saluran transmisi AC (*alternating current*)

Dalam sistem AC, kenaikan dan penurunan tegangan sangat mudah dilakukan dengan bantuan transformator dan juga memiliki dua sistem, sistem fasa tunggal dan sistem tiga fasa sehingga saluran transmisi AC memiliki keuntungan lainnya :

1. Mudah pembangkitannya
2. Mudah mengubah tegangannya
3. Dapat menghasilkan medan magnet putar
4. Dengan sistem tiga fasa, daya yang dialirkan lebih besar dan nilai sesaatnya konstan.

2.4.1.2 Saluran transmisi DC (*direct current*)

Dalam saluran transmisi DC, daya guna atau efisiensinya tinggi karena mempunyai faktor daya = 1, tidak memiliki masalah terhadap stabilitas sistem, sehingga dimungkinkan untuk penyaluran jarak jauh dan memiliki isolasi yang sederhana, sistem saluran transmisi DC dianggap ekonomis bila jarak saluran udara lebih jauh antara 400-600 Km atau untuk saluran bawah tanah lebih panjang dari 50 Km. Tetapi persoalan ekonominya masih harus diperhitungkan mengingat harga peralatan pengubah arus dari AC ke DC sangat mahal.

Saluran transmisi dengan sistem arus bolak-balik tiga fasa merupakan sistem yang banyak digunakan mengingat beberapa kelebihan sebagai berikut:

Peningkatan tegangan pada saluran transmisi mempunyai nilai ekonomis yang sangat penting, keuntungannya sebagai berikut :

1. Penyaluran daya yang sama arus yang dialirkan menjadi berkurang, ini berarti penggunaan bahan tembaga pada kawat penghantar akan berkurang dengan bertambahnya tegangan transmisi.
2. Luas penampang konduktor yang di gunakan berkurang karena itu struktur penyangga konduktor lebih kecil.
3. Arus yang mengalir di saluran transmisi menjadi lebih kecil maka jatuh tegangan menjadi lebih kecil.

Tegangan saluran transmisi yang semakin besar maka jarak bebas antar kawat penghantar harus lebih lebar, panjang gandengan isolator harus lebih besar dan berarti meningkatkan biaya menara dan konstruksi penopang.

Peninggian tegangan pada aliran transmisi harus dibatasi karena dapat menimbulkan beberapa masalah antara lain :

1. Tegangan tinggi dapat menimbulkan korona pada kawat transmisi dimana korona ini pun akan menimbulkan rugi-rugi daya dan dapat menyebabkan gangguan terhadap komunikasi radio.
2. Jika tegangan semakin tinggi, maka peralatan transmisi dan gardu induk membutuhkan isolasi yang handal agar peralatan tersebut mampu memikul tegangan tinggi yang mengalir. Hal ini mengakibatkan kenaikan biaya investasi.
3. Saat terjadi pemutusan dan penutupan (*switching*) akan timbul tegangan lebih surja hubung sehingga perlatan sistem tenaga listrik harus dirancang

untuk mampu memikul tegangan lebih tersebut. Hal ini mengakibatkan kenaikan biaya operasional.

4. Jika tegangan transmisi dinaikkan, maka menara transmisi harus semakin tinggi untuk menjamin keselamatan makhluk hidup di sekitar transmisi, peninggian menara ini akan mengakibatkan transmisi rentan tersambar petir, sambaran petir ini akan menimbulkan tegangan lebih surja petir pada sistem.
5. Peralatan sistem perlu dilengkapi dengan proteksi untuk menghindari kerusakan akibat adanya tegangan lebih surja hubung dan surja petir. Penambahan peralatan proteksi ini akan menambah biaya investasi dan biaya perawatan.

Dilihat dari jenisnya dikenal dua macam saluran transmisi yaitu :

1. Saluran udara (*over head line*) yang menyalurkan transmisi melalui kawat-kawat yang di gantungkan pada tiang-tiang transmisi dengan perantara isolator.
2. Saluran bawah tanah (*underground*) yang menyalurkan tenaga listrik melalui kabel bawah tanah.

2.4.2 Komponen Utama Saluran Transmisi

1. Menara transmisi

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi yang berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu. Tiang-tiang baja, beton dan kayu pada umumnya digunakan pada saluran-saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (dibawah 70 kV), sedangkan untuk menara baja untuk saluran udara tegangan tinggi dan untuk tegangan ekstra tinggi,

menara baja dibagi sesuai dengan fungsinya yaitu menara dukung, menara sudut, menara percabangan dan menara transposisi.



Gambar 2.2. Menara transmisi.

2. Isolator

Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselen atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya dikenal tiga jenis isolator yaitu : isolator jenis pasak, isolator jenis pos saluran dan isolator gantung. Pada umumnya untuk transmisi tegangan tinggi digunakan isolator gantung karena dapat digandeng menjadi rentengan isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan.



Gambar 2.3 Isolator gantung

3. Kawat penghantar

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (CU100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (CU97,5%) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari beberapa jenis dengan lambang sebagai berikut:

AAC = *All aluminium conductor*, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.



Gambar 2.4 Kawat konduktor tipe AAC

AAAC = *All aluminium-alloy conductor*, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.



Gambar 2.5 Kawat konduktor tipe AAAC

ACSR = *Aluminium conductor steel reinforced*, yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.



Gambar 2.6. Kawat konduktor tipe ACSR

ACAR = *Aluminium conductor alloy reinforced*, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.



Gambar 2.7. Kawat konduktor jenis ACAR

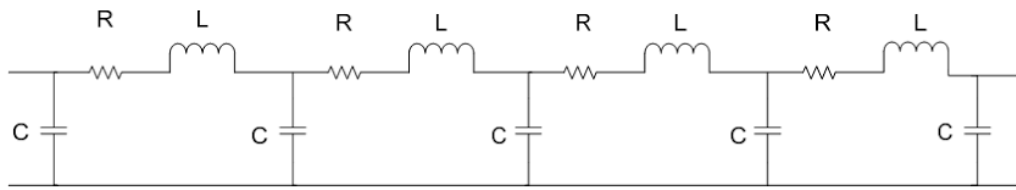
Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah, untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium dan juga lebih mahal. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi dimana jarak antara dua tiang atau menara jauh, dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

4. Kawat tanah

Kawat tanah atau *ground wire* berguna untuk melindungi konduktor transmisi atau kawat fas dari sambaran petir, kawat tanah dipasang diatas kawat fasa. Kawat tanah pada umumnya menggunakan kawat dengan tahanan jenis paling rendah agar arus sambaran petir langsung bisa di tanahkan.

2.4.3 Model Saluran Transmisi

Tidak seperti generator, motor, atau transformator, saluran transmisi secara fisik mempunyai panjang yang terbentang sejauh puluhan atau ratusan kilometer. Sebagai akibatnya, resistansi, induktansi, dan kapasitansi yang berkaitan dengan saluran transmisi juga terdistribusi sepanjang saluran tersebut. Elemen seri dan paralel yang terdistribusi dari saluran transmisi membuatnya lebih sulit dimodelkan dari pada motor dan transformator. Distribusi tersebut mungkin dapat di dekati dengan menggunakan resistor, induktor, dan kapasitor sebagaimana yang tergambar pada gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.8. Model saluran transmisi

Akan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk menghitung tegangan dan arus yang mengalir melalui saluran transmisi akan sangat banyak karna harus melakukan perhitungan tegangan dan arus pada tiap-tiap simpul dari saluran transmisi.

2.5 Karakteristik Dari Saluran Transmisi

Yang dimaksud dengan karakteristik listrik dan saluran transmisi adalah konstanta-konstanta saluran yaitu : induktansi (L), konduktansi (G), dan kapasitansi (C), dan Tahanan (R).

2.5.1 Resistansi

Resistansi penghantar saluran transmisi adalah salah satu penyebab terpenting dari rugi daya (*power loss*) pada saluran transmisi. Nilai resistansi saluran transmisi dipengaruhi oleh *resistivitas* konduktor dan temperatur. Tabel dibawah adalah tabel nilai koefisien dan temperatur dari resistansi.

Tabel 2.1. Koefisien Resistivitas dan Temperatur dari resistansi

Material	Resistivitas ρ at 20° $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	Temperatur koefisien α at 20°C , °C ⁻¹
Aluminium	2,83	0,0039
Brass	6,4 – 8,4	0,0020
Copper hard-drawn	1,77	0,00382
Copper annealed	1,72	0,00393
Iron	10,0	0,0050
Silver	1,59	0,0038
Steel	12 – 88	0,001 – 0,005

Resistan (R) dari sebuah penghantar sebanding dengan panjang (l) dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

R = Resistan arus searah (Ωm)

ρ = resistivitasnya (Ω)

A = Luas penampang (m^2)

l = Panjang konduktor (m)

Dari rumus di atas bisa dilihat bahwa resistansi (R) dari sebuah penghantar sebanding dengan panjang l dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya, artinya semakin panjang kawat penghantarnya, semakin besar pula nilai hambatannya, semakin kecil luas penampang maka semakin besar pula nilai hambatannya.

