

**STUDI ANALISA PENYEIMBANGAN BEBAN PADA  
PENYULANG KBL05 PADA GARDU INDUK KALIBAKAL  
UNTUK PERBAIKAN SUSUT TEKNIS DAN TEGANGAN  
PELAYANAN MENGGUNAKAN ETAP 12.6**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu  
Syarat memperoleh Gelar S1 pada Prodi Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang



**OLEH :**

**PRARIARGA MAOLANA**

**30601401653**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2021**

**ANALISIS STUDY OF LOAD BALANCED ON FEEDER KBL05  
AT KALIBAKAL SUBSTATION FOR TECHNICAL LOSS AND  
SERVICE VOLTAGE REPAIR USE ETAP 12.6**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree  
(S1) at Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial  
Technology, Universitas Islam Sultan Agung*



**OLEH :**

**PRARIARGA MAOLANA**

**30601401653**

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING**

**FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY**

**UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

**SEMARANG**

**2021**

## LEMBAR PENGESAHAN BIMBINGAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**STUDI ANALISA PENYEIMBANGAN BEBAN PADA PENYULANG KBL05 PADA Gardu Induk Kalibakal Untuk Perbaikan Susut Teknis dan Tegangan Pelayanan Menggunakan Etap 12.6**” ini disusun oleh :

Nama : Prariarga Maolana

NIM : 30601401653

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

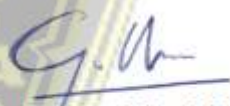
Hari : Senin

Tanggal : 13 Desember 2021

Pembimbing I

Pembimbing II

  
Ir. Ida Widiastuti, M.T.  
NIDN : 0005036501

  
Gunawan, S.T., M.T.  
NIDN : 0607117101

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik  
Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.  
NIDN : 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**STUDI ANALISA PENYEIMBANGAN BEBAN PADA PENYULANG KBL05 PADA GARDU INDUK KALIBAKAL UNTUK PERBAIKAN SUSUT TEKNIS DAN TEGANGAN PELAYANAN MENGGUNAKAN ETAP 12.6**” Telah dipertahankan didepan Dosen Penguji Tugas

Ahir :

Hari : Senin

Tanggal : 13 Desember 2021

### TIM PENGUJI

Anggota 1



Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.  
NIDN. 0628086501

Anggota 2



Agus Suprajitno, S.T., M.T.  
NIDN. 0602047301

Ketua Penguji



Dedi Nugroho, S.T., M.T.  
NIND. 0617126602

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Prariarga Maolana

NIM : 30601401653

Judul Tugas Akhir : **STUDI ANALISA PENYEIMBANGAN BEBAN**

**PADA PENYULANG KBL05 PADA GARDU**

**INDUK KALIBAKAL UNTUK PERBAIKAN**

**SUSUT TEKNIS DAN TEGANGAN PELAYANAN**

**MENGGUNAKAN ETAP 12.6**

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 12 April 2021

Yang Menyatakan

Prariarga Maolana

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Prariarga Maolana  
NIM : 30601401653  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri  
Alamat Asal : Perum Griya Mukyi Indah Blok D 111 Desa Kecepak  
Kec Batang Kab Batang

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa tugas Ahir dengan judul : **STUDI ANALISA PENYEIMBANGAN BEBAN PADA PENYULANG KBL05 PADA GARDU INDUK KALIBAKAL UNTUK PERBAIKAN SUSUT TEKNIS DAN TEGANGAN PELAYANAN MENGGUNAKAN ETAP 12.6.**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 12 Juni 2021

Yang Menyatakan



Prariarga Maolana

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

- a) Kedua orang tua tercinta
- b) Wulan Maysari dan Ketiga Anak Saya ( Safira , Kanta dan Lana )
- c) Rekan – rekan PLN mahasiswa UNISSULA
- d) Semua Dosen UNISSULA



## **MOTO**

**SEMANGAT BERJUANG PANTANG MENYERAH TIDAK LUPA DIIRINGI  
DENGAN DOA DAN RESTU ORANG TUA**



## KATA PENGANTAR

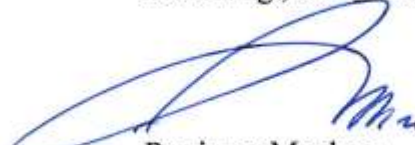
Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat hidayah dan rahmatNya akhirnya penulis mampu menyelesaikan Skripsi ini. Skripsi ini disusun guna memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Skripsi ini tidak mungkin dapat terselesaikan tanpa bantuan dari banyak pihak. Maka pada kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro
3. Ibu Ir. Ida Widiastuti, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I skripsi.
4. Bapak Gunawan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II skripsi.
5. Seluruh Jajaran dosen dan Staf Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Keluarga Pegawai PT PLN ( Persero ) Unit Layanan Pelanggan Purwokerto Kota, yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian tugas Akhir..
7. Kawanku yang tidak bisa disebut satu persatu, yang telah banyak membantu dalam motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih mempunyai banyak kekurangan. Kritik dan saran sangat penulis harapkan demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Semarang , 30 Oktober 2021



Prariarga Maolana

## DAFTAR ISI

|                                                     |      |
|-----------------------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL.....                                  | i    |
| HALAMAN JUDUL.....                                  | ii   |
| LEMBAR PENGESAHAN BIMBINGAN .....                   | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....                     | ii   |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....                      | iii  |
| PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH ..... | iv   |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....                           | v    |
| MOTO .....                                          | vi   |
| KATA PENGANTAR .....                                | vii  |
| DAFTAR ISI.....                                     | viii |
| DAFTAR GAMBAR .....                                 | xi   |
| DAFTAR TABEL.....                                   | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN.....                              | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                            | 1    |
| 1.2 Perumusan Masalah.....                          | 2    |
| 1.3 Pembatasan Masalah .....                        | 2    |
| 1.4 Tujuan.....                                     | 3    |
| 1.5 Manfaat.....                                    | 3    |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....                      | 4    |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....     | 6    |
| 2.1 Tinjauan Pustaka .....                          | 6    |

|        |                                           |    |
|--------|-------------------------------------------|----|
| 2.2    | Landasan Teori .....                      | 8  |
| 2.2.1  | Sistem Distribusi .....                   | 8  |
| 2.2.2  | Peralatan Sistem Distribusi .....         | 16 |
| 2.2.3  | Trafo Tenaga .....                        | 18 |
| 2.2.4  | OLTC ( On Load Tap Changer ) .....        | 20 |
| 2.2.5  | Konduktor Pada Sistem 20 kV .....         | 23 |
| 2.2.6  | Ketidak Seimbangan Beban .....            | 25 |
| 2.2.7  | Arus Netral Beban Tidak Seimbang .....    | 26 |
| 2.2.8  | Penyaluran dan Susut Daya .....           | 28 |
| 2.2.9  | Perhitungan dan Rugi Rugi Penyulang. .... | 29 |
| 2.2.10 | Tegangan Jatuh atau Drop Voltage .....    | 32 |
| 2.2.11 | Persamaan Aliran Daya .....               | 34 |
| 2.2.12 | Metode Perhitungan Aliran Daya .....      | 36 |
| 2.2.13 | ETAP Power Station 12.6 .....             | 38 |
| BAB 3  | METODE PENELITIAN .....                   | 41 |
| 3.1    | Tempat dan Waktu Penelitian .....         | 41 |
| 3.2    | Metode Penelitian .....                   | 41 |
| 3.3    | Alur penelitian .....                     | 43 |
| BAB 4  | HASIL dan PEMBAHASAN .....                | 45 |
| 4.1    | Data Pembebanan GI Kalibakal .....        | 45 |
| 4.2    | Single Line Diagram KBL05 .....           | 46 |
| 4.3    | Perhitungan Arus Netral KBL05 .....       | 46 |
| 4.4    | Jaringan Distribusi Penyulang KBL05 ..... | 48 |

