

TUGAS AKHIR

**“ANALISIS ALIRAN DAYA KABEL TANAH TEGANGAN MENENGAH
20 KV SEBAGAI PENGHASIL DAYA REAKTIF PADA PT PLN
(PERSERO) KOTA SUBULUSSALAM”**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

DISUSUN OLEH:

YUSTIKA AGUSTINA

1707220011



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Yustika Agustina

NPM : 1707220011

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : ANALISIS ALIRAN DAYA KABEL TANAH
TEGANGAN MENENGAH 20 KV SEBAGAI
PENGHASIL DAYA REAKTIF PADA PT PLN
(PERSERO) KOTA SUBULUSSALAM

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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, 23 Mei 2022

Mengetahui dan Menyetujui

Pembimbing



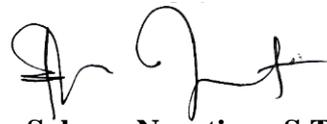
(Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M.)

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



(Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd)

Program Studi Teknik Elektro



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Yustika Agustina
NPM : 1707220011
Tempat/Tanggal Lahir : Subulussalam, 23 Agustus 1998
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

ANALISIS ALIRAN DAYA KABEL TANAH TEGANGAN MENENGAH 20 KV SEBAGAI PENGHASIL DAYA REAKTIF PADA PT PLN (PERSERO) KOTA SUBULUSSALAM

Bukan merupakan *plagiarisme*, pencuri hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun 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 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 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 23 Mei 2022

Saya yang Menyatakan



Yustika Agustina

1707220011

ABSTRAK

Analisis Aliran Daya adalah suatu studi untuk merencanakan dan mengetahui besarnya daya dalam suatu sistem tenaga listrik. Dalam perkembangannya, industri membutuhkan tenaga listrik yang besar dan menggunakan peralatan listrik sebagai alat produksi. Saluran aliran daya listrik juga memiliki dua sistem, yaitu sistem saluran udara dan sistem bawah tanah. Studi analisis aliran daya ini mengambil contoh pada implementasi sistem tenaga listrik di PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam, dengan karakteristik menggunakan saluran kabel bawah tanah jenis (XLPE). Manfaat dari adanya analisis aliran daya listrik adalah untuk mengetahui besarnya daya dalam sistem tenaga listrik apakah masih memenuhi batas-batas yang telah ditentukan, serta untuk mengetahui besar *Losses* yang ada. Analisis aliran daya diawali menghitung daya semu, daya aktif dan daya reaktif pada setiap transformator induk dengan dibuat beberapa bagian yaitu bagian A,B,C dan Load Bus atau simpul (bus) terpasang, pembebanan pada saluran atau penghantar, nilai rugi daya (*Losses*), jatuh tegangan sistem, dan aliran daya pada jaringan sistem tenaga listrik terpasang. Hasil yang diperoleh dari analisis aliran daya pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam yang paling besar pada Transformator Induk bagian B dengan arus 3.200 Ampere maka untuk selisih rugi daya aktif adalah sebesar 389,283,84 KW dengan nilai persentasi rugi-rugi daya aktif sebesar 2,31% dan untuk rugi daya reaktif adalah sebesar 460.062,72 KVAR dengan hasil persentasi rugi-rugi daya reaktif sebesar 3,77%. Sedangkan untuk hasil perhitungan jatuh tegangan masih memenuhi standar pada kapasitas tegangan menuju beban.

Kata Kunci : Aliran Daya, Kabel Tanah, Rugi-rugi Daya, Daya Semu, Daya Aktif, Daya Reaktif

ABSTRACT

Power Flow Analysis is a study to plan and determine the amount of power in an electric power system. In its development, industry requires a large amount of electricity and uses electrical equipment as a means of production. The electric power line also has two systems, namely the air duct system and the underground system. This power flow analysis study takes the example of the implementation of the electric power system at PT. PLN (PERSERO) City of Suulussalam, with the characteristics of using underground cable lines (XLPE). The benefit of the analysis of the flow of electric power is to determine whether the amount of power in the electric power system still meets the predetermined limits, and to determine the amount of losses that exist. Power flow analysis begins with calculating apparent power, active power and reactive power on each main transformer by making several parts, namely parts A, B, C and Load Bus or nodes (buses) installed, loading on lines or conductors, value of power losses (Losses) , system voltage drop, and power flow in the installed electric power system network. The results obtained from the analysis of power flow at PT. PLN (PERSERO) Suulussalam City is the largest in the Main Transformer section B with a current of 3,200 Ampere, so the difference in active power losses is 389,283.84 KW with a presentation value of 2.31% of active power losses and 2.31% for reactive power losses. 460.062.72 KVAR with the results of the presentation of reactive power losses of 3.77%. As for the results of the calculation of the voltage drop, it still meets the standard which is in the capacity of the voltage to the load.

Keyword : Aliran Daya, Kabel Tanah, Rugi-rugi Daya, Daya Semu, Daya Aktif, Daya Reaktif

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih Maha Penyayang. Tidak ada kata yang lebih indah selain puji dan syukur kepada Allah SWT, yang telah menetapkan segala sesuatu, sehingga tiada sehelai daun pun yang jatuh tanpa izin-Nya. Alhamdulillah atas izin-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul **“Analisis Aliran Daya Kabel Tanah Tegangan Menengah 20 KV Sebagai Penghasil Daya Reaktif Pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan beribu terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik yang secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis : Bapak Zainuddin dan Ibu Ely Triana, yang tak hentinya mendo'akan dan memberikan dukungan serta nasehat setiap harinya.
2. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T, M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Ibu Elvy Sahnur Nasution., S.T, M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

8. Bapak Ir. Abdul Aziz Hutasuhut,. M.M., selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Seluruh Bapak/ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu ketekniklistrikan kepada penulis.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro A1 Pagi Stambuk 2017

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, hal itu penulis sadari 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, 23 Mei 2022

Penulis



YUSTIKA AGUSTINA

170722011

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN MASALAH	
2.1 Tinjauan Pustaka.....	4
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.3 Studi Aliran Daya	7
2.3.1 Klasifikasi Sistem Aliran Daya	9
2.4 Kualitas Daya Listrik (<i>Power Qaulity</i>)	13
2.5 Daya Listrik	13
2.5.1 Pengertian Daya Listrik.....	13
2.6 Macam-macam Jenis Daya Listrik	14
2.6.1 Daya Aktif	14

2.6.2 Daya Reaktif	14
2.6.3 Daya Semu	15
2.7 Faktor Daya	16
2.8 Sifat Faktor Daya	16
2.8.1 Faktor Daya Unity	17
2.8.2 Faktor Daya Mendahului (<i>Leading</i>)	17
2.8.3 Faktor Daya Terbelakang (<i>Lagging</i>)	18
2.8.4 Perbaikan Faktor Daya	18
2.9 Kabel Tanah.....	19
2.10 Kontruksi Kabel Bawah Tanah dan Fungsi Bagiannya	19
2.10.1 Penghantar	20
2.10.2 Tabir	21
2.10.3 Selubung	21
2.10.4 Bantalan	22
2.10.5 Perisai (<i>Armor</i>)	22
2.10.6 Bahan Pengisi.....	22
2.10.7 Sarung Kabel.....	23
2.10.8 Lapisan Penahan Kebocoran Air.....	23
2.11 Isolasi	23
2.11.1 Kabel Bawah Tanah Isolasi XLPE.....	24
2.11.2 Isolasi XLPE (<i>Cross Linked Poly Ethylene</i>).....	25
2.11.3 Kabel Bawah Tanah Isolasi Kertas	26
2.12 Sambungan Kabel	27
2.12.1 Jenis-jenis Sambungan Kabel	28
2.12.2 Kontruksi Umum Sambungan Kabel	28
2.13 Tegangan	29
2.13.1 Tegangan Jatuh	29
2.13.2 Penyebab Drop Tegangan.....	31
2.13.3 Memperbaiki Nilai Tegangan	32
2.13.4 Tujuan Penurunan Tegangan	32
2.13.5 Dampak Negatif Jatuh Tegangan Berlebih.....	32
2.13.6 Standar NFPA 70 – NEC 2017	33

2.14 Klasifikasi Bus	34
----------------------------	----

BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	35
3.1.1 Tempat Penelitian.....	35
3.1.2 Waktu Penelitian	35
3.2 Bahan dan Alat Penelitian	35
3.3 Data Penelitian.....	35
3.4 Metode Penelitian	36
3.5 Teknik Analisa Data	36
3.6 Wiring Diagram Saluran kabel bawah tanah.....	37
3.7 Flowchart.....	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data hasil Penelitian	40
4.2 Perhitungan Penghantar.....	40
4.3 Perhitungan Daya.....	41
4.4 Perhitungan Rugi-rugi Daya.....	47
4.5 Perhitungan Jatuh Tegangan.....	53

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	58

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik	7
Gambar 2.2 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2.3 Segitiga Daya	15
Gambar 2.4 Arus Sephasa dengan Tegangan.....	17
Gambar 2.5 Arus Mendahului Tegangan	17
Gambar 2.6 Faktor Daya “Leading”	17
Gambar 2.7 Arus Tertinggal dari tegangan.....	18
Gambar 2.8 Faktor Daya “Lagging”	18
Gambar 2.9 Prinsip Perbaikan Faktor Daya.....	19
Gambar 2.10 Bagian Utama Kabel Bawah Tanah.....	20
Gambar 2.11 Kontruksi Kabel Bawah Tanah	25
Gambar 2.12 Pemasangan Kabel Tanah (XLPE)	26
Gambar 2.13 Kabel Tegangan Menengah Isolasi Kertas Berinti Tiga	26
Gambar 2.14 Kontruksi Umum Sambungan Kabel Bawah Tanah.....	29
Gambar 3.1 Wiring Diagram Sistem Tenaga Listrik.....	39
Gambar 3.2 Flowchart.....	32

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Persamaan Segitiga Daya	16
Tabel 2.2 Daya Hantar Listrik Berbagai Logam	21
Tabel 2.3 Perbandingan Untuk Kerja Beberapa Macam Isolasi.....	24
Tabel 3.1 Hasil kabel XLPE.....	36
Tabel 4.1 Hasil Penghantar / Kabel Bawah Tanah	40
Tabel 4.2 Hasil Daya Semu, Daya Aktif dan Daya Reaktif.....	42
Tabel 4.3 Hasil Rugi-rugi Daya.....	50
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan.....	53

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 4.1 Arus	45
Grafik 4.2 Daya	46
Grafik 4.3 Daya Load Bus.....	46
Grafik 4.4 Losses Daya Aktif.....	50
Grafik 4.5 Persentasi Losses Daya Aktif	51
Grafik 4.6 Losses Daya Reaktif.....	51
Grafik 4.7 Persentasi Losses Daya Reaktif	52
Grafik 4.8 Losses Load Bus	52
Grafik 4.9 Persentasi Losses Load Bus.....	53
Grafik 4.10 Tegangan	55
Grafik 4.11 Tegangan Jatuh	56
Grafik 4.12 Tegangan Jatuh Disisi Penerima	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik sudah menjadi salah satu kebutuhan pokok manusia dalam kehidupan sehari-hari. Hampir semua peralatan yang menopang dan membantu kegiatan sehari-hari manusia saat ini membutuhkan energi listrik. Dari sektor rumah tangga, pemerintahan, fasilitas umum, industri, hingga fasilitas sosial, semua membutuhkan listrik. Listrik sudah menjadi kebutuhan primer sebagai sumber energi utama untuk menjalankan semua peralatan sebagai beban utama.

Untuk memenuhi kebutuhan listrik, energi listrik diambil dalam pasokan listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN), seiring berjalannya waktu, terus melakukan pengembangan khususnya di sektor pembangunan dan pembaharuan perangkat, yang berarti bertambah pula jumlah beban yang harus ditanggung. Akibatnya, desain konfigurasi awal dari sistem jaringan kelistrikan yang awalnya baik dan mampu melayani beban dengan baik, bisa jadi menjadi tidak sesuai lagi dengan keadaan pembebanan saat ini. Untuk itu, perlu dilakukan analisis aliran daya untuk mengetahui kondisi secara keseluruhan dari sistem tenaga listrik.

Analisis aliran daya pada kabel tanah yang mengungkapkan kinerja suatu sistem tenaga listrik dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja. Hasil utama dari aliran daya adalah daya nyata dan daya reaktif yang pada setiap saluran kabel bawah tanah. Hasil analisis aliran daya dapat digunakan untuk mengetahui besarnya *losses* (rugi daya dan tegangan), alokasi daya reaktif dan kemampuan sistem untuk memenuhi pertumbuhan beban.

Berdasarkan alasan tersebut, maka peneliti tertarik mengadakan penelitian dengan judul, **“ANALISIS ALIRAN DAYA KABEL TANAH TEGANGAN MENENGAH 20 KV SEBAGAI PENGHASIL DAYA REAKTIF PADA PT PLN (PERSERO) KOTA SUBULUSSALAM”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka didapatkan inti masalah yang akan diselesaikan pada penelitian ini, yaitu:

1. Berapa besar nilai aliran daya yang meliputi daya reaktif pada saluran listrik kabel tanah pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam?
2. Berapa besar nilai faktor rugi-rugi daya (*losses*) pada saluran listrik kabel tanah pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam?

1.3 Ruang Lingkup

Untuk memfokuskan penelitian pada bagian yang dianggap paling penting maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Saluran listrik yang disalurkan dari sektor pembangkit listrik dengan media penyalurannya menggunakan saluran kabel tanah yang nantinya akan disalurkan ke rumah tangga, pemerintahan, fasilitas umum, industri, hingga fasilitas sosial, semua membutuhkan listrik. Tidak membahas beban puncak pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam dan Tidak membahas faktor gangguan yang ada didalam saluran kabel bawah tanah.
2. Terjadinya faktor rugi-rugi daya (*losses*) dan tegangan jatuh yang disebabkan oleh panjangnya saluran kabel tanah. Tidak membahas kelayakan kabel XLPE aliran daya bawah tanah pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam dan Tidak membahas efisiensi pada kabel tanah.

1.4 Tujuan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka terbentuklah tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui berapa besar nilai aliran daya yang meliputi daya reaktif pada saluran listrik kabel tanah pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam?

2. Untuk mengetahui berapa besar nilai faktor rugi-rugi daya (*losses*) pada saluran listrik kabel tanah pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam?

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini:

1. Penelitian ini bermanfaat sebagai referensi kelistrikan dan aliran daya listrik yang ada pada kabel tanah.
2. Penelitian ini akan menambah ilmu terutama yang terkait tentang aliran daya dan rugi-rugi daya (*losses*) pada kabel tanah.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada BAB ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada BAB ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada BAB ini menjelaskan tentang tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara pengujian dan struktur dari langkah-langkah pengujian.

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada BAB ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada BAB ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari penelitian dan penulisan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah penulis menelaah beberapa referensi perancangan yang sebelumnya ada beberapa yang berkaitan dengan penelitian yang penulis lakukan. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jeandy T. I. Kumen dkk (2018) melakukan penelitian mengenai gangguan hubung singkat saluran kabel bawah tanah tegangan 20 Kv. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ada beberapa gangguan pada kabel bawah tanah dengan gangguan simetris, transient dan permanent.

Oktaria Handayani (2018) melakukan penelitian mengenai analisa kuat hantar arus kabel tanah 150 Kv yang melintasi jembatan. Hasil penelitian ini menunjukkan semakin tinggi suhu dibangkitkan oleh kabel dan suhu sekitar semakin rendah kemampuan kabel untuk menyalurkan arus listrik, jumlah dari banyaknya kabel yang dipasang pada saluran jembatan ikut mempengaruhi kemampuan kabel dalam menyalurkan arus listrik.

Wilhelmina (2017) melakukan penelitian mengenai aliran daya pada sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi menggunakan program ETAP (*Electrical Analyzer Program*). Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah bagaimana aliran daya pada sistem yang dipasang kapasitor bank dengan sistem tanpa kapasitor bank.

