

TUGAS AKHIR

ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT BEBAN TIDAK SEIMBANG PADA SUTM 20 KV GARDU INDUK PANGKALAN BRANDAN

*Diajukan Guna Memenuhi Syarat-Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

TRI BUDI YATMA

1307220056



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

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

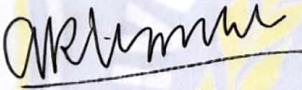
ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT BEBAN TIDAK SEIMBANG PADA SUTM 20 KV GARDU INDUK INDUK PANGKALAN BRANDAN

*Diajukan Guna Memenuhi Syarat-Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :
TRI BUDI YATMA
1307220056

Diuji dan Disahkan
Pada 11 Oktober 2017 Oleh :

Pembimbing I


ARNAWAN HSB., S.T., M.T


Pembimbing II


FAISAL IRSAN PASARIBU., S.T., M.T

Penguji I


ROHANA, S.T., M.T

Penguji II


ELVY SAHNUR NST, S.T., M.Pd

Diketahui Oleh :
Program Studi Teknik Elektro
Ketua


FAISAL IRSAN PASARIBU, S.T., M.T

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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Tri Budi Yatma

NPM : 1307220056

Tempat /Tgl Lahir : Halaban, 03 Desember 1993

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya ini yang berjudul :

“Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Beban Tidak Seimbang pada SUTM 20 KV Gardu Induk Pangkalan Brandan”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan yang lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil.

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2017
Saya yang menyatakan



(Tri Budi Yatma)

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem jaringan distribusi tenaga listrik selalu terjadi termasuk Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV yang merupakan bagian dari penyaluran tenaga listrik. Dalam sistem penyaluran tenaga listrik secara umum, sistem seimbang sangat sulit tercapai karena secara geografis daerah kita belum merata sehingga jarak saluran dari pembangkitan kekonsumen sangat panjang. Analisis ini bertujuan mengetahui perbedaan rugi daya ketika beban seimbang dan tidak seimbang. Adapun hasil yang diperoleh dari penelitian pada Gardu Induk Pangkalan Berandan ditemukan tiga penyulang yang mengalami ketidakseimbangan beban yang dilihat dari rugi daya perfasanya yang berbeda jauh yaitu penyulang anggrek, anyelir dan akasia. Rugi daya pada penyulang anggrek fasa R = 58,139 kW, fasa S = 55,177 kW dan fasa T = 39,876 kW dan setelah dilakukan penyeimbangan beban rugi daya pada fasa R menjadi 48,813 kW, fasa S menjadi 55,176 kW dan fasa T menjadi 48,343 kW. Rugi daya pada penyulang anyelir fasa R = 666,358 kW, fasa S = 581,952 kW dan T = 671,495 kW, dan setelah dilakukan penyeimbangan beban rugi-rugi daya berubah pada masing-masing fasanya yaitu pada R tetap 666,358 kW, pada fasa S menjadi 653,207 kW dan pada fasa T menjadi 599,218 kW. Rugi daya pada penyulang akasia fasa R = 41,279 kW, S = 113,269 kW dan T = 42,451 kW dan setelah dilakukan penyeimbangan beban rugi daya pada fasa R menjadi 63,619 kW, fasa S menjadi 60,819 kW dan fasa T menjadi 60,967 kW. Rugi-rugi daya yang dapat dikurangi pada penyulang anggrek sebesar 0,86 kW, anyelir sebesar 1,022 kW dan pada penyulang akasia sebesar 14,594 kW.

Kata Kunci : Ketidakseimbangan Beban, SUTM 20 KV, Rugi Daya.

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tulisan ini. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul dari tugas akhir ini adalah “Analisis Rugi-Rugi Daya akibat beban tidak seimbang pada SUTM 20 KV Gardu Induk Pangkalan Berandan”.

Kelancaran proses penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta arahan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta, Alm. Sarji dan Suhartini yang telah memberikan kasih sayang yang tidak ternilai serta dukungan moril dan materil dan kepada keluarga penulis, Dwi Puji Astuti, A.Md, Prihatin Suharyanto dan Nazwa Alpuja Elsa.
2. Bapak Rahmatullah, ST.,M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, sekaligus sebagai Pembimbing II yang telah banyak memberikan nasihat, bimbingan, dorongan serta pengarahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Partaonan Harahap, ST., MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Arnawan Hasibuan., ST., MT, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan nasihat, bimbingan, dorongan serta pengarahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Kepada seluruh teman-teman Teknik Elektro khususnya stambuk 2013.
7. Segenap Bapak dan Ibu Dosen Teknik Elektro dan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini bermanfaat dan dapat menambah ilmu pengetahuan bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, September 2017

Penulis

Tri Budi Yatma

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penulisan	4
1.6 Metodologi	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2 Sistem Tenaga Listrik	8
2.3 Jaringan Distribusi	10
2.4 Sistem Jaringan Distribusi Primer	11
2.4.1 Jaringan Radial	12
2.4.2 Jaringan Hantaran Penghubung	13
2.4.3 Jaringan Lingkar (<i>Loop</i>)	13
2.4.4 Jaringan Spindel	14
2.4.5 Sistem Gugus atau Kluster	15
2.5 Beban Sistem Distribusi	16
2.6 Keseimbangan Beban Dan Ketidakseimbangan Beban	16
2.7 Parameter Saluran	19
2.7.1 Resistansi Saluran	19

2.7.2 Reaktansi Saluran	21
2.8 Daya Listrik	22
2.8.1 Daya Semu	24
2.8.2 Daya Aktif	24
2.8.3 Daya Rektif	25
2.8.4 Faktor Daya	25
2.9 Rugi-rugi Daya (<i>Losses</i>)	27
2.10 Rugi Tegangan (<i>Drop Voltage</i>).....	28
2.10.1 Perhitungan Jatuh Tegangan	30
2.11 Keseimbangan Daya 3 Fase	31
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat Penelitian	32
3.2 Peralatan Penelitian	32
3.3 Metode Pengumpulan Data	33
3.4 Diagram Alir Penelitian	34
 BAB IV ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN	
4.1 Jumlah <i>Feeder</i> /Penyulang GI Pangkalan Berandan	35
4.2 Panjang Saluran Masing-Masing Penyulang	36
4.3 Perhitungan Besar Tahanan Penghantar	36
4.4 Rugi-Rugi Daya Saluran	38
4.5 Hasil Perhitungan Arus	44
4.6 Perhitungan Keseimbangan Beban	46
 BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tiga bagian utama dalam penyaluran tenaga listrik

Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Radial

Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan *Loop*

Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Spindel

Gambar 2.6 Konfigurasi sistem gugus atau kluster

Gambar 2.7 Vektor Diagram Arus Beban Seimbang

Gambar 2.8 Vektor Diagram Arus Beban Tidak Seimbang

Gambar 2.9 Tegangan AC yang diterapkan pada beban dan diagram fasor

Gambar 2.10 Segitiga Daya Kompleks

Gambar 2.11 Faktor Daya Tertinggal

Gambar 2.12 Faktor Daya Mendahului

Gambar 2.13 Diagram fasor saluran distribusi

Gambar 3.1 *Flowchart* Penyusunan Tugas Akhir

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Jumlah Penyulang 20 KV yang ada di GI Pangkalan Brandan

Tabel 4.2 Panjang saluran masing-masing penyulang

Tabel 4.3 Besar Tahanan Penghantar

Tabel 4.4 Rata-rata Rugi Daya minggu pertama (01-07 Juni 2017)

Tabel 4.5 Rata-rata Rugi Daya minggu kedua (08-14 Juni 2017)

Tabel 4.6 Rata-rata Rugi Daya minggu ketiga (05-21 Juni 2017)

Tabel 4.7 Rata-rata Rugi Daya minggu keempat (21-30 Juni 2017)

Tabel 4.8 Rata-rata Rugi Daya Perbulan (01-30 Juni 2017)

Tabel 4.9 Arus Beban Penyulang Anggrek dan Akasia

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Sesudah
Penyeimbangan Beban Pada Penyulang Anggrek

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Sesudah
Penyeimbangan Beban Pada Penyulang Anggrek

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Diagram satu garis Gardu Induk Pangkalan Brandan
- Lampiran 2 Laporan Harian Penyulang 20kV GI P. Brandan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini listrik merupakan suatu kebutuhan penting bagi manusia, tidak bisa dipungkiri listrik adalah salah satu sumber energi yang sangat dibutuhkan baik dalam kegiatan sehari-hari maupun industri. Hal ini karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk energi lain. Penyediaan listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan listrik.

PT. PLN (Persero) merupakan perusahaan penyedia listrik untuk umum satu-satunya di Indonesia. Saat ini permasalahan yang menimpa kelistrikan di Indonesia sangatlah kompleks. Dari masalah teknik maupun masalah non teknik. Masalah-masalah itu antara lain penolakan warga masyarakat yang tempat tinggalnya dilalui jalur Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), kurangnya dana untuk pembangunan proyek 10.000 MW sebagai upaya penanggulangan krisis listrik, listrik yang sering mengalami pemadaman di beberapa daerah nusantara, maupun permasalahan teknik mengenai penyaluran atau distribusi tenaga listrik sendiri yaitu misalnya *losses* listrik, peralatan listrik seperti transformator, recloser, PMT yang mengalami kerusakan, dan masih banyak permasalahan-permasalahan yang lain. PLN, sebagai pemegang sistem kelistrikan di Indonesia yang terbesar, tentunya selama ini telah bekerja keras untuk mencapai keandalan penyaluran tenaga listrik untuk menjadi lebih baik. Hal ini menyebabkan PT. PLN (Persero) harus melakukan efisiensi di segala sektor, dan yang paling utama adalah di sektor penyediaan tenaga listrik.

Dalam penyediaan pemenuhan kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian-pembagian beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidakserempakan waktu penyalaan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Selain ketidakserempakan pemakaian beban, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fase R, S dan T juga merupakan faktor lain yang mempengaruhi. Ketidakseimbangan beban adalah hal yang menimbulkan *losses* secara teknis, yang akan merugikan PLN. Agar tercapai penyuplaian listrik yang stabil dan kontinuitas kepada konsumen, maka hal tersebut harus dapat diatasi. Penelitian mengenai ketidakseimbangan beban juga pernah dilakukan oleh Tejo Sukmadi dan Bambang Winardi pada tahun 2009, mereka membahas tentang perhitungan dan analisis keseimbangan beban pada sistem distribusi 20 KV terhadap rugi-rugi daya yaitu pada studi kasus PT. PLN UPJ Slawi.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka judul penelitian ini akan membahas tentang **Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Beban Tidak Seimbang Pada SUTM 20 KV Gardu Induk Pangkalan Berandan**, dengan tujuan agar dapat dimanfaatkan oleh petugas Gardu Induk dalam meningkatkan kualitas sistem kelistrikan di Sumatera Utara khususnya area Pangkalan Brandan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang dapat dikemukakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV antara beban yang seimbang dan beban yang tidak seimbang?
2. Seberapa besar rugi daya yang dapat dihilangkan atau dikurangi apabila beban sistem dalam keadaan seimbang?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Menganalisa perbandingan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV antara beban yang seimbang dan beban yang tidak seimbang.
2. Menganalisa besar rugi daya yang dapat dihilangkan atau dikurangi apabila beban sistem dalam keadaan seimbang

1.4 Batasan masalah

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah yang ada pada uraian diatas dan untuk menghindari meluasnya pokok permasalahan maka dibuatlah batasan masalah, adapun batasan-batasan masalah yang dibahas dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Meneliti penyulang/*feeder* yang mengalami ketidakseimbangan beban
2. Perhitungan rugi-rugi daya pada saat beban seimbang dan beban tidak seimbang
3. Tidak membahas jatuh tegangan
4. Tidak membahas faktor daya

1.5 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi PLN dapat mengetahui rugi-rugi daya yang terjadi sehingga kedepan dapat di minimalisir.
2. Mengetahui besarnya Beban pada tiap rentan waktu, bagi masyarakat dapat dihimbau penghematan listrik pada beban puncak, untuk memperoleh kestabilan energi yang baik.