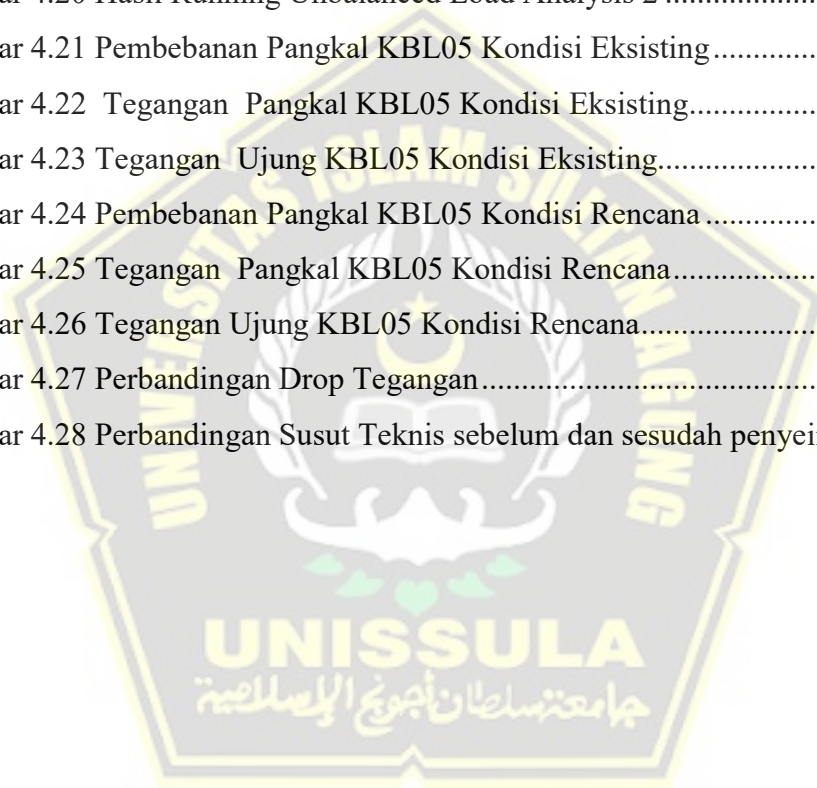
|       |                                                                |    |
|-------|----------------------------------------------------------------|----|
| 4.5   | Pemodelan Single Line Pada Program ETAB.....                   | 48 |
| 4.6   | Hasil Simulasi Susut Daya .....                                | 64 |
| 4.7   | Hasil Simulasi Drop Tegangan.....                              | 71 |
| 4.8   | Perbandingan Data Sebelum dan Sesudah Penyeimbangan Beban..... | 76 |
| BAB 5 | KESIMPULAN .....                                               | 78 |
| 5.1   | Kesimpulan.....                                                | 78 |
| 5.2   | Saran .....                                                    | 78 |
|       | DAFTAR PUSTAKA .....                                           | 79 |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Komponen penyusun sistem distribusi [5].....                        | 9  |
| Gambar 2.2 Pembagian/Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik [5]..... | 11 |
| Gambar 2.3 Sistem Jaringan Distribusi Radial [6] .....                         | 12 |
| Gambar 2.4 Sistem Jaringan Distribusi Loop [6] .....                           | 13 |
| Gambar 2.5 Sistem Jaringan Distribusi Loop [6] .....                           | 14 |
| Gambar 2.6 Hubungan Tegangan Menengah ke.....                                  | 14 |
| Gambar 2.7 Trafo Tenaga 150 kV / 20 kV GI Kalibakal.....                       | 18 |
| Gambar 2.8. Komponen / Bagiam – Bagian OLTC.....                               | 22 |
| Gambar 2.9. Konduktor AAAC .....                                               | 23 |
| Gambar 2.10. Kabel NA2XSEYBY 3x240mm2 .....                                    | 24 |
| Gambar 2.11. Vektor Diagram Arus [8] .....                                     | 26 |
| Gambar 2.12. Segitiga Daya. ....                                               | 29 |
| Gambar 2.13 Persamaan Daya Semu terhadap daya Aktif dan Reaktif.....           | 30 |
| Gambar 2.14 Persamaan Daya terhadap Arus dan Tegangan .....                    | 31 |
| Gambar 2.15. Rangkaian <i>ekivalen</i> distribusi listrik .....                | 33 |
| Gambar 2.16 Persamaan Impedansi terhadap Resistansi dan Reaktansi .....        | 33 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....                                        | 44 |
| Gambar 4.1 <i>Single line</i> diagram Gardu Induk Kalibakal.....               | 46 |
| Gambar 4.2 Diagram Vektor Arus 3 Phasa.....                                    | 46 |
| Gambar 4.3 <i>Power Grid Editor</i> .....                                      | 49 |
| Gambar 4.4 Simbol <i>Power Grid</i> .....                                      | 49 |
| Gambar 4.5 Tranformator Rating.....                                            | 50 |
| Gambar 4.6 <i>Tranformator Rating</i> .....                                    | 51 |
| Gambar 4.7 Simbol <i>Tranformator</i> .....                                    | 51 |
| Gambar 4.8 Cable impedance Editor .....                                        | 52 |
| Gambar 4.9 Data Panjang Kawat Penghantar .....                                 | 53 |
| Gambar 4.10 2 <i>Winding Trafo Editor</i> .....                                | 54 |
| Gambar 4.11 <i>Load Editor</i> ( 3 Phasa ) .....                               | 55 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.12 <i>Load Editor</i> ( 1 Phasa ) .....                                   | 56 |
| Gambar 4.13 Langkah menjalankan program <i>Unbalanced Load Flow Analysis</i> ..... | 57 |
| Gambar 4.14 Hasil <i>running</i> sebelum pemerataan beban .....                    | 58 |
| Gambar 4.15 Taping 1 Phasa 20 kV .....                                             | 60 |
| Gambar 4.16 Sambungan Trafo 1 Phasa Pada Jalur Utama 20 kV .....                   | 62 |
| Gambar 4.17 Hasil Running Unbalanced Load Analysis .....                           | 65 |
| Gambar 4.18 Unbalanced Load Flow Manager KBL05 Existing.....                       | 66 |
| Gambar 4.19 Lump Load Editor .....                                                 | 70 |
| Gambar 4.20 Hasil Running Unbalanced Load Analysis 2 .....                         | 70 |
| Gambar 4.21 Pembebanan Pangkal KBL05 Kondisi Eksisting.....                        | 72 |
| Gambar 4.22 Tegangan Pangkal KBL05 Kondisi Eksisting.....                          | 73 |
| Gambar 4.23 Tegangan Ujung KBL05 Kondisi Eksisting.....                            | 73 |
| Gambar 4.24 Pembebanan Pangkal KBL05 Kondisi Rencana .....                         | 74 |
| Gambar 4.25 Tegangan Pangkal KBL05 Kondisi Rencana.....                            | 75 |
| Gambar 4.26 Tegangan Ujung KBL05 Kondisi Rencana.....                              | 75 |
| Gambar 4.27 Perbandingan Drop Tegangan.....                                        | 77 |
| Gambar 4.28 Perbandingan Susut Teknis sebelum dan sesudah penyeimbangan .....      | 77 |