Sumardi dkk (2018) telah melakukan penelitian mengenai aliran daya pada jaringan distribusi 20 Kv PT PLN (PERSERO) sebatik menggunakan *software etap powerstation 12.6.0*. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan *software etap powerstation* untuk melihat kondisi beban pada pagi, siang dan malam hari yang terdapat sumber aliran daya melalui PT PLN (PERSERO) sebatik.

Penelitian mengenai analisis aliran daya dengan metode injeksi arus sudah pernah dilakukan oleh Manuaba, dkk (2017) pada sistem distribusi 20 kV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, metode Injeksi Arus memerlukan waktu komputasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode Newton-Rhapson.

Penelitian ini mengenai analisis aliran daya merupakan analisa yang digunakan untuk mengetahui kondisi system dalam keadaan normal sudah pernah dilakukan oleh Salman, dkk (2018) sehingga sangat dibutuhkan dalam perencanaan system untuk masa yang akan datang dan merupakan bahan evaluasi terhadap system yang ada. Analisis ini meliputi penentuan besarnya nilai tegangan (V), daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dan sudut fasa setiap bus dalam system.

Selanjutnya, Emmy Hosea, dkk (2019) melakukan penelitian untuk membandingkan analisis aliran daya menggunakan metode Algoritma Genetika dengan metode Newton-Raphson. Hasil penelitian diperoleh bahwa, metode iterasi Newton-Raphson maupun metode Algoritma Genetika dapat digunakan untuk menentukan nilai parameter Bus dalam perhitungan aliran daya. Tetapi dilihat dari proses komputasi, metode Newton-Raphson dapat menyelesaikan perhitungan dengan waktu komputasi yang lebih cepat dibandingkan dengan waktu komputasi pada metode Algoritma Genetika untuk mencapai kriteria berhenti yang sama.

Kemudian pada penelitian Metode Injeksi Arus (*Current Injections Method*) merupakan metode baru hasil pengembangan dari metode Newton-Raphson yang digunakan untuk menganalisa aliran daya. Metode Injeksi Arus memiliki struktur matriks Jacobian yang diperbaharui pada setiap iterasi sehingga lebih cepat dalam melakukan analisis aliran daya. Manuaba, dkk (2017), melakukan penelitian mengenai analisis aliran daya dengan metode injeksi arus pada sistem distribusi 20 kV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, metode Injeksi Arus memerlukan waktu komputasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode Newton-Raphson. Waktu yang dibutuhkan dalam proses komputasi menggunakan metode Injeksi Arus yang lebih singkat dibandingkan dengan metode Newton-Raphson dapat terjadi karena metode Injeksi Arus memiliki struktur matriks Jacobian yang identik dengan matriks admitansi bus.

Penelitian lain yang berhubungan dengan aliran daya Abdul Jaleel dan Shabna, (2018) dengan judul analisis aliran beban dan evaluasi keandalan sistem tenaga 220 kV di Kerala. Studi aliran-aliran penting untuk merencanakan perluasan sistem tenaga kerja di masa depan dan juga dalam menentukan operasi terbaik dari sistem yang ada dan Newton Raphson salah satu metode efisien yang

digunakan. Informasi utama yang diperoleh dari analisis aliran beban adalah besarnya sudut dan fase tegangan pada masing-masing bus, dan daya nyata dan reaktif mengalir di setiap garis. Diagram garis tunggal dimodelkan dengan menggunakan software Electrical Transient Analyzer Program (ETAP). Berbagai indeks reliabilitas juga diperoleh yang dapat digunakan sebagai ukuran keandalan sistem. Penempatan kapasitor optimal juga dilakukan dengan menggunakan ETAP. Aliran beban juga dilakukan dengan menggunakan software MATLAB.

Aroop Bardalai, Sanjib Hazarika dan Satyajit Bhuyan (2018) dalam penelitiannya mengenai analisis aliran daya pada sistem bus IEEE 57 menggunakan MATLAB. Tujuannya untuk menentukan besarnya voltase dan sudut yang sesuai untuk semua bus jaringan.

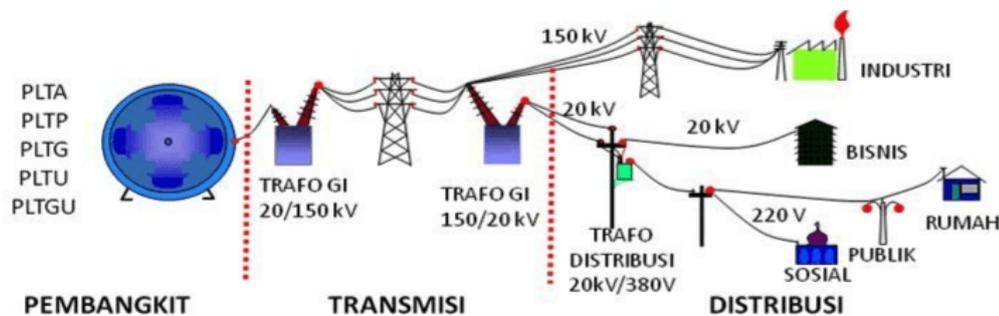
Hakiki, I. (2018) dalam penelitiannya yang berjudul analisa drop tegangan pada feeder Setapak tegangan menengah 20 kV di gardu induk sei-wie PT.PLN (Persero), mengatakan bahwa penyebab utama terjadinya drop tegangan pada jaringan atau saluran distribusi antara lain karena adanya pengaruh besar arus yang mengalir pada saluran, dan impedansi. Terjadinya drop tegangan itu sangat dipengaruhi oleh tahanan dan panjang saluran serta besar arus yang terlalu berlebihan akan mempengaruhi besar drop tegangan.

Julius Sentosa Setiadji (2006) dalam penelitiannya yang berjudul pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi, mengatakan bahwa pada siang hari ketidakseimbangan beban pada trafo tiang semakin besar karena penggunaan beban listrik tidak merata. Semakin besar ketidakseimbangan beban pada trafo tiang maka arus netral yang mengalir ke tanah (IG) dan losses trafo tiang semakin besar. Salah satu cara mengatasi losses arus netral adalah dengan membuat sama ukuran kawat netral dan fasa. Dalam penelitian ini merubah posisi atau jarak transformator distribusi yang mengalami jatuh tegangan. Dengan diperbaikinya jatuh tegangan pada transformator, diperbaikinya daya input transformator, diperbaikinya daya output transformator, dan diperbaikinya efisiensi transformator. Maka akan lebih mengoptimalkan transformator bekerja.

2.2 Landasan Teori

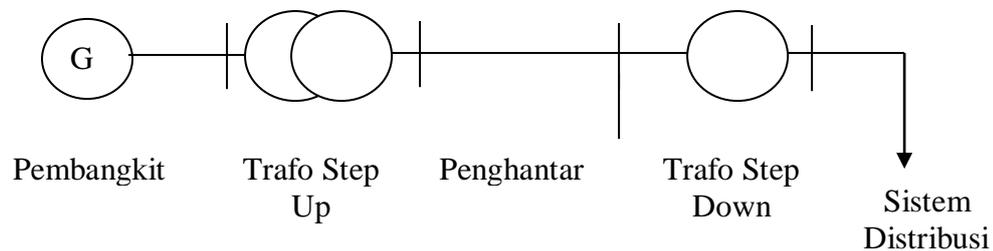
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu kesatuan yang terintegrasi mulai dari unit pembangkit listrik, unit transmisi listrik, sampai unit distribusi listrik dalam upaya menyalurkan listrik dari produsen kepada konsumen dengan dilengkapi sistem proteksi pada kesatuan tersebut. Menurut PT. PLN (Persero) (2010 : 2), ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu Pembangkitan, Penyaluran (Transmisi), dan Distribusi. Secara umum skema sistem tenaga listrik ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Komponen dasar yang membentuk suatu sistem tenaga listrik adalah generator, transformator, saluran transmisi dan beban. Untuk keperluan analisis sistem tenaga, diperlukan suatu diagram yang dapat mewakili setiap komponen sistem tenaga listrik tersebut. Diagram yang sering digunakan adalah diagram satu garis dan diagram impedansi atau diagram reaktansi.



Gambar 2.2 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik

2.3 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya mengungkapkan kinerja dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu tatkala sistem bekerja saat tunak (*steady state*).

Studi aliran daya juga memberikan informasi mengenai beban saluran transmisi disistem, tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga dan bertujuan untuk menentukan besarnya daya nyata (*real power*), daya reaktif (*reactive power*) diberbagai titik pada sistem daya berlangsung atau diharapkan untuk operasi normal.

Studi aliran daya merupakan studi yang penting dalam perencanaan dan desain perluasan sistem tenaga listrik dan menentukan operasi terbaik pada jaringan yang sudah ada. Studi aliran daya sangat diperlukan dalam perencanaan serta pengembangan sistem di masa-masa yang akan datang. Seiring dengan bertambahnya konsumen akan kebutuhan tenaga listrik, maka akan selalu terjadi perubahan beban, perubahan unit-unit pembangkit, dan perubahan saluran transmisi.

Menurut Ir. Sulasno, 1993, kegunaan studi analisis aliran daya ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui tegangan-tegangan pada setiap simpul yang ada.
2. Untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
3. Untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru.
4. Pada hubung singkat, stabilitas, dan pembebanan ekonomis.

Untuk melakukan perhitungan aliran daya, diperlukan data-data untuk menganalisisnya. Referensi data yang diperlukan antara lain :

1. Data Saluran yang diperoleh dari diagram segaris (*single line diagram*)
2. Data Bus yang diperlukan adalah besaran daya, tegangan, arus, sudut fasa.
3. Data Spesifikasi Data yang didapat dari rating-rating setiap komponen, type komponen, merek komponen, frekuensi, dan data asli dari setiap komponen.

Pada umumnya, perhitungan aliran daya diasumsikan sistem dalam keadaan seimbang. Data dan informasi yang didapatkan berguna dalam merencanakan perluasan sistem tenaga listrik dan dalam menentukan operasi terbaik untuk sistem jaringan kelistrikan. Perencanaan sistem aliran daya listrik industri meliputi beban terpasang dan beban operasi pada industry tersebut, sehingga dapat

diperhitungkan besarnya daya pada transformator yang dibutuhkan, jadi dengan perencanaan yang baik dan matang maka aliran daya listrik pada sistem tersebut dapat sesuai dengan kebutuhan pemakaian energi listrik, serta mengurangi terjadinya *losses*. Menentukan perencanaan operasi terbaik dari sistem aliran daya listrik meliputi pengontrolan alokasi daya reaktif yang optimal.

Studi aliran daya membutuhkan parameter-parameter dengan besaran yang dalam keadaan tetap (*stabil*). Beban yang berupa mesin-mesin yang tidak berputar, kecil pengaruhnya terhadap arus saluran pada waktu terjadinya gangguan, oleh karena itu biasanya diabaikan. Beban yang berupa motor serempak selalu dimasukkan dalam perhitungan aliran daya listrik. Berdasarkan beban yang bekerja dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu; beban statis (*static load*) dan beban campuran antara beban motor dan beban statis (*lumped load*).

2.3.1 Klasifikasi Sistem Aliran Daya

Menurut Sigit (2019:40) dalam penelitiannya, klasifikasi sistem aliran daya dibagi dalam beberapa bagian, antara lain :

1. Representasi Transformator

Transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan primer 20 Kv (dari PLN) menjadi tegangan sekunder 380/220 Volt. Transformator merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan pemilihan tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi

- a. Transformator daya
- b. Transformator distribusi
- c. Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan)

Transformator dipresentasikan sebagai resistansi R dan reaktansi bocor X , karena R dan X akan mempunyai nilai persatuan yang sama baik pada sisi tegangan rendah maupun sisi tegangan tinggi pada transformator.

2. Representasi Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektro magnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Meskipun generator dan motor punya banyak kesamaan, tapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada didalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air didalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokal maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimanfaatkan, atau apapun sumber energi mekanik yang lain.

Generator dalam dunia industri biasanya digunakan sebagai sumber energi cadangan (pembangkit listrik pabrik) jika terjadi pemadaman dari PLN sehingga proses produksi tetap berjalan. Tidak hanya sebagai sumber energi cadangan, dalam industri yang berskala besar pembangkitan listrik melalui generator menjadi pilihan sumber listrik utama dalam pabrik sehingga dapat menghemat biaya konsumsi listrik.

3. Representasi Bus (busbar)

Busbar adalah suatu penghantar impedansi rendah dimana beberapa sirkuit listrik dapat dihubungkan secara terpisah dengan setiap keluaran tertuju ke dasar kerangka tiga busbar fasa dan satu netral.

Busbar pada dasarnya merupakan ril penghubung dua atau lebih rangkaian listrik. Busbar dapat disebut ril penghubung rangkaian. Semua generator atau sumber listrik dalam pusat tenaga listrik disalurkan melalui bus atau ke ril pusat listrik. Dalam sistem tenaga listrik terdapat jenis-jenis bus yaitu :

a. Bus Beban

Setiap bus yang tidak memiliki generator disebut dengan *load bus*. Pada bus ini daya aktif dan daya reaktif diketahui sehingga sering disebut

bus PQ. Daya aktif dan daya reaktif yang disuplay kedalam sistem tenaga listrik adalah mempunyai nilai positif, sementara daya aktif dan daya reaktif yang dikonsumsi bernilai negatif.

b. Bus Generator

Bus generator dapat disebut juga dengan *voltage controlled bus* karena tegangan pada bus selalu dibuat konstan. Setiap bus generator memiliki daya Mega Watt yang dapat diatur melalui *prime mover* (penggerak mula dan besaran tegangan yang dapat diatur melalui arus eksitasi generator sehingga bus ini sering juga disebut PV bus). Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah P dan Q.

c. Bus Berayun (*swing bus atau slack bus*)

Suatu sistem tenaga biasanya didesain untuk memiliki bus ini yang dijadikan sebagai referensi. Besaran yang dapat diketahui dari bus ini adalah tegangan dan sudut beban. Sedangkan besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah daya aktif dan daya reaktif.

d. Bus Tunggal (*Single bus*)

Bus tunggal adalah susunan bus yang paling sederhana dan paling murah. Keandalan serta fleksibilitas operasinya sangat terbatas. Apabila ada kerusakan pada bus ini maka seluruh pusat listrik harus dipadamkan untuk dapat melakukan perbaikan. Oleh sebab itu bus tunggal sebaiknya hanya digunakan pada pusat listrik yang tidak terlalu vital peranannya dalam sistem jaringan kelistrikan.

e. Bus Ganda (*multiple bus*)

Multiple bus adalah suatu bus yang terdiri dari dua, tiga atau empat bus dalam saluran.

d. Bus Gelang (*ring bus*)

Ring bus hanya memerlukan ruangan yang kecil dan baik untuk

pemutusan sebagai bagian dari pelayanan dan pemeriksaan pemutus beban. Sistem ini jarang dipakai karena mempunyai kelemahan dari segi operasi yakni bus ini tidak begitu leluasa seperti sistem dua bus. Lagi pula rangkaian kontrol dan pengamannya menjadi lebih kompleks dan kapasitas arus dari alat-alat yang terpasang seri harus lebih besar.

4. Representasi Kapasitor Bank

Kapasitor bank berfungsi sebagai salah satu alternatif dalam peralatan listrik terhadap koreksi faktor daya (*power factor*). Kapasitor akan memberikan daya reaktif lebih tinggi jika bekerja pada tegangan yang lebih tinggi, meskipun bekerja pada tegangan yang lebih tinggi dari pada tegangan jaringan standar, kapasitor akan bekerja secara efektif dan tahan lama.

5. Representasi beban

Jenis beban terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. *Static Load* (Beban statis) Beban statis dalam pemakaiannya selalu stabil dan tidak membutuhkan daya yang besar saat awalan atau mulai mengoperasikannya. Contoh dari beban statis adalah beban penerangan atau lampu.
2. *Dinamic Load* (Beban dinamis) *Dinamic load* adalah beban yang membutuhkan daya yang besar dalam pengoperasiannya. Biasanya beban ini merupakan beban motor (induksi, sinkron, atau serempak). Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (AC) yang paling banyak digunakan.