1.6 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dasar teori yang menunjang dalam penulisan Tugas Akhir. Dasar teori ini dapat diambil dari buku-buku, jurnal, prosiding dan artikel-artikel di internet.

2. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data dari literatur dan PT. PLN (Persero) berupa data seperti data besar daya dari sumber, data saluran, data beban dan lain sebagainya yang mendukung penyelesaian Tugas Akhir ini.

3. Analisa dan Perhitungan

Analisa dan perhitungan akan dilakukan dengan dasar teori yang ada.

4. Penyusunan Tugas Akhir.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Membahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, metode penelitian dan sistematika dari penulisan Tugas Akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang teori sistem tenaga listrik, tegangan tinggi, saluran distribusi, keseimbangan beban, penyebab ketidakseimbangan beban dan efek akibat beban tidak seimbang.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Melakukan riset di Gardu Induk Pangkalan Brandan yang berkaitan dengan data mengenai beban tidak seimbang dengan cara pengambilan data berupa data saluran, data beban, data beban puncak serta data daya sumbernya.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang analisa perhitungan rugi-rugi daya yang disebabkan akibat beban yang tidak seimbang.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran yang didapat dari pembuatan Tugas Akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Biasanya sering kali terjadi beban tidak seimbang pada fase-fasenya (sistem distribusi merupakan sistem 3 fase) atau terjadi kelebihan beban karena pemakaian alat-alat listrik dari konsumen energi listrik. Keseimbangan beban antar fasa diperlukan untuk pemerataan beban sehingga meminimalkan perubahan yang diakibatkan oleh beban penuh. Hal ini juga penting karena bermanfaat pada teknik optimasi untuk menghasilkan sistem yang handal dan efisien. Sebuah konfigurasi 1 fase dengan 3 kabel dapat dikatakan tidak seimbang jika arus netral tidak bernilai nol. Hal ini terjadi karena beban yang dikoneksikan, antara fase dan netral tidak sama. Metoda yang dipakai untuk menganalisa keseimbangan beban salah satunya dengan menghitung jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada feeder KBN09 Slawi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung dan menganalisis keseimbangan beban pada sistem distribusi dan pengaruhnya terhadap jatuh tegangan dan rugi daya yang timbul pada sistem tersebut. (Sukmadi dan Winardi, 2009).

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem jaringan distribusi tenaga listrik selalu terjadi, dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada pengaturan beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan tersebut muncul arus pada netral trafo. Arus yang

mengalir pada netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo penyaluran energi listrik pada sistem distribusi dimana susut tegangan akan mempengaruhi penyaluran energi listrik kepada konsumen dimana jika terjadi susut tegangan pada sistem distribusi maka energi listrik yang akan disalurkan kepada konsumen akan menjadi tidak standar lagi sesuai dengan SPLN No. 72 Tahun 1987, dimana jatuh tegangan yang diperbolehkan dalam penyaluran distribusi hanya boleh sebesar 5% untuk jaringan udara SKTM sebesar 2 %, maka itu perlu adanya perhitungan dan penelitian untuk permasalahan jatuh tagangan dalam bentuk persen (%), sehingga dalam penyampaian aliran listrik terhadap konsumen menjadi terpenuhi sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. (Hontong, Nolki Jonal, 2015).

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Rugi-rugi (*looses*) pada sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu parameter yang selalu diusahakan untuk diminimalkan. Sebagian dari rugi-rugi yang tinggi terjadi di sisi distribusi pada jaringan tegangan menengah ditimbulkan oleh ketidak seimbangan beban antar fase pada jaringan tegangan menengah. Ketidakseimbangan beban tersebut sangat mungkin terjadi pada cabang jaringan tegangan menengah tiga fase dan cabang-cabang jaringan tegangan menengah satu fase. Laporan akhir ini menganalisa keseimbangan beban pada peyulang kutilang. Dari analisa menggunakan bantuan ETAP versi 12.6 yang telah dilakukan pada penyulang kutilang didapatkan hasil

ketidakseimbangan beban sebesar 0,77%. Dari hasil tersebut penyulang kutilang memiliki ketidakseimbangan beban yang rendah (<25 %). Dengan kata lain penyulang kutilang masih dalam keadaan seimbang. Selain itu juga didapatkan drop tegangan dan losses pada penyulang kutilang, dimana drop tegangan pada bus 1 (awal jaringan) sebesar 1,52 %, sedangkan pada bus 90 (ujung jaringan) sebesar 2,64 %. Serta losses (rugi-rugi) sebesar 80,2 kW. (Saputra, 2015).

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Struktur tenaga listrik atau sistem tenaga listrik sangat besar dan kompleks karena terdiri atas komponen peralatan atau mesin listrik seperti generator, transformator, beban dan alat-alat pengaman dan pengaturan yang saling dihubungkan membentuk suatu sistem yang digunakan untuk membangkitkan, menyalurkan, dan menggunakan energi listrik. Namun secara mendasar sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan atas 3 bagian utama yaitu :

1. Sistem Pembangkitan

Pusat pembangkit tenaga listrik (electric power station) biasanya terletak jauh dari pusat-pusat beban dimana energi listrik digunakan.

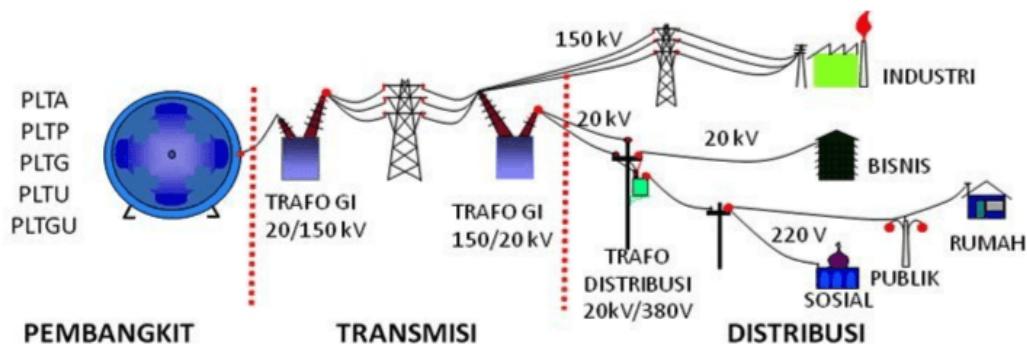
2. Sistem Transmisi

Energi listrik yang dibangkitkan dari pembangkit listrik yang jauh disalurkan melalui kawat-kawat atau saluran transmisi menuju gardu induk (GI).

3. Sistem Distribusi

Energi listrik dari gardu-gardu induk akan disalurkan oleh sistem distribusi sampai kepada konsumen.

Berikut ini merupakan gambar tiga bagian utama dalam penyaluran tenaga listrik :



Gambar 2.1 Tiga bagian utama dalam penyaluran tenaga listrik

Ketiga bagian utama (pembangkitan, transmisi, dan distribusi) tersebut menjadi bagian penting dan harus saling mendukung untuk mencapai tujuan utama sistem tenaga listrik yaitu penyaluran energi listrik kepada konsumen. Energi listrik yang digunakan tentunya harus bersifat efisien, efektif, bermutu dan bisa diandalkan. Berarti dalam pembangkitan dan penyaluran energi itu harus dilakukan secara ekonomis dan rasional. Untuk mencapai tujuan itu ternyata dalam pengoperasiannya banyak kendala yang harus dihadapi, hal ini disebabkan karena timbulnya kejadian di sistem Tenaga Listrik (TL) yang bersifat random. Sedangkan kondisi operasi itu bisa berubah kalau terjadi perubahan beban dan keluarnya peralatan jaringan pada sistem secara random. Hal ini tentunya akan menyebabkan terjadinya deviasi operasi. Untuk itulah diperlukan persiapan operasi yang matang supaya deviasinya relatif kecil.

Sementara itu pada sistem Tenaga Listrik yang bersifat dinamis perlu dilakukan prediksi operasi, hal ini untuk memberikan gambaran kondisi operasi pada operator. Kemudian dengan digunakannya teknik optimasi yang canggih pada pengoprasian sistem Tenaga Listrik secara problem yang muncul dianalisa maka hasil yang dicapaipun semakin optimal. Sedangkan untuk mengetahui sejauh mana suatu sistem Tenaga Listrik itu handal dan ekonomis maka digunakanlah alat ukur yang berfungsi sebagai dasar untuk mengadakan perincian. Alat ukur ini menggunakan metode *Loss of Load Probability* (LOLP). Adapun alat ukur ini dipakai untuk menghitung alokasi energi, rencana pemeliharaan pembangkit dan neraca daya.

2.3 Jaringan Distribusi

Pusat tenaga listrik umumnya terletak jauh dari pusat bebannya. Energi listrik yang dihasilkan pusat pembangkitan disalurkan melalui jaringan transmisi. Tegangan generator pembangkit relatif rendah (6 kV – 24 kV). Maka tegangan ini dinaikan dengan transformator daya ke tegangan yang lebih tinggi antara 150 kV – 500 kV. Tujuan peningkatan tegangan ini, selain mempebesar daya hantar dari saluran (berbanding lurus dengan kuadrat tegangan), juga untuk memperkecil rugi daya dan susut tegangan pada saluran transmisi. Penurunan tegangan dari jaringan tegangan tinggi/ekstra tinggi sebelum ke konsumen dilakukan dua kali. Yang pertama dilakukan di gardu induk (GI), menurunkan tegangan dari 500 kV ke 150 kV atau dari 150 kV ke 70 kV. Yang kedua dilakukan pada gardu induk distribusi dari 150 kV ke 20 kV atau dari 70 kV ke 20kV. Saluran listrik dari sumber pembangkit tenaga listrik sampai transformator

terakhir, sering disebut juga sebagai saluran transmisi, sedangkan dari transformator terakhir, sampai konsumen terakhir disebut saluran distribusi atau saluran primer.

Ada dua macam saluran transmisi/distribusi PLN yaitu saluran udara (overhead lines) dan saluran kabel bawah tanah (underground cable). Kedua cara penyaluran tersebut masing - masing mempunyai keuntungan dan kerugian. Dari segi estetik, saluran bawah tanah lebih disukai dan juga tidak mudah terganggu oleh cuaca buruk : hujan, petir, angin, dan sebagainya namun saluran bawah tanah jauh lebih mahal di banding saluran udara, tetapi saluran bawah tanah tidak cocok untuk daerah rawan banjir karena bila terjadi gangguan akan berbahaya.

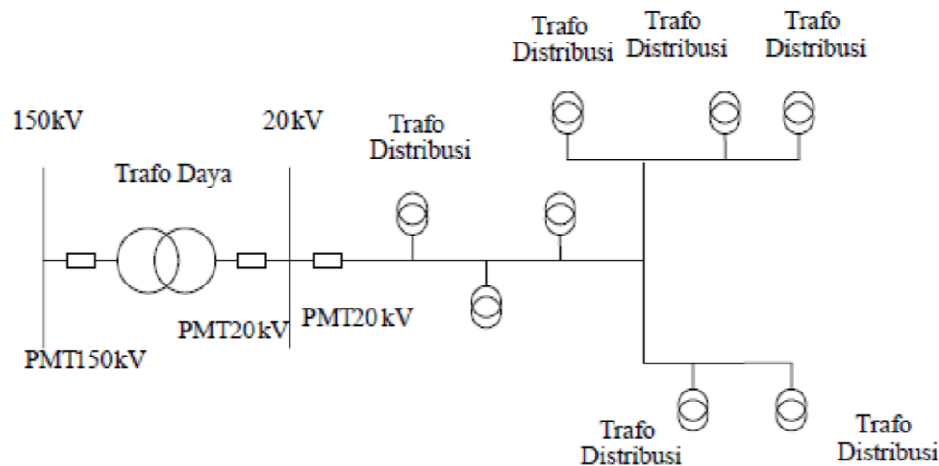
2.4 Sistem Jaringan Distribusi Primer

Tegangan sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu distribusi primer (20 KV) dan distribusi sekunder (220/380V). Jaringan distribusi 20 KV sering disebut sistem distribusi Tegangan Menengah (TM) dan jaringan distribusi 220/380 V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR).

Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah (Primer 20 KV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line), Jaringan Lingkaran (Loop), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster.

2.4.1 Jaringan Radial

Sistem distribusi dengan pola radial seperti Gambar 2.2 adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

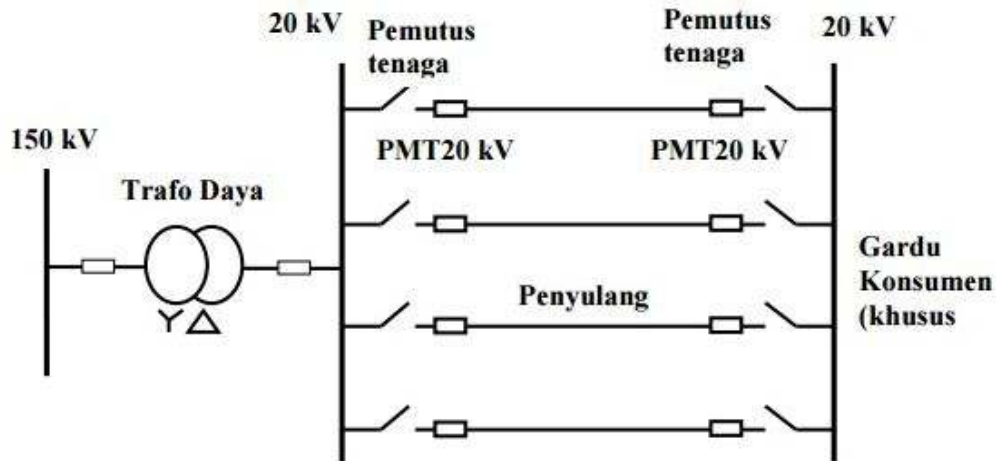


Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Radial

Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain. Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

2.4.2 Jaringan Hantaran Penghubung

Sistem distribusi *Tie Line* seperti Gambar 2.3. umumnya digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain).

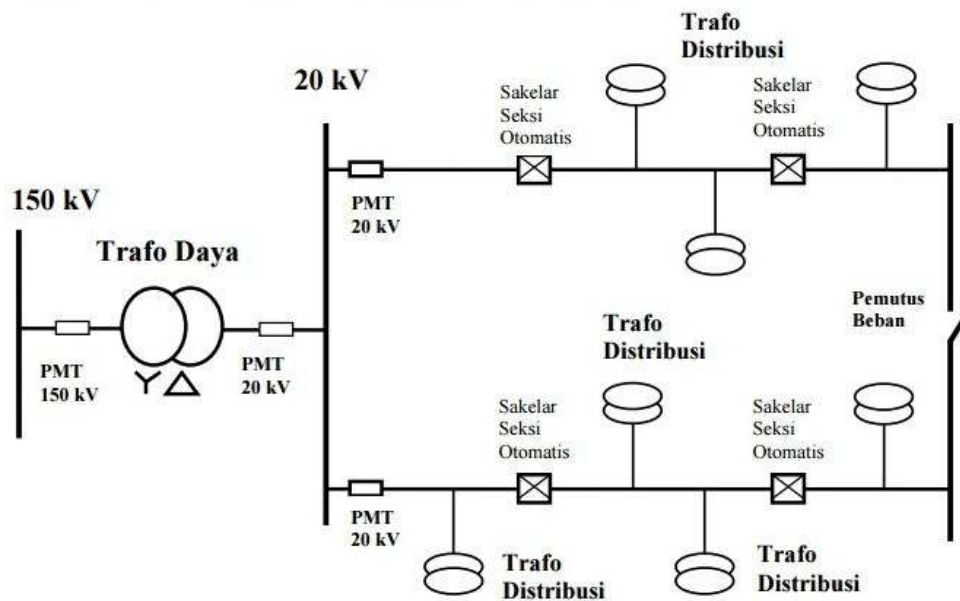


Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, dan setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.

2.4.3 Jaringan Lingkar (Loop)

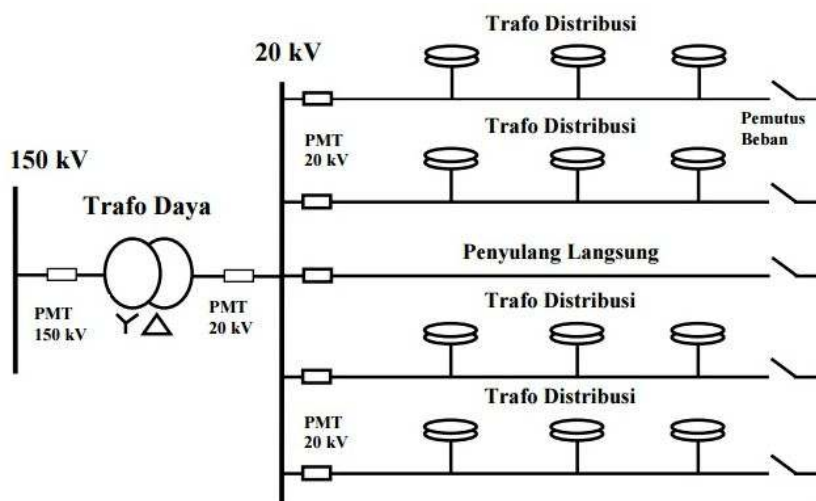
Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (*Loop*) seperti Gambar 2.4. dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk. Sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.



Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Loop

2.4.4 Jaringan Spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar 2.5 adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).

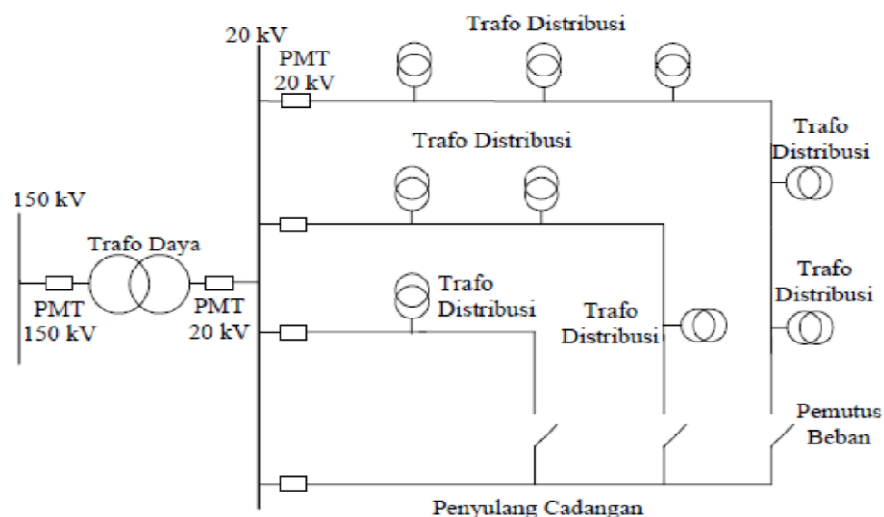


Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Spindel

Pada sebuah sistem spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (express) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem spindel berfungsi sebagai sistem radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

2.4.5 Sistem Gugus atau Kluster

Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar di bawah ini banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan.



Gambar 2.6 Konfigurasi sistem gugus atau kluster

Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen.

2.5 Beban Sistem Distribusi

Dalam dunia kelistrikan, telah dikenal dua jenis beban, yaitu beban linear dan beban nonlinear.

a. Beban Linier

Beban linear adalah beban yang memberikan bentuk keluaran linear atau sama dengan bentuk masukan, artinya daya yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Beban linear terdiri dari tiga macam beban, yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif.

b. Beban Non Linier

Beban non linear adalah beban yang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan masukan, sehingga arus balik melalui kawat netral tidak sama dengan nol. Contoh beban non linear adalah saklar atau *switch* yang terbuat dari bahan semikonduktor, inverter, konverter dan peralatan elektronika lainnya. Beban non linear ini akan menghasilkan harmonisa pada kelipatan bilangan bulat ganjil frekuensi dasar.

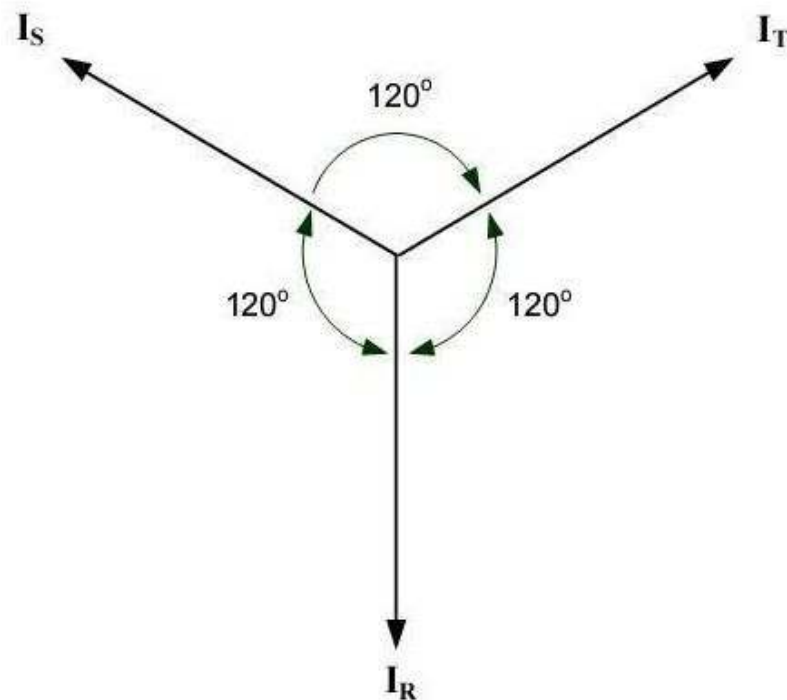
2.6 Keseimbangan Beban dan Ketidakseimbangan Beban

Beban-beban dari fasa seimbang adalah beban dimana arus yang mengalir pada beban-beban simetris dan beban-beban tersebut dihubungkan pada tegangan yang simetris pula. Pada fasa tunggal dengan sistem 3 kawat beban seimbang bila arus yang mengalir pada kawat netralnya bernilai nol. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu :

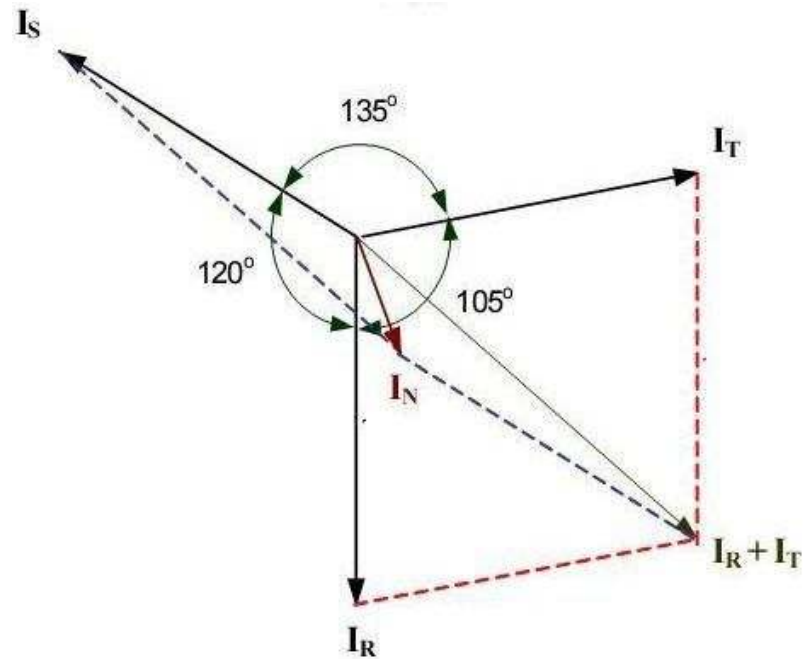
1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu dengan yang lainnya.