## DAFTAR TABEL

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1. Tahanan ( R ) dan reaktansi ( XL ) Penghantar AAAC 20 kV [7] .....            | 24 |
| Tabel 2.2. Tahanan ( R ) dan reaktansi ( XL ) penghantar NA2XSEYBY (IEC. 502)<br>.....   | 25 |
| Tabel 4.1 Pembebanan GI Kalibakal 01 Juni 2021 .....                                     | 45 |
| Tabel 4.2 Spesifikasi Trafo Tenaga .....                                                 | 52 |
| Tabel 4.3 Namplate Trafo CSP 1 Phasa.....                                                | 54 |
| Tabel 4.4 Namplate Trafo Distribusi 3 Phasa .....                                        | 55 |
| Tabel 4.5 Pengukuran Taping 1 Phasa 20 kV .....                                          | 59 |
| Tabel 4.6 Sambungan Phasa dan Pengukuran Trafo CSP pada Jalur Utama.....                 | 60 |
| Tabel 4.7 Beban Pelanggan 3 Phasa .....                                                  | 62 |
| Tabel 4.8 Ketidakseimbangan beban KBL05 .....                                            | 64 |
| Tabel 4.9 Branch Losses Summary Report KBL 05 Exsisting.....                             | 66 |
| Tabel 4.10 <i>Summay of Total Generation , loading &amp; Demand</i> .....                | 67 |
| Tabel 4.11 Rencana Pemindahan Beban Trafo CSP.....                                       | 69 |
| Tabel 4.12 Rencana Pemindahan Beban Jaringan 1 Phasa .....                               | 69 |
| Tabel 4.13 Ketidakseimbangan Beban Per Section .....                                     | 70 |
| Tabel 4.14 Summary of total Generation , loading & Demand 2 .....                        | 71 |
| Tabel 4.15 : Tabel Perbandingan Sebelum dan Sesuddah Rencana Penyeimbangan<br>Beban..... | 76 |
| Tabel 4.16 Perbandingan Drop Tegangan.....                                               | 76 |
| Tabel 4.17 Perbandingan Susut Teknis sebelum dan sesudah penyeimbangan.....              | 77 |

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem Tenaga listrik yang dikelola PLN merupakan Sistem Interkoneksi dimana masing-masing Pembangkit terhubung dalam Jaringan Transmisi 500 kV dan ditransformasikan menjadi Beberapa Subsistem 150 kV. Tegangan menjadi salah satu parameter pelayanan PLN dalam melayani konsumen. Sistem 150 kV di Jawa Tengah terbagi menjadi 5 Subsistem. Dalam subsistem ini terdapat beberapa Gardu induk 150 kV sebagai Pusat Pembagi beban dan Transformasi tegangan dari tegangan 150 kV menjadi tegangan pelayanan baik pada tegangan Menengah atau tegangan Rendah. Fluktuasi tegangan 150 kV pada Jaringan transmisi dapat diantisipasi oleh OLTC Trafo Tenaga dimana Tegangan keluaran akan senantiasa dijaga pada seting Center Tap sebesar 20,5 kV. Gardu Induk Kalibakal adalah Gardu Induk Pada Subsistem Jawatengah bagian Selatan. Total Kapasitas Trafo GI Kalibakali adalah 230 MVA dengan Persentase pembebanan sebesar 79 MVA dengan persentase pembebanan 34.3 % dan Panjang Jaringan 228,03 kms, dengan daerah cakupan layanan Kabupaten Banyumas dan Sekitarnya.

Dari hasil Pembacaan Tegangan Pelayanan pada Tegangan Ujung ditemukan perbedaan Tegangan secara Linier pada Penyulang KBL05 dengan besar masing masing fasa 10,93 kV , 11,19 dan 10,21 kV. dengan Tegangan Terendah di Fasa T yaitu 10,21 kV. Sesuai SPLN 72 Tahun 1987 pasal 19 ayat 1 batas bawah tegangan yang diijinkan untuk Jaringan Distribusi Tegangan menengah sebesar 5% untuk JTM dengan konfigurasi radial [1] . Tegangan pada Fasa T turun sebar 11,51 % dari tegangan nominal 1 Fasa yaitu 11,54 kV. Angka tersebut melewati batas tegangan standar pelayanan.

Munculnya arus netral pada masing masing penyulang sebagai dampak ketidakseimbangan pembebanan Jaringan Tegangan Menengah , dengan besaran terendah 5.6 A dan tertinggi 63,79 A dengan persentase ketidakseimbangan beban 12,4%. Ketidakseimbangan beban pada penyulang KBL 05 melebihi standard IEC ketidak seimbangan beban yang diijinkan adalah 5% dengan Kondisi diatas maka perlu dilakukan Studi dengan Judul “ANALISA PENYEIMBANGAN BEBAN PADA PENYULANG KBL05 PADA GARDU INDUK KALIBAKAL UNTUK PERBAIKAN SUSUT TEKNIS DAN TEGANGAN PELAYANAN MENGGUNAKAN ETAB 12.6 “.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana dampak ketidakseimbangan beban terhadap Arus netral pada system 3 Fasa 4 Kawat ?
2. Bagaimana dampak ketidakseimbangan beban dan Impedansi Jaringan Penyulang KBL05 terhadap susut Jaringan ?
3. Bagaimana dampak ketidakseimbangan beban dan Impedansi Jaringan Penyulang KBL05 terhadap Drop Tegangan ?
4. Apakah Penyeimbangan Beban dapat memperbaiki Susut Teknis dan Drop Tegangan ?