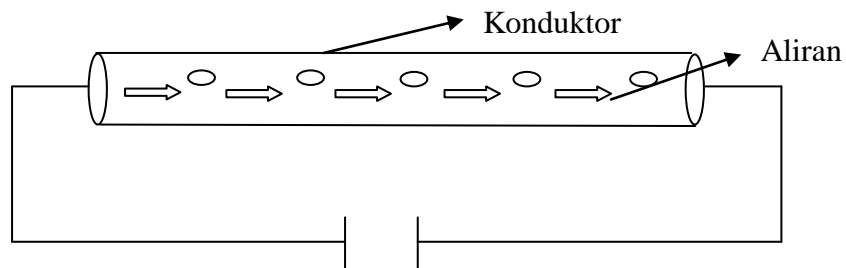
Dalam tabel-tabel yang tersedia sering kita jumpai penampang kawat diberikan dalam satuan “Circular Mil”, disingkat CM, defenisi dari CM ialah penampang kawat diberikan dalam mm^2 maka penampang kawat dalam CM

adalah : $CM = 1973 \times (\text{penampang dalam } mm^2)$

Atau :

$$mm^2 = 5,067 \times 10^{-4} \times (\text{penapang dalam CM})$$

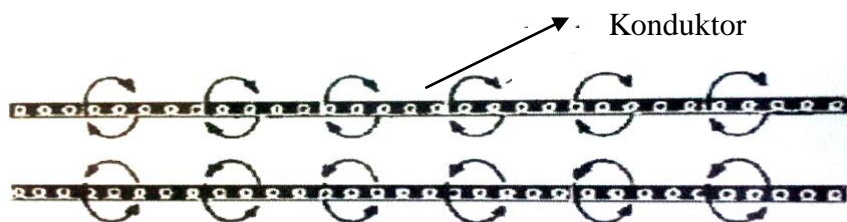
Resistansi ini juga terdistribusi sepanjang saluran penghantar seperti terlihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.9. Aliran resistansi pada kawat penghantar.

2.5.2 Induktansi

Sewaktu arus mengalir pada kawat penghantar pada aliran transmisi, maka disekeliling penghantar akan timbul garis gaya magnet dalam arah tertentu, seperti ditunjukkan pada gambar dibawah



Gambar 2.10. Aliran induktansi pada kawat penghantar

Untuk mendefenisikan induktansi pada suatu rangkaian, tentukan tegangan induksi pada suatu rangkaian. Tegangan induksi pada suatu rangkaian dinyatakan sebagai :

$$e = \frac{d\Psi}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan Ψ menyatakan garis-garis fluks pada rangkaian dalam satuan *Weber-Turns (Wb-T)*. Jika garis-garis fluks ini berbanding lurus dengan arus, dan tegangan induksi adalah sebanding dengan kecepatan arus, jadi persamaan dasar ke dua adalah :

$$e = L \frac{di(t)}{dt} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan L adalah induksi rangkaian dalam satuan *Henry*, yang merupakan fungsi dari arus $i(t)$. Dalam suatu rangkaian magnetik, seperti rangkaian dengan permeabilitas konstan, garis-garis fluks sebanding dengan arus, begitu pula dengan induktansi, sehingga :

$$L = \frac{\Psi}{i(t)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Atau

$$\Psi = L i(t) \dots\dots\dots (2.5)$$

Jika arus bolak-balik, persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Psi = LI \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan mengubah d/dt menjadi $j\omega$ dapat diperoleh tegangan jatuh pada arus bolak-balik dalam kondisi stabil sehingga sehubungan dengan garis-garis fluks ini adalah :

$$V = j\omega LI \dots\dots\dots (2.7)$$

Induksi saluran tiga fasa dapat dibagi dua, yaitu induktansi saluran tiga fasa dengan jarak yang sama dan induktansi saluran tiga fasa dengan jarak yang tidak sama.

1. Induktansi saluran tiga fasa dengan jarak sama.

Gambar 2.11 menunjukkan kawat-kawat penghantar dari suatu saluran tiga fasa yang jaraknya sedemikian rupa sehingga membentuk sudut-sudut suatu segitiga sama sisi. Jika misalkan kawat netral tidak ada, atau arus-arus fasor tiga fasa seimbang, maka $I_a + I_b + I_c = 0$. Untuk menentukan fluks gandeng kawat penghantar a adalah :

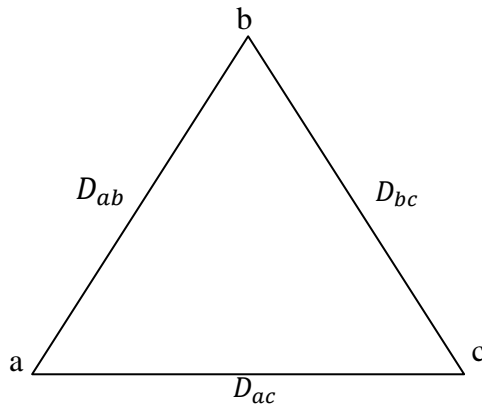
$$\Psi_a = 2 \times 10^{-7} (I_a \ln \frac{1}{D_s} + I_b \ln \frac{1}{D} + I_c 0) \ln \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan $I_a = - (I_b + I_c)$, maka persamaan (2.8) menjadi

$$\begin{aligned} \Psi_a &= 2 \times 10^{-7} (I_a \ln \frac{1}{D_s} - I_a \ln \frac{1}{D}) \dots\dots\dots (2.9) \\ &= 2 \times 10^{-7} I_a \ln \frac{D}{D_s} \end{aligned}$$

Dan induktansinya adalah :

$$L_a = 2 \times 10^{-7} I_a \ln \frac{D}{D_s} \dots\dots\dots (2.10)$$



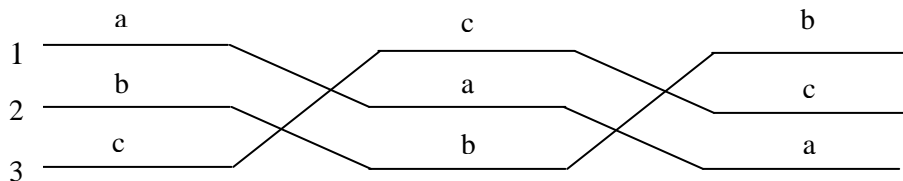
Gambar 2.11. penampang saluran tiga fasa dengan jarak sama.

2. Induktansi saluran tiga fasa dengan jarak tidak sama.

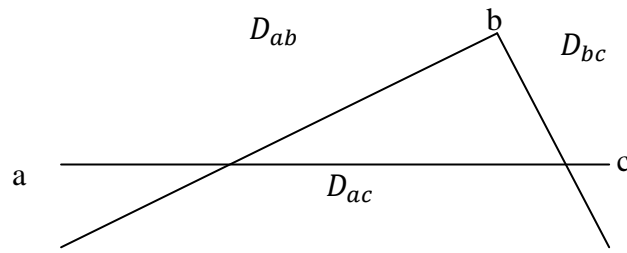
Di asumsikan bahwa tidak ada kawat netral, sehingga :

$$I_a + I_b + I_c = 0$$

Jarak yang tidak simetris dikarenakan garis-garis fluks dan juga induktansi dari setiap fasa berbeda, induktansi. Induktansi pada saluran tiga fasa ini dapat dicari dengan menukar posisi kawat penghantar yang teratur sepanjang saluran sehingga masing-masing kawat penghantar menempati posisi semula dari setiap penghantar, pertukaran dari kawat penghantar ini disebut transposisi, pertukran ini menyebabkan masing-masing kawat penghantar memiliki induktansi yang sama selama siklus transposisi seperti terlihat pada gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 2.12. Siklus transposisi



Gambar 2.13. Penampang saluran tiga fasa dengan jarak tidak sama

Dalam penulisan rumus-rumus induktansi dan reaktansi induktif dari suatu konduktor biasanya di abaikan dua faktor, yaitu :

1. Efek kulit (*skin effect*).
2. Efek sekitar (*proximity effect*).

Efek kulit adalah gejala pada arus bolak-balik bahwa kerapatan arus dalam penampang konduktor tersebut semakin besar ke arah permukaan kawat, tetapi bila kita hanya meninjau frekuensi kerja (50 Hz atau 60 Hz) maka pengaruh efek kulit sangat kecil dan di abaikan.

Efek sekitar adalah pengaruh dari kawat lain yang berada di samping kawat pertama, sehingga distribusi fluks tidak simetris lagi. Tetapi bila radius konduktor sangat kecil dibandingkan dengan jarak antara kedua kawat, maka efek sekitar sangat kecil dan dapat diabaikan.