2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu dengan yang lainnya.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu dengan yang lainnya.

Vektor diagram arus beban seimbang dan tidak seimbang dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.7 Vektor Diagram Arus Beban Seimbang



Gambar 2.8 Vektor Diagram Arus Beban Tidak Seimbang

Pada gambar 2.7 menunjukkan bahwa vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arus (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada gambar 2.8 menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arus (I_R , I_S , I_T) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul arus netral (I_N). Besarnya arus netral (I_N) tergantung pada berapa besar faktor ketidak seimbangannya.

2.7 Parameter Saluran

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu sistem tenaga listrik memiliki sifat – sifat listrik sebagai parameter saluran, seperti resistansi, induktansi, kapasitansi, dan konduktansi. Oleh karena saluran distribusi memiliki saluran yang tidak begitu panjang (kurang dari 80 km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 69 kV, maka kapasitansi dan konduktansi sangat kecil dan dapat diabaikan.

Resistansi yang timbul pada saluran dihasilkan dari jenis penghantar yang memiliki tahanan jenis dan besar resistansi pada penghantar tergantung dari jenis material, luas penampang dan panjang saluran.

Induktansi timbul dari efek medan magnet di sekitar penghantar jika pada Penghantar terdapat arus yang mengalir. Parameter ini penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisa sistem tenaga.

2.7.1 Resistansi Saluran

Resistansi adalah tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang dapat menyebabkan kerugian daya. Dikenal dua macam tahanan, yaitu tahanan arus searah (R_{DC}) dan tahanan arus bolak-balik (R_{AC}). Nilai tahanan arus searah dapat ditentukan dari persamaan:

$$R_{dc} = \rho \frac{l}{A} \Omega \quad (2.1)$$

dimana :

ρ = Resistivitas penghantar

l = Panjang kawat

A = Luas penampang kawat

sedangkan menurut AS. Pabla (1991) tahanan arus bolak-balik dapat diperoleh dari persamaan:

$$R_{ac} = R_{dc}(1 + Y_s + Y_p) \quad (2.2)$$

dimana :

$Y_s = \text{skin effect}$

$Y_p = \text{proximity effect}$

Efek kulit atau *skin effect* adalah gejala pada arus bolak-balik, bahwa kerapatan arus dalam penampang konduktor tersebut semakin besar ke arah permukaan kawat. Tetapi bila ditinjau dari frekuensi kerja 50 Hz, maka efek kulit sangat kecil dan dapat diabaikan.

Efek sekitar adalah pengaruh dari kawat lain yang berbeda disamping kawat pertama yang ditinjau sehingga distribusi fluks tidak simetris lagi. Tetapi bila radius konduktor kecil terhadap jarak antara kedua kawat maka efek sekitar ini sangat kecil dan dapat diabaikan.

Kenaikan resistansi karena pembentukan lilitan diperkirakan mencapai 1% untuk penghantar dengan tiga serat dan 2% untuk penghantar dengan lilitan konsentris. Jika suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada sumbu mendatar maka titik pertemuan perpanjangan garis dengan sumbu suhu dimana resistansinya sama dengan nol adalah suatu konstanta untuk bahan logam bersangkutan, maka tahanan searahnya dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \quad (2.3)$$

dimana :

R_1 = resistansi penghantar pada suhu t_1 (temperatur sebelum operasi konduktor)

R_2 = resistansi penghantar pada suhu t_2 (temperatur operasi konduktor)

t_1 = temperatur awal ($^{\circ}\text{C}$)

t_2 = temperatur akhir ($^{\circ}\text{C}$)

T = konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T adalah sebagai berikut:

$T = 234,5$ untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

$T = 241$ untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

$T = 228$ untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

2.7.2 Reaktansi Saluran

Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L = \left(0,5 + 4,6 \log \frac{D-r}{r} \right) \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (2.4)$$

Dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing-masing konduktor tersebut. Bila letak konduktor tidak simetris, maka D pada persamaan diatas perlu diganti dengan :

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \quad (2.5)$$

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2.6)$$

Nilai reaktansi induktif saluran dapat dicari dengan menggunakan persamaan bawah ini :

$$XL = 2\pi \cdot f \cdot L \quad (2.7)$$

Dimana :

XL = Reaktansi induktif saluran (Ω/km)

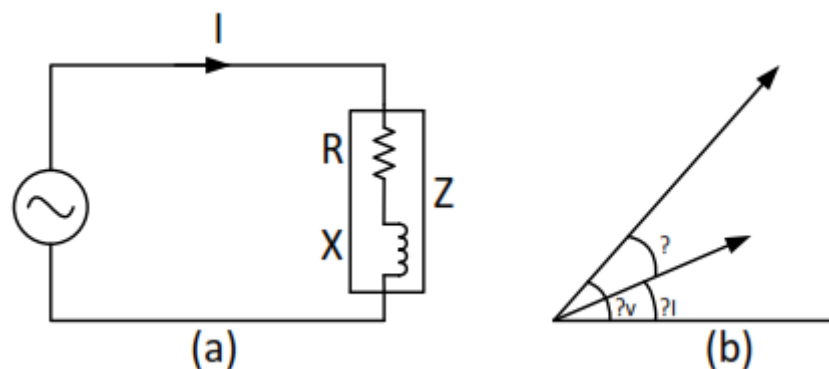
2π = Sudut arus bolak balik

f = Frekuensi sistem (50 Hz)

L = Induktansi dari konduktor (H/km)

2.8 Daya Listrik

Apabila suatu sumber listrik atau arus bolak-balik (AC) diterapkan pada komponen impedansi kompleks $Z = R + jx$ dimana $X = 2\pi fL$ seperti ditampilkan pada gambar 2.9 (a), menghasilkan fasor tegangan $V = |v|\angle\theta$ dan fasor arus $I = |I|\angle\theta$, dalam nilai efektif (rms) seperti digambarkan pada gambar 2.9 (b).



Gambar 2.9 Tegangan AC yang diterapkan pada beban dan diagram fasor
 a. Rangkaian R dan X
 b. Rangkaian I dan V

Ungkapan daya pada rangkaian diatas adalah perkalian tegangan dan

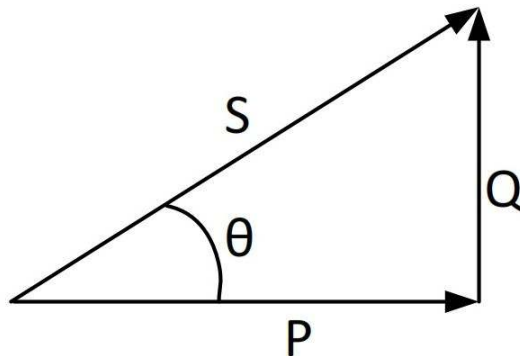
VI^* arus yang menghasilkan,

$$VI^* = |V||I| \angle \theta$$

$$VI^* = |V||I| \angle \theta \quad VI^* = |V||I| \cos \theta + j|V||I| \sin \theta \quad (2.8)$$

Persamaan diatas menentukan kuantitas daya kompleks dimana bagian realnya merupakan daya nyata P dan bagian imajineranya merupakan daya reaktif Q sedangkan θ merupakan sudut daya.

Menurut Smith (1992) konsep daya kompleks memberikan pendekatan lain untuk pemecahan persoalan rangkaian arus AC. Perhitungan yang mengikuti kaidah aljabar kompleks, teknik vektor dan metode grafik dapat diterapkan seperti ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.10 Segitiga Daya Kompleks

Selanjutnya daya kompleks ditandai dengan S dan diberikan melalui

$$S = VI^* \quad (2.9)$$

$$S = P + jQ \quad (2.10)$$

Magnitud dari S,

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.11)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.12)$$

Persamaan diatas merupakan daya terlihat (*apparent power*), satuannya dalam volt-ampere dan satuan besarnya dalam kVA atau MVA. Daya terlihat memberikan indikasi langsung dari energi listrik dan digunakan sebagai suatu rating satuan perangkat daya. Dari uraian diatas maka daya listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yakni daya semu, daya aktif (nyata) dan daya reaktif.

2.8.1 Daya Semu

Daya semu adalah daya yang melewati suatu saluran penghantar yang ada pada jaringan transmisi maupun distribusi atau hasil penjumlahan daya aktif dan daya reaktif. Daya semu ini umumnya tertera di kWh meter. Dimana daya semu ini dibentuk oleh besaran tegangan yang dikalikan dengan besaran arus.

$$\text{Untuk } 1 \phi : S = V\phi \cdot I\phi \quad (2.13)$$

$$\text{Untuk } 3 \phi : S = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot V_L \quad (2.14)$$

2.8.2 Daya Aktif

Daya aktif (daya nyata) adalah daya yang dipakai untuk menggerakkan berbagai macam seperti : gerakan motor listrik atau mekanik. Daya aktif ini merupakan pembentuk dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

$$\text{Untuk } 1 \phi : P = V\phi \cdot I\phi \cdot \cos \phi \quad (2.15)$$

$$\text{Untuk } 3 \phi : P = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot V_L \cdot \cos \phi \quad (2.16)$$

dimana :

$$P = \text{daya aktif (watt)}$$

V = tegangan yang ada (KV)

I = besar arus yang mengalir (A)

$\cos \varphi$ = faktor kerja (standard PLN 0,85)

2.8.3 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang tidak terpakai dalam suatu sistem tenaga listrik. Adanya daya reaktif juga sering dipengaruhi oleh beban induktif atau kapasitif suatu rangkaian listrik.

$$\text{Untuk 1 } \phi : P = V \phi . I \phi . \sin \varphi \quad (2.17)$$

$$\text{Untuk 3 } \phi : P = \sqrt{3} . I_L . V_L . \sin \varphi \quad (2.18)$$

dimana :

Q = daya reaktif (VAR)

$\sin \varphi$ = faktor kerja (tergantung besarnya φ)

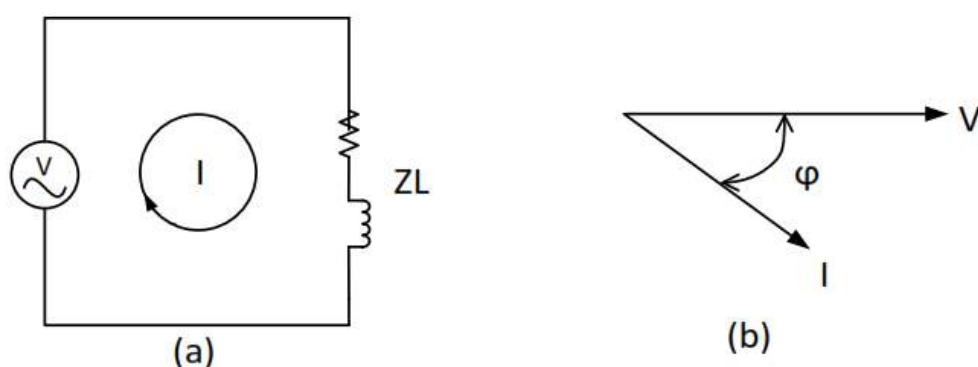
2.8.4 Faktor Daya

Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dalam satuan watt dan daya reaktif dalam satuan Volt Ampere Reaktif (VAR) dari daya yang disalurkan oleh pusat-pusat pembangkit ke beban. Nilai faktor daya ini mempengaruhi jumlah arus yang mengalir pada saluran untuk suatu beban yang sama.