6. Representasi Sistem Proteksi

Representasi sistem proteksi adalah sebagai pengaman baik untuk mengamankan peralatan listrik maupun pengguna peralatan listrik (manusia). Sistem pengaman diharapkan dapat mencegah masalah-masalah yang disebabkan akibat hubung singkat (*Short Circuit*) dan kelebihan beban (*Over Load*) dalam aliran daya listrik.

2.4 Kualitas Daya listrik (*Power Quality*)

Listrik yang berkualitas adalah listrik yang mempunyai tegangan dan frekuensi yang konstan sesuai dengan nilai nominalnya. Dalam kisaran yang ditentukan, frekuensi yang stabil dan sangat dekat dengan nilai nominalnya (dalam sepersekian persen). Permasalahan yang sering terjadi pada kualitas daya listrik (*Power Quality*) yaitu permasalahan daya listrik yang mengalami penyimpangan baik tegangan, arus, dan frekuensi sehingga menimbulkan kegagalan atau kesalahan operasi pada peralatan.

Suplay daya listrik dari generator pembangkit sampai ke beban dioperasikan dalam batas toleransi parameter kelistrikannya seperti tegangan, arus, frekuensi, dan bentuk gelombang. Perubahan dan deviasi diluar batas toleransi parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap kualitas daya yang menyebabkan operasi tidak efisien dan dapat merusak perangkat.

Kualitas daya banyak dipengaruhi oleh jenis beban yang tidak linear, ketidakseimbangan pembebanan, distorsi gelombang harmonik yang melebihi standar dan lain-lain. Penurunan kualitas daya dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada sisi beban, bahkan menyebabkan penurunan kapasitas daya pada sumber pembangkit (generator). Adapun parameter yang mempengaruhi kualitas daya listrik yaitu :

2.5 Daya Listrik

2.5.1 Pengertian Daya Listrik

Daya memiliki arti sebagai energi persatuan waktu. Daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha di dalam sistem tenaga listrik. Satuan untuk daya listrik umumnya adalah Watt. Daya pada suatu sistem tegangan bolak-balik (AC) dikenal dengan tiga macam yaitu daya aktif (nyata) dengan simbol (P) satuannya adalah Watt (W), daya reaktif dengan simbol (Q) satuannya adalah volt ampere reactive (VAR) dan daya semu dengan simbol (S) satuannya adalah volt ampere (VA).

2.6 Macam-macam Jenis Daya Listrik

2.6.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya rata-rata yang sesuai dengan kekuatan sebenarnya ditransmisikan atau dikonsumsi oleh beban. Beberapa contoh dari daya aktif adalah energi panas, energi mekanik, cahaya dan daya aktif memiliki satuan berupa watt (W). Berikut ini merupakan persamaan daya aktif.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (1 phasa)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Kemudian :

$$P = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \text{ (3 phasa)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana : P = Daya Aktif (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

Cos φ = Faktor daya

V_L = Tegangan Jaringan (volt)

I_L = Arus Jaringan (ampere)

2.6.2 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain-lain. Daya reaktif memiliki satuan berupa *volt ampere reactive* (VAR). Berikut ini merupakan persamaan daya reaktif.

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (1 phasa)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Kemudian :

$$Q = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi \text{ (3 phasa)} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana : $Q = \text{Daya Reaktif (VAR)}$

$V = \text{Tegangan (Volt)}$

$I = \text{Arus (Ampere)}$

$V_L = \text{Tegangan Jaringan (Volt)}$

$I_L = \text{Arus Jaringan (ampere)}$

2.6.3 Daya Semu

Daya Semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Daya semu ialah daya yang dikeluarkan sumber *alternation current (AC)* atau di serap oleh beban. Satuan dari daya semu yaitu volt ampere (VA). Berikut persamaan dari daya semu :

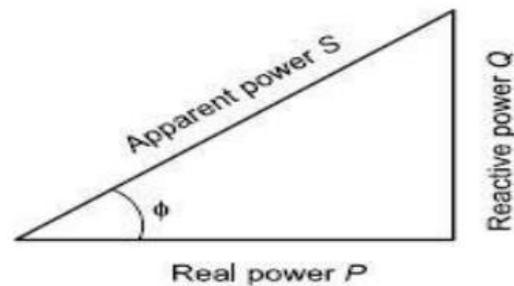
$$S = V \cdot I \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana : $S = \text{Daya Semu (VA)}$

$V = \text{Tegangan (Volt)}$

$I = \text{Arus (Ampere)}$

Hubungan dari ketiga daya diatas disebut sistem segitiga daya dapat digambarkan seperti gambar di bawah ini



Gambar 2.3 Segitiga Daya

Hubungan daya pada gambar segitiga daya dapat dijelaskan dengan persamaan seperti pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Persamaan segitiga daya

No	Daya	Rumus	Satuan
1.	Daya Aktif (P)	$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$	Watt
2.	Daya Reaktif (Q)	$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi$	VAR
3.	Daya Semu (S)	$S = V \times I$	VA

2.7 Faktor Daya

Pengertian Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif dengan daya semu. Faktor daya atau faktor kerja menggambarkan sudut fasa antara daya aktif dan daya semu. Daya aktif digunakan untuk mengoperasikan beban-beban pada pelanggan listrik. Daya semu dihasilkan oleh generator pembangkit yang ditransmisikan ke pelanggan listrik. Daya reaktif yang bertambah akan menyebabkan turunnya faktor daya listrik. Cara yang mudah untuk mengantisipasi turunnya faktor daya listrik dapat dilakukan dengan memilih beban-beban yang mempunyai faktor daya besar juga dapat dilakukan dengan memasang kapasitor.

Kapasitor adalah komponen listrik yang justru menghasilkan daya reaktif pada jaringan dimana dia tersambung. Pemasangan kapasitor dapat memperbaiki faktor daya, jika faktor daya diperbaiki maka daya reaktif dapat berkurang dan mendekati daya aktif. Suatu beban dengan faktor daya 1.0 merupakan beban yang hanya mengandung nilai resistansi murni dan merupakan pembebanan yang paling efisiensi. Beban dengan faktor daya yang rendah (0.5) merupakan beban yang mengandung nilai induktansi yang menyebabkan kerugian yang lebih tinggi dalam sistem suplay tenaga listrik.

Faktor daya yang rendah berhubungan dengan beda fasa antara arus dan tegangan pada terminal beban. Sudut fasa arus beban yang rendah biasanya diakibatkan oleh penggunaan beban induktif seperti transformator, motor induksi, lampu TL dan beban elektronik lainnya.

2.8 Sifat Faktor Daya

Pada suatu sistem tenaga listrik memiliki 3 jenis faktor daya yaitu faktor daya unity, faktor daya mendahului (*Leading*) dan faktor daya terbelakang (*Lagging*) yang ditentukan oleh jenis beban pada sistem tenaga listrik.

2.8.1 Faktor Daya Unity

Faktor daya unity adalah keadaan saat nilai $\cos \phi$ adalah satu dan tegangan sephasas dengan arus. Faktor daya unity akan terjadi bila jenis beban adalah resistif murni.

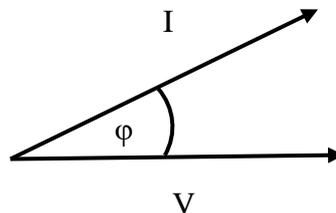


Gambar 2.4 Arus Sephasa dengan Tegangan

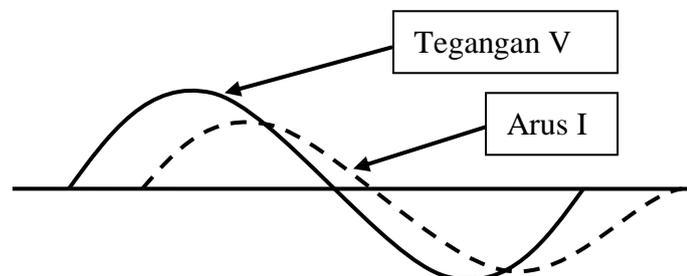
Pada gambar diatas terlihat nilai $\cos \phi$ sama dengan 1 yang menyebabkan jumlah daya nyata yang dikonsumsi beban sama dengan daya semu.

2.8.2 Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

Faktor daya mendahului (*Leading*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi beban atau peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif. Apabila arus mendahului tegangan maka faktor daya ini dikatakan "*Leading*".



Gambar 2.5 Arus Mendahului Tegangan

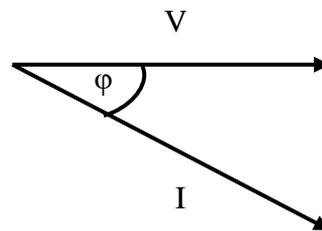


Gambar 2.6 Faktor Daya "*Leading*"

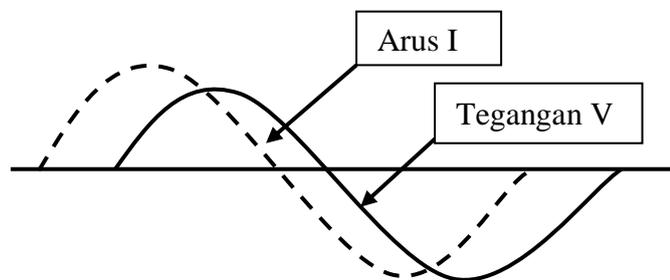
Berdasarkan gambar 5 terlihat bahwa arus mendahului tegangan maka daya reaktif tertinggal dari daya semu, berarti beban memberikan daya reaktif kepada sistem.

2.8.3 Faktor Daya Terbelakang (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang (*Lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi beban atau perlatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif. Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan "*lagging*".



Gambar 2.7 Arus Tertinggal dari Tegangan



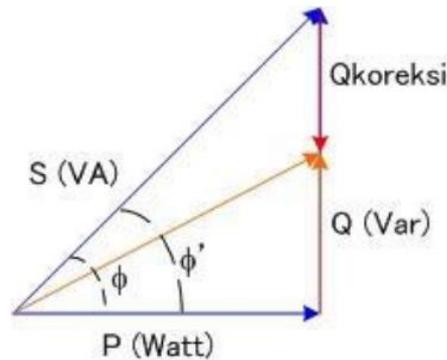
Gambar 2.8 Faktor Daya "*Lagging*"

Berdasarkan gambar 7 terlihat bahwa arus tertinggal dari tegangan maka daya reaktif mendahului daya semu, berarti beban membutuhkan atau menerima daya reaktif dari sistem.

2.8.4 Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya untuk memperbesar harga $\cos \phi$ (pf) yang rendah, hal yang mudah dilakukan adalah dengan cara mempersempit sudut ϕ

sehingga menjadi ϕ_2 berarti $\phi_1 > \phi_2$. Usaha untuk memperkecil sudut ϕ itu hal yang mungkin dilakukan adalah memperkecil komponen daya reaktif (VAR). Komponen daya reaktif yang bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan tersebut dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor atau lebih dikenal dengan istilah kapasitor bank. Perbaikan faktor daya dapat diilustrasikan seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.9 Prinsip Perbaikan Faktor Daya
(Dhida.A.P 2018)

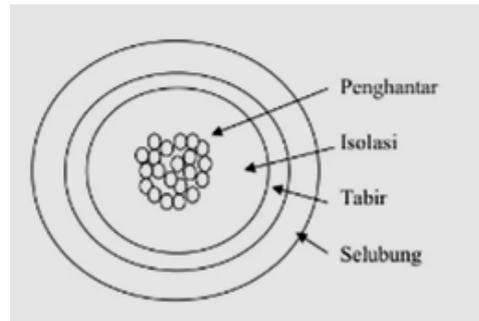
2.9 Kabel Tanah

Dalam transmisi dan distribusi tenaga listrik banyak dilakukan berbagai cara diantaranya melalui saluran udara (*Over Head Line*) dan saluran kabel bawah tanah (*Underground Transmision*). Akan tetapi transmisi dan distribusi saluran udara menjadi sangat sulit untuk dilaksanakan khususnya pada daerah yang jumlah penduduknya banyak seperti di kota-kota, dengan alasan beresiko tinggi dan mengurangi keindahan lingkungan. Untuk menghindari hal tersebut maka digunakan kabel transmisi yang dipasang dibawah permukaan tanah yang disebut kabel bawah tanah (*Underground Cable*).

2.10 Kontruksi Kabel Bawah Tanah dan Fungsi Bagiannya

Pada umumnya kontruksi kabel tanah yang digunakan untuk distribusi tenaga listrik tegangan rendah dan tegangan menengah. Dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian utama dan bagian pelengkap.

Bagian utama terdiri dari penghantar, isolasi, tabir dan selubung seperti yang terdiri pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.10 Bagian Utama Kabel Bawah Tanah

Bagian pelengkap, terdiri dari bantalan, perisai, bahan pengisi, sarung kabel, dan lapisan penahan kebocoran air. Bagian pelengkap ini berguna untuk memperbaiki sifat-sifat kabel tanah sebagai tenaga listrik.

2.10.1 Penghantar

Penghantar merupakan bagian utama dari kabel, yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik. Penghantar yang digunakan biasanya dipilih berdasarkan sifat materialnya, diantaranya mempunyai daya hantar listrik (*konduktivitas*) yang tinggi dan tahanan jenis (*resistivitas*) yang rendah. Biasanya tahanan jenis suatu penghantar dapat ditentukan dengan rumus:

$$R = \frac{\rho L}{A} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

A = Luas Penampang Penghantar (m^2)

L = Panjang Penghantar (m)

R = Tahanan Penghantar(Ω)

ρ = Tahanan Jenis Penghantar ($\Omega - m$)

Sedangkan besarnya konduktivitas penghantar

$$\sigma = \frac{I}{\rho} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

σ = Konduktivitas Penghantar ($\Omega - m$)⁻¹

Tabel 2.2 Daya Hantar Listrik Berbagai Logam

Logam/Material	Resistivitas ($\Omega - m$)	Konduktivitas ($\Omega - m$)
Perak (Ag)	$1,47 \times 10^{-8}$	$6,8 \times 10^{-7}$
Tembaga (Cu)	$1,67 \times 10^{-8}$	$6,0 \times 10^{-7}$
Emas (Au)	$2,32 \times 10^{-8}$	$4,3 \times 10^{-7}$
Alumunium (Al)	$2,63 \times 10^{-8}$	$3,8 \times 10^{-7}$
Kuningan (70% Cu + 30% Zn)	$6,25 \times 10^{-8}$	$1,6 \times 10^{-7}$
Besi (Fe)	$1,00 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-7}$
Baja Karbon (Fe+C)	$1,67 \times 10^{-7}$	$0,6 \times 10^{-7}$
Baja Tahan Karat (Fe+Cr)	$5,00 \times 10^{-7}$	$0,2 \times 10^{-7}$

Dari tabel diatas, diketahui bahwa logam/material yang merupakan penghantar listrik yang baik. Memiliki konduktivitas listrik dengan orde $10^{-7}(\Omega - m)^{-1}$ dan resistivitas dengan orde $10^{-8}(\Omega - m)$. selain dilihat dari konduktivitas dan resistivitasnya, suatu penghantar yang baik juga ditentukan dari unsur-unsur pepadu, ketidakhurnian dan ketidaksempurnaan dalam Kristal logam yang banyak berperan dalam proses pembuatan penghantar itu sendiri.