Persamaan untuk mencari induktansi dari saluran transmisi tiga fasa dinyatakan dengan persamaan :

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{r^1} (H/m) \dots\dots\dots (2.11)$$

Atau

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} (H/m) \dots\dots\dots (2.12)$$

Untuk kawat berkas :

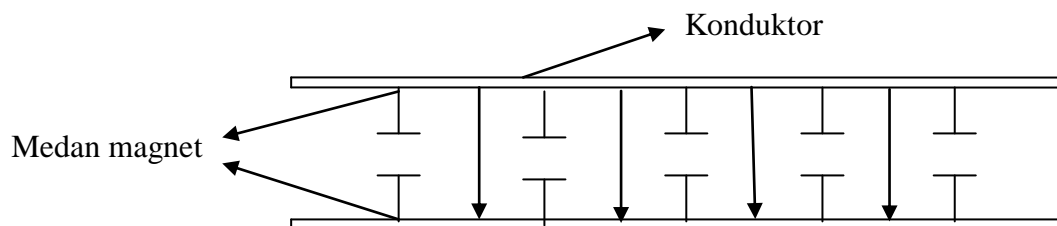
$$X_1 = \omega L (\Omega) \dots\dots\dots (2.13)$$

Dari persamaan di atas, dapat diketahui bahwa :

1. Semakin besar jarak antar fasa dalam saluran transmisi, semakin besar nilai induktansinya. Hal ini terlihat dari besarnya GMD yang akan semakin meningkat bila jarak antar fasa tersebut semakin lebar, sehingga nilai induktansi dan reaktansi induktif akan semakin besar.
2. Semakin besar jari-jari konduktor saluran transmisi, semakin kecil induktansinya. Hal ini terlihat dari besarnya r^1 atau GMR yang akan semakin meningkat bila jari-jari konduktornya semakin bertambah, sehingga nilai induktansi dan reaktansi induktif akan semakin kecil.

2.5.3 Kapasitansi

Kapasitansi adalah kemampuan dua konduktor yang dipisahkan oleh isolator untuk menyimpan muatan listrik pada tegangan yang diberikan diantara keduanya, kapasitansi saluran transmisi terjadi akibat beda potensial antara penghantar (konduktor).



Gambar 2.14. Aliran kapasitansi pada kawat penghantar.

Persamaan untuk mencari kapasitansi saluran transmisi tiga fasa dinyatakan melalui :

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(GMD/r)} (F/m) \dots\dots\dots (2.14)$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \text{ (ohm)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana : ϵ_0 adalah primitivitas.

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa :

1. Semakin besar jarak antar fasa dalam saluran transmisi, semakin kecil nilai kapasitansinya. Hal ini terlihat dari besarnya GMD yang akan semakin meningkat bila jarak antar fasa tersebut semakin lebar, sehingga nilai kapasitansi nya mengecil.
2. Semakin besar jari-jari konduktor saluran transmisi, semakin besar pula nilai kapasitansinya. Hal ini terlihat dari besarnya r yang meningkat mengakibatkan nilai C akan semakin besar.

Saluran transmisi dengan panjang kurang dari 80 Km (50 mil), pengaruh kapasitansinya kecil dan biasanya dapat diabaikan. Untuk saluran-saluran yang lebih panjang dengan tegangan yang lebih tinggi, kapasitansi menjadi berambah penting.

2.5.4 Impedansi

Impedansi di bentuk oleh resistansi dan induktansi yang terbagi rata disepanjang saluran penghantar-penghantar berfasa tunggal atau di antara sebuah penghantar dan netral dari suatu saluran tiga fasa, membentuk admitansi paralel, meskipun resistansi, induktansi dan kapasitansi terbagi rata di sepanjang saluran,

rangkaian ekivalen dibentuk dari parameter-parameter yang dijadikan satu. Perbandingan tegangan fasor dengan arus fasor di sebut impedansi (Z), jadi :

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

Z = Impedansi (Ohm)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Bentuk umum dari suatu impedansi dalam bentuk polar adalah :

$$Z = R + jX \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

Z = Impedansi (Ohm)

R = Resistansi (Ohm)

X = Reaktansi (Ohm)

2.6 Arus listrik

Arus listrik adalah aliran muatan listrik dari satu titik ke titik yang lain. Arus listrik terjadi karena adanya media penghantar antara dua titik yang mempunyai beda potensial. Semakin besar beda potensial listrik antara dua titik tersebut maka semakin besar pula arus listrik yang mengalir. Arus listrik yang

mengalir dalam sebuah penghantar diakibatkan oleh pergerakan muatan negatif, di simbolkan dengan huruf I sehingga:

$$I = \frac{dq}{dt} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

I = Arus listrik (Ampere)

dq = Perubahan muatan coloumb (Coloumb)

dt = Perubahan waktu (Second)

Satuan arus listrik adalah Ampere (A) yang diambil dari nama seorang fisikawan asal Prancis yaitu M.Ampere.

1. Arus listrik itu ibarat air yang mengalir, air mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang rendah sedangkan arus listrik mengalir dari titik yang berpotensi tinggi ke titik yang berpotensi rendah.
2. Arus terbagi dua yaitu arus bolak-balik (AC) dan arus searah (DC).
3. Arus mengalir bolak balik terjadi karena pada tegangan sumber terjadi perubahan polaritas secara bolak-balik, bukan karena sifat arus listriknya
4. Arus listrik yang masuk ke titik percabangan, maka arus tersebut akan terbagi, artinya jumlah arus yang mengalir pada semua percabangan adalah sama dengan arus sumber (sebelum memasuki titik percabangan), ini sesuai dengan hukum kirchoff.
5. Besarnya arus yang mengalir pada suatu rangkaian tergantung dari besarnya beda potensial dan tahanan total yang ada dalam rangkaian, ini sesuai dengan hukum ohm.

Adapun hubungan antara arus listrik dengan daya adalah :

$$I = \frac{P}{V \cos\theta} \dots\dots\dots (2.19)$$

Persamaan diatas berlaku untuk satu fasa. Sedangkan untuk tiga fasa berlaku rumus :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos\theta} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

I = Arus listrik (Ampere).

P = Daya listrik (Watt).

V = Tegangan listrik (Volt).

Cos θ = faktor daya.

2.7 Daya Listrik

Daya listrik didefenisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah Watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir persatuan waktu (joule/detik). Daya listrik seperti daya mekanik, dilambangkan oleh huruf *P* dalam persamaan listrik.

2.7.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya, daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan $S \cos \theta$ atau $V \cdot I \cos \theta$ dengan simbol P , jadi :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (2.21)$$

Persamaa di atas untuk menghitung daya aktif satu fasa, sedangkan persamaan untuk tiga fasa adalah :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (2.22)$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

2.7.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet, dari pembentukan medan magnet maka akan timbul fluks medan magnet, daya reaktif adalah daya imajiner yang menunjukkan adanya pergeseran grafik sinusoidal arus dan tegangan listrik AC, dirumuskan dengan $S \sin \theta$ atau $V \cdot I \sin \theta$ dengan simbol Q , jadi :

Untuk menghitung daya reaktif satu fasa

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \theta \dots\dots\dots (2.23)$$

Sedangkan persamaan untuk tiga fasa adalah :

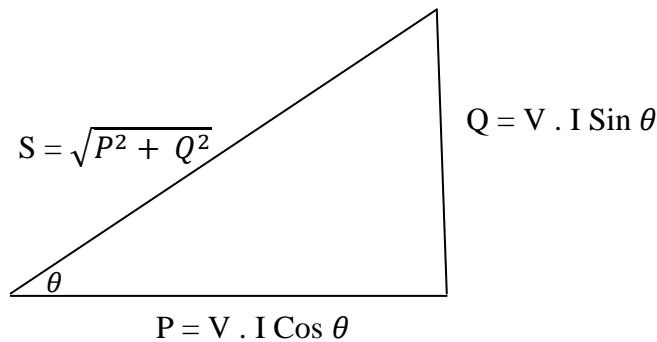
$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot \sin I \dots\dots\dots (2.24)$$

2.7.3 Daya Semu

Oleh karena Voltampere sama dengan VI dan daya nyatanya adalah VI Cos θ dan Voltampere reaktifnya VI Sin θ juga terjadi hubungan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2.25)$$

Hubungan antara daya aktif, daya reaktif dan daya semu dapat dilihat pada gambar segitiga daya pada gambar 2.15 di bawah ini