## 1.3 Pembatasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Tugas akhir ini berdasarkan observasi lapangan pada tegangan GI Kalibakal Trafo 3 60 MVA pada Penyulang KBL05

2. Pengambilan data Load Profile dan Realtime Pembebanan pada KWH Meter Trafo 3 GI Kalibakal menggunakan Sistem AMR ( Automatic Meter Reading )
3. Pengambilan data spesifikasi Aset dan Panjang Jaringan pada penyulang KBL05
4. Perhitungan dampak ketidak seimbangan beban dan Sifat beban pada jaringan terhadap susut Jaringan Tegangan menengah 20 kV.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mendapatkan hasil perhitungan susut teknis pada kondisi eksisting
2. Merencanakan penyeimbangan beban penyulang KBL5 dengan melakukan penataan ulang sambungan 1 phasa .
3. Rencana penyeimbangan beban tersebut akan dianalisa kembali dampak terhadap Tegangan Pelanayan dan Susut Teknis.
4. Mendapatkan Perbandingan Dampak susut Teknis dari Perubahan kondisi Pebebanan yang seimbang menggunakan Aplikasi ETAP 12.6

#### 1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari skripsi ini adalah mendapatkan perhitungan susut teknis pada Penyulang 20 kV . Implementasi perangkat lunak analisis aliran daya yang berupa ETAP untuk proses analisis merupakan manfaat teknologi. Sedangkan manfaat ekonomi adalah dengan diketahuinya nilai *losses* yang ditimbulkan akibat ketidakseimbangan beban, selanjutnya akan dapat dilakukan perbaikan *losses* yang terjadi pada jaringan 20 kV dengan metode pemerataan beban sehingga menjadikan sistem bekerja secara efektif.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah melihat dan mengetahui pembahasan yang ada pada skripsi ini secara menyeluruh, maka perlu dikemukakan sistematika untuk memahami permasalahan pada Tugas Akhir dengan sistematika sebagai berikut:

### **BAB I                      PENDAHULUAN**

Pada bab ini menjelaskan diantaranya, latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan serta sistematika penulisan tugas akhir.

### **BAB II                      TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.**

Tinjauan Pustaka yang berisi Ringkassamn dari Jurnal .Landasam Teori diantaranya Sistem Distribusi, Peralatan Sistem Jaringan Distribusi, Koordinasi Proteksi ,Impedansi Hantaran Tegangan Menengahdan .Rumus rumas yang digunakan diantaranya Daya Listrik, Drop Tegangan, Susut Daya dan Software ETAP 12.6 untuk digunakan dalam simulasi Perhitungan Drop Tegangan dan Susut Daya.

### **BAB III                      METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang bagaimana metode / cara yang dipilih agar setiap rencana pada tujuan dapat dicapai. Data data Spesifikasi Peralatan Seperti Trafo Tenaga , Perlalatan Switching, Jenis dan diameter Konduktor dan Sigle line diagram didapatkan dari Data Aset PT. PLN ( Persero ) ULP Purwokerto Kota. Hasil Pengukuran diambil melalui Loog Book Pengukuran baik dari

Pembacaan KWH Meter PLN atau Pengukuran Manual menggunakan Ampere Meter Tegangan Menengah. Kemudian Data Dimasukkan ke software ETAP 12.6 dan dianalisa Load Flownya.

#### **BAB IV**

#### **HASIL dan PEMBAHASAN**

Berisi bagaimana proses Permasalahan Ketidakseimbangan beban diselesaikan dengan metode metode Penyeimbangan beban Persection. Pengolahan data parameter parameter yang dimasukkan ke Aplikasi Etap 12.6. Sehingga Muncul Pembebanan masing masing Phasa pada setiap Section . kemudian dibuat Rencanan Pembagian Beban persection dan membuat Perbandingan Hasil Susut Teknis dan Drop Tegangan pada Penyulang KBL05 pada kondisi sebelum dan Sesudah Penyeimbangan beban.

#### **BAB V**

#### **KESIMPULAN**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari seluruh penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan dapat dikemukakan masalah yang ada pada penelitian serta hasil dari penyelesaian penelitian yang bersifat analisis obyektif. Sedangkan saran berisi mencantumkan jalan keluar untuk mengatasi masalah dan kelemahan yang ada. Saran ini tidak lepas ditujukan untuk ruang lingkup penelitian.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang berperan menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya sampai ke pusat - pusat beban. Jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi jaringan distribusi primer dan sekunder. Jaringan distribusi primer adalah jaringan listrik yang dimulai dari sisi sekunder trafo pada Gardu Induk sampai ke sisi primer gardu distribusi. Jaringan distribusi primer biasa disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM) memiliki tegangan kerja 20 kV. Sedangkan jaringan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR) adalah jaringan listrik yang berasal dari sisi sekunder gardu distribusi sampai ke konsumen dengan tegangan kerja 220/380 V.

Dalam Jurnal yang ditulis oleh EKO PRASETIYO, berjudul “RUGI RUGI DAYA AKIBAT BEBAN TIDAK SEIMBANG PENYULANG 03 GARDU INDUK RAWALO”, menjelaskan pada jurnal penelitian ini mengenai ketidakseimbangan beban sering terjadi karena pembagian beban pada trafo distribusi yang tidak merata. Ketidakseimbangan beban akan mengakibatkan adanya arus pada penghantar netral untuk sistem tiga fasa - empat kawat yang mengakibatkan rugi daya akibat arus netral. Semakin besar ketidakseimbangan beban pada jaringan listrik, arus netral menjadi semakin besar [2].

Dalam Jurnal yang ditulis oleh Eko Hadiyanto , berjudul “REDUKSI DROP VOLTAGE PENYULANG JPR05 DAN JPR10” Dengan Pembangunan Penyulang Baru”. Penelitian ini menjelaskan mengenai drop tegangan berpotensi mengurangi kualitas penyaluran listrik pada penyulang tersebut sesuai Standar SPLN T6:001 2013 menyatakan “ Tegangan tertinggi dan terendah tidak boleh dari  $\pm 10\%$  dari tegangan Sistem. Bila drop tegangan diluar

batas toleransi yang diijinkan akan berdampak pada pemborosan Energi listrik yang diproduksi dengan yang diterima. Dampak dari permasalahan tersebut mengakibatkan kerugian perusahaan penyedia listrik juga konsumen Energi Listrik. Pada Penyulang JPR05 dengan Drop Voltage 2,4 kV dan JPR10 sebesar 2,6 kV dari tegangan Sistem 20 kV salah satu cara untuk memperbaiki Drop Voltage pada permasalahan ini adalah dengan membangun jaringan baru untuk mengurangi beban dan memperpendek Jarak [3]

Dalam Jurnal yang ditulis oleh Zidan Abdul Aziz , berjudul “ PERHITUNGAN JATUH TEGANGAN PADA JTM DARI TBL 06 SAMPAI KE UJUNG DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI ETAP DI PT. PLN (PERSERO) UP3 SEMARANG”. Penelitian ini menjelaskan mengenai Pengaturan susut tegangan pada PT. PLN (Persero) UP3 Semarang guna menjaga kualitas suatu jaringan dan untuk meminimalisir kerugian yang terjadi akibat susut tegangan. Terdapat beberapa cara dalam memperbaiki susut atau mengurangi persentase susut tegangan salah satunya dengan menggunakan Tap Changer. Tap changer adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan / primer yang berubah-ubah. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung besarnya susut tegangan dengan program etap dan bagaimana cara mengatasinya pada trafo menggunakan tap changer dan seperti apa pengaturan pada tap changer. Hasil dari pengamatan, pengujian dan persentase susut tegangan yang menggunakan etap 12.6 yang telah dilakukan adalah sebesar 2,17%. Angka itu masih termasuk batas toleransi susut tegangan yaitu dibawah 5%. Sehingga hasil susut tegangan pada penyulang masih baik dan tidak perlu dilakukan tapping pada tap changer karena masih terjaga keandalannya [4]

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Sistem Distribusi

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen [5].