2.10.2 Tabir

Tabir merupakan bagian utama kabel yang berfungsi untuk meratakan distribusi tegangan. Dalam perkembangan konstruksi kabel, tabir (*screen*) dibagi menjadi 2 macam berdasarkan jenis bahannya, yaitu :

- a. Tabir semi konduktif
- b. Tabir konduktif

2.10.3 Selubung

Selubung merupakan bagian utama kabel yang paling luar. Berdasarkan jenis badannya, selubung dibagi menjadi tiga golongan:

- a. Selubung logam (misalnya timbel, alumunium)
- b. Selubung karet (misalnya karet silicon)
- c. Selubung plastic (misalnya PVC)

Fungsi selubung :

1. Melindungi inti kabel dari pengaruh luar
2. Mencegah terjadinya korosi
3. Menahan gaya mekanis
4. Melindungi/mencegah gaya listrik dari luar
5. Mencegah masuknya uap air/cairan ke dalam kabel secara vertical
6. Pada kabel kertas yang diresapi minyak (*impregnated paper*), selubung dapat mencegah keluarnya minyak.

2.10.4 Bantalan

Bantalan pada kabel berfungsi sebagai dudukan perisai dan untuk mencegah terjadinya proses elektrolisis, sehingga tidak merusak bagian dalamnya. Bantalan diletakkan dibawah perisai. Pada kabel berisolasi kertas, bantalan dilengkapi dengan kompon kedap air. Karena kompon kedap air tersebut, menyebabkan bantalan mempunyai sifat :

1. Tidak bereaksi dengan selubung dan perisai, namun tetap melekat dengan sempurna pada selubung dan perisai.
2. Tidak mudah berubah dengan adanya perubahan temperatur.
3. Tidak mudah robek jika terkena getaran.

2.10.5 Perisai (Amor)

Perisai pada kabel berfungsi untuk melindungi bahan isolasi dari kerusakan mekanis. Hal ini disebabkan karena sifat mekanis bahan isolasi pada kabel kurang sempurna. Pada umumnya perisai digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Perisai pita baja
2. Perisai kawat baja pipih/bulat yang galvanis
3. Perisai alumunium

2.10.6 Bahan Pengisi

Bahan Pengisi berfungsi untuk mengisi celah yang kosong pada saat pemasangan inti kabel, khususnya untuk kabel berinti tiga, pada kabel yang

mempunyai tabir terbuat dari logam, bahan pengisi juga berfungsi untuk melindungi isolasi dari luka yang disebabkan oleh tabir logam tersebut. Bahan pengisi yang banyak digunakan pada kabel isolasi kertas ialah jute sedangkan untuk kabel isolasi XLPE menggunakan PVC.

2.10.7 Sarung Kabel

Selain sebagai bantalan perisai, sarung kabel juga berfungsi sebagai komponen yang berhubungan/terkena pengaruh-pengaruh luar. Sarung kabel biasanya dipasang diatas perisai. Bahan sarung kabel yang banyak digunakan yaitu sarung goni. Pada kabel isolasi XLPE, sarung kabel yang digunakan terbuat dari PVC.

2.10.8 Lapisan Penahan Kebocoran Air

Untuk menghindari kebocoran air secara longitudinal maupun radial, maka perlu adanya lapisan penahan penetrasi air yang bersifat membengkak bila terkena air, sehingga penetrasi air dapat tertahan.

Lapisan penahan kebocoran air ini, terdapat pada empat bagian kabel yaitu:

1. Dibawah dan diatas lapisan pelindung listrik
2. Pengisi diantara inti sepanjang kabel untuk kabel berinti tiga
3. Dibawah selubung dan dibawah pelindung mekanis
4. Disela-sela antar kawat pada saat proses pemilihan

2.11 Isolasi

Isolasi merupakan bagian utama kabel yang berfungsi mencegah terjadinya hubung singkat pada kabel. Salah satu gangguan pada penyaluran tenaga listrik dengan menggunakan kabel tanah adalah terjadinya kerusakan pada lapisan isolasi. Beban isolasi disesuaikan dengan kemampuan kabel, sehingga dalam instalasi suatu kabel, harus disesuaikan penggunaannya secara umum isolasi harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Ketahanan dielektrik yang tinggi
2. Tahanan jenis yang tinggi
3. Dapat bekerja pada temperatur rendah atau tinggi

4. Tidak menghisap air/uap air
5. Mudah dibengkok-bengkokkan (*Fleksibel*)
6. Tidak mudah terbakar
7. Sanggup menahan tegangan impuls listrik yang tinggi

Suatu hal yang tidak mungkin, dalam suatu jenis isolasi memiliki sifat-sifat diatas, sehingga pemilihan jenis isolasi yang sesuai dengan maksud dan tujuan kabel yang akan dipakai. Dengan ini untuk kabel tegangan rendah dan tegangan menengah, jenis isolasi yang dipakai:

- a. Kertas yang diimpregansi
- b. Termoplastik (misalnya PE, PVC)
- c. Elastomer (misalnya XLPE)

Tabel 2.3 Perbandingan untuk kerja beberapa macam isolasi

Sifat	Jenis Kabel			
	Kertas	PVC	PE	XLPE
Permitivitas Relative pada 20° C	3,6	5	2,3	3
Temperatur Kerja 20° C	150	70	70	90
Temperatur masa setelah hubung singkat	150	160	150	250
Tahanan Panas 20° C.sm/W	600	600	350	500

Untuk kabel tegangan menengah, penggunaan XLPE sebagai bahan isolasi cukup pesat. Akan tetapi isolasi XLPE memiliki kelemahan, yaitu masalah “*water treeing*” yang terjadi apabila XLPE yang dalam bertegangan terkena air. Keadaan seperti ini menyebabkan umur XLPE bertambah pendek. Dengan adanya teknologi baru mengenai lapisan penahan kebocoran terhadap air yang dipasang diatas dan dibawah pita tembaga, agar isolasi terhindar dari *water treeing* umur XLPE diharapkan panjang.

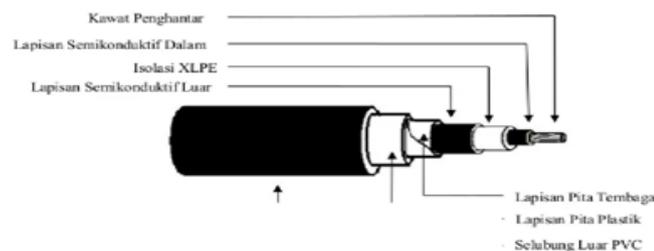
2.11.1 Kabel Bawah Tanah Isolasi XLPE

Seperti yang telah dijelaskan dalam hal tersebut bahan-bahan isolasi,

bahwa penggunaan kabel berisolasi XLPE cukup pesat penggunaannya. Akan tetapi kabel berisolasi XLPE ini mempunyai kelemahan, seperti terjadinya “*water treeing*” pada lapisan isolasinya. Oleh karena itu dibuat lagi mengenai konstruksi dan penggunaan kabel. Catatan:

1. Untuk menahan kebocoran terhadap air secara radial maupun longitudinal, kabel jenis ini dapat diberi lapisan khusus, yang tidak mengandung bahan selulosa.
2. Untuk keperluan khusus, misalnya menyebrangi sungai, kabel jenis ini dapat diberi perisai alumunium yang berombak-ombak dan stainless steel yang berombak-ombak (*corrugated*).

Untuk melihat lebih jelas lagi, mengenai konstruksi kabel tanah berisolasi XLPE, khususnya untuk tegangan menengah yang ada di Indonesia, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.11 Kontruksi Kabel Bawah Tanah

2.11.2 Isolasi XLPE (*Cross Linked Poly Ethylene*)

Dari segi isolasi, sekarang orang mulai menggunakan XLPE yang memiliki ketahanan kerja lebih baik, meskipun harganya mahal dibandingkan dengan isolasi sintesis jenis lain. XLPE mempunyai karakteristik paling baik, tetapi pada umumnya isolasi sintesis mempunyai kelebihan di bandingkan dengan isolasi kertas yaitu :

- a. Lebih bersih
- b. Ringan, karena tak memerlukan selubung logam
- c. Perbaikan dan pemeliharaannya mudah
- d. Cara penyambungannya sederhana
- e. Suhu kerjanya lebih tinggi (khusus XLPE), karena itu kapasitas penyalurannya besar

Isolasi XLPE digunakan pada kabel yang bertegangan mencapai 110 kV atau biasa digunakan pada kabel tegangan menengah. Keuntungan dari isolasi XLPE adalah :

- a. Suhu kerja lebih tinggi sehingga dapat dialiri arus yang lebih tinggi
- b. Bobot yang ringan
- c. Bisa digunakan pada frekuensi tinggi



Gambar 2.12 Pemasangan Kabel Tanah (XLPE)

2.11.3 Kabel Bawah Tanah Isolasi Kertas

Pada kabel kertas, untuk memperbaiki sifat-sifat isolasi kertas maka harus diresapi dengan minyak isolasi guna mencegah penghisapan air. Walaupun tidak dikembangkan lagi, sampai sekarang isolasi kertas masih banyak dipergunakan pada kabel tegangan menengah.



Gambar 2.13 Kabel Tegangan Menengah Isolasi Kertas Berinti Tiga

Secara teknis adalah kontruksi yang sangat aman karena ketiga inti kabel, masing-masing diselimuti oleh selubung timah tersendiri. Akan tetapi kabel jenis ini relatif mahal karena banyak memerlukan bahan selubung timah.

2.12 Sambungan Kabel

Yang dimaksud dengan sambungan kabel adalah penyambung antara dua buah penghantar kabel yang terpisah dengan tujuan agar kedua penghantar tersebut bersatu sehingga kabel dapat bekerja seperti sebelum dilakukan sambungan. Sambungan kabel dilakukan karena :

- a. Panjang kabel yang terbatas
- b. Pencabangan untuk konsumen baru
- c. Perbaikan di tempat yang rusak, misalnya akibat galian dan kegagalan isolasi.

Dilapangan, oleh karena instalasi menggunakan beberapa macam jenis kabel maka terpaksa terjadi penyambungan antara dua jenis kabel yang mempunyai ukuran penampang dan jenis isolasi yang berbeda.

Penerapan sambungan dalam suatu jaringan listrik merupakan hal yang tidak dapat dihindari. Akan tetapi penerapan sambungan kabel ini ditekan sedikit mungkin, karena pada umumnya pada titik sambungan inilah sering terjadi gangguan, sehingga terjadinya kerugian daya, karena pada saat pemasangan sambungan tidak dilakukan sebagaimana mestinya.

Suatu sambungan harus dapat berfungsi dengan baik tetapi tidak harus mempunyai sifat-sifat yang persis sama dengan kabel yang akan disambungkan. Secara umum satu sambungan haruslah bersifat.

- a. Menghindari efek kerusakan pada struktur material kabel
- b. Tahan terhadap tekanan/gaya dari luar atau getaran yang timbul selama operasi
- c. Tahan lama beroperasi dibawah kondisi temperatur maksimum yang diizinkan
- d. Dapat menghentikan aliran isolasi minyak dan gas dalam sambungan
- e. Sesuai dengan peralatan listrik yang mungkin dapat disambungkan langsung

Sambungan antara dua konduktor (*konektor*) pada sambungan kabel yang baik, haruslah bersifat:

- a. Tidak menghasilkan titik tempat yang lebih panas dari pada kabel di sekitarnya
- b. Mempunyai ketahanan yang samaterhadap tegangan tarik yang diizinkan pada konduktor kabel

2.12.1 Jenis-jenis Sambungan Kabel

Teknologi sambungan dari waktu ke waktu berkembang, seiring dengan kemajuan teknologi, baik dalam *system* penyambung maupun bahannya. Berbagai macam ukuran sambungan akan terus dibuat untuk mendapatkan integritas teknik dan kelayakan ekonomi. Hal tersebut meliputi penyederhanaan, pengurangan ukuran, peningkatan keandalan dan penurunan harga. Oleh karena itu diperkenalkan berbagai macam jenis sambungan yang berbeda-beda, baik jenis dan penerapan teknologi isolasinya, antara lain :

- a. Pita dengan injeksi resin.
- b. Ciut panas/*Heat-Shrink*
- c. Ciut dingin/*Cokt-Shrink*

Jenis diatas masih dapat dibagi-bagi, menjadi dua bagian :

- a. Sambungan untuk dua kabel yang sama (XLPE-XLPE)
- b. Sambungan transisi (*hetero joint*) untuk dua kabel yang berlainan (XLPE-PILC)

Berdasarkan inti kabel yang akan disambung dibagi menjadi :

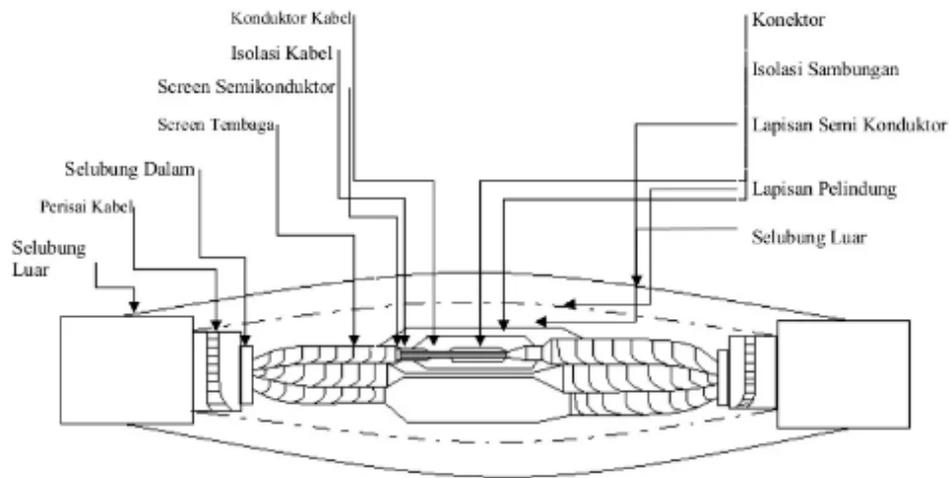
- a. Sambungan untuk kabel berinti satu
- b. Sambungan untuk kabel berinti tiga

Berdasarkan analisa di lapangan, jenis sambungan yang banyak dipakai adalah sambungan untuk kabel berinti tiga. Oleh karena itu, pembahasan sambungan di bawah ini adalah untuk sambungan kabel berinti tiga.

2.12.2 Kontruksi Umum Sambungan Kabel

Pada umumnya semua jenis sambungan kabel mempunyai konstruksi yang sama. Yang membedakannya adalah jenis/penerapan teknologi isolasi yang

dipakai dan jenis kabel yang akan disambungkannya. Di bawah ini diperlihatkan konstruksi umum sambungan kabel berinti tiga.



Gambar 2.14 Konstruksi Umum Sambungan Kabel Bawah Tanah Berinti Tiga

2.13 Tegangan

Tegangan listrik (voltage) adalah perbedaan potensi listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik. Tegangan dinyatakan dalam suatu volt (V). Besaran ini mengukur energi potensial sebuah medan listrik untuk menyebabkan aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Tergantung pada perbedaan potensi listrik satu tegangan listrik dapat dikatakan sebagai ekstra rendah, rendah, tinggi atau ekstra tinggi.

Tenaga yang mendorong elektron agar bisa mengalir dalam sebuah rangkaian dinamakan tegangan. Tegangan adalah sebenarnya nilai dari potensial energi anantara dua titik. Pada sebuah rangkaian, besar energi potensial yang ada untuk menggerakkan electron pada titik satu dengan titik yang lainnya merupakan jumlah tegangan.

2.13.1 Tegangan Jatuh

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas

penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti (*PT.PLN (Persero),2010: hal 20*).

Tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh V pada penghantar semakin besar jika arus I di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar $R\ell$ semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang diijinkan untuk instalasi arus kuat hingga 1.000 V yang ditetapkan dalam persen dari tegangan kerjanya (*Daryanto,2010: hal 18 & 42*).