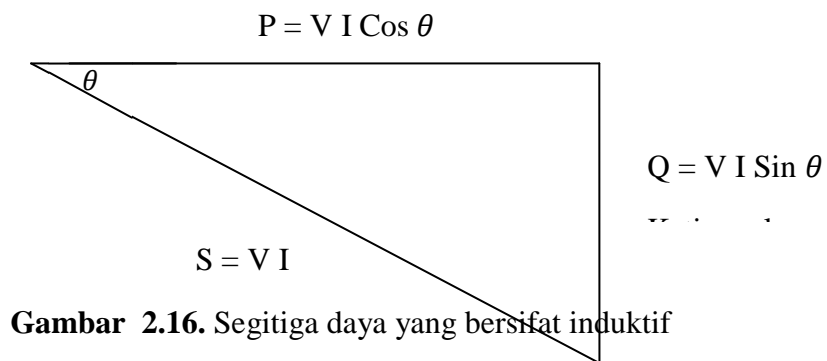
Gambar 2.15. Segitiga daya

2.7.4 Faktor Daya

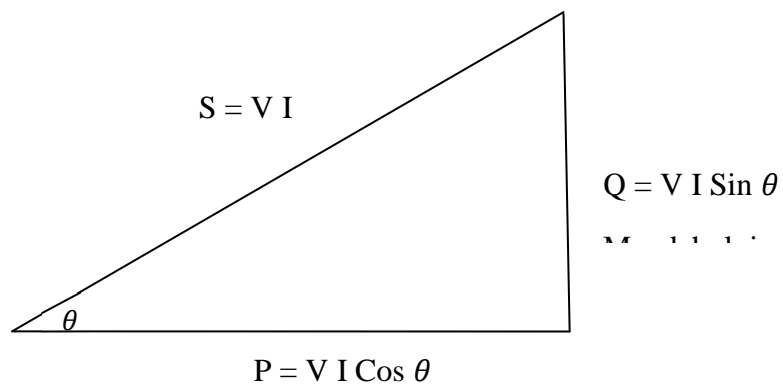
Faktor daya memiliki kaitan yang erat terhadap adanya rugi-rugi daya listrik, dimana faktor daya memiliki perbandingan daya aktif dan daya semu, dan dirumuskan dengan persamaan :

$$\text{Faktor Daya } \cos \theta = \frac{\text{Daya aktif}}{\text{Daya semu}} = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.26)$$

Suatu rangkaian induktif dikatakan mempunyai faktor daya yang tertinggal, dan rangkaian kapasitif mempunyai faktor daya yang mendahului, dengan demikian istilah faktor daya yang ketinggalan dan mendahului berturut-turut menunjukkan apakah arus itu tertinggal dari atau mendahului tegangan terpasang. Gambar di bawah menjelaskan bagaimana bentuk segitiga daya yang mempunyai beban induktif dan beban kapasitif.



Gambar 2.16. Segitiga daya yang bersifat induktif



Gambar 2.17. Segitiga daya yang bersifat kapasitif

Pengaruh nyata dari peningkatan *power faktor* pada suatu sirkuit adalah untuk mengurangi arus yang mengalir lewat sirkuit tersebut sehingga memperoleh beberapa keuntungan antara lain

1. Mengurangi rugi tegangan
2. Daya semu S lebih kecil untuk P yang tetap

2.7.5 Rugi-Rugi Daya Saluran

Dalam proses transmisi tenaga listrik sering kali dialami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh komponen-komponen kawat penghantar

itu sendiri, rugi-rugi daya yang terjadi akibat adanya daya yang hilang pada saluran, kerugian daya ini mempengaruhi kualitas daya yang disalurkan ke sisi penerimaan, rugi-rugi daya yang besar menyebabkan kerugian finansial disisi perusahaan pengolah listrik.

Rugi-rugi pada sistem tenaga listrik terbagi menjadi :

1. Rugi- rugi teknis

Rugi-rugi teknis muncul akibat sifat daya hantar material/peralatan listrik itu sendiri yang sangat bergantung dari kualitas bahan dari material/peralatan listrik tersebut, jika pada jaringan maka akan sangat bergantung pada konfigurasi pada jaringannya.

2. Rugi-rugi non teknis

Rugi-rugi non teknis muncul akibat adanya masalah pada penyaluran sistem tenaga listrik. Untuk mengantisipasi rugi non teknis yang sering terjadi seperti pencurian dan penyambungan listrik secara ilegal maka PLN harus melakukan langkah seperti melakukan pemeriksaan kesetiap pelanggan dan melakukan tindakan pemutusan aliran listrik serta melaporkan kepihak berwajib jika terbukti adanya pencurian dan penyambungan listrik secara ilegal.

Pemilihan jenis kabel merupakan faktor paling penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem transmisi daya listrik adapun besar rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat dinyatakan dengan :

$$P_{Loss} = 3I^2R \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \theta}$$

$$P_{Loss} = \frac{3 P^2 R}{(\sqrt{3})^2 \cos^2 \theta}$$

$$P_{Loss} = \frac{3 P^2 R}{3 V^2 \cos^2 \theta}$$

$$= \frac{I^2 R}{V^2 \cos^2 \theta} \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana : P_{Loss} = Rugi-rugi daya (Watt)

I = Besar arus (Ampere)

R = Resistansi (Ohm)

$\cos \theta$ = Faktor daya

Untuk mencari persentase rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat dicari dengan rumus :

$$\% \text{ rugi-rugi daya} = \frac{P_S - P_R}{P_R} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.29)$$

Sedangkan untuk mencari berapa besar efisiensi transmisi saluran jarak pendek dapat dicari dengan persamaan :

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana :

P_S = Daya kirim

P_R = Daya terima

2.8 Jatuh Tegangan

Jauh tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan pada awal pengirim dan tegangan pada ujung terima jatuh tegangan relatif dinamakan regulasi tegangan dan dapat dinyatakan dengan rumus :

$$\frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100\% \dots\dots\dots (3.31)$$

Dimana :

V_S = Tegangan pada pangkal pengiriman

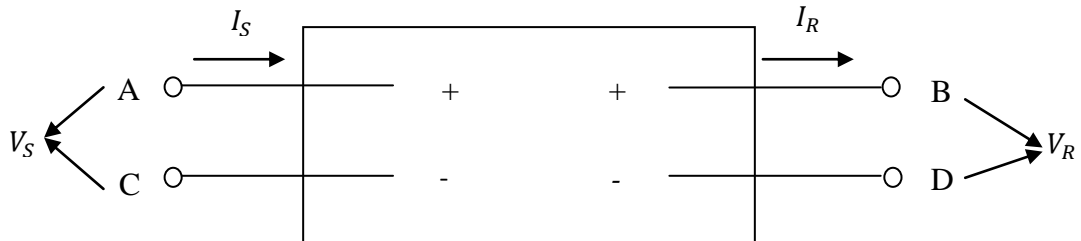
V_R = Tegangan pada ujung penerima

Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui kawat, tegangan jatuh V pada penghantar semakin besar jika arus I didalam penghantar semakin besar jika tahanan penghantar R semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban.

2.9 Rangkaian Katub Empat

Dalam banyak keperluan didalam teknik transmisi daya listrik, misalnya diagram-diagram lingkaran, rencana saluran transmisi dan lain-lain, perlu menyatakan konstanta-konstanta saluran transmisi kedalam konstanta-konstanta umum saluran.

Karena saluran transmisi tersebut selalu dapat digambarkan sebagai kotak dengan dua jepitan masuk dan dua jepitan keluar, dan karena memenuhi persyaratan dari katub empat, maka saluran transmisi dapat dinyatakan sebagai katub empat, sebagai mana terlihat pada gambar di bawah



Gambar 2.18. Rangkaian katub empat.

A, B, C, D adalah konstanta konstanta umum dari rangkaian itu, jika jaringan bersifat linier maka teorema rangkaian dasar menyatakan hubungan antara tegangan pengirim dan tegangan penerima dan juga arus dapat saling dihubungkan melalui persamaan berikut :

$$V_S = AV_R - BI_R \dots\dots\dots (2.32)$$

$$I_S = CV_R + DI_R \dots\dots\dots (2.33)$$

$$V_R = DV_S - BI_S \dots\dots\dots (2.34)$$

$$I_R = -CV_S + AI_S \dots\dots\dots (2.35)$$

Dimana :

V_S = Tegangan pada pangkal pengirim

I_S = Arus pada pangkal pengiriman

V_R = Tegangan pada ujung penerima

I_R = Arus pada ujung penerima

A,B,C,D = Konstanta

Konstanta A, B, C, D saluran transmisi jarak pendek yang telah ditetapkan :

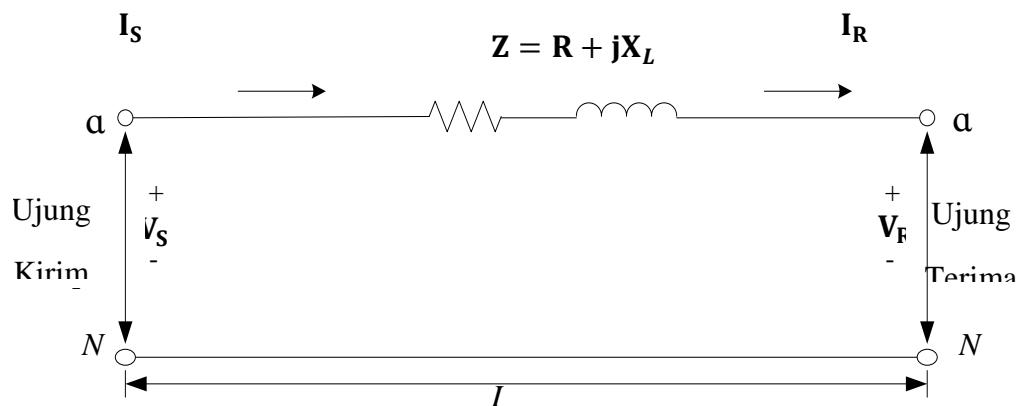
$$A = 1 \qquad B = Z$$

$$C = 0 \quad D = 1$$

Dimana konstanta A dan D mempunyai nilai = 1 tetapi tidak mempunyai dimensi, konstanta B mempunyai satuan Ohm dan konstanta C tidak memiliki nilai maupun dimensi. Konstanta- konstanta ini sering di sebut sebagai konstanta A, B, C, D, konstanta-konstanta ini diperkenalkan karena dapat menyederhanakan pekerjaan dengan persamaan-persamaan diatas. Saluran transmisi adalah salah satu contoh rangkaian katub empat yang linier yang sering dipresentasikan dengan model A, B, C, D.