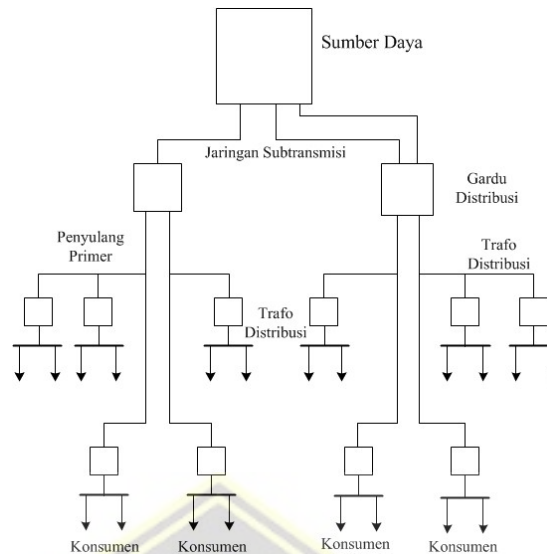
Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

1. pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
2. merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ( $I^2 \cdot R$ ).

Di Gardu Induk Tegangan dari Transmisi ditransformasikan menggunakan Trafo Tenaga menjadi Tegangan 20 kV dan didistribusikan melalui Jalur Jalur Penyulang 20kV . Kemudian tegangan 20 kV dibagikan ke pelanggan – pelanggan Industri atau daya diatas 200 kVA dan diterima Trafo Distribusi untuk didistribusikan ke konsumen tegangan rendah 220 V / 381 V.

Kemudian di alirkan melalui sistem jaringan tegangan rendah ke konsumen dengan bagan sebagai berikut.



Gambar 2.1 Komponen penyusun sistem distribusi [5]

Secara umum yang termasuk ke dalam sistem distribusi antara lain

a. Sumber Daya

Sumber daya mewakili sebuah jaringan yang memiliki daya besar yang kemudian akan disalurkan ke gardu distribusi utama.

b. Jaringan Subtransmisi

Jaringan Subtransmisi berfungsi untuk mengalirkan daya dari sumber daya listrik yang besar menuju gardu distribusi utama.

c. Gardu Distribusi Utama

Gardu distribusi merupakan unit dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari GI atau dari jaringan subtransmisi untuk kemudian disalurkan kepada penyalang primer atau langsung kepada konsumen.

d. Saluran penyalang primer

Saluran penyulang primer berfungsi sebagai penghubung antara gardu distribusi utama dengan gardu transformator distribusi. Penyulang primer sistem distribusi di Indonesia umumnya menggunakan tegangan 20 kV.

e. Transformator distribusi

Transformator distribusi berfungsi untuk mengubah tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (220/380 V). kemudian daya dengan tegangan rendah disalurkan ke konsumen.

f. Rangkaian sekunder

Rangkaian sekunder merupakan rangkaian yang berasal dari transformator distribusi yang berfungsi melayani konsumen yang tersebar di seluruh jaringan distribusi.

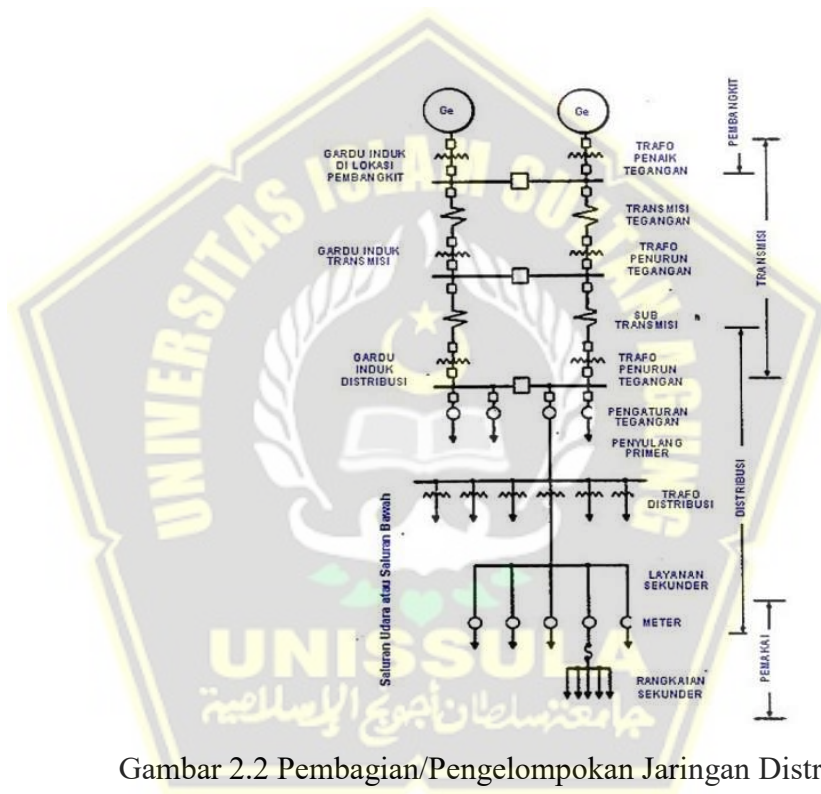
Instalasi Tenaga Listrik Secara Keseluruhan dibagi menjadi 4 Daerah, diantaranya.

- a. Daerah I : Bagian pembangkitan (Generation)
- b. Daerah II : Bagian penyaluran (Transmission), bertegangan tinggi (HV, UHV, EHV).
- c. Daerah III : Bagian distribusi primer, bertegangan menengah (6 atau 20 kV).
- d. Daerah IV: (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah.

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

- a. SUTM, terdiri dari tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan perlengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.

- b. SKTM, terdiri dari kabel tanah, indoor dan outdoor termination, batu bata, pasir dan lain-lain.
- c. Gardu Trafo, terdiri dari transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat transformator, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabelkabel, peralatan grounding, dan lain-lain.
- d. SUTR, terdiri dari perlengkapan/ material yang sama yang terdapat pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.