Sesuai dengan standar tegangan yang ditentukan oleh PLN (SPLN), perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan di ujung diterima 10%. Tegangan jatuh pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat hambatan listrik (R) dan reaktansi (X). Jatuh tegangan phasor V_d pada suatu penghantar yang mempunyai impedansi (Z) dan membawa arus (I) dapat dijabarkan dengan rumus :

$$V_d = IZ \dots\dots\dots(2.8)$$

Dalam pembahasan ini yang dimaksudkan dengan jatuh tegangan (ΔV) adalah selisih antara tegangan kirim (V_k) dengan tegangan terima (V_T), maka jatuh tegangan dapat didefinisikan adalah :

$$\Delta V = (V_k) - (V_T) \dots\dots\dots(2.9)$$

Karena adanya resistansi pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga tegangan jatuh (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (sending end) dan tegangan pada ujung penerimaan (receiving end) tenaga listrik. Tegangan jatuh relatif dinamakan regulasi tegangan V_R (*voltage regulation*) dan dinyatakan oleh rumus :

$$V_R = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

V_s = tegangan pada pangkal pengiriman

V_r = tegangan pada ujung penerimaan

Untuk menghitung jatuh tegangan, diperhitungkan reaktansinya, maupun faktor dayanya yang tidak sama dengan satu, maka berikut ini akan diuraikan cara perhitungannya. Dalam penyederhanaan perhitungan, diasumsikan beban-bebannya merupakan beban fasa tiga yang seimbang dan faktor dayanya ($\cos \phi$) antara 0,6 s/d 0,85. tegangan dapat dihitung berdasarkan rumus pendekatan hubungan sebagai berikut :

$$(\Delta V) = I (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) L \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

I = Arus beban (Ampere)

R = Tahanan rangkaian (Ohm)

X = Reaktansi rangkaian (Ohm)

2.13.2 Penyebab Drop Tegangan

Penurunan tegangan tersebut tergantung pada dua hal, yaitu :

1. Aliran arus melalui kabel. Semakin tinggi arus, semakin besar tegangan drop.
2. Impedansi konduktor. Semakin besar impedansi, semakin besar tegangan drop.

Impedansi kabel merupakan fungsi dari ukuran kabel (luas penampang) dan panjang kabel. Umumnya produsen kabel akan melampirkan data kabel yang diproduksinya seperti nilai resistansi kabel dan reaktansi kabel dalam satuan Ω / km .

2.13.3 Memperbaiki Nilai Tegangan

Dari penjelasan penyebab drop tegangan ada beberapa metode untuk memperbaiki tegangan, sebagai berikut :

1. Menekan timbulnya rugi daya dengan mengubah ukuran penghantar ke ukuran yang lebih besar dan pemilihan konduktor dengan tahanan yang kecil.
2. Memperbaiki faktor daya dengan cara penambahan kapasitor bank. Dengan metode tersebut, nilai rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan listrik dapat direduksi

2.13.4 Tujuan Penurunan Jatuh Tegangan

Tujuan penurunan jatuh tegangan meliputi :

1. Untuk mematuhi standar dan peraturan ketenaga-listrikan yang berlaku
2. Untuk memenuhi persyaratan operasional yang esensial sehingga kemudian kinerja sistem meningkatkan
3. Untuk mengurangi kehilangan rugi-rugi daya sehingga efektivitas dan efisiensi energy pun meningkat

2.13.4 Dampak Negatif Jatuh Tegangan Berlebihan

Dampak negatif dari drop tegangan di atas standar dapat menyebabkan masalah seperti motor berjalan lambat, pemanas tidak memanaskan hingga potensi penuh, lampu redup. Untuk mengkompensasi penurunan tegangan, kabel berukuran penampang yang lebih besar dapat digunakan yang menawarkan resistansi/impedansi yang lebih kecil terhadap aliran arus.

1. Motor tidak dapat dinyalakan. Peralatan yang membutuhkan *rating* arus masuk yang lebih tinggi mungkin tidak dapat dinyalakan

karena voltase di bawah tingkat daya pengoperasian minimumnya. Penurunan tegangan perlu diperhitungkan saat mendesain sirkuit untuk motor termasuk parameter MCA vs FLA.

2. Pengoperasian terputus-putus. Jika alat tidak dapat dinyalakan, alat dapat mati saat mendeteksi penurunan voltase yang nyata. Ini biasanya akan terjadi pada komputer & sistem game selama ‘game dengan skor tinggi yang sempurna’. Pelanggan mengharapkan sistem tenaga yang andal.
3. Tingkat pencahayaan yang tidak konsisten. Desain penerangan jalan harus memperhitungkan penurunan tingkat tegangan secara bertahap karena penurunan tegangan 5% dapat terlihat pada tingkat pencahayaan.
4. Blown Fuse & Tripping Circuit Breakers. Ingatlah bahwa $P = VI$ jadi jika V rendah, sebuah peralatan dapat meningkatkan I -nya untuk mencapai level daya yang diinginkan. Ketika banyak beban pada suatu rangkaian meningkatkan konsumsi arus mereka, hal itu dapat menyebabkan mekanisme keselamatan menjadi trip.
5. Konsumsi arus yang meningkat dapat menyebabkan motor dan ballast menjadi terlalu panas dan mengurangi masa operasinya. Beban resistif seperti pemanas & lampu pijar juga akan berkurang masa pakainya. Tingkat tegangan yang berfluktuasi yang disebabkan oleh beban lain pada sistem dapat menyebabkan kedipan yang mengganggu.

2.13.5 Standar NFPA 70 – NEC 2017

Persentase *drop* tegangan maksimum berdasarkan NFPA 70 – NEC 2017:

1. Sirkuit cabang. Jatuh tegangan maksimum 3%. Penurunan tegangan total maksimum saat menggabungkan sirkuit cabang dan feeder tidak boleh melebihi 5% [210-19 (a) FPN No. 4].
2. *Feeder*. Drop tegangan maksimum 3%. Penurunan total maksimum untuk kombinasi sirkuit cabang dan feeder tidak boleh melebihi 5% [215-2 (d) FPN No. 2].

3. *Services*. Tidak ada penurunan tegangan yang disarankan untuk konduktor servis di NEC
4. *Phase converter*. Tidak boleh melebihi 3% [455-6 (a) FPN].
5. *Recreational vehicle parks*. Jatuh tegangan maksimum untuk konduktor rangkaian cabang tidak boleh melebihi 3%, sedangkan jatuh tegangan kombinasi dari rangkaian cabang dan feeder tidak boleh melebihi 5% dari sumber tegangan [210-19 (a) FPN No. 4 dan 551 -73 (d) FPN].

2.14 Klasifikasi Bus

Bus-bus dalam rangkaian sistem tenaga merupakan simpul-simpul rangkaian yang biasa kita kenal dalam analisis rangkaian listrik. Tiap-tiap bus memiliki 4 parameter besaran sebagai berikut

1. Daya aktif (P).
2. Daya reaktif (Q).
3. Magnitude tegangan (V).
4. Sudut fasa tegangan (θ).

Dari empat kuantitas, dua di antaranya ditentukan di setiap bus dan dua sisanya ditentukan dari solusi aliran beban. Untuk memasok kehilangan daya nyata dan reaktif dalam jalur yang tidak akan diketahui sampai akhir oleh solusi aliran daya, bus generator, yang disebut *slack* atau *swing bus* dipilih. Di bus ini, besarnya tegangan generator dan sudut fase ditentukan sehingga kehilangan daya yang tidak diketahui juga ditugaskan ke bus ini di samping keseimbangan pembangkitan, jika ada. Secara umum, di semua bus lain, besarnya tegangan dan daya nyata ditentukan. Di semua bus beban, tuntutan beban nyata dan reaktif ditentukan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam BAB ini meliputi waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan. Penjelasan rinci akan dipaparkan sebagai berikut :

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam waktu 6 bulan dari tanggal 25 Oktober 2021 sampai 25 Maret 2022. Dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian.

3.1.2 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam. Jl. Cut Meutia Rimo, Penanggalan, Kota Subulussalam, Aceh.

3.2 Alat dan Bahan

Pada proses penelitian ini alat dan bahan yang digunakan adalah:

1. Alat perhitungan
2. Data-data yang dibutuhkan dari PLN
3. Sumber Referensi dari jurnal

3.3 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam yaitu :

a. Panjang Saluran Transmisi

Terdapat panjangnya saluran kabel bawah tanah pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam adalah 28,8 Km dengan Arus yang dialiri pada kabel sebesar 3500 Ampere atau daya sebesar 770.000 Watt.

b. Data Kabel Penghantar

Data kabel penghantar didapatkan dari berkas PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam untuk mengetahui berapa besar diameter dan ketahanan kabel dalam beberapa tahun kedepannya.

Tabel 3.1 Data Kabel XPLE

ITEM	URAIAN	SATUAN
Tipe	XLPE	-
Luas Penampang	1100	mm^2
Kapasitas	3.600	A
Jenis Penghantar	Tembaga	-
Ketahanan Suhu	500	Derajat

3.4 Metode Penelitian

Pengumpulan data merupakan bagian yang penting dalam sebuah penelitian menyatakan bahwa menyusun instrumen adalah pekerjaan yang penting dalam penelitian akan tetapi mengumpulkan data jauh lebih penting. Adapun metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur

Dilakukan dengan membaca dari berbagai sumber yang mendukung dalam penyelesaian tugas akhir.

2. Observasi

Observasi dilakukan langsung dilokasi penelitian yang bertujuan untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan.

3. Analisis

Menghitung dan memahami data yang diperoleh sehingga dapat meyakinkan sistem berjalan dengan baik.

3.5 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) Kota Subulussalam. Data yang diambil merupakan data sekunder yang sudah ada di arsip PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam. Data yang diambil yaitu :

- a. Data Spesifikasi Kabel Tanah
- b. Jarak Saluran

2. Pengolahan Data

Data yang sudah didapatkan akan diolah untuk mendapatkan hasil perhitungan berapa besar aliran daya pada kabel tanah. Dalam pengolahan data akan mencari daya reaktif.

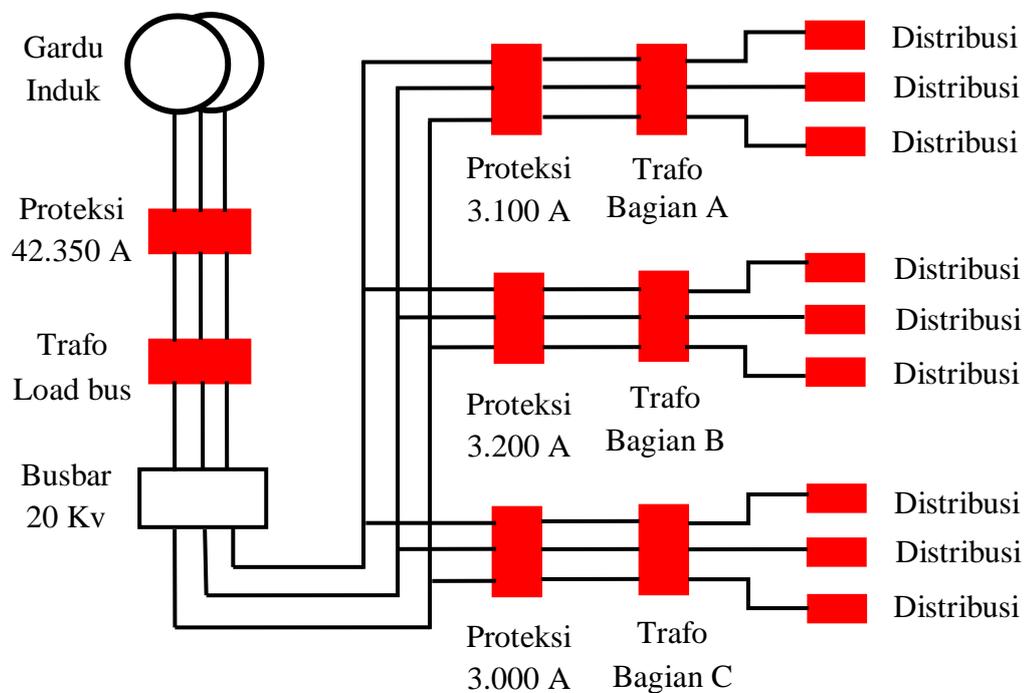
3. Analisa Hasil Perhitungan

Hasil dari pengolahan data akan di analisa untuk mendapatkan nilai daya aktif, semu dan reaktif yang tepat.

4. Pembuatan Laporan

Hasil dari keseluruhan akan dituliskan pada tugas akhir.

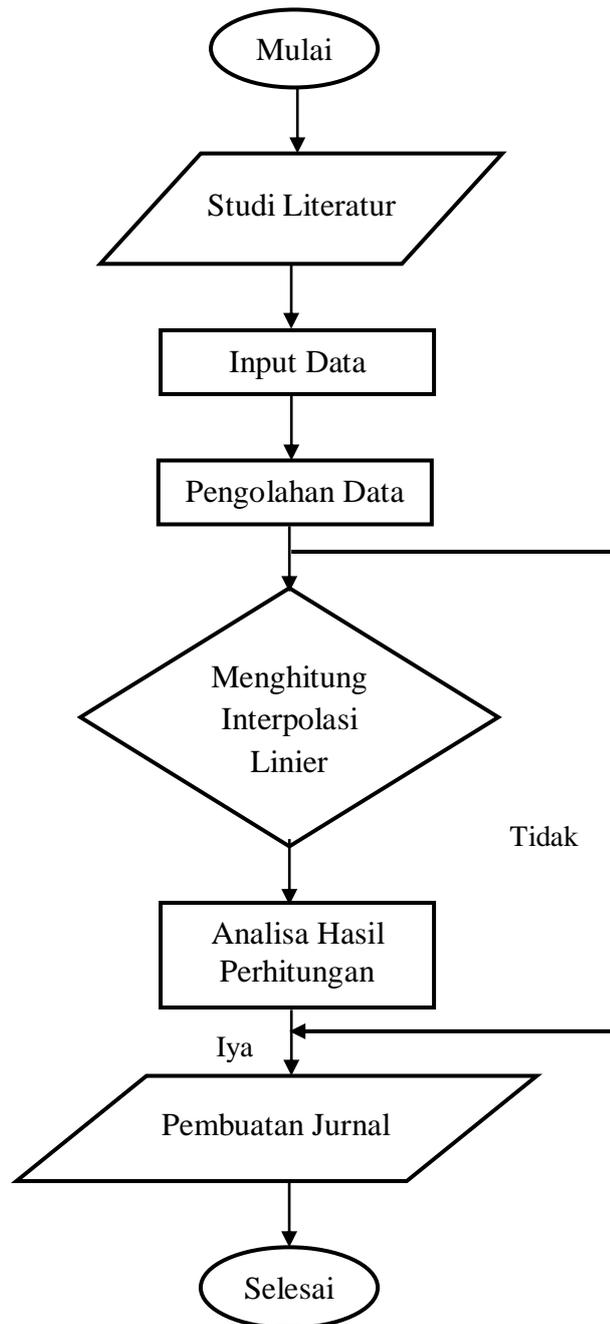
3.6 Wiring Diagram Saluran Kabel Bawah Tanah



Gambar 3.1 Wiring Diagram Sistem Tenaga Listrik

Dapat dilihat gambar wiring diatas dengan sumber energi listrik dari pembangkit berupa generator yang akan menghasilkan energi listrik. Setelah timbulnya energi listrik maka akan disuplay menuju gardu induk dengan menggunakan jaringan SUTET. Kemudian Gardu induk akan menurunkan tegangan yang tadinya tegangan awal yang dihasilkan oleh Generator sebesar 150 Kv kini diturunkan menjadi 20 Kv dengan menggunakan Transformator Step Down, Sehingga untuk tegangan yang dihasilkan sampai ke distribusi beban, maka untuk saluran kabel menggunakan saluran kabel bawah tanah yang diriset dari hasil penelitian pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam. Dengan dipasangnya proteksi setiap bagian tranformastor dengan induk transformator Load Bus melalui Busbar 20 Kv maka disuplay menuju proteksi dan Transfromator yang diberikan inisial A, B dan C. Sehingga keluaran dari transformator bagian A, B dan C yaitu akan menyuplai pada tiap-tiap distribusi beban pada Kota Subulussalam.