Faktor daya salah satunya disebabkan oleh penggunaan peralatan pada pelanggan yang menyimpang dari syarat-syarat penyambungan yang telah ditetapkan dan dapat mengakibatkan pengaruh balik terhadap saluran, antara lain faktor daya yang rendah dan ketidakseimbangan beban. Rendahnya faktor daya disebabkan karena melebarinya sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya

yang terlalu rendah mengakibatkan rugi yang sangat besar pada saluran. Pergeseran sudut fasa antara arus dan tegangan ditentukan oleh sifat impedansi beban (resistif, induktif, kapasitif) yang dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik tersebut. Apabila beban mempunyai impedansi yang bersifat resistif, maka arus dan tegangan sefasa atau besarnya pergeseran sudut fasa sama dengan nol. Dengan demikian faktor daya sama dengan satu (unity power factor).

Impedansi beban bersifat induktif, vektor arus (I) terbelakang dari vektor tegangan (V), kondisi tersebut disebut faktor daya tertinggal (*lagging power factor*), seperti ditunjukkan dalam Gambar (2.11) Sedangkan untuk impedansi beban yang bersifat kapasitif, vektor arus (I) mendahului vektor tegangan (V), keadaan tersebut dinamakan faktor daya mendahului (*leading power factor*), seperti ditunjukkan dalam Gambar (2.12)

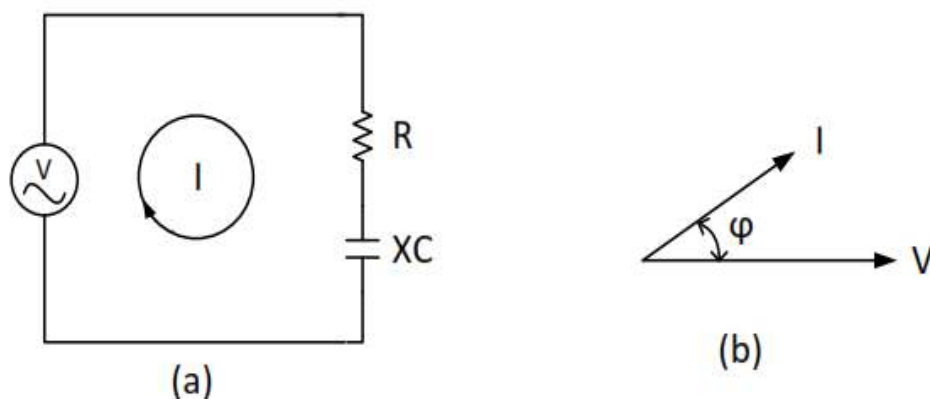


Gambar 2.11 Faktor Daya Tertinggal

- a. Rangkaian R dan L
- b. Diagram vektor I dan *lagging* terhadap V

Rumus faktor daya tertinggal yaitu :

$$\text{Faktor Daya (power factor)} = \frac{P}{S} = \frac{V.I.\sin\phi}{V.I} = \sin\phi$$



Gambar 2.12 Faktor Daya Mendahului

a. Rangkaian R dan C

b. Diagram vektor I dan *leading* terhadap V

$$\text{Faktor Daya (power factor)} = \frac{P}{S} = \frac{V.I.\sin\phi}{V.I} = \sin\phi$$

2.9 Rugi-rugi daya (*losses*)

Dalam teori listrik arus bolak balik penjumlahan daya dilakukan secara vektoris, yang dibentuk vektornya merupakan segitiga siku-siku, yang dikenal dengan segitiga daya. Sudut θ merupakan sudut pergeseran fasa, semakin besar sudutnya, semakin besar Daya Semu (S), dan semakin besar pula Daya Reaktif (Q), sehingga faktor dayanya ($\cos\theta$) semakin kecil. Perbandingan antara besar daya aktif dengan daya semu disebut faktor daya ($\cos\theta$), θ adalah sudut yang dibentuk antara daya aktif dan daya semu.

$$PF (\cos\theta) = \frac{P (\text{watt})}{S (\text{VA})} \quad (2.19)$$

Seperti diketahui, kerugian daya suatu saluran merupakan perkalian arus pangkat dua dengan resistansi atau reaktansi dari saluran tersebut.

Rugi-rugi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{- Rugi daya nyata} = I^2 \cdot R (\text{watt}) \quad (2.20)$$

$$- \text{Rugi daya reaktif} = I^2 \cdot X \text{ (watt)} \quad (2.21)$$

$$- \text{Rugi daya semu} = \sqrt{(I^2 \cdot R) + (I^2 \cdot X)} \quad (2.22)$$

Besarnya rugi daya pada beban 1 fasa dan 3 fasa dapat dituliskan adalah

$$P_{L.1\phi} = I_{1\phi}^2 R \text{ (watt)} \quad (2.23)$$

Dan

$$P_{L.3\phi} = \sqrt{3} \cdot I_{3\phi}^2 R \text{ (watt)} \quad (2.24)$$

Jika substitusikan persamaan diatas menjadi

$$\frac{P_{L.1\phi}}{P_{L.3\phi}} = 2.0 \quad (2.25)$$

2.10 Rugi Tegangan (*Drop Voltage*)

Suatu jaringan distribusi primer dikatakan kondisi tegangannya buruk apabila pada jaringan tersebut variasi tegangannya turun atau naik lebih dari tinggi dari harga yang diizinkan, sehingga mempengaruhi peralatan-peralatan listrik konsumen.

Timbulnya penurunan tegangan pada jaringan diakibatkan oleh adanya rugi tegangan pada jaringan/saluran atau peralatan yang membangun sistem jaringan distribusi primer tersebut. Besarnya rugi tegangan pada jaringan distribusi primer didefinisikan sebagai selisih tegangan antara sisi pangkal pengirim (V_S) dengan tegangan pada sisi ujung penerima (V_R), atau dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Delta V = V_S - V_R \quad (2.26)$$

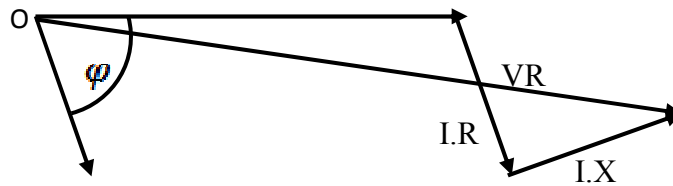
Dimana :

$$\Delta V = \text{rugi tegangan}$$

$$V_S = \text{tegangan pada sisi pangkal pengirim}$$

V_R = tegangan pada sisi ujung penerima

Berdasarkan rangkaian ekivalen saluran dapat digambarkan diagram vektor arus dan tegangan untuk beban dengan sudut daya tertinggal (lagging) seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 2.13 Diagram fasor saluran distribusi

Besar persentase rugi tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan persamaan :

$$\%V_{rugi} = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \quad (2.27)$$

Sedangkan untuk besarnya rugi tegangan untuk jaringan dalam volt dapat dihitung dengan persamaan berikut :

Untuk saluran distribusi 1 fasa :

$$\Delta V(1\phi) = (I.R \cos\phi + I.X \sin\phi) \quad (2.28)$$

Untuk saluran distribusi 3 fasa :

$$\Delta V(3\phi) = (I.R \cos\phi + I.X \sin\phi) \quad (2.29)$$

Keterangan :

ΔV = Rugi Tegangan (Volt)

V_s = Tegangan awal (Volt)

I = Arus (Ampere)

V_r = Tegangan akhir (Volt)

R = Resistansi (Ohm)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

X = Reaktansi (Ohm)

$\sin \varphi$ = Sudut reaktansi

2.10.1 Perhitungan Jatuh Tegangan

Pada pembahasan ini akan diuraikan tentang perhitungan jatuh tegangan pada penghantar jaringan distribusi, diambil perhitungan jatuh tegangan pada feeder Gardu Induk. Adapun yang akan dihitung disini adalah dari saluran sampai ke trafo terjauh dari GI, yaitu dari saluran utama tiga fasa 20 KV.

$$\begin{aligned} VD &= r \int_0^L i x dx \cos \varphi + \int_0^L i x dx \sin \varphi \\ &= r i \frac{L}{2} \cos \varphi + x i \frac{L}{2} \sin \varphi \\ &= \frac{L r}{2} I \cos \varphi + \frac{L x}{2} I \sin \varphi \end{aligned} \quad (2.30)$$

Dengan $\cos \varphi$ dan $\sin \varphi$ adalah faktor daya.

Faktor daya pada penghantar akan kita hitung berdasarkan data yang ada yaitu data beban lepas dari GI ke distribusi jaringan (Data I). Pada suatu rangkaian seri yang sederhana $Z = R + jx$ dengan mengingat $I \cdot Z$ sama dengan V , maka untuk beban 3 fase:

$$P = \sqrt{3} I_L^2 \cdot Z_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} V_L^2 \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} I_L^2 \cdot Z_L \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} V_L^2 \cdot I_L \cdot \sin \varphi$$

Kemudian dengan mengingat bahwa $R = Z \cos \varphi$, dan $X = Z \sin \varphi$, maka didapatkan:

$$P = \sqrt{3 I_L^2 \cdot R_L} \text{ dan } Q = \sqrt{3 I_L^2 \cdot X_L}$$

Selanjutnya didapatkan rumus faktor daya

$$\cos \phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (2.31)$$

Selanjutnya menghitung arus percabangan 3 ϕ , dimana diketahui data-datanya dari PLN Gardu Induk Pangkalan Berandan, maka arus percabangan 3 ϕ ini adalah $I_{cab\ 3\phi} = \text{total-kVA}/\text{tegangan pole}$.

2.11 Keseimbangan Daya 3 Fase

Suatu keseimbangan tiga fase dapat terjadi bila jaringan dengan hubungan Y- atau Δ mempunyai beban yang tetap. Karena beban simetris arus balik yang mengalir sama dengan nol masing-masing R_1 , R_2 , R_3 , mempunyai nilai yang sama namun berbeda nilai tegangannya sebesar 120° .

Untuk mencari keseimbangan bila menggunakan parameter beban tiga fasa maka dibuat rumus matematika linear yaitu nilai *mean* yang dapat dicari dari rumus.

$$\sum X = (X_1 + X_2 + X_3 + X_n)/n \quad (2.32)$$

Dengan $X_1 + X_2 + X_3 + X_n =$ nilai fasa pada sistem dan $n =$ jumlah fasa. Dengan cara diatas maka besar arus fasa yang seimbang adalah :

$$I_a = I_b = \dots = I_z = I_p = \text{ arus fasa}$$

$$\theta_a = \theta_b = \dots = \theta_z = \theta = \text{ sudut faktor daya}$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Adapun lokasi yang digunakan sebagai objek penelitian adalah PT. PLN (Persero) P3B Sumatera, Unit Pelayanan Transmisi Medan, Gardu Induk Pangkalan Brandan.

3.2 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Satu unit Notebook

Merk : Asus X450CC

Processor : Intel® Core™ i3-3217U CPU @1.80GHz

Installed memory (RAM) : 2048 MB RAM

System type : Windows 7 Ultimate 32 bit Operating system

Fungsi : Sebagai alat untuk pengetikan penelitian.

2. Satu unit flasdisk drive

Merk : Kingston

Kapasitas : 8 GB

Fungsi : Untuk memindahkan data – data yang dibutuhkan peneliti

3.3 Metode Pengumpulan Data

1. Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk mendalami materi pada area penelitian, sehingga penelitian dapat dilakukan sesuai dengan kondisi yang ada dilapangan. Selain itu juga untuk mengetahui karakteristik dari objek yang diteliti sehingga akan diketahui kendala dan hambatan yang mungkin dihadapi ketika melakukan penelitian.

2. Studi Pustaka

Pada tahap ini dilakukan pendalaman materi untuk penyelesaian masalah yang dirumuskan. Selain itu juga dilakukan pencarian literatur dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung penyelesaian pengolahan data penelitian terhadap studi lapangan. Informasi studi literatur sangat diperlukan untuk pelaksanaan penelitian. Pembahasan lebih mendalam telah diuraikan dalam Bab II Tinjauan Pustaka.