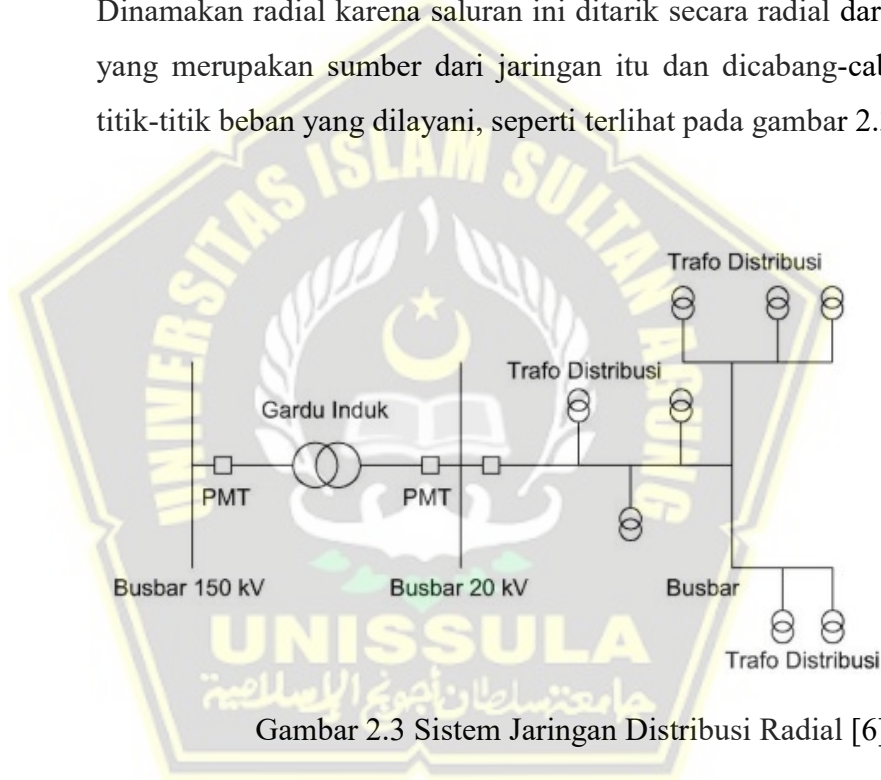
Gambar 2.2 Pembagian/Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik [5]

Jaringan listrik yang mendistribusikan Tegangan 20 kV . Terdiri dari Jaringan 3 Fasa dan Jaringan 1 Fasa. Jaringan distribusi primer berfungsi

menyalurkan daya listrik dan menjelajahi daerah asuhan ke gardu / transformator distribusi. Jaringan distribusi primer dilayani oleh gardu hubung atau langsung dari gardu induk atau dari pusat pembangkit. Berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi ini dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindel.

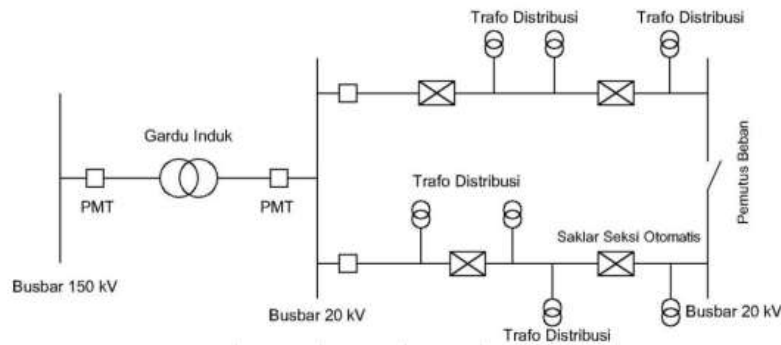
a. Sistem Jaringan Distribusi Radial.

Termasuk konfigurasi jaringan yang simple dan banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani, seperti terlihat pada gambar 2.3



b. Sistem Jaringan Distribusi Loop

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar 2.4 yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran sehingga Keandalan dan kualitas Penyaluran Energi listrik dapat lebih terjamin.



Gambar 2.4 Sistem Jaringan Distribusi Loop [6]

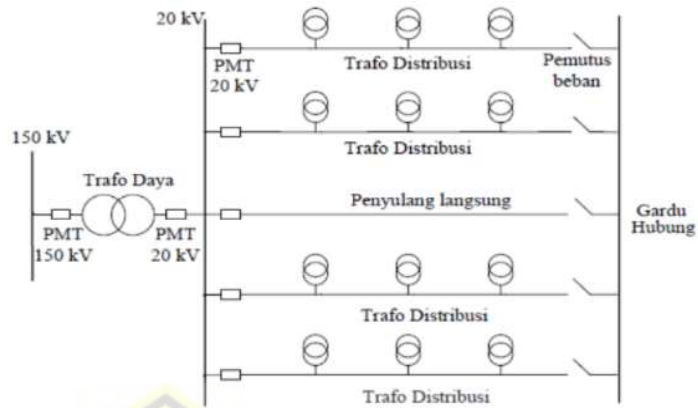
Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu :

- Bentuk open loop, bila dilengkapi dengan normally open switch yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
- Bentuk close loop, bila dilengkapi dengan normally close switch yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

c. Sistem Jaringan Distribusi Spindel

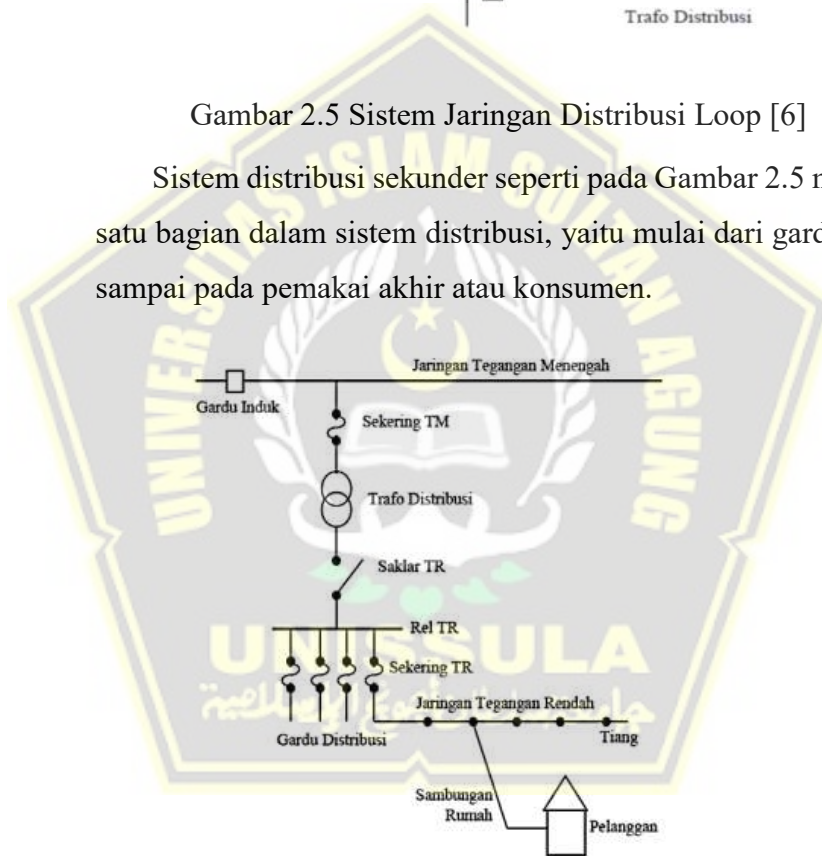
Jaringan distribusi spindel (seperti gambar 2.5) merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota-kota besar. Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan - kebutuhan antara lain:

- Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
- Menurunkan atau menekan rugi-rugi akibat gangguan.
- Sangat baik untuk menyuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi, serta perluasan jaringan mudah dilakukan.