3.7 Flowchart



Gambar 3.2 Flowchart

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Penelitian

Penelitian dan pengambilan data pada saluran kabel bawah tanah ini dilakukan di PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam yang disalurkan dengan total panjang kabel bawah tanah mencapai 28,8 Km. Penelitian ini akan menghitung berapa besar daya aktif, Daya Reaktif, dan Daya Semu yang akan di salurkan pada kabel bawah tanah jenis XLPE. Dengan begitu nantinya juga bisa menghitung berapa besar rugi-rugi daya pada kabel tanah.

4.2 Perhitungan Penghantar

Perhitungan penghantar adalah untuk menghitung berapa besar nilai tahanan pada kabel yang akan dilalui oleh arus listrik. Jika nilai tahanannya semakin kecil maka semakin baiklah jenis penghantarnya dan apabila terdapat nilai tahanan yang cukup besar maka jenis penghantarnya tidak baik. Maka bisa kita lihat pada tabel di bawah dengan jenis penghantar yang sama namun jarak panjang saluran kabel yang berbeda dengan begitu bisa tahu berapa besar tahanan penghantarnya. Jenis penghantar yang digunakan yaitu tembaga dengan diameter 1100 mm panjang penghantar yang dipasang pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam yaitu mencapai 28,8 Km. Maka untuk lebih jelas lagi bisa kita lihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Nilai Penghantar/Kabel Bawah Tanah

Lokasi	Luas Penampang (A)	Panjang Penghantar (L)	Tahanan Penghantar (R)	Tahanan Jenis (ρ)	Reaktansi Penghantar (X)
PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam	$1,1 \times 10^{-10}$	28,8 Km	0,44 Ohm/Km	$1,68 \times 10^{-8}$	0,52 Ohm/Km

- **Menghitung Ketahanan Jenis Penghantar**

Penghantar Pada Saluran kabel bawah tanah PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam

Diketahui :

$$\rho = 1,68 \times 10^{-8} \text{m}$$

$$L = 28,8 \text{ Km}$$

$$A = 1100 \text{ mm}^2 = 1,1 \times 10^{-10}$$

Untuk mencari nilai R, maka terlebih dahulu harus mengetahui nilai luas penampang (A). Nilai A sebesar $1,1 \times 10^{-10}$ pada kabel XLPE. Maka bisa dicari nilai tahanan (R) pada kabel penghantar saluran bawah tanah.

Yakni:

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

$$R = 1,68 \times 10^{-8} \cdot 28,8 / 1,1 \times 10^{-10}$$

$$R = 1,68 \times 10^{-8} / 26,18 \times 10^{-10}$$

$$R = 43,98 \times 10^{-10}$$

$$R = 0,44 \text{ Ohm/Km}$$

Jadi untuk nilai hambatan pada saluran kabel bawah tanah XLPE adalah 0,44 Ohm/Km. Dan dari analisis perhitungan diatas adalah semakin panjang saluran kabel tanah yang dipasang maka semakin kecil untuk nilai tahananya (R).

4.3 Perhitungan Daya

Perhitungan daya masing-masing lokasi Bagian A, Bagian B, Bagian C yaitu adalah disebut transformator induk (Trafo Induk) yang dimana dibagi menjadi tiga bagian oleh PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam yaitu A,B dan C yang akan disalurkan melalui kabel tanah jenis (XPLE) dengan begitu dapat menghitung daya aktif, daya reaktif dan daya semu pada setiap bagian. Tegangan yang didapatkan dengan mengukur melalui saluran Trafo induk. Untuk melihat daya terbesar yang disalurkan oleh kabel bawah tanah. Dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Nilai Daya Semu, Daya Aktif dan Daya Reaktif

Bagian (Kelompok Saluran)	Arus (I)	Daya Semu (KVA)	Daya Aktif (KW)	Daya Reaktif (KVAR)	Cos ϕ	Tegangan (V)
Bagian A	3.100	2037,94	1630,35	1182,01	0,8	380
Bagian B	3.200	2103,68	1682,94	1220,13	0,8	380
Bagian C	3.000	1972,20	1577,76	1143,88	0,8	380
Load Bus	42.530	21.385,22	17.108,18	12.403,43	0,8	380

Dengan hasil data tabel diatas arus paling besar yang dialiri oleh saluran kabel bawah tanah pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam pada bagian B dengan Arus mencapai (3200 Ampere). Maka untuk mengetahui nilai Daya Semu, Daya Aktif dan Daya Reaktif dapat menghitung dengan rumus dibawah ini :

- **Perhitungan Daya Pada Bagian A**

Daya semu

$$\begin{aligned}
 S &= V \cdot I \cdot \sqrt{3} \\
 &= (380) \times (3100) \times (1,73) \\
 &= 2.037.940 \text{ VA} \\
 &= 2037,94 \text{ KVA}
 \end{aligned}$$

Daya Aktif

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3} \\
 &= (380) \times (3100) \times (0,8) \times (1,73) \\
 &= 1.630.352 \text{ Watt} \\
 &= 1630,35 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

Nilai ($\cos \phi$) = 0,8 adalah nilai ketetapan dari segitiga daya

Daya Reaktif

$$\begin{aligned}
 Q &= V \cdot I \cdot \sin \phi \cdot \sqrt{3} \\
 &= (380) \times (3100) \times (0,58) \times (1,73) \\
 &= 1.182.005,2 \text{ VAR}
 \end{aligned}$$

$$= 1182,01 \text{ KVAR}$$

Mencari nilai $\sin \emptyset$ yaitu ($\sin \emptyset \times 0,8$) hasilnya adalah (0,58)

Daya yang dihasilkan pada bagian A adalah untuk daya semu sebesar (2037,94 KVA), daya aktif sebesar (1630,35 KW) dan daya reaktif sebesar (1182,01 KVAR).

• Perhitungan Daya Pada Bagian B

Daya semu

$$\begin{aligned} S &= V \cdot I \cdot \sqrt{3} \\ &= (380) \times (3200) \times (1,73) \\ &= 2.103.680 \text{ VA} \\ &= 2103,68 \text{ KVA} \end{aligned}$$

Daya Aktif

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \cdot \cos \emptyset \cdot \sqrt{3} \\ &= (380) \times (3200) \times (0,8) \times (1,73) \\ &= 1.682.944 \text{ Watt} \\ &= 1682,94 \text{ KW} \end{aligned}$$

Nilai ($\cos \emptyset$) = 0,8 adalah nilai ketetapan dari segitiga daya

Daya Reaktif

$$\begin{aligned} Q &= V \cdot I \cdot \sin \emptyset \cdot \sqrt{3} \\ &= (380) \times (3200) \times (0,58) \times (1,73) \\ &= 1.220.134,4 \text{ VAR} \\ &= 1220,13 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

Mencari nilai $\sin \emptyset$ yaitu ($\sin \emptyset \times 0,8$) hasilnya adalah (0,58)

Daya yang dihasilkan pada bagian B adalah untuk daya semu sebesar (2103,68 KVA), daya aktif sebesar (1682,94 KW) dan daya reaktif sebesar (1220,13 KVAR).

- **Perhitungan Daya Pada Bagian C**

Daya semu

$$\begin{aligned}
 S &= V \cdot I \cdot \sqrt{3} \\
 &= (380) \times (3000) \times (1,73) \\
 &= 1.972.200 \text{ VA} \\
 &= 1972,20 \text{ KVA}
 \end{aligned}$$

Daya Aktif

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3} \\
 &= (380) \times (3000) \times (0,8) \times (1,73) \\
 &= 1.577.760 \text{ Watt} \\
 &= 1577,76 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

Nilai ($\cos \phi$) = 0,8 adalah nilai ketetapan dari segitiga daya

Daya Reaktif

$$\begin{aligned}
 Q &= V \cdot I \cdot \sin \phi \cdot \sqrt{3} \\
 &= (380) \times (3000) \times (0,58) \times (1,73) \\
 &= 1.143.876 \text{ VAR} \\
 &= 1143,88 \text{ KVAR}
 \end{aligned}$$

Mencari nilai $\sin \phi$ yaitu ($\sin \phi \times 0,8$) hasilnya adalah (0,58)

Daya yang dihasilkan pada bagian C adalah untuk daya semu sebesar (1972,20 KVA), daya aktif sebesar (1577,76 KW) dan daya reaktif sebesar (1143,88 KVAR).

Dari hasil perhitungan daya pada saluran kabel bawah tanah, daya terbesar yang dialiri oleh saluran kabel bawah tanah jenis (XLPE) pada Bagian A, maka nilai dari Daya Semu sebesar (2103,68 KVA), untuk Daya Aktif sebesar (1682,94 KW) dan Daya Reaktif sebesar (1220,13 KVAR). Hasil daya inilah yang disalurkan oleh kabel bawah tanah dengan panjang saluran kabel 28,8 Km.

- **Perhitungan Daya pada Load Bus**

Daya semu

$$\begin{aligned}
 S &= V \cdot I \cdot \sqrt{3} \\
 &= (380) \times (32530) \times (1,73) \\
 &= 21.385.222 \text{ VA} \\
 &= 21.385,22 \text{ KVA}
 \end{aligned}$$

Daya Aktif

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3} \\
 &= (380) \times (32530) \times (0,8) \times (1,73) \\
 &= 17.108.177,6 \text{ Watt} \\
 &= 17.108,18 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

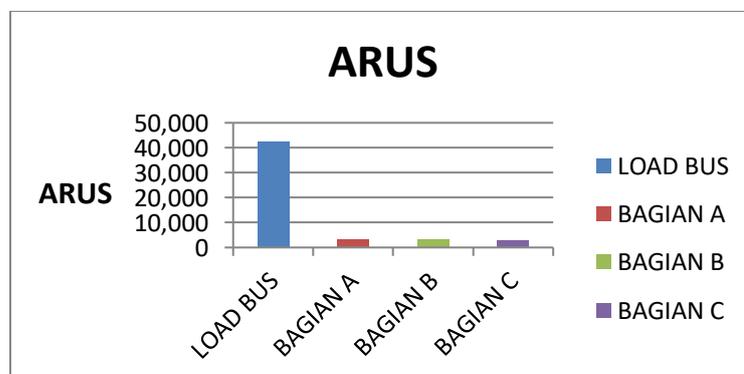
Nilai ($\cos \phi$) = 0,8 adalah nilai ketetapan dari segitiga daya

Daya Reaktif

$$\begin{aligned}
 Q &= V \cdot I \cdot \sin \phi \cdot \sqrt{3} \\
 &= (380) \times (32530) \times (0,58) \times (1,73) \\
 &= 12.403.428,8 \text{ VAR} \\
 &= 12.403,43 \text{ KVARss}
 \end{aligned}$$

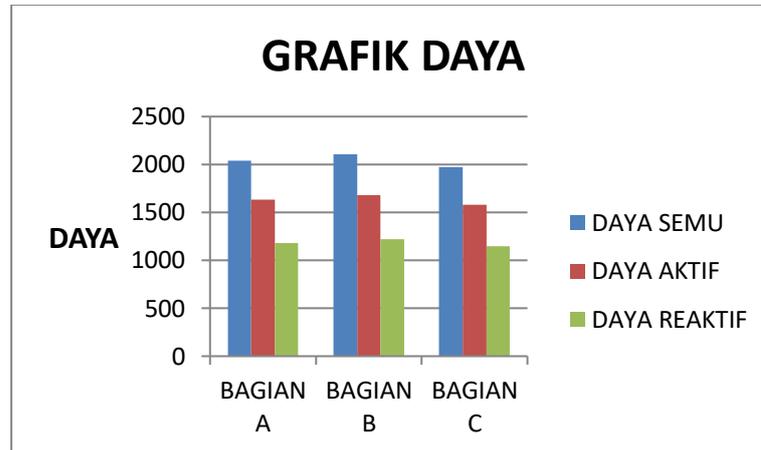
Mencari nilai $\sin \phi$ yaitu ($\sin \phi \times 0,8$) hasilnya adalah (0,58)

Dari hasil perhitungan diatas dengan total Arus 32.530 A yang ada pada *load bus* dapatlah nilai hasil Daya Semu sebesar 21.385,22 KVA, Daya Aktif sebesar 17.108,18 KW dan Daya Reaktif sebesar 12.403,43 KVAR.



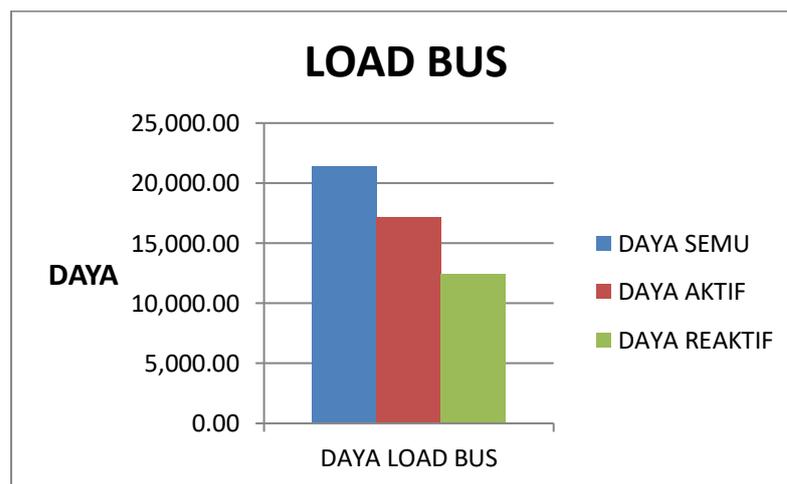
Grafik 4.1 Arus

Dapat dilihat pada grafik arus bahwa arus yang paling besar dari ketiga bagian pada transformator yaitu pada bagian Load Bus karena bagian inilah yang akan menyuplai ke tranformator Bagian A, B, dan C. Ada juga untuk bagian yang disuplai arus terbesar dibagian B dengan kapasitas arus 3200 A.



Grafik 4.2 Daya Semu, Daya Aktif dan Daya Reaktif

Dapat dilihat pada grafik Daya bahwa Daya yang paling besar dari ketiga bagian yaitu bagian A,B, dan C pada transformator adalah pada bagian B dengan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus aliran daya.



Grafik 4.3 Load Bus Daya Aktif, Daya Aktif dan Daya Reaktif

Dapat dilihat pada grafik arus pada transformator bagian Load Bus menyatakan arus sebesar 42.530 Ampere.

4.4 Perhitungan Rugi-Rugi Daya

Perhitungan Rugi-rugi Daya adalah selisih antara daya masuk dan daya terima pada saluran kabel bawah tanah. Penyebab salah satu terjadinya rugi-rugi daya dikarenakan faktor korona pada jaringan transmisi udara tetapi untuk jaringan transmisi bawah tanah rugi-rugi daya terjadi disebabkan faktor panjangnya saluran penghantar kabel atau penyebab kedua yaitu dari kebocoran pada isolator kabel dan masih banyak lagi penyebab terjadinya rugi-rugi daya lainnya . Untuk melihat data hasil rugi-rugi daya pada saluran kabel bawah tanah pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam.

- **Perhitungan Rugi-rugi Daya pada Bagian A**

Rugi Daya Aktif

$$\begin{aligned} P_{Losses} &= 3 \times I^2 \times R \times L \text{ (XLPE)} \\ &= 3 \times 3100^2 \times 0,44 \times 28,8 \\ &= 365.333.760 \text{ Watt} \\ &= 365.333,76 \text{ KW} \end{aligned}$$

$$\text{Presentasi Rugi-rugi daya Aktif} = \frac{365333,76}{1630,35} \times 100 \% = 2,24 \%$$

Rugi Daya Reaktif

$$\begin{aligned} Q_{Losses} &= 3 \times I^2 \times X \times L \text{ (XLPE)} \\ &= 3 \times 3100^2 \times 0,52 \times 28,8 \\ &= 431.758.080 \text{ VAR} \\ &= 431.758,08 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

$$\text{Presentasi Rugi-rugi daya Reaktif} = \frac{431758,08}{1182,01} \times 100 \% = 3,65 \%$$

Rugi-rugi Daya yang dihasilkan pada bagian A adalah rugi-rugi daya aktif sebesar (365.333,76 KW) dengan hasil persentasi 2,24% dan rugi-rugi daya reaktif sebesar (431.758,08 KVAR) dengan hasil persentasi 3,65%.