2.10 Saluran Tansmisi Jarak Pendek

Pada sebuah saluran transmisi jarak pendek kapasitansi bocor ke tanah biasanya diabaikan karena nilainya mendekati nol dan tidak mempengaruhi perhitungan, terkecuali tegangan kerja transmisi jarak pendek tersebut tinggi diatas 275 kV, tegangan yang tinggi dapat menyebabkan korona efek dan korona memperbesar kapasitansi sehingga kapasitansi bocor ke tanah tidak dapat diabaikan lagi. Gambar dibawah adalah gambar rangkaian ekivalen transmisi jarak pendek yang mengabaikan kapasitansi bocor ke tanah.



Gambar 2.20. Rangkaian ekivalen transmisi jarak pendek.

Rangkaian ekivalen saluran transmisi jarak pendek diatas, dimana I_S dan I_R merupakan arus pada ujung pengirim dan ujung penerima, sedangkan V_S dan V_R adalah tegangan saluran terhadap netral pada ujung pengirim dan ujung penerima.

Rangkaian itu dapat di selesaikan seperti halnya rangkaian AC seri yang sederhana. Karena tidak terdapat cabang paralel pada ujung-ujung pengiriman dan penerima, arus yang masuk di ujung kirim saluran akan sama besarnya dengan arus yang keluar di ujung terima saluran.

$$I_S = I_R$$

Oleh karena itu saluran transmisi jarak pendek dapat disederhanakan dengan membuat konstanta impedansi :

$$\begin{aligned} Z &= R + jX_L \\ &= zl \\ &= rl + jxl (\Omega) \dots \dots \dots (2.36) \end{aligned}$$

Dengan :

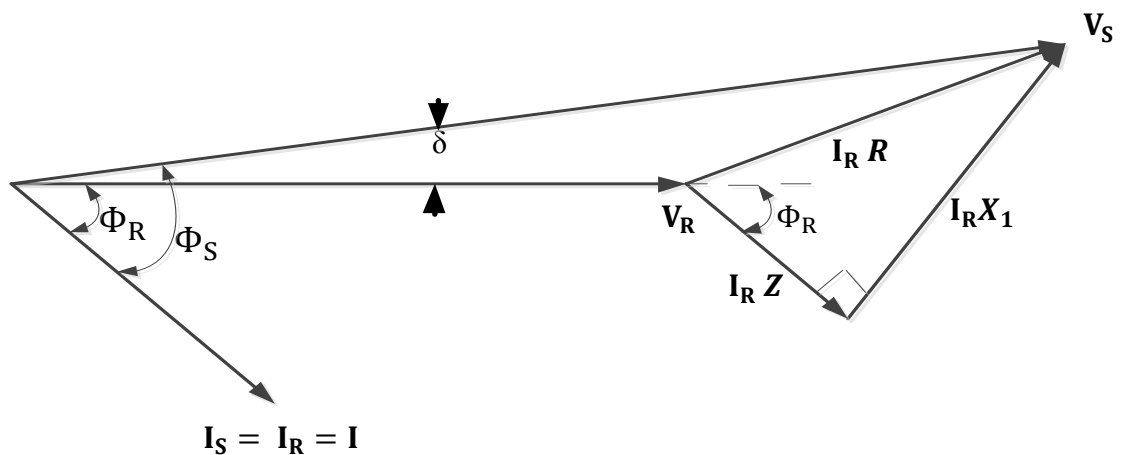
Z = Impedansi seri total per fasa (Ohm).

Z_L = Impedansi seri penghantar (Ohm per satuan unit panjang).

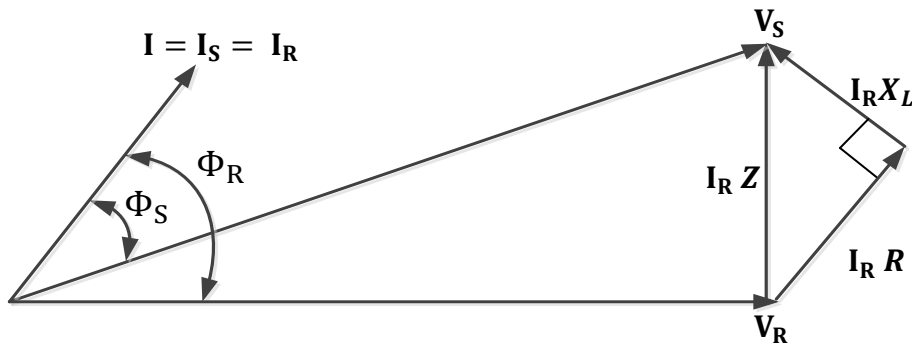
X_L = Reaktansi induktif total dari penghantar (Ohm).

X = Reaktansi induktif dari penghantar (Ohm per satuan panjang).

L = Panjang saluran.



Gambar 2.21. diagram fasor transmisi jarak pendek yang terhubung pada beban induktif



Gambar 2.22. diagram fasor transmisi jarak pendek yang terhubung pada beban kapasitif

Gambar di atas menunjukkan diagram vektor atau fasor pada sebuah saluran transmisi yang dihubungkan dengan beban induktif dan beban kapasitif. Dapat diamati dari gambar bahwa :

$$V_S = V_R + I_R Z \dots\dots\dots (2.37)$$

$$I_S = I_R = I \dots\dots\dots (2.38)$$

$$V_R = V_S - I_R Z \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana :

V_S = Tegangan fasa (saluran ke netral) diujung pengirim

V_R = Tegangan fasa (saluran ke netral) diujung penerima

I_S = Arus fasa diujung pengirim

I_R = Arus fasa diujung penerima

Z = Impedansi seri total per fasa

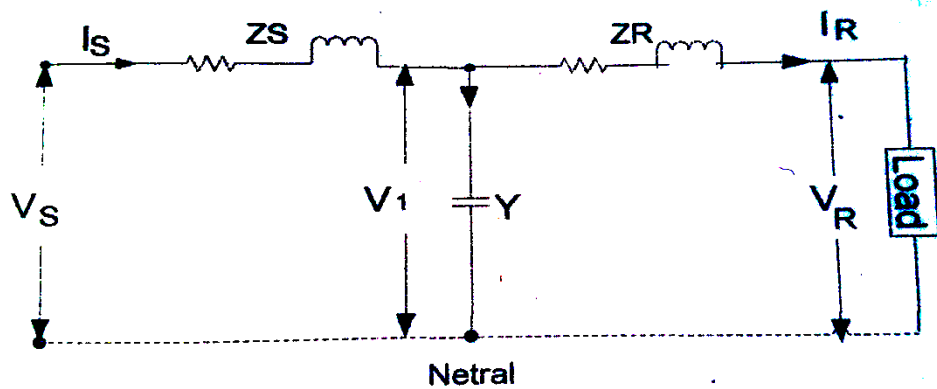
2.10.1 Saluran Transmisi Jarak Pendek Dengan Kerja 275 kV

Karena penulisan tugas akhir ini membahas kerugian daya yang terjadi pada saluran transmisi yang bertegangan 275 kV. Karena tegangan kerja transmisi yang tinggi dapat menyebabkan korona efek, korona memperbesar kapasitansi sehingga kapasitansi bocor ke tanah tidak dapat diabaikan lagi. Maka untuk

menghitung kerugian daya pada saluran transmisi jenis ini menggunakan perhitungan saluran transmisi jarak menengah dengan konstanta ABCD yang berbeda dari konstanta ABCD jarak pendek biasa serta menggunakan dua metode yaitu metode nominal T dan metode nominal π .