Gambar 2.5 Sistem Jaringan Distribusi Loop [6]

Sistem distribusi sekunder seperti pada Gambar 2.5 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu transformator sampai pada pemakai akhir atau konsumen.



Gambar 2.6 Hubungan Tegangan Menengah ke  
Tegangan Rendah dan Konsumen

Melihat letaknya, sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, jadi sistem ini berfungsi menerima daya listrik dari sumber daya (transformator distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen. mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan.

Sistem penyaluran daya listrik pada Jaringan tegangan rendah dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut:

- a. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC, kabel ACSR.
- b. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi seperti kabel LVTC (Low Voltage Twisted Cable). ukuran kabel LVTC adalah :  $2 \times 10 \text{ mm}^2$  ,  $2 \times 16 \text{ mm}^2$  ,  $4 \times 25 \text{ mm}^2$  ,  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  ,  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  ,  $3 \times 70 \text{ mm}^2$  .

Penyambungan JTR menurut SPLN No.74 tahun 1987 yaitu “sambungan JTR adalah sambungan rumah (SR) penghantar di bawah tanah atau di atas tanah termasuk peralatannya mulai dari titik penyambungan tiang JTR sampai alat pembatas dan pengukur (APP)”.

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sebagai berikut:

- a. Papan pembagi pada transformator distribusi.
- b. Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder).
- c. Saluran Layanan Pelanggan (SLP) (ke konsumen/pemakai).
- d. Alat Pembatas dan pengukur daya (kWH. meter) serta fuse.

atau pengaman pada pelanggan.

### 2.2.2 Peralatan Sistem Distribusi

Jaringan distribusi yang baik adalah jaringan yang memiliki perlengkapan dan peralatan yang cukup lengkap, baik itu peralatan guna kontruksi maupun peralatan proteksi. Untuk jaringan distribusi sistem saluran udara, peratan-peralatanm proteksi dipasangkan diatas tiang-tiang listrik berdekatan dekat letak pemasangan trafo, perlengkapan utama pada sistem distribusi tersebut antara lain.

#### a. Tiang

Merupakan Penopang Kontruksi – Kobntruksi Penghantar dan Peralatan seperti Trafo Distribusi , isolator, arrester, recloser dan sebagainya. Tiang dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

- tiang kayu
- Ting besi
- Tiang beton

#### b. Konduktor

Senagai penghantar Arus listrik dari Trafo Tenaga menuju Maing Masing Peralatan Switching sampai ke Trafo Distribusi.

#### c. Kapasitor

Sebagai Kompemsator Daya Reaktif untuk memperbaiki factor daya pada pada Jaringan Distribusi dan Instalasi.

#### d. Recloser

Sebagai Peralatan Proteksi yang terdiri dari Komparlemen tegangan Tinggi

yaitu Circuit Breaker dan Komponen tegangan Rendah yaitu Relay Penutup Balik. Recloser berfungsi mengisolasi daerah terganggu . Dan menutup secara otomatis sesuai dengan Setting Arus yang telah ditentukan.

e. Fuse

Pemutus dengan system kerja termal dimana akan bekerja apabila rating Fuse link dilewati Arus yang sudah melebihi karakteristik kerjanya.

f. PMT

Berfungsi Sebagai Peralatan Pemutus Tegangan Tinggi dalam keadaan berbeban atau Gangguan. PMT dilengkapi Pemadam Busur Api sehingga aman dalam Pemutusan beban kondisi bebebaban.

g. Transformator

Berfungsi mentransformasikan Tegangan sesuai dengan rasio pada namplatenya.

h. Isolator

Sebagai Penopang Konduktor agar tidak terhubung ke Tanah atau Konduktor yang beda fasa.

Perlengkapan – perlengkapan diatas sangat penting keberadaannya, terutama untuk peralatan proteksi. Agar dapat bekerja dengan baik dan terjaminnya kontinuitas pelayanan, maka harus dilakukan pemeliharaan secara rutin untuk mengetahui kerusakan dan kehandalan dari masing-masing peralatan tersebut. Pemeliharaan peralatan yang rutin sangat penting dilakukan agar setiap saat dapat diawasi keadaannya apakah masih layak dipakai atau tidak.

### 2.2.3 Trafo Tenaga



Gambar 2.7 Trafo Tenaga 150 kV / 20 kV GI Kalibakal

Trafo tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

Bagian – bagian Trafo Tenaga diantaranya :

a. Inti besi

Berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current.

b. Kumparan

beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain.

c. Minyak Trafo

Seluruh kumparan dan inti besi transformator direndam dalam minyak trafo. Minyak berfungsi sebagai media pemindah panas trafo (pendingin) serta berfungsi sebagai isolasi.

d. Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.

e. Bushing

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.

Peralatan bantu transformator diantaranya :

a. Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi (di dalam transformator). Maka untuk mengurangi kenaikan suhu trafo yang berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat/sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator. Media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa minyak dan udara. Sedangkan dalam pengalirannya (sirkulasi) dapat berupa alamiah (natural) dan tekanan/paksaan.

b. Tap changer

Alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah.

c. Alat Pernapasan (Silicagel)

Karena pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak pun akan berubah-ubah, sehingga mengakibatkan adanya pemuain dan penyusutan minyak trafo. Menyusutnya minyak trafo mengakibatkan permukaan minyak menjadi turun dan udara akan masuk ke dalam tangki. Proses demikian disebut pernapasan trafo. Akibat pernafasan tersebut maka minyak trafo akan bersinggungan dengan udara luar. Untuk mencegah hal ini maka ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernapasan berupa tabung berisi kristal zat hygroskopis (silicagel).

d. Indikator

Untuk mendeteksi transformator yang beroperasi maka dilengkapi dengan indikator suhu minyak, indikator suhu kumparan, indikator level minyak, indikator sistem pendingin serta indikator kedudukan tap changer.

f. Peralatan proteksi

Untuk mengamankan transformator yang diakibatkan karena gangguan maka dipasang relai pengaman seperti; Relai differensial, Buchloz, tekanan lebih, relai tangki tanah, relai hubung tanah, relai thermis, relai tekanan lebih, sudden pressure, relai jansen, arus lebih dan Arrester

## 2.2.4 OLTC ( On Load Tap Changer )

OLTC adalah salah satu bagian utama dari Trafo Tenaga yang berfungsi untuk melayani pengaturan tegangan trafo tersebut, dengan cara memilih/merubah ratio tegangan, perubahan Ratio (perbandingan transformasi)

antara kumparan Primer dan Sekunder, untuk mendapatkan tegangan operasi disisi sekunder sesuai dengan yang diinginkan, kualitas (besarnya) tegangan pelayanan disisi sekunder dapat berubah karena tegangan jaringan/sistem yang berubah akibat dari pembebanan ataupun kondisi Sistem, perubahan ratio yang diatur oleh tap changer adalah perubahan dengan range kecil antara +10 %, - 15 % dari tegangan dasar trafo tersebut.