- **Perhitungan Rugi-rugi Daya pada Bagian B**

Rugi Daya Aktif

$$P_{Losses} = 3 \times I^2 \times R \times L \text{ (XLPE)}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3 \times 3200^2 \times 0,44 \times 28,8 \\
 &= 389.283.840 \text{ Watt} \\
 &= 389.283,84 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

$$\text{Presentasi Rugi-rugi daya Aktif} = \frac{389283,84}{1682,94} \times 100 \% = 2,31 \%$$

Rugi Daya Reaktif

$$\begin{aligned}
 Q_{Losses} &= 3 \times I^2 \times X \times L \text{ (XLPE)} \\
 &= 3 \times 3200^2 \times 0,52 \times 28,8 \\
 &= 460.062.720 \text{ VAR} \\
 &= 460.062,72 \text{ KVAR}
 \end{aligned}$$

$$\text{Presentasi Rugi-rugi daya Aktif} = \frac{460062,72}{1220,13} \times 100 \% = 3,77 \%$$

Rugi-rugi Daya yang dihasilkan pada bagian B adalah rugi-rugi daya aktif sebesar (389.283,84 KW) dengan hasil persentasi 2,31% dan rugi-rugi daya reaktif sebesar (460.062,72 KVAR) dengan hasil persentasi 3,77%.

• Perhitungan Rugi-rugi Daya pada Bagian C

Rugi Daya Aktif

$$\begin{aligned}
 P_{Losses} &= 3 \times I^2 \times R \times L \text{ (XLPE)} \\
 &= 3 \times 3000^2 \times 0,44 \times 28,8 \\
 &= 342.144.000 \text{ Watt} \\
 &= 342.144 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

$$\text{Presentasi Rugi-rugi daya Aktif} = \frac{342144}{1577,76} \times 100 \% = 2,17 \%$$

Rugi Daya Reaktif

$$\begin{aligned}
 Q_{Losses} &= 3 \times I^2 \times X \times L \text{ (XLPE)} \\
 &= 3 \times 3000^2 \times 0,52 \times 28,8 \\
 &= 404.352.000 \text{ VAR} \\
 &= 404.352 \text{ KVAR}
 \end{aligned}$$

$$\text{Presentasi Rugi-rugi daya Aktif} = \frac{404352}{1143,88} \times 100 \% = 3,54 \%$$

Rugi-rugi Daya yang dihasilkan pada bagian C adalah rugi-rugi daya aktif sebesar (342,144 KW) dengan hasil persentasi 2,17% dan rugi-rugi daya reaktif sebesar (404,352 KVAR) dengan hasil persentasi 3,54%.

Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya diatas pada saluran kabel bawah tanah yaitu rugi daya terbesar dibagian B dengan rugi daya aktif sebesar (1769,46 KW) terdapat nilai persentasi 1,05% dan rugi-rugi daya reaktif sebesar (3538,94 KVAR) terdapat nilai persentasi 1,90%.

• Perhitungan Rugi-rugi Daya pada Load Bus

Rugi Daya Aktif

$$\begin{aligned}
 P_{Losses} &= 3 \times I^2 \times R \times L \text{ (XLPE)} \\
 &= 3 \times 42530^2 \times 0,44 \times 28,8 \\
 &= 3 \times 1,81 \times 10^9 \times 0,44 \times 28,8 \\
 &= 68.800.000.000\text{Watt} \\
 &= 68.800.000 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

$$\text{Presentasi Rugi-rugi daya Aktif} = \frac{68800000}{17108,18} \times 100 \% = 40,21 \%$$

Rugi Daya Reaktif

$$\begin{aligned}
 Q_{Losses} &= 3 \times I^2 \times X \times L \text{ (XLPE)} \\
 &= 3 \times 42530^2 \times 0,52 \times 28,8 \\
 &= 3 \times 1,81 \times 10^9 \times 0,52 \times 28,8 \\
 &= 81.300.200.000\text{VAR} \\
 &= 81.300.200 \text{ KVAR}
 \end{aligned}$$

$$\text{Presentasi Rugi-rugi daya Aktif} = \frac{81300200}{12403,43} \times 100 \% = 65,55 \%$$

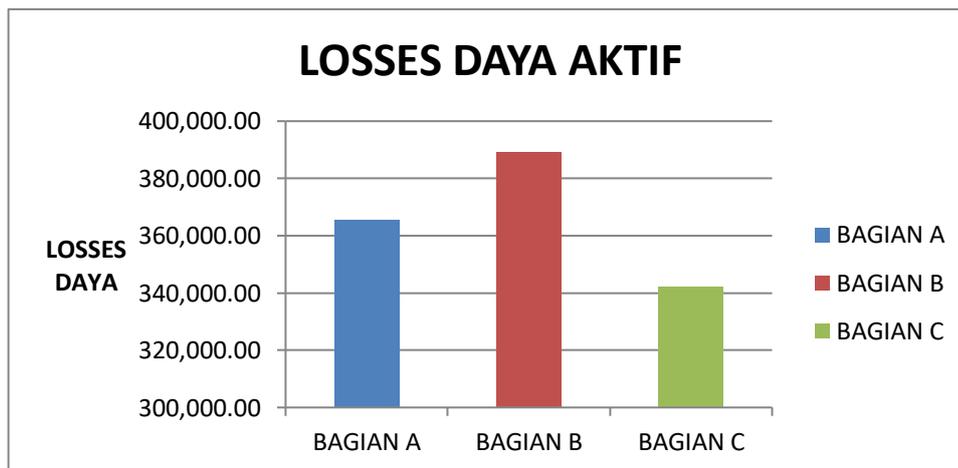
Rugi-rugi Daya yang dihasilkan pada bagian *Load Bus* adalah rugi-rugi daya aktif sebesar (68.800.000 KW) dengan hasil persentasi 40,21% dan rugi-rugi daya reaktif sebesar (81.300.200 KVAR) dengan hasil persentasi 65,55%.

Berikut tabel dibawah ini adalah hasil perhitungan diatas yaitu menghitung berapa besar rugi-rugi daya yang ada pada saluran kabel bawah tanah jenis (XPLE) pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam.

Tabel 4.3 Hasil Rugi-Rugi Daya Pada Kabel Bawah Tanah

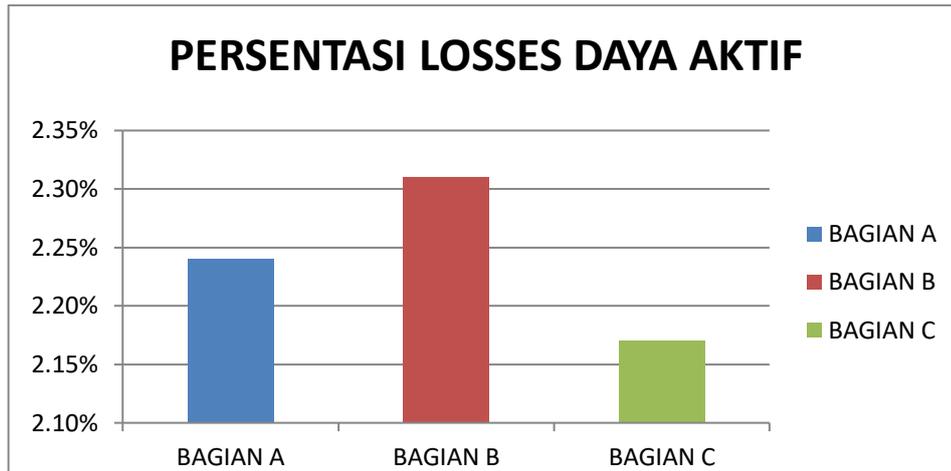
Bagian (Kelompok Saluran)	Losses Daya Aktif (KW)	Persentasi Daya Aktif (%)	Losses Daya Reaktif (KVAR)	Persentasi Daya Reaktif (%)	Arus (I)
Bagian A	365.333,76	2,24 %	431.758,08	3,65 %	3.100
Bagian B	389.283,84	2,31 %	460.062,72	3,77 %	3.200
Bagian C	342.144	2,17 %	404.352	3,54 %	3.000
Load Bus	68.800.000	40,21 %	81.300.200	65,55 %	42.530

Dapat dilihat pada grafik losses daya aktif pada ketiga bagian transformator yaitu bagian A,B dan C. bahwa losses daya aktif yang paling besar dihasilkan adalah pada transformator bagian B dengan nilai sebesar 389.283,84 KW.



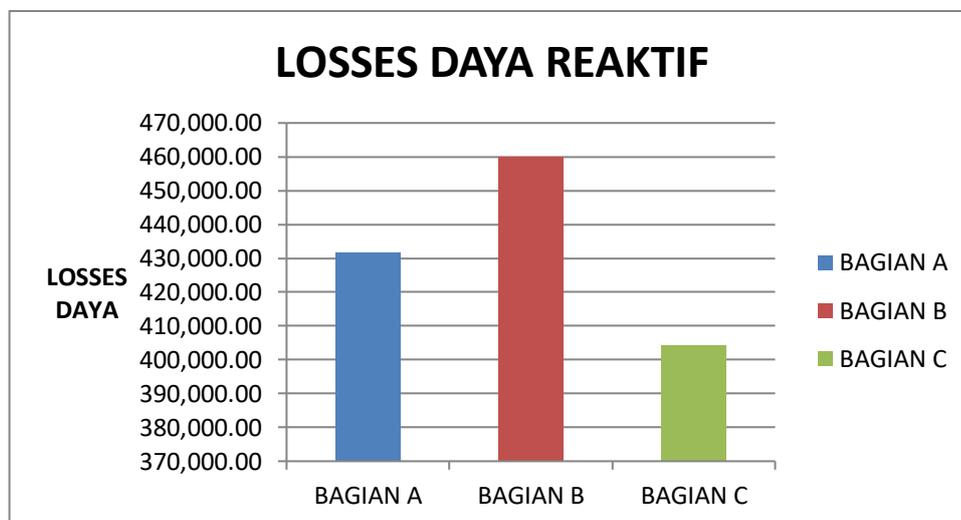
Grafik 4.4 Loses Daya Aktif

Dapat dilihat pada grafik persentasi losses daya aktif pada ketiga bagian transformator yaitu bagian A,B dan C. bahwa persentasi losses daya aktif yang paling tinggi dihasilkan adalah pada transformator bagian B dengan nilai sebesar 2,31%.



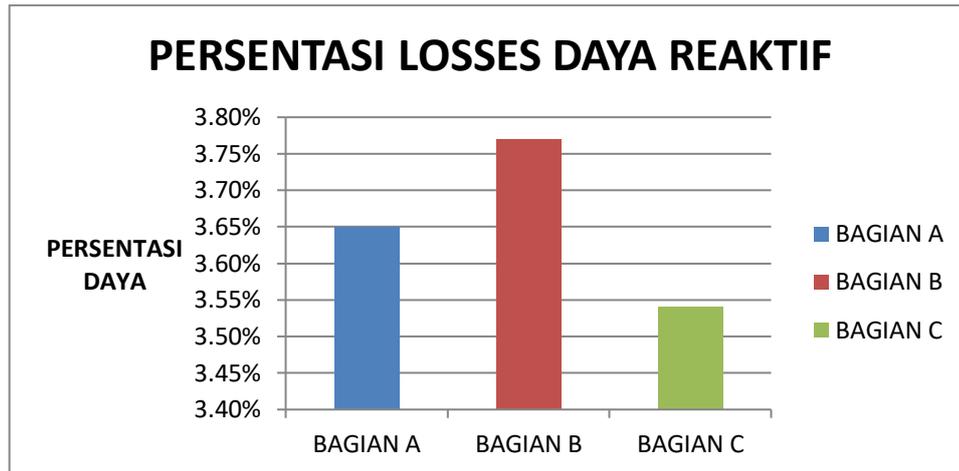
Grafik 4.5 Persentasi Losses Daya Aktif

Dapat dilihat pada grafik losses daya reaktif pada ketiga bagian transformator yaitu bagian A,B dan C. bahwa losses daya reaktif yang paling besar dihasilkan adalah pada transformator bagian B dengan nilai sebesar 460.062,72 KVAR.



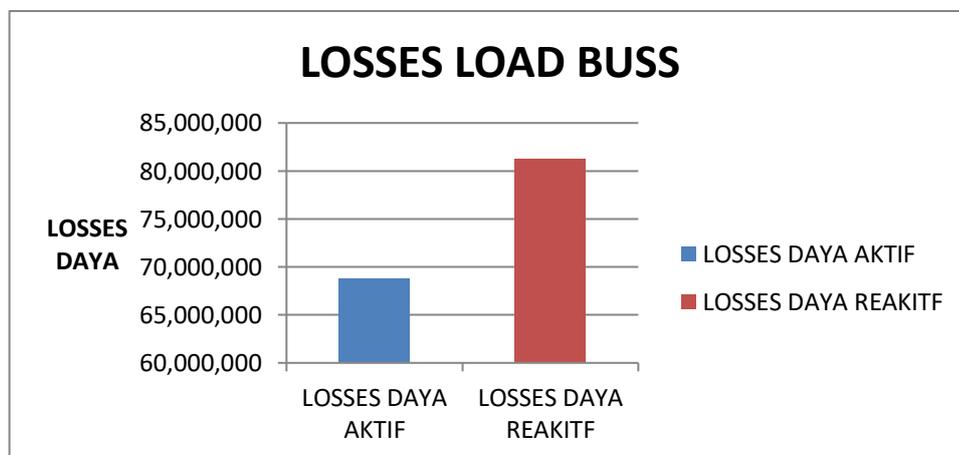
Grafik 4.6 Losses Daya Reaktif

Dapat dilihat pada grafik persentasi losses daya aktif pada ketiga bagian transformator yaitu bagian A,B dan C. bahwa persentasi losses daya aktif yang paling tinggi dihasilkan adalah pada transformator bagian B dengan nilai sebesar 3,77%.



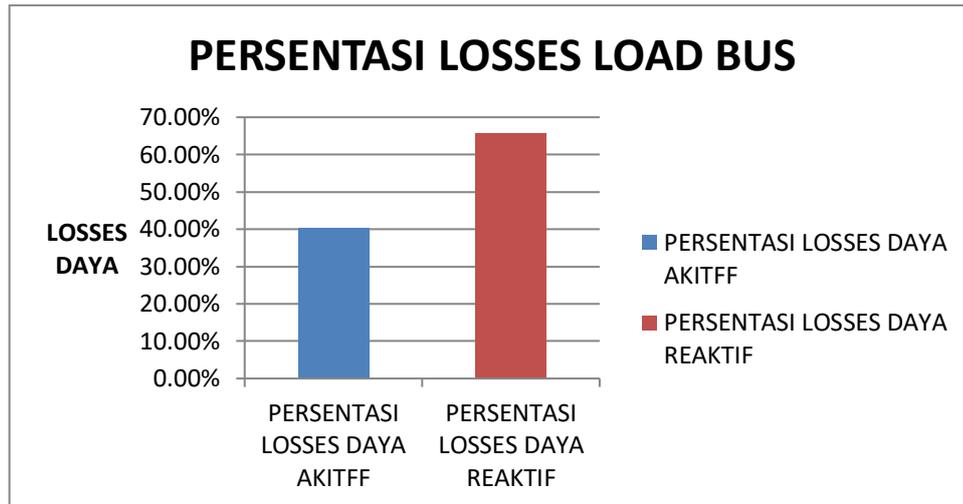
Grafik 4.7 Persentasi Losses Daya Reaktif

Dapat dilihat pada grafik Losses Load Bus yang terjadi pada transformator bagian Load Bus dengan losses yang terjadi pada daya aktif sebesar 68.800.000 KW dan juga untuk losses yang terjadi pada daya reaktif adalah sebesar 81.300.200 KVAR.