3. Wawancara

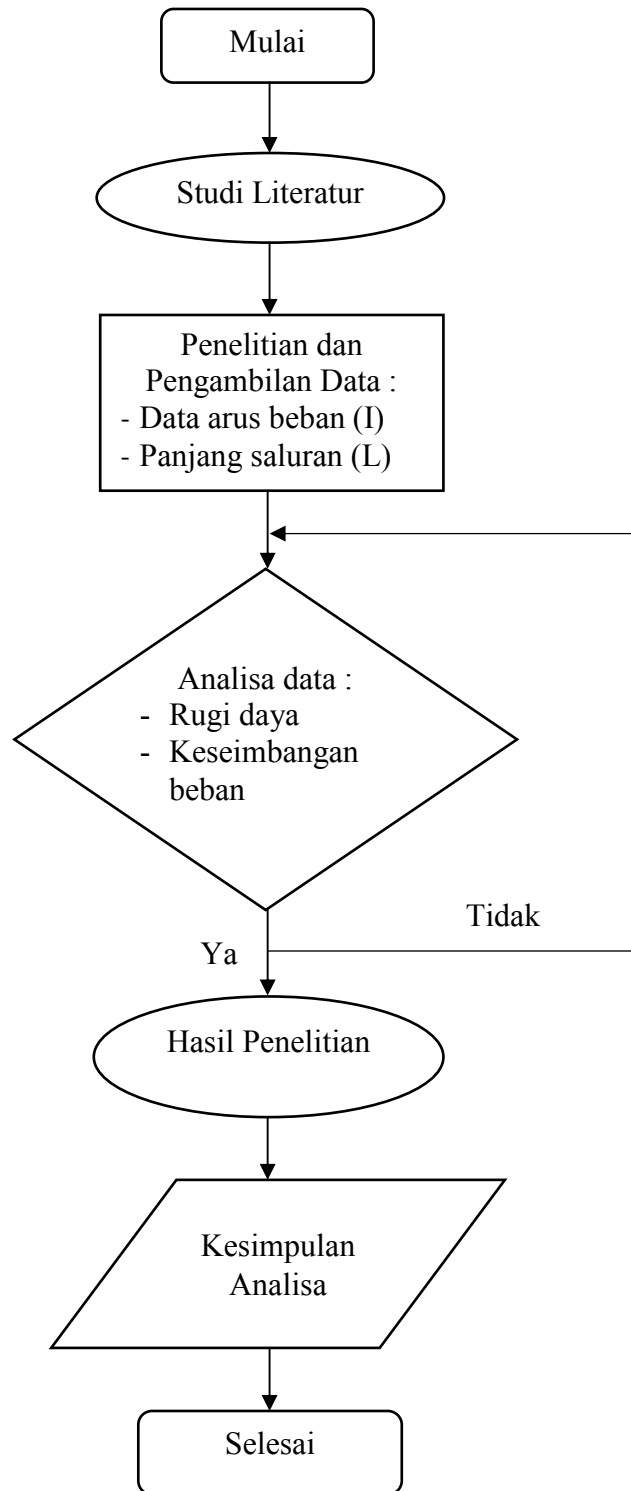
Wawancara merupakan komunikasi verbal untuk mengumpulkan informasi dari seseorang. Dengan menggunakan tanya jawab secara langsung terhadap penjaga gedung ataupun karyawan untuk mendapatkan data yang diperlukan.

4. Data penelitian

Data penelitian diambil pada periode bulan Juni 2017 selama satu bulan penuh.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Prosedur penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 *Flowchart* Penyusunan Tugas Akhir

BAB IV
ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

4.1 Jumlah Feeder/Penyulang GI Pangkalan Berandan

Gardu induk Pangkalan Berandan memiliki dua trafo daya yang melayani penyulang atau feeder sebanyak 7 penyulang dimana daftar nya dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1 Jumlah Penyulang 20 kV yang ada di GI Pangkalan Brandan

No.	Trafo Daya	Penyulang/ <i>Feeder</i>
1	Trafo Daya 1 (PAUWELS 60 MVA)	1. Melati (PB1) 2. Mawar (PB2) 3. Aster (PB3)
2	Trafo Daya 2 (UNINDO 30 MVA)	1. Anggrek (PK1) 2. Anyelir (PK2) 3. Akasia (PK3) 4. Tulip (PK4)

4.2 Panjang Saluran Masing-Masing Penyulang

Tabel 4.2 dibawah ini merupakan panjang saluran masing-masing penyulang yang ada pada Gardu induk Pangkalan Berandan.

Tabel 4.2 Panjang saluran masing-masing penyulang

No.	Penyulang	Panjang Saluran (m)
1	Melati (PB1)	34.000
2	Mawar (PB2)	23.500
3	Aster (PB3)	16.000
4	Anggrek (PK1)	22.000
5	Anyelir (PK2)	40.000
6	Akasia (PK3)	5.200
7	Tulip (PK4)	26.000

4.3 Perhitungan Besar Tahanan Penghantar

Kabel yang digunakan pada jaringan SUTM 20 kV yaitu kabel jenis AAAC dengan luas penampang 70mm^2 dengan besar tahanan jenis kabel penghantar $0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Dalam perhitungan besar tahanan penghantar berikut ini menggunakan persamaan (2.1) $R = \rho \frac{L}{A}$

Penyulang Melati (PB1) :

$$R = 0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \frac{34.000 \text{ m}}{70 \text{ mm}^2} = 17,486 \text{ ohm}$$

Penyulang Mawar (PB2) :

$$R = 0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \frac{23.500 \text{ m}}{70 \text{ mm}^2} = 12,086 \text{ ohm}$$

Penyulang Aster (PB3) :

$$R = 0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \frac{16.000 \text{ m}}{70 \text{ mm}^2} = 8,229 \text{ ohm}$$

Penyulang Anggrek (PK1) :

$$R = 0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \frac{22.000 \text{ m}}{70 \text{ mm}^2} = 11,314 \text{ ohm}$$

Penyulang Anyelir (PK2) :

$$R = 0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \frac{40.000 \text{ m}}{70 \text{ mm}^2} = 20,571 \text{ ohm}$$

Penyulang Akasia (PK3) :

$$R = 0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \frac{5.200 \text{ m}}{70 \text{ mm}^2} = 2,674 \text{ ohm}$$

Penyulang Tulip (PK4) :

$$R = 0,036 \Omega\text{mm}^2/\text{m} \frac{26.000 \text{ m}}{70 \text{ mm}^2} = 13,371 \text{ ohm}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat ditabelkan seperti berikut ini :

Tabel 4.3 Besar Tahanan Penghantar

Penyulang	$\rho(\Omega.\text{mm}^2/\text{m})$	L (m)	A(mm ²)	R(ohm)
Melati (PB1)	0,036	34.000	70	17,486
Mawar (PB2)	0,036	23.500	70	12,086
Aster (PB3)	0,036	16.000	70	8,229
Anggrek (PK1)	0,036	22.000	70	11,314
Anyelir (PK2)	0,036	40.000	70	20,571
Akasia (PK3)	0,036	5.200	70	2,674
Tulip (PK4)	0,036	26.000	70	13,371

4.4 Rugi-Rugi Daya Saluran

Setelah panjang saluran dan besar tahanan penghantar diketahui dapat dicari rugi-rugi daya nya menggunakan persamaan 2.21 yaitu $P = I^2 \cdot R$. Dibawah ini merupakan sebagian dari cara perhitungan rugi daya, dikarenakan terlalu banyaknya data yang akan diolah. Perhitungan pengolahan data sebenarnya dihitung menggunakan Microsoft Excel. Data Arus (I) dapat dilihat pada lampiran data beban harian.

Penyulang Melati (tanggal 1 Juni 2017)

$$P_R = I^2 \cdot R = 114^2 \cdot 17,486 = 227.248,056 \text{ W} = 227,248 \text{ kW}$$

$$P_S = I^2 \cdot R = 116^2 \cdot 17,486 = 235.291,616 \text{ W} = 235,292 \text{ kW}$$

$$P_T = I^2 \cdot R = 114^2 \cdot 17,486 = 227.248,056 \text{ W} = 227,248 \text{ kW}$$

Penyulang Melati (tanggal 2 Juni 2017)

$$P_R = I^2 \cdot R = 116^2 \cdot 17,486 = 235.291,616 \text{ W} = 235,292 \text{ kW}$$

$$P_S = I^2 \cdot R = 117^2 \cdot 17,486 = 239.361,747 \text{ W} = 239.362 \text{ kW}$$

$$P_T = I^2 \cdot R = 117^2 \cdot 17,486 = 239.361,747 \text{ W} = 239.362 \text{ kW}$$

Untuk mencari rata-ratanya dilakukan dengan perhitungan matematika mencari

rata-rata :

Penyulang Melati :

$$P_R = \frac{P_{R \text{ tanggal 1}} + P_{R \text{ tanggal 2}}}{2}$$

$$P_R = \frac{227,248 + 235,292}{2}$$

$$P_R = 231,27 \text{ kW}$$

$$P_S = \frac{P_{S \text{ tanggal 1}} + P_{S \text{ tanggal 2}}}{2}$$

$$P_S = \frac{235,292 + 235,292}{2}$$

$$P_S = 235,292 \text{ kW}$$

$$P_T = \frac{P_{T \text{ tanggal 1}} + P_{T \text{ tanggal 2}}}{2}$$

$$P_T = \frac{227,248 + 239,362}{2}$$

$$P_T = 233,305 \text{ kW}$$

Tabel 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 berikut ini akan menunjukkan rugi daya rata-rata perminggu masing-masing fasa pada saluran yang dihitung dengan menggunakan Microsoft Excel :

Tabel 4.4 Rata-rata Rugi Daya minggu pertama (01-07 Juni 2017)

No	Penyulang	Rugi Daya (P)		
		Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
1	Melati (PB1)	238,809	243,458	238,826
2	Mawar (PB2)	69,172	71,456	71,188
3	Aster (PB3)	257,388	264,767	260,548
4	Anggrek (PK1)	58,618	55,283	39,606
5	Anyelir (PK2)	685,727	584,931	690,416
6	Akasia (PK3)	44,599	121,828	45,566
7	Tulip (PK4)	163,445	169,027	163,685
Jumlah		1.517,759	1.679,776	1.509,834

Tabel 4.5 Rata-rata Rugi Daya minggu kedua (08-14 Juni 2017)

No	Penyulang	Rugi Daya (P)		
		Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
1	Melati (PB1)	244,461	250,103	244,315
2	Mawar (PB2)	78,243	81,765	79,804
3	Aster (PB3)	260,473	271,789	265,030
4	Anggrek (PK1)	58,096	55,687	39,889
5	Anyelir (PK2)	682,910	631,859	683,507
6	Akasia (PK3)	44,011	121,038	45,255
7	Tulip (PK4)	162,170	167,289	161,871
Jumlah		1.530,366	1.579,532	1.519,672

Tabel 4.6 Rata-rata Rugi Daya minggu ketiga (05-21 Juni 2017)

No	Penyulang	Rugi Daya (P)		
		Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
1	Melati (PB1)	232,730	235,380	231,117
2	Mawar (PB2)	71,982	74,735	74,057
3	Aster (PB3)	254,259	262,017	249,234
4	Anggrek (PK1)	59,079	55,612	39,333
5	Anyelir (PK2)	691,283	589,133	700,453
6	Akasia (PK3)	41,361	113,939	42,848
7	Tulip (PK4)	154,985	161,051	155,998
Jumlah		1.505,678	1.491,867	1493,041

Tabel 4.7 Rata-rata Rugi Daya minggu keempat (21-30 Juni 2017)