2.10.2 Metode Nominal T

Pada metode ini kapasitansi dihubungkan antara fasa ke netral terkonsentrasikan pada titik tengah baris, seperti pada gambar 2.23 berikut ;



Gambar 2.23 Metode Nominal T

Dari gambar diatas didapat;

$$V_S = (1 + Y Z_S) V_R + (Z_S + Z_R + Z_S Y Z_R) I_R \dots\dots\dots (2.40)$$

$$I_S = Y V_R + (1 + Y Z_R) I_R \dots\dots\dots (2.41)$$

Jadi

$$A = D = 1 + Y Z_S, B = Z_S + Z_R + Z_S Y Z_R, C = 1$$

Dan bila

$$Z_S = Z_R = \frac{Z}{2}$$

Maka

$$A = 1 + \frac{ZY}{2} \dots\dots\dots (2.42)$$

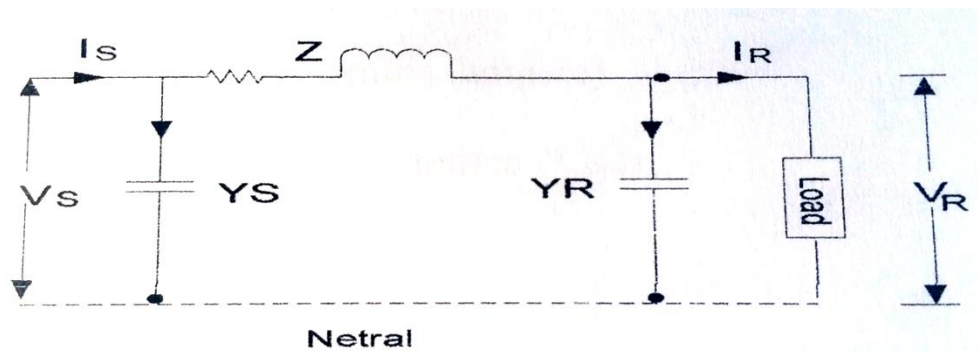
$$B = Z + \frac{Z^2 Y}{4} \text{ atau } Z \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) \dots\dots\dots (2.43)$$

$$C = Y \dots \dots \dots (2,44)$$

$$D = A \dots \dots \dots (2,45)$$

2.10.3 Metode nominal π

Admitansi shunt yang biasanya merupakan kapasitansi murni dimasukkan dalam perhitungan untuk saluran transmisi jarak pendek dengan tegangan kerja 275 KV. Jika keseluruhan admitansi shunt saluran dibagi dua sama besar dan ditempatkan pada masing-masing ujung pengirim dan ujung penerima, Rangkaian yang terbentuk dinamakan suatu π nominal. Perhatikan gambar 2.24 dibawah.



Gambar 2.24 Metode Nominal π

Dari gambar diatas, didapat

$$V_S = (1 + Y_R Z) V_R + Z I_R \dots \dots \dots (2.46)$$

$$I_S = (Y_S + Y_R + Y_S Z Y_R) V_R + (1 + Y_S Z) I_R \dots \dots \dots (2.47)$$

Jadi ;

$$A = 1 + Y_R Z \qquad B = 1$$

$$C = (Y_S + Y_R + Y_S Z Y_R) \qquad D = 1 + Y_S Z$$

Dan jika ;

$$Y_S = Y_R = \frac{Y}{2}$$

Maka ;

$$A = D = 1 + \frac{ZY}{2} \dots\dots\dots (2.48)$$

)

$$B = Z \dots\dots\dots (2.49)$$

)

$$C = Y + \frac{Y^2Z}{4} \text{ atau } Y \left(1 + \frac{YZ}{4}\right) \dots\dots\dots (2.50)$$

)

Dimana :

Z = Impedansi (ohm)

Y = Admitansi (Mho)

V_S = Tegangan Pada Sisi Pengirim (Volt)

V_R = Tegangan Pada Sisi Penerima (Volt)

I_S = Arus Pada Sisi Pengirim (Ampere)

I_R = Arus Pada Sisi Penerima (Ampere)

ABCD = Konstanta

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Riset

Penelitian ini diawali dengan pengambilan data dari PT. PLN UPT Medan P3BS dan Gardu induk Binjai yang berlangsung dari tanggal 11 April 2016 - 22 april 2016.

3.2 Jalannya Penelitian

Penelitian ini dilakukan melauli tahap sebagai berikut :

1. Studi literatur

Pada tahapan ini dilakukan pendalaman materi untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan, selain itu juga dilakukan telaah literatur dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi ini dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung penyelesaian pengolahan-pengolahan data.

2. Riset

Riset atau pengambilan data dilakukan penulis guna untuk melengkapi berbagai macam data-data tulisan yang akan diselesaikan oleh penulis, agar lebih akurat dan dapat dipertanggung jawabkan.

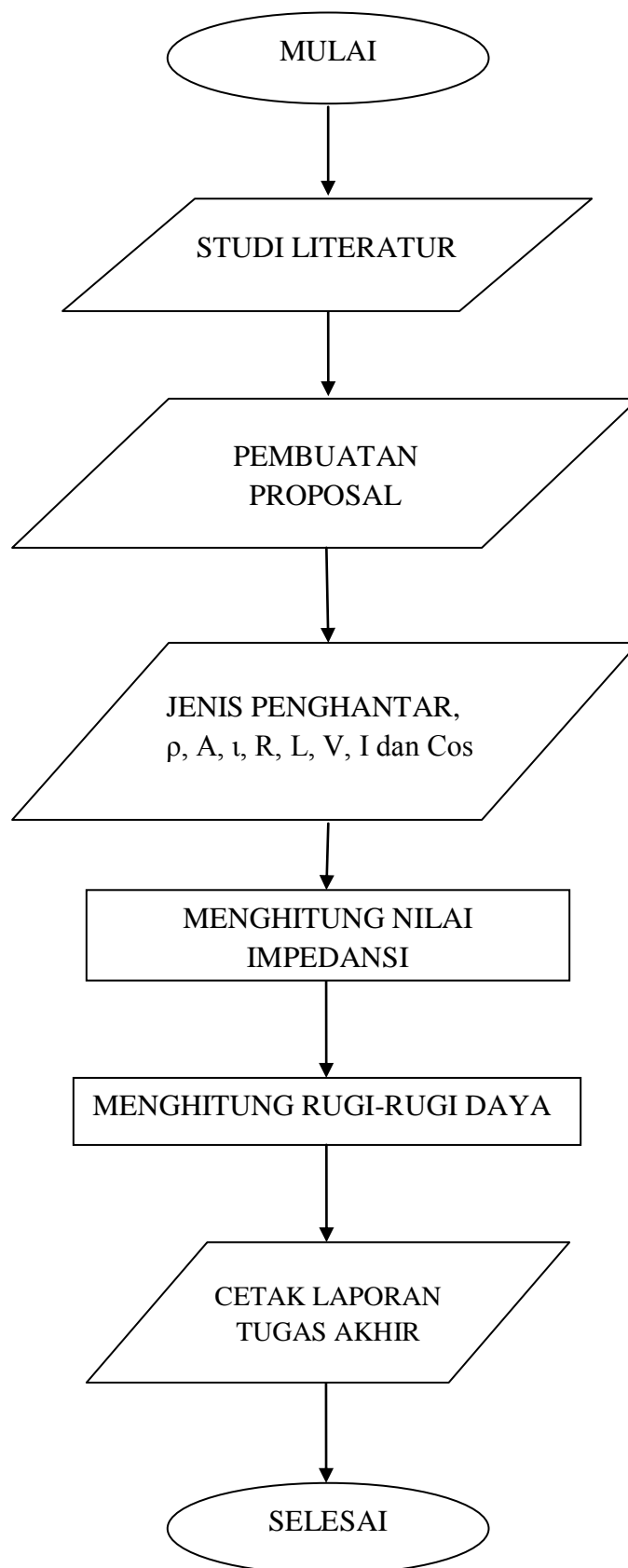
3. Analisis data

Merupakan cara untuk mengolah data yang di dapat dari hasil riset menjadi informasi, sehingga datanya bermanfaat untuk menjawab masalah-masalah yang berkaitan dengan kegiatan penelitian.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel adalah objek penelitian, atau apa yang menjadi titik perhatian suatu penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi atau variabel penelitian adalah pengamatan terhadap rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi tegangan tinggi diantaranya adalah :

1. Resistansi pada saluran transmisi (R)
2. Induktansi pada saluran transmisi (L)
3. Kapasitansi (C)
4. Admitansi (Y)
5. Impedansi pada saluran transmisi (Z)
6. Besar factor daya ($\cos \varphi$)
7. Besar tegangan kirim (V_S)
8. Besar arus kirim (I_S)
9. Panjang saluran transmisi (τ)
10. Luas penampang konduktor transmisi (A)



Gambar 3.1 Diagram Alir Jalannya Penelitian

3.4 Teknik Analisa Data

Hal ini merupakan suatu langkah penting dalam penelitian, terutama bila digunakan sebagai generalisasi atau simpulan masalah yang diteliti, penelitian ini bersifat deskriptif, sehingga analisa yang digunakan adalah analisa deskriptif persentase.