Grafik 4.8 Losses Daya Pada Load Bus

Dapat dilihat pada grafik persentasi Losses Load Bus yang terjadi pada transformator bagian Load Bus dengan persentasi losses yang terjadi pada daya aktif sebesar 40,21 %. dan juga untuk persentasi losses yang terjadi pada daya reaktif adalah sebesar 65,55%.



Grafik 4.9 Persentasi Load Bus

4.5 Perhitungan Jatuh Tegangan

Perhitungan jatuh tegangan adalah untuk menghitung berapa besar nilai tegangan yang masuk pada saat dialiri menuju tegangan penerima karena beban yang terdapat dalam sistem tenaga listrik bersifat resistif-induktif, Beban tersebut akan menyerap daya aktif dan daya reaktif. Penyerapan daya reaktif yang diakibatkan oleh beban induktif akan menyebabkan timbulnya jatuh tegangan pada tegangan disisi penerima. Untuk menghitung jatuh tegangan dapat dilihat dengan perhitungan dibawah ini:

4.4 Tabel Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan

Bagian (Kelompok Saluran)	Tegangan Disisi Pengirim	Jatuh Tegangan	Tegangan Disisi Penerima
Bagian A	380 Volt	3,51 Volt	376,49 Volt
Bagian B	380 Volt	3,62 Volt	376,38 Volt
Bagian C	380 Volt	3,39 Volt	376,61 Volt
Load Bus	380 Volt	36,78 Volt	343,22 Volt

• Jatuh Tegangan Bagian A

Bagian A

$$\Delta V_P = \frac{R \cdot P}{Vr} + \frac{X \cdot Q}{Vr}$$

$$\Delta V_P = \frac{0,44 \cdot 1630,35}{380} + \frac{0,52 \cdot 1182,01}{380}$$

$$\Delta V_P = 1,89 + 1,62$$

$$\Delta V_P = 3,51 \text{ Volt}$$

- **Jatuh Tegangan Bagian B**

Bagian B

$$\Delta V_P = \frac{R \cdot P}{Vr} + \frac{X \cdot Q}{Vr}$$

$$\Delta V_P = \frac{0,44 \cdot 1682,94}{380} + \frac{0,52 \cdot 1220,13}{380}$$

$$\Delta V_P = 1,95 + 1,67$$

$$\Delta V_P = 3,62 \text{ Volt}$$

- **Jatuh Tegangan Bagian C**

Bagian C

$$\Delta V_P = \frac{R \cdot P}{Vr} + \frac{X \cdot Q}{Vr}$$

$$\Delta V_P = \frac{0,44 \cdot 1577,76}{380} + \frac{0,52 \cdot 1143,88}{380}$$

$$\Delta V_P = 1,83 + 1,56$$

$$\Delta V_P = 3,39 \text{ Volt}$$

Dari hasil perhitungan jatuh tegangan diatas pada bagian A, bagian B dan bagian C terdapat nilai yang paling besar jatuh tegangan yaitu bagian B dengan nilai sebesar (3,62Volt) dengan tegangan disisi penerima 380 Volt.

- **Jatuh Tegangan Load Bus**

Load Bus

$$\Delta V_P = \frac{R \cdot P}{Vr} + \frac{X \cdot Q}{Vr}$$

$$\Delta V_P = \frac{0,44 \cdot 17108,18}{380} + \frac{0,52 \cdot 12403,43}{380}$$

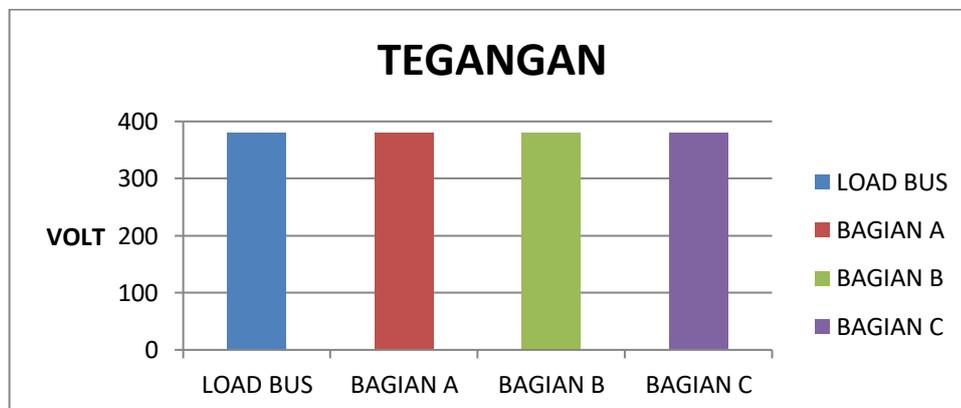
$$\Delta V_P = 19,81 + 16,97$$

$$\Delta V_P = 36,78 \text{ Volt}$$

Untuk hasil perhitungan jatuh tegangan pada *load bus* yaitu nilai jatuh tegangan sebesar 36,78 Volt dari tegangan disisi penerima.

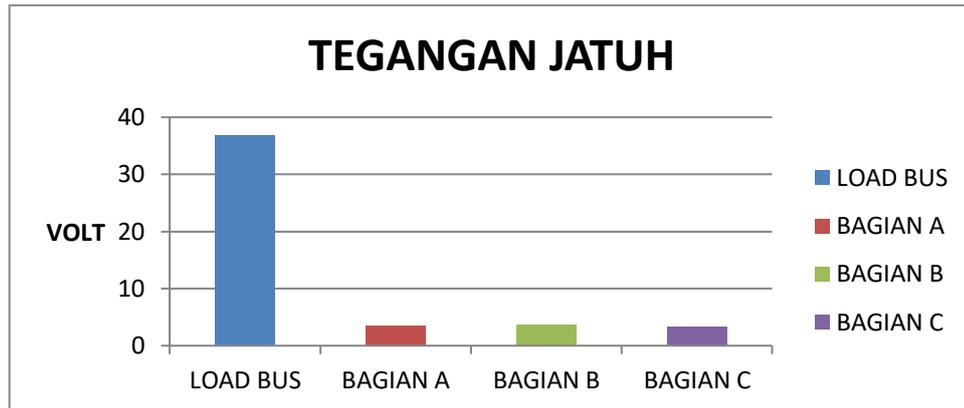
Maka bisa dilihat pada tabel hasil perhitungan jatuh tegangan pada bagian A,B dan C serta pada penyuplai total yaitu *Load Bus*, sehingga pada tegangan Bagian (A) disisi pengirim 380 Volt dengan jatuh tegangan sebesar 3,51 Volt maka sampai tegangan disisi penerima sebesar 376,49 Volt, pada tegangan Bagian (B) disisi pengirim 380 Volt dengan jatuh tegangan sebesar 3,62 Volt maka sampai tegangan disisi penerima sebesar 376,38 Volt, pada tegangan Bagian (C) disisi pengirim 380 Volt dengan jatuh tegangan sebesar 3,39 Volt maka sampai tegangan disisi penerima sebesar 376,61 Volt, dan pada tegangan *Load Bus* disisi pengirim 380 Volt dengan jatuh tegangan sebesar 36,78 Volt, maka sampai tegangan disisi penerima sebesar 343,22 Volt.

Dapat dilihat pada grafik tegangan dibawah ini yaitu menyatakan bahwa pada empat bagian yaitu bagian A,B,C dan Load Bus menyatakan bahwa tegangan yang dikeluarkan sama besar yaitu 380 V.



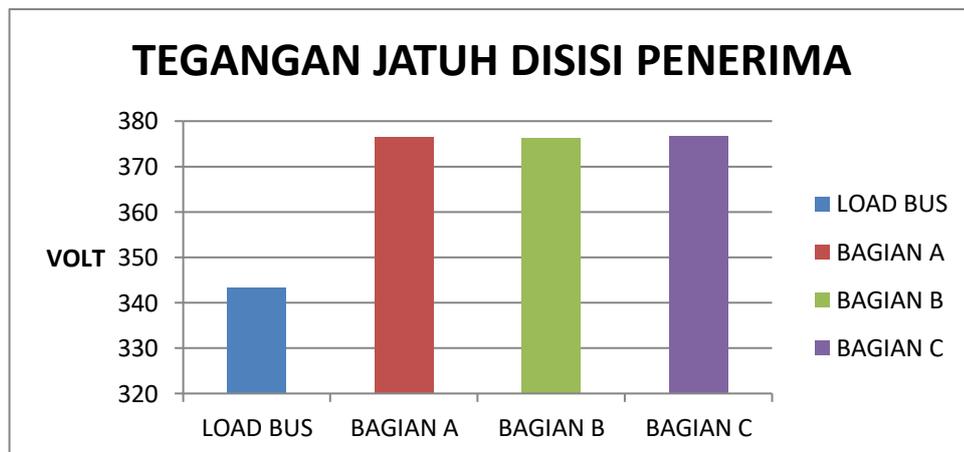
Grafik 4.10 Tegangan Pada Kabel Tanah

Dari hasil perhitungan tegangan jatuh diatas dibuatlah suatu grafik dengan mengetahui bahwa tegangan jatuh paling tertinggi adalah pada bagian transformator Load Bus dikarenakan transformator pada bagian Load Bus adalah induk yang akan menyuplai ketegangan bagian A,B, dan C.



Grafik 4.11 Tegangan Jatuh

Dari hasil perhitungan tegangan jatuh diatas dibuatlah suatu grafik dengan mengetahui bahwa tegangan jatuh disisi penerima paling terendah adalah pada bagian transformator Load Bus dikarenakan transformator pada bagian Load Bus adalah induk yang akan menyuplai ketegangan bagian A,B, dan C.



Grafik 4.12 Tegangan Jatuh Disisi Penerima

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis perhitungan pada PT. PLN (PERSERO) Kota Subulussalam dengan panjang 28,8 Km saluran kabel bawah tanah menghasilkan dengan arus yang dialirkan pada kabel di bagian A sebesar 3100 Ampere dan tegangan pada saluran kabel tanah sebesar 380 Volt, dengan daya yang dihasilkan yaitu Daya Semu (S) sebesar 2037,94 KVA, Daya Aktif (P) sebesar 1630,35 KW dan Daya reaktif (Q) sebesar 1182,01 KVAR terdapat nilai $\cos \varphi$ 0,8. bagian B Arus sebesar 3200 Ampere dan tegangan pada saluran kabel tanah sebesar 380 Volt, dengan daya yang dihasilkan yaitu Daya Semu (S) sebesar 2103,68 KVA, Daya Aktif (P) sebesar 1682,94 KW dan Daya reaktif (Q) sebesar 1220,13 KVAR terdapat nilai $\cos \varphi$ 0,8. Dan bagian C Arus sebesar 3000 Ampere dan tegangan pada saluran kabel tanah sebesar 380 Volt, dengan daya yang dihasilkan yaitu Daya Semu (S) sebesar 1972,20 KVA, Daya Aktif (P) sebesar 1577,76 KW dan Daya reaktif (Q) sebesar 1143,88 KVAR terdapat nilai $\cos \varphi$ 0,8. Pada *Load bus* dengan Arus total sebesar 42.530 Ampere dan tegangan pada saluran kabel tanah sebesar 380 Volt, dengan daya yang dihasilkan yaitu Daya Semu (S) sebesar 21.385,22 KVA, Daya Aktif (P) sebesar 17.108,18 KW dan Daya reaktif (Q) sebesar 12.403,43 KVAR terdapat nilai $\cos \varphi$ 0,8. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daya yang disalurkan pada kabel tanah yang paling besar dibagian B yaitu kapasitas Daya Reaktif sebesar 1682,94 KVAR.
2. Dengan menghitung rugi-rugi daya pada Bagian A,B dan C juga pada *load bus* yaitu rugi-rugi daya pada Bagian A, Daya Aktif (P) sebesar 365.333,76 KW dengan hasil persentasi sebesar 2,24% dan Hasil nilai perhitungan Daya Reaktif (Q) sebesar 431.758,08 KVAR dengan hasil

persentasi sebesar 3,65%. Bagian B, Daya Aktif (P) sebesar 389.283,84 KW dengan hasil persentasi sebesar 2,31% dan Hasil nilai perhitungan Daya Reaktif (Q) sebesar 460.062,72 KVAR dengan hasil persentasi sebesar 3,77%. Bagian C, Daya Aktif (P) sebesar 342.144 KW dengan hasil persentasi sebesar 2,17% dan Hasil nilai perhitungan Daya Reaktif (Q) sebesar 404.352 KVAR dengan hasil persentasi sebesar 3,54%. Kemudian pada *Load Bus*, Daya Aktif (P) sebesar 68.800.000 KW dengan hasil persentasi sebesar 40,21% dan Hasil nilai perhitungan Daya Reaktif (Q) sebesar 81.300.200 KVAR dengan hasil persentasi sebesar 65,55%.

5.2 Saran

Dengan Analisis Aliran Daya Kabel Tanah Tegangan Menengah 20 KV Sebagai Penghasil Daya Reaktif Pada PT PLN (PERSERO) Kota Subulussalam, masih memiliki beberapa kekurangan dan harus dikembangkan lebih lanjut kearah yang lebih baik. Terdapat beberapa saran untuk meningkatkan kualitas dari analisis aliran daya ini yaitu :

1. Menggunakan jenis kabel bawah tanah yang berbeda serta dengan ukuran kabel tanah yang lebih besar lagi agar terlihat perbedaan antara perhitungan aliran dayanya serta panjang saluran kabel yang lebih jauh dengan begitu bisa mengetahui berapa besar nilai rugi-rugi daya dan juga jatuh tegangannya.
2. Pada saat menganalisis, ketelitian dan fokus sangat diutamakan agar analisis data mendapatkan hasil yang maksimal dan tidak ada kesalahan dalam perhitungan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Handayani, O (2018). Analisa Kuat Hantar Arus Kabel Tanah 150 KV yang Melintas Jembatan
- Slamet Hani (2006). Studi Aliran Daya pada Pemodelan Saluran Kabel Tegangan Tinggi 150 KV
- Jeandy. T. I. Kume (2016). Analisis Gangguan Hubung Singkat Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan 20 kv Peulang SL 3 GI Teling Manado
- Sumardi, Patria J (2018) Analisa Aliran Daya Pada Jaringan Distribusi 20 KV PT PLN (PERSERO) Sebatik Menggunakan Software ETAP POWERSTATION 12,6,0.
- Bayu. A. A (2018) Analisis Rugi-Rugi Daya dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi 150 KV GI Pati Bay GI Jekulo Menggunakan ETAP 12.6.0
- Josua J.H (2018) Analisa Perbaikan Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan 380 Volt Dengan Pemerataan Beban
- M Taufiq (2017) Perhitungan Rugi-Rugi Daya Saluran Distribusi Feeder Bangau Sakti Pada GI Garuda Sakti PT PLN (PERSERO).
- M. K. Huda (2018) Analisis Daya Sistem Kelistrikan 150 KV Bali Saat Rekonduktoring SUTT Gilimanuk-Negara-Antosari.
- Effrita Arfah Z , (2020) Analisa Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik di PT Zenith Allmart Precisindo
- Miftahul Fikri (2018) Metode Newton Raphson Untuk Analisis Aliran Daya Jaringan Distribusi 12,66 kV
- Adib G. A. (2019) Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal menggunakan Software ETAP Power Station 4.0
- Fredo Otniel (2020) Analisa aliran daya sistem tenaga listrik pada bagian penyulang 05ee0101a di area utilities IIPT. PERTAMINA (PERSERO) Refinery Unit IV Cilacap menggunakan metodenewton-raphson.
- A. M. F. Fajar (2019) “Analisis Aliran Daya Dan Gangguan Hubung Singkat Sistem Kelistrikan Pabrik Tonasa V Di Pt Semen Tonasa Menggunakan Etap,”

A. Belly (2018) “ Analisis Aliran Daya Pada PT. PLN (PERSERO) Ponorogo Tegangan Menengah 20 Kv dengan Menghitung Daya Aktif, Reaktif & Nyata,”
Agung, H. (2020). Analisis Load Flow dalam Sistem Tenaga Listrik di PT. Sinar Sosro Ungaran. Skripsi. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.