No	Penyulang	Rugi Daya (P)		
		Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
1	Melati (PB1)	196,204	198,717	195,639
2	Mawar (PB2)	55,335	57,665	57,341
3	Aster (PB3)	223,299	231,008	226,524
4	Anggrek (PK1)	57,067	54,359	40,499
5	Anyelir (PK2)	605,514	521,885	611,603
6	Akasia (PK3)	36,509	100,051	37,537
7	Tulip (PK4)	137,924	142,746	139,707
Jumlah		1.311,852	1.306,432	1308,851

Pada tabel rugi-rugi daya rata-rata dalam seminggu, dapat dilihat setiap minggunya penyulang anggrek, anyelir dan akasia mengalami perbedaan rugi-rugi daya pada masing-masing fasanya. Untuk dapat mengatasi ini kemudian dapat dicari nilai rata-rata :

Penyulang Anggrek :

$$R_{rata-rata} = \frac{R_{minggu1} + R_{minggu2} + R_{minggu3} + R_{minggu4}}{4}$$

$$R_{rata-rata} = \frac{58,618 + 58,096 + 59,079 + 57,067}{4}$$

$$R_{rata-rata} = 58,139 \text{ kW}$$

$$S_{rata-rata} = \frac{S_{minggu1} + S_{minggu2} + S_{minggu3} + S_{minggu4}}{4}$$

$$S_{rata-rata} = \frac{55,283 + 55,687 + 55,612 + 54,359}{4}$$

$$S_{rata-rata} = 55,177 \text{ Kw}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{T_{minggu1} + T_{minggu2} + T_{minggu3} + T_{minggu4}}{4}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{39,606 + 39,889 + 39,333 + 40,499}{4}$$

$$T_{rata-rata} = 39,876 \text{ kW}$$

Penyulang Anyelir :

$$R_{rata-rata} = \frac{R_{minggu1} + R_{minggu2} + R_{minggu3} + R_{minggu4}}{4}$$

$$R_{rata-rata} = \frac{685,727 + 682,910 + 691,283 + 605,514}{4}$$

$$R_{rata-rata} = 666,358 \text{ kW}$$

$$S_{rata-rata} = \frac{S_{minggu1} + S_{minggu2} + S_{minggu3} + S_{minggu4}}{4}$$

$$S_{rata-rata} = \frac{584,931 + 631,859 + 589,133 + 521,885}{4}$$

$$S_{rata-rata} = 581,952 \text{ Kw}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{T_{minggu1} + T_{minggu2} + T_{minggu3} + T_{minggu4}}{4}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{690,416 + 683,507 + 700,453 + 611,603}{4}$$

$$T_{rata-rata} = 671,495 \text{ kW}$$

Penyulang Akasia :

$$R_{rata-rata} = \frac{R_{minggu1} + R_{minggu2} + R_{minggu3} + R_{minggu4}}{4}$$

$$R_{rata-rata} = \frac{44,599 + 44,011 + 41,361 + 36,509}{4}$$

$$R_{rata-rata} = 41,279 \text{ kW}$$

$$S_{rata-rata} = \frac{S_{minggu1} + S_{minggu2} + S_{minggu3} + S_{minggu4}}{4}$$

$$S_{rata-rata} = \frac{121,828 + 121,038 + 113,939 + 100,051}{4}$$

$$S_{rata-rata} = 113,269 \text{ Kw}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{T_{minggu1} + T_{minggu2} + T_{minggu3} + T_{minggu4}}{4}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{45,566 + 45,255 + 42,848 + 37,537}{4}$$

$$T_{rata-rata} = 42,451 \text{ kW}$$

Dari hasil perhitungan rata-rata rugi daya perbulan dapat dibuat tabel seperti berikut ini :

Tabel 4.8 Rata-rata Rugi Daya Perbulan (01-30 Juni 2017)

No	Penyulang	Rugi Daya (P)		
		Fasa R (kW)	Fasa S (kW)	Fasa T (kW)
1	Anggrek (PK1)	58,139	55,177	39,876
2	Anyelir	666,358	581,952	671,495
2	Akasia (PK3)	41,279	113,269	42,451

Dari tabel 4.4 diatas dapat dilihat pada penyulang Anggrek dan Akasia terjadi ketidakseimbangan beban, terlihat dari rugi-rugi daya saluran perfasa nya yang berbeda jauh. Jadi yang akan dianalisis ketidakseimbangannya hanya penyulang/Feeder Anggrek dan Akasia.

4.5 Hasil Perhitungan Arus

Hasil perhitungan arus ini didapat dari data tabel 4.8. Hasil rata-rata rugi daya perbulan dapat dihitung arus rata-rata nya dengan menggunakan persamaan 2.21 sebagai berikut :

Penyulang Anggrek :

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$I_R = \sqrt{\frac{58,139 \text{ kW}}{11,314 \text{ ohm}}} = \sqrt{\frac{58.139 \text{ W}}{11,314 \text{ ohm}}} = 71,684 \text{ A}$$

$$I_S = \sqrt{\frac{55,177 \text{ kW}}{11,314 \text{ ohm}}} = \sqrt{\frac{55.177 \text{ W}}{11,314 \text{ ohm}}} = 69,834 \text{ A}$$

$$I_T = \sqrt{\frac{39,876 \text{ kW}}{11,314 \text{ ohm}}} = \sqrt{\frac{39.876 \text{ W}}{11,314 \text{ ohm}}} = 59,367 \text{ A}$$

Penyulang Anyelir :

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$I_R = \sqrt{\frac{666,358 \text{ kW}}{2,674 \text{ ohm}}} = \sqrt{\frac{666.358 \text{ W}}{20,571 \text{ ohm}}} = 179,981 \text{ A}$$

$$I_S = \sqrt{\frac{581,952 \text{ kW}}{2,674 \text{ ohm}}} = \sqrt{\frac{581.952 \text{ W}}{20,571 \text{ ohm}}} = 168,196 \text{ A}$$

$$I_T = \sqrt{\frac{671,495 \text{ kW}}{2,674 \text{ ohm}}} = \sqrt{\frac{671.495 \text{ W}}{20,571 \text{ ohm}}} = 180,673 \text{ A}$$

Penyulang Akasia :

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$I_R = \sqrt{\frac{41,279 \text{ kW}}{2,674 \text{ ohm}}} = \sqrt{\frac{41.279 \text{ W}}{2,674 \text{ ohm}}} = 124,246 \text{ A}$$

$$I_S = \sqrt{\frac{113,269 \text{ kW}}{2,674 \text{ ohm}}} = \sqrt{\frac{113.269 \text{ W}}{2,674 \text{ ohm}}} = 205,813 \text{ A}$$

$$I_T = \sqrt{\frac{42,451 \text{ kW}}{2,674 \text{ ohm}}} = \sqrt{\frac{42.451 \text{ W}}{2,674 \text{ ohm}}} = 125,997 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat dibuat tabel seperti berikut ini :

Tabel 4.9 Arus Beban penyulang Anggrek dan Akasia

Penyulang/ <i>Feeder</i>			
Fasa	Anggrek	Anyelir	Akasia
R	71,684 A	179,981 A	124,246 A
S	69,834 A	168,196 A	205,813 A
T	59,367 A	180,673 A	125,997 A

4.6 Perhitungan Keseimbangan Beban

Untuk mencari nilai keseimbangan beban dapat dicari dari hasil besar arus beban dengan data yg akan dihitung dari tabel 4.9. Untuk mencari nilai keseimbangan beban nya dapat dilakukan dengan mencari nilai *mean* (rata-rata) seperti pada matematika. Nilai *mean*(rata-rata) dapat dicari dengan persamaan (2.32).

a. Untuk penyulang/*Feeder* Anggrek

Diketahui $I_R = 71,684$ A, $I_S = 69,834$ A, $I_T = 59,367$ A, dengan persamaan (2.29) dapat dihitung sebagai berikut :

$$I = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I = \frac{71,684 + 69,834 + 59,367}{3}$$

$$I = 66,962 \text{ A}$$

Jadi nilai yang dikatakan seimbang untuk setiap fasa nya yaitu sebesar 66,962 A, tetapi tidak mungkin untuk mendapat nilai sesuai maka dari itu dilakukan pendekatan saja dengan cara memindahkan beban yang ada pada Fasa R sebanyak 6 A kemudian dipindahkan ke Fasa T, dengan demikian menjadi sebagai berikut :

1. Pada Fasa R menjadi $71,684 \text{ A} - 6 \text{ A} = 65,684 \text{ A}$
2. Pada Fasa S tetap $69,834 \text{ A}$
3. Pada Fasa T menjadi $59,367 + 6 \text{ A} = 65,367 \text{ A}$

Setelah didapat nilai keseimbangan beban kemudian dihitung kembali besar rugi-rugi daya nya dengan persamaan 2.21 sebagai berikut :

$$P_R = I^2 \cdot R = (65,684)^2 \cdot 11,314 = 48.812,984 \text{ W} = 48,813 \text{ kW}$$

$$P_S = I^2 \cdot R = (69,834)^2 \cdot 11,314 = 55.175,974 \text{ W} = 55,176 \text{ kW}$$

$$P_T = I^2 \cdot R = (65,367)^2 \cdot 11,314 = 48.342,965 \text{ W} = 48,343 \text{ kW}$$

Dengan demikian pada masing-masing fasa memiliki nilai beban yang hampir sama. Daya pada fasa sesudah keseimbangan yang dihitung dapat dibuat tabel 4.10 seperti dibawah ini :

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Dilakukan Penyeimbangan Beban Pada Penyulang Anggrek

Fasa	Rugi-rugi daya (P)	
	Sebelum dilakukan penyeimbangan beban	Sesudah dilakukan penyeimbangan beban
R	58,139 kW	48,813 kW
S	55,177 kW	55,176 kW
T	39,876 kW	48,343 kW
Jumlah	153,192 kW	152,332 kW

Berdasarkan hasil perhitungan yang dimuat dalam 4.10 besar rugi daya yang dapat dihilangkan jika beban sistem dalam keadaan seimbang yaitu $153,192 \text{ kW} - 152,332 \text{ kW} = 0,86 \text{ kW}$.

b. Untuk penyulang/*Feeder* Anyelir

Diketahui $I_R = 179,981 \text{ A}$, $I_S = 168,196 \text{ A}$, $I_T = 180,673 \text{ A}$, dengan persamaan (2.29) dapat dihitung sebagai berikut :

$$I = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I = \frac{179,981 + 168,196 + 180,673}{3}$$

$$I = 176,283 \text{ A}$$

Jadi nilai yang dikatakan seimbang untuk setiap fasa nya yaitu sebesar 176,283 A, tetapi tidak mungkin untuk mendapat nilai sesuai maka dari itu dilakukan pendekatan saja dengan cara memindahkan beban yang ada pada Fasa T sebanyak 10 A kemudian dipindahkan ke Fasa S, dengan demikian menjadi sebagai berikut :

1. Pada Fasa R tetap 179,981 A
2. Pada Fasa S menjadi $168,196 \text{ A} + 10 \text{ A} = 178,196 \text{ A}$
3. Pada Fasa T menjadi $180,673 \text{ A} - 10 \text{ A} = 170,673 \text{ A}$

Setelah didapat nilai keseimbangan beban kemudian dihitung kembali besar rugi-rugi daya nya dengan persamaan 2.21 sebagai berikut :

$$P_R = I^2 \cdot R = (179,981)^2 \cdot 20,571 = 666.358,702 \text{ W} = 666,358 \text{ kW}$$

$$P_S = I^2 \cdot R = (178,196)^2 \cdot 20,571 = 653.207,716 \text{ W} = 653,207 \text{ kW}$$

$$P_T = I^2 \cdot R = (170,673)^2 \cdot 20,571 = 599.218,273 \text{ W} = 599,218 \text{ kW}$$

Dengan demikian pada masing-masing fasa memiliki nilai beban yang hampir sama. Daya pada fasa sesudah keseimbangan yang dihitung dapat dibuat tabel 4.10 seperti dibawah ini :