3.4.1 Analisa Perhitungan Daya

Menghitung rugi-rugi daya yang terjadi pada penghantar harus di cari dulu nilai resistansinya dengan rumus :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Nilai reaktansi induktif pada saluran dapat dicari setelah nilai resistansinya diketahui, untuk menghitung reaktansinya digunakan rumus :

$$X_L = 2\pi fL$$

Sedangkan untuk mencari impedansi saluran transmisi listrik pada Gardu Induk PT.PLN Cabang Binjai yang berjarak 50,813 Km adalah :

$$Z = R + jxL$$

Menghitung besar arus terima adalah :

$$I_R = -\overline{CV}_S + \overline{BI}_S$$

Menghitung besar tegangan pada ujung beban adalah :

$$V_R = AV_S - BI_S$$

Menghitung regulasi tegangan transmisi adalah :

$$\frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100\%$$

Mencari rugi daya pada kawat penghantar menggunakan rumus :

$$P_{Loss} = \frac{P_S - P_R}{P_S} \times 100\%$$

Untuk mencari efisiensi transmisi menggunakan rumus :

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} \times 100 \%$$

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada penelitian ini peneliti meneliti pada studi kasus dimana objek yang diteliti adalah kerugian-kerugian daya yang terjadi pada saluran udara transmisi listrik tegangan tinggi 275 kV pada pembangkit listrik PT. PLN (Persero) Pangkalan Susu - Gardu Induk Binjai.

Adapun data-data yang diperoleh selama penelitian dilakukan pada tanggal 11-22 April 2016 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian

	Parameter	Nilai
1	Konduktor duplex TACSR 2 x 330 mm ²	
2	Resistansi	0,0862 ohm/km
3	Induktansi	$1,26 \times 10^{-3}$
4	Kapasitansi	$0,0775 \times 10^{-6}$
5	Panjang Saluran	69.9 km
6	Tegangan pada sisi pengiriman	275 KV
7	Frekuensi	50 hz
8	Cos Phi	0.88
9	Daya total yang dikirim	150 MW
10	Daya reaktif	63 MVAR
11	Luas penampang	435° mm
12	Impedansi	$28,22 \angle 78,80^\circ$ Ohm/km
13	Admitansi	$1,7 \times 10^{-3} \angle 90^\circ$ Mho / Km

Berdasarkan data-data diatas maka kita akan menganalisa rugi-rugi daya pada saluran udara transmisi listrik 275 kV pada PT. PLN (persero) Pangkalan Susu – Gardu Induk PT. PLN Tragi Binjai .Dimana dalam mencari rugi-rugi daya tersebut tidak terlepas dari parameter-parameter saluran transmisi seperti resistansi saluran (R), Induktansi (L), dan Kapasitansi (C) sehingga biasa dicari besar impedansi saluran (Z) dan admitansi saluran (Y).

Dalam menganalisis data ini penulis mengolah data berdasarkan teori pada bab dua, dimana pada bab tersebut ada dua metode yang dipaparkan yaitu metode nominal Phi dan metode nominal T, penulis menggunakan metode tersebut karena saluran transmisi yang dibahas adalah termasuk saluran transmisi menengah.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Metode Nominal Phi

Pertama-tama yang perlu dicari adalah besar induktansi saluran, dan kapasitansi saluran.

Mencari impedansi saluran berdasarkan persamaan 2.15

$$Z = R + jX_L$$

$$Z = R + j\omega L$$

$$= R + j2\pi fL$$

$$= 0,0862 + j 2 \times 3,14 \times 50 \times 1,26 \times 10^{-3}$$

$$= 0,0862 + j 0,395$$

$$= 0,403 \angle 78,80^\circ \text{ Ohm}$$

$$Z = 0,403 \angle 78,80^\circ \text{ Ohm} \times 69,9 \text{ Km} = 28,22 \angle 78,80^\circ \text{ Ohm}$$

Besar admitansinya adalah :

$$Y = J\omega C$$

$$= J2\pi fC$$

$$= 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,0775 \times 10^{-6}$$

$$= 0,0243 \times 10^{-3} \angle 90^\circ \text{ Mho}$$

$$Y = 0,0243 \times 10^{-3} \text{ Mho} \times 69,9 \text{ Km}$$

$$= 1,7 \times 10^{-3} \angle 90^\circ \text{ Mho / Km}$$

Setelah didapat data-data diatas maka dapat dicari besar koefisien-koefisien ABCD saluran berdasarkan persamaan 2.32

$$A = 1 + \frac{ZY}{2}$$

$$= 1 + \frac{28,22 \angle 78,80^\circ \times 1,7 \times 10^{-3} \angle 90^\circ}{2}$$

$$= 1 + 0,023 \angle 168,8^\circ$$

$$= 1 - 0,022 + J 0,0043$$

$$= 0,97 + J 0,0043$$

$$= 0,97 \angle 0,25^\circ$$

$$C = 1 + \frac{ZY}{4}$$

$$= 1 + \frac{28,22 \angle 78,80^\circ \times 1,7 \times 10^{-3} \angle 90^\circ}{2}$$

$$= 1 + 0,0119 \angle 168,8^\circ$$

$$= 1 - 0,0116 + J 0,0022$$

$$= 0,98 + J 0,0022$$

$$= 0,98 \angle 0,12^\circ$$

Maka besar masing-masing parameter A,B,C,D nya adalah :

$$A = 1 + \frac{ZY}{2} = 0,97 \angle 0,25^\circ$$

$$B = Z = 28,22 \angle 78,80^\circ \text{ Ohm/Km}$$

$$\begin{aligned} C &= Y \left| 1 + \frac{ZY}{4} \right| \\ &= 1,7 \times 10^{-3} \angle 90^\circ \times 0,98 \angle 0,12^\circ \\ &= 0,0016 \angle 90,12^\circ \end{aligned}$$

Kemudian mencari daya yang dikirimkan 2.5

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{P^2 + Q^2} \\ &= \sqrt{150^2 + 63^2} \\ &= \sqrt{22,500 + 3969} \\ &= \sqrt{26469} \\ &= 162,692 \text{ VA} \end{aligned}$$

Mencari besar factor daya pada sisi pengirim berdasarkan persamaan 2.4

$$\begin{aligned} Pf &= \frac{P}{S} \\ &= \frac{150}{162,692} \\ &= 0,92 \end{aligned}$$

Kemudian mencari besar arus kirim berdasarkan persamaan 2.18 yaitu :

$$\begin{aligned} I_S &= \frac{P_s}{\sqrt{3} V_S \cos s} \angle -21,98^\circ \\ I_S &= \frac{150,000}{1,73 \times 275 \times 0,92} \angle -21,98^\circ \\ &= \frac{150,000}{437,69} \angle -21,98^\circ \\ &= 342,7 \angle -21,98^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

Dapat dicari besar tegangan pada ujung terima berdasarkan persamaan 2,22.

$$\begin{aligned}
 \vec{V}_R &= \vec{D} \vec{V}_S - \vec{B} \vec{I}_S \\
 &= \left[0,97 \angle 0,25^\circ \times \frac{275000}{\sqrt{3}} - 28,22 \angle 78,80^\circ \times 342,7 \angle -21,98^\circ \right] \\
 &= [154190,74 \angle 0,25^\circ] - [9670,99 \angle 56,82^\circ] \\
 &= [154189,27 + j 672,78] - [5292,65 + j 8094,18] \\
 &= [148896,62 - j 7421,4] \\
 &= 148711,55 \angle -2,8 \text{ Volt} \\
 &= 148,7 \angle -2,8 \text{ kV}_{(N-L)} \\
 &= 257,2 \angle -2,8 \text{ kV}_{(L-L)}
 \end{aligned}$$

Kemudian mencari besar arus kirim pada ujung terima yaitu berdasarkan persamaan 2.23

$$\begin{aligned}
 \vec{I}_R &= -C \vec{V}_S + \vec{A} \vec{I}_S \\
 &= 0,0016 \angle 90,12^\circ \times \frac{275000}{\sqrt{3}} + 0,97 \angle 0,25^\circ \times 342,7 \angle 21,98^\circ \\
 &= [-254,33 \angle 90,12^\circ] + [332,41 \angle -21,73^\circ] \\
 &= [0,53 - j 254,32] + [308,78 - j 123,06] \\
 &= 487,94 \angle 50,66^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

Besar power factor pada ujung terima adalah

$$\begin{aligned}
 \cos \theta_R &= \cos \theta_{VR} - \cos \theta_{IR} \\
 &= (-2,8) - (-50,66) \\
 &= 47,86
 \end{aligned}$$

$$\cos \theta_R = \cos 47,86 = 0,67$$

Kemudian mencari daya yang diterima pada ujung penerima berdasarkan persamaan 2.3

$$\begin{aligned}P_R &= \sqrt{3} V_{R(L-L)} \times I_R \times \cos\phi_R \\&= \sqrt{3} 257,2 \times 487,94 \times 0,67 \\&= 145637,36 \text{ kW} \\&= 145,637 \text{ MW}\end{aligned}$$

Kemudian mencari besar regulasi tegangan berdasarkan persamaan 2.19

$$\begin{aligned}\frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100 \% \\&= \frac{275 - 257,2}{257,2} \times 100 \% \\&= 6,9 \% \text{ atau sebesar } 17,8 \text{ KV}\end{aligned}$$