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Dilakukan Penyeimbangan Beban Pada Penyulang Anyelir

Fasa	Rugi-rugi daya (P)	
	Sebelum dilakukan penyeimbangan beban	Sesudah dilakukan penyeimbangan beban
R	666,358 kW	666,358 kW
S	581,952 kW	653,207 kW
T	671,495 kW	599,218 kW
Jumlah	1.919,805 kW	1.918,783 kW

Berdasarkan hasil perhitungan yang dimuat dalam 4.10 besar rugi daya yang dapat dihilangkan jika beban sistem dalam keadaan seimbang yaitu $1.919,805 \text{ kW} - 1.918,783 \text{ kW} = 1.022 \text{ kW}$.

c. Untuk Penyulang/Feeder Akasia

Diketahui $I_R = 124,246 \text{ A}$, $I_S = 205,813 \text{ A}$, $I_T = 125,997 \text{ A}$, dengan persamaan (2.29) dapat dihitung sebagai berikut :

$$I = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I = \frac{124,246 + 205,813 + 125,997}{3}$$

$$I = 152,017 \text{ A}$$

Jadi nilai yang dikatakan seimbang untuk setiap fasanya yaitu sebesar 152,017 A, tetapi tidak mungkin untuk mendapat nilai sesuai perhitungan pada setiap fasanya maka dari itu dilakukan pendekatan saja dengan cara memindahkan beban yang ada pada Fasa S sebanyak 55 A, kemudian dipindahkan ke Fasa R sebanyak 30 A, dan ke Fasa T sebanyak 25 A dengan demikian menjadi sebagai berikut :

sebagai berikut :

1. Pada Fasa R menjadi $124,246 \text{ A} + 30 \text{ A} = 154,246 \text{ A}$
2. Pada Fasa S menjadi $205,813 \text{ A} - 55 \text{ A} = 150,813 \text{ A}$
3. Pada Fasa T menjadi $125,997 \text{ A} + 25 \text{ A} = 150,997 \text{ A}$

Setelah didapat nilai keseimbangan beban kemudian dihitung kembali besar rugi-rugi daya nya dengan persamaan 2.21 sebagai berikut :

$$P_R = I^2 \cdot R = (154,246)^2 \cdot 2,674 = 63.619,349 \text{ W} = 63,619 \text{ kW}$$

$$P_S = I^2 \cdot R = (150,813)^2 \cdot 2,674 = 60.818,956 \text{ W} = 60,819 \text{ kW}$$

$$P_T = I^2 \cdot R = (150,997)^2 \cdot 2,674 = 60.967,451 \text{ W} = 60,967 \text{ kW}$$

Dengan demikian pada masing-masing fasa memiliki nilai beban yang hampir sama. Daya pada fasa sesudah keseimbangan yang dihitung dapat dibuat tabel 4.11 seperti dibawah ini :

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Keseimbangan Pada Penyulang Akasia

Fasa	Rugi-Rugi Daya (P)	
	Sebelum dilakukan penyeimbangan beban	Sesudah dilakukan penyeimbangan beban
R	41,279 kW	63,619 kW
S	113,269 kW	60,819 kW
T	42,451 kW	60,967 kW
Jumlah	199,999 kW	185,405 kW

Berdasarkan hasil perhitungan yang dimuat dalam 4.11 besar rugi daya yang dapat dihilangkan jika beban sistem dalam keadaan seimbang yaitu $199,999 \text{ kW} - 185,405 \text{ kW} = 14,594 \text{ kW}$.

Pada kasus yang terjadi biasanya keseimbangan sistem dapat terjadi bila antara sisi teknis dan nonteknis dapat berjalan saling mendukung dan baik. Pada data yang telah dihitung dapat dianalisa bahwa sistem yang seimbang dipengaruhi oleh panjang dan luas penampang saluran, besarnya daya yang terpasang dan banyaknya konsumen atau beban

Secara umum sistem seimbang sangat sulit tercapai karena secara geografis daerah kita belum merata sehingga jarak saluran dari pembangkit ke konsumen sangat panjang, hal ini mempengaruhi besarnya daya yang mengalir pada saluran dapat semakin berkurang hal ini disebabkan oleh rugi-rugi daya pada saluran.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian dan perhitungan terhadap SUTM 20 KV di Gardu Induk Pangkalan Brandan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbandingan rugi-rugi daya ketika sebelum dan sesudah dilakukan penyeimbangan beban pada jaringan distribusi
 - a) Penyulang anggrek rugi-rugi awalnya yaitu pada fasa R = 58,139 kW, fasa S = 55,177 kW dan fasa T = 39,876 kW, setelah dilakukan penyeimbangan beban rugi-rugi daya berubah pada masing-masing fasa nya yaitu pada fasa R menjadi 48,813 kW, fasa S menjadi 653,207 kW dan fasa T menjadi 599,218 kW.
 - b) Penyulang Anyelir rugi-rugi awalnya yaitu pada fasa R = 666,358 kW, fasa S = 581,952 kW dan fasa T = 671,495 kW, setelah dilakukan penyeimbangan beban rugi-rugi daya berubah pada masing-masing fasa nya yaitu pada fasa R tetap 666,358 kW, fasa S menjadi 55,176 kW dan fasa T menjadi 48,343 kW.
 - c) Penyulang Akasia rugi-rugi awal nya pada fasa R= 41,279 kW, S= 113,269 kW dan T=42,451 kW, kemudian setelah dilakukan penyeimbangan beban rugi-rugi daya berubah pada masing-masing fasanya yaitu pada fasa R menjadi 63,619 kW, fasa S menjadi 60,819 kW dan fasa T menjadi 60,967 kW.

2. Dengan adanya usaha menyeimbangkan beban pada setiap fasa secara keseluruhan maka dapat mengurangi rugi-rugi daya pada penyulang Anggrek sebesar 0,86 kW, pada penyulang Anyelir sebesar 1,022 kW dan pada penyulang Akasia sebesar 14,594 kW.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian, maka penulis merekomendasikan berupa saran-saran sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan keandalan sistem sebaiknya PT. PLN (persero) khususnya Gardu Induk Pangkalan berandan lebih memperhatikan masalah pemerataan beban agar tidak terjadi ketidakseimbangan beban. Karena dampak dari hal ini dapat merugikan pihak PLN sendiri maupun konsumen.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan analisis mengenai perhitungan jatuh tegangannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Gonen T., 1986. Electric Power Distribution System Engineering. United States of America : McGraw-Hill.
- Hontong N. J., 2015. Analisa rugi-rugi daya pada jaringan distribusi di PT. PLN Palu. Jurnal Teknik Elektro UNSRAT.
- Hutauruk T. S., 1993. Transmisi Daya Listrik. Jakarta : Erlangga.
- Pabla A.S. dan Hadi A., 1989. Sistem Distribusi Daya Listrik. Jakarta : Erlangga.
- Saputra S. K., 2015. Analisa Keseimbangan Beban Sistem Distribusi 20 Kv Pada Penyulang Kutilang Supply Dari GI Seduduk Putih Menggunakan Etap 12.6. Jurnal Teknik Elektro Universitas Negeri Sriwijaya
- Suhadi dkk., 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sukmadi T. dan Winardi B., 2009. Perhitungan Dan Analisis Keseimbangan Beban Pada Sistem Distribusi 20 Kv Terhadap Rugi-Rugi Daya (studi kasus pada PT.PLN UPJ Slawi). Jurnal Teknik Elektro UNDIP.
- Sulasno, Ir., 2001. Analisis Sistem Tenaga Listrik. Semarang : Badan Penerbit UNDIP.
- Waluyo, 2007. Perhitungan susut daya pada sistem distribusi tegangan menengah saluran udara dan kabel. Jurnal Teknik Elektro ITENAS.

DIAGRAM SATU GARIS GARDU INDUK PANGKALAN BRANDAN

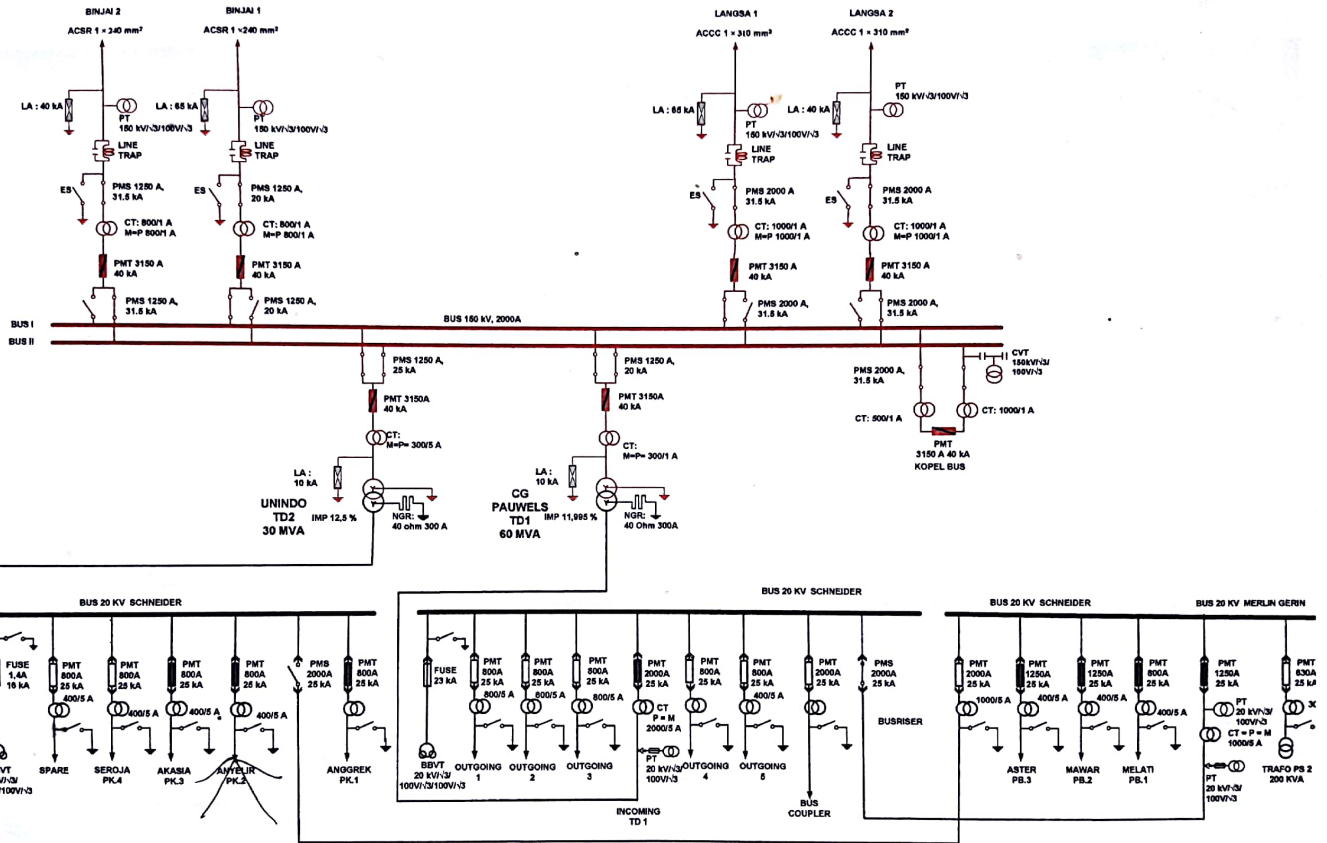


DIAGRAM SATU GARIS GARDU INDUK PANGKALAN BRANDAN		LEYENDARAN WARNA :
		150 kV
		20 kV
	Digambar : Reno Pratama	
	Direvisi : Herlon JA Hasibuan	
	Ditetujui : Abdul Salam Ngomro	
	Medan, 08 Mei 2017	