Kemudian mencari persentase rugi-rugi daya pada saluran transmisi berdasarkan persamaan 2.8

$$\begin{aligned}\% \text{ Rugi-rugi daya} &= \frac{P_S - P_R}{P_S} \times 100 \% \\&= \frac{150 \text{ MW} - 145,637 \text{ MW}}{150 \text{ MW}} \times 100 \% \\&= 2,9 \% \text{ atau sebesar } 4,36 \text{ MW}\end{aligned}$$

4.2.2 Metode Nominal T

Pertama-tama dicari dulu besar koefisien-koefisien A,B,C nya yaitu berdasarkan persamaan 2.26

$$\begin{aligned}A = D &= 1 + \frac{ZY}{2} = 0,97 \angle 0,25^\circ \\B &= Z \left| 1 + \frac{ZY}{4} \right| \\&= 28,22 \angle 78,80^\circ \times 0,98 \angle 0,12^\circ\end{aligned}$$

$$= 27,6 \angle 78,92^\circ \text{ Ohm/Km}$$

$$C = Y = 1,7 \times 10^{-3} \angle 90^\circ \text{ Mho}$$

Dapat dicari tegangan pada ujung terima berdasarkan persamaan 2.22

$$V_R = D V_S - B I_S$$

$$= 0,97 \angle 0,25^\circ \times \frac{275000}{\sqrt{3}} - 27,6 \angle 78,92^\circ \times 342,7 \angle -21,98^\circ$$

$$= 154190,74 \angle 0,25^\circ - 9458,52 \angle 56,94^\circ$$

$$= [154189,27 + j 672,78] - [5159,78 + j 7927,18]$$

$$= [149029,75 - j 7254,4]$$

$$= 149206,2 \angle -2,78^\circ \text{ Volt}$$

$$= 149,3 \angle -2,78^\circ \text{ kV}_{(N-L)}$$

$$= 258,5 \angle -2,78^\circ \text{ kV}_{(L-L)}$$

Kemudian mencari arus pada ujung terima berdasarkan persamaan 2.23

$$\vec{I}_R = -C\vec{V}_S + \vec{A}\vec{I}_S$$

$$= -0,0017 \angle 90^\circ \times \frac{275000}{\sqrt{3}} + 0,97 \angle 0,25^\circ \times 342,7 \angle -21,98^\circ$$

$$= -270,23 \angle 90^\circ + 332,4 \angle -21,73^\circ$$

$$= [0 - j 270,23] + [308,77 - j 123,06]$$

$$= [308,77 - j 393,29]$$

$$= 500 \angle -51,86^\circ \text{ A}$$

Besar power factor pada ujung terima adalah

$$\cos R = \cos V_R - \cos I_R$$

$$= (-2,78) - (-51,86) = 49,08$$

$$\cos \theta_R = \cos 49,08 = 0,65$$

Kemudian mencari besar daya yang diterima pada ujung terima berdasarkan persamaan 2.3

$$\begin{aligned} P_R &= \sqrt{3} V_{R(L-L)} \times I_R \times \cos \theta_R \\ &= \sqrt{3} 258,5 \times 500 \times 0,65 \\ &= 145513,9 \text{ kW} \\ &= 145,5 \text{ MW} \end{aligned}$$

Kemudian mencari besar regulasi tegangan berdasarkan persamaan 2.19

$$\begin{aligned} &\frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100 \% \\ &= \frac{275 - 258,5}{258,5} \times 100 \% \\ &= 6,3 \% \text{ atau sebesar } 16,5 \text{ KV} \end{aligned}$$

Kemudian mencari presentase rugi-rugi daya berdasarkan persamaan presentase rugi-rugi daya saluran transmisi berdasarkan persamaan 2.8

$$\begin{aligned} \% \text{ Rugi-rugi daya} &= \frac{P_S - P_R}{P_S} \times 100 \% \\ &= \frac{150 \text{ MW} - 145,5 \text{ MW}}{150 \text{ MW}} \times 100 \% \\ &= 3 \% \text{ atau sebesar } 4,5 \text{ MW} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, Persentase Rugi- Rugi Daya baik menggunakan metode nominal Phi maupun nominal T Sebagai berikut :

$$\text{Nominal Phi} = 2,9 \% \text{ atau sebesar } 4,36 \text{ MW}$$

$$\text{Nominal T} = 3 \% \text{ atau sebesar } 4,5 \text{ MW}$$

Perbandingan antara data-data hasil riset dengan data-data yang di analisa dapat dilihat pada table 4.2 berikut :

Tabel 4.2 Perbandingan Pengolahan Data Dengan Data Hasil Riset

Data Hasil Riset	Data Hasil Pengolahan	
Sisi Pengirim	Sisi Terima	
	Nominal Phi	Nominal T
$V_S = 275 \text{ kV}$	$V_R = 257,2 \angle -2,8^\circ$	$V_R = 258,5 \angle -2,78^\circ$
$I_S = 342.7 \text{ A}$	$I_R = 487,94 \angle -50,66^\circ \text{ A}$	$I_R = 500 \angle -51,86^\circ$
$P_S \text{ rata/jam} = 150 \text{ MW}$	$P_R \text{ rata/jam} = 145,637 \text{ MW}$	$P_R \text{ rata/jam} = 145,5$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Adapun besar jatuh tegangan yang terjadi pada saluran transmisi tegangan tinggi 275 KV PT. PLN (Persero) jauh lebih kurang 69,9 KM pada tanggal 22 April 2017 yaitu sebesar 6,9 % atau sebesar 17,8 KV berdasarkan perhitungan menggunakan metode nominal Phi. Dan sebesar 6,3 % atau sebesar 16,5 KV. berdasarkan perhitungan menggunakan metode nominal T.
2. Besar rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi tegangan tinggi 275 KV pada PT. PLN (Persero) adalah sebesar 2,9 % atau sebesar 4,36 MW berdasarkan perhitungan menggunakan metode nominal Phi. Dan sebesar 3 % atau sebesar 4,5 MW berdasarkan perhitungan menggunakan metode nominal T. berdasarkan teori kerugian ini masih dalam batas yang di izinkan dimana kerugian yang terjadi pada saluran transmisi harus pada standart 5 % sampai 10 % dari daya yang di salurkan. Sehingga system transmisi ini dapat dikatakan baik. Tidak perlu ada perbaikan-perbaikan atau pergantian-pergantian alat-alat pada saluran.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk penelitian tentang kerugian daya saluran transmisi tegangan tinggi 275 kV adalah bagi peneliti selanjutnya. Yaitu dalam meneliti kerugian daya pada saluran transmisi tegangan tinggi 275 KV sebaiknya dalam pengambilan data diambil data untuk beberapa bulan sehingga dapat dilihat secara detail penurunan dan kenaikan kerugian daya yang terjadi sehingga untuk pengambilan tindakan akan lebih efektif. Untuk penelitian selanjutnya juga harus memikirkan bagaimana caranya menganalisa dengan factor daya yang sudah baik yakni 0,93 supaya kerugian daya nya tidak terlalu besar bila perlu tidak mencapai tingkat mega watt.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz. F 2009. *Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi EHV (Extra High Voltage) Di PT. PLN (PERSERO) P3B Jawa Bali Regional Jawa Tengah Dan DIY Unit Pelayanan Transmisi Unggaran*, Jurnal, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang : Semarang.
- Budiarto, A & Sadewa , W. A 2013, *Saluran Transmisi Pendek*. Makalah, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta : Yogyakarta.
- Cekdin. C & Barlian, T 2013, *Transmisi Daya Listrik*. Andi : Yogyakarta.
- Hermawan S 2009, *Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 500 KV di PT. PLN (PERSERO) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban Jawa Bali Regional Jawa Tengah dan DIY unit pelayanan transmisi* Semarang.
- Hutahuruk T.S 1985, *Transmisi Daya Listrik*. Erlangga : Jakarta.
- Zaelani, Z 2008, *Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Transmisi 500 kv Dengan Menggunakan Digisilent (Studi kasus pada Saluran Transmisi Saguling Bandung Selatan*, Skripsi , Fakultas Teknologi Dan Kejuruan Universitas Pendidikan Indonesia : Bandung.
- Karim S.A 2006, *Analisis Rugi-rugi daya Pada Saluran Transmisi 150 Kv Menggunakan Metode Teorema Pointing*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang : Malang.
- Liem Ek Bien, dkk (2005) *analisa kerugian daya perhitungan pada jaringan tegangan menengah feeder serimpi, pam 1 dan pam 2 pada jaringan area gambar PT. PLN (persero) distribusi Jakarta Raya dan Tangerang*.
- Reza D 2009, *Perlindungan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 Kv Dari Sambaran petir Dengan Menggunakan Arching Horn Pada Isolator Gantung*. Tugas akhir, Fakultas Teknik Universitas muhammadiyah Sumatra Utara : Medan.