Perbandingan besar tegangan antara sisi Primer terhadap tegangan sisi Sekunder adalah berbanding lurus dengan jumlah belitan pada masing-masing kumparan,  $(E_{primer} / E_{sekunder} = N_{primer} / N_{sekunder})$ , maka untuk mendapatkan tegangan di sisi sekunder yang tetap harus menambah atau mengurangi jumlah belitan disisi Primer, Untuk mendapatkan range yang luas didalam pengaturan tegangan, pada kumparan utama trafo biasanya ditambahkan kumparan bantu ( tap winding ) yang dihubungkan dengan tap selektor pada OLTC.

Secara umum Tap Changer diletakkan pada kumparan Primer dengan pertimbangan sebagai berikut :

- a. Lebih mudah cara penyambungan karena kumparan Primer terletak pada belitan paling luar,
- b. Arus di sisi primer lebih kecil daripada disisi Sekunder tujuannya untuk memperkecil resiko bila terjadi los kontak dan dengan arus yang lebih kecil dapat dipergunakan ukuran/jenis konduktor yang kecil pula.

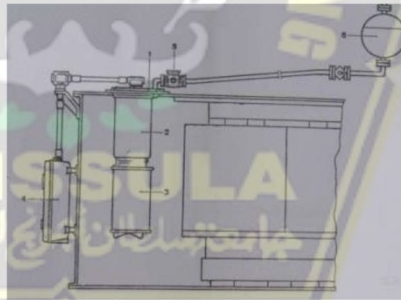
Jenis Pengoperasian tap changer ada 2 macam , diantaranya :

- a. Tap changer yang dioperasikan dalam kondisi tidak bertegangan Atau disebut “ No Load Tap Changer”. Saklar Pemindah terletak dibagian atas Trafo.

- b. Tap changer yang dapat beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan berbeban disebut “On Load Tap Changer” (OLTC), pengoperasiannya dapat secara manual maupun elektrik / motor rise.

Transformator yang terpasang di gardu induk pada umumnya menggunakan tap changer yang dapat dioperasikan dalam keadaan trafo berbeban (OLTC) yang dipasang di sisi primer. berfungsi untuk melayani pengaturan tegangan keluar dari trafo, dengan cara memilih/merubah ratio tegangan tanpa harus melakukan pemadaman.

Tap Changer Trafo tenaga ditempatkan dalam tabung / Compartment dan direndam minyak, ditempatkan terpisah dari tangki Utama (Main-tank) Trafo karena dalam pengoperasian OLTC terjadi switching ketika kontak-kontak didalam OLTC bergerak sehingga kualitas minyak cepat menurun terutama warnanya cepat kotor berwarna hitam (korbon dioksida), oleh karena itu Minyak Tap Changer ditempatkan terpisah dari minyak Trafo di Tanki utama. Penempatan OLTC dirancang sedekat mungkin dengan belitan/kumparan Trafo untuk memperpendek pemakaian konduktor yang dipakai untuk menghubungkan Tap Changer dengan belitan



Gambar 2.8. Komponen / Bagian – Bagian OLTC

Komponen / Bagian-bagian OLTC :

- a. Tap Changer Head.
- b. Diverter switch.

- c. Tap Selector.
- d. Mekanik motor penggerak.
- e. Relay Proteksi RS 2000.
- f. Konservator.

### 2.2.5 Konduktor Pada Sistem 20 kV

Konduktor atau Penghantar Listrik adalah Material yang bersifat mudah menghasilkan electron electron dari 1 titik ke titik lainya dengan mudah.

#### a. AAAC

AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) yaitu penghantar yang terbuat dari kawat-kawat aluminium campuran yang dipilin, tidak berisolasi dan tidak berinti Kabel jenis ini mempunyai ukuran diameter antara 1,50 – 4,50 mm, dengan bentuk fisiknya berurat banyak.



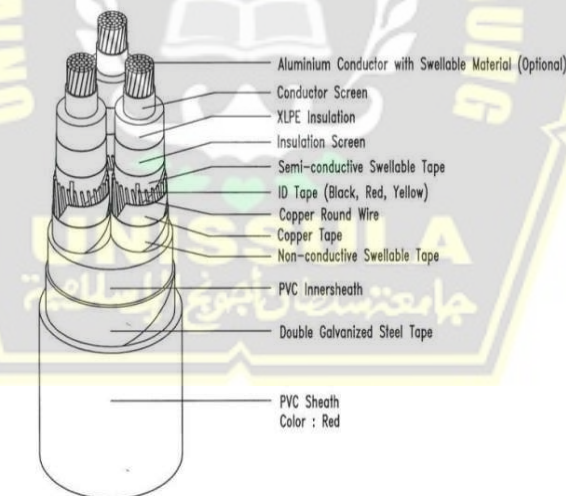
Gambar 2.9. Konduktor AAAC

Tabel 2.1. Tahanan ( R ) dan reaktansi ( XL ) Penghantar AAAC 20 kV  
[7]

| Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Jari <sup>2</sup> m m | Urat | GMR (mm) | Impedansi urutan positif (Ohm / km) | Impedansi urutan Nol (Ohm / km) |
|-----------------------------------|-----------------------|------|----------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 16                                | 2,2563                | 7    | 1,638    | 2,0161 + j 0,4036                   | 2,1641 + j 1,6911               |
| 25                                | 2,8203                | 7    | 2,0475   | 1,2903 + j 0,3895                   | 1,4384 + j 1,6770               |
| 35                                | 3,3371                | 7    | 2,4227   | 0,9217 + j 0,3790                   | 1,0697 + j 1,6665               |
| 50                                | 3,9886                | 7    | 2,8957   | 0,6452 + j 0,3678                   | 0,7932 + j 1,6553               |
| 70                                | 4,7193                | 7    | 3,4262   | 0,4608 + j 0,3572                   | 0,6088 + j 1,6447               |
| 95                                | 5,4979                | 19   | 4,1674   | 0,3096 + j 0,3449                   | 0,4876 + j 1,6324               |
| 120                               | 6,1791                | 19   | 4,6837   | 0,2688 + j 0,3376                   | 0,4168 + j 1,6324               |
| 150                               | 6,9084                | 19   | 5,2365   | 0,2162 + j 0,3305                   | 0,3631 + j 1,6180               |
| 185                               | 7,6722                | 19   | 5,8155   | 0,1744 + j 0,3239                   | 0,3224 + j 1,6114               |
| 240                               | 8,7386                | 19   | 6,6238   | 0,1344 + j 0,3158                   | 0,2824 + j 1,6034               |

b. Kabel Tanah Dengan Penghantar Al

Kabel tanah berinti tunggal Gambar 2.5. yaitu kabel tanah jenis NA2XSEYBY 3x240mm<sup>2</sup> menyatakan suatu kabel berinti banyak, untuk tegangan nominal 12/20 kV, berisolasi XLPE, berpenghantar aluminium dengan luas penampang 240mm<sup>2</sup>. Kabel ini digunakan dalam penelitian yang sudah terpasang pada trasformator 150/20 kV 4 di GI Kalibakal.



Gambar 2.10. Kabel NA2XSEYBY 3x240mm<sup>2</sup>

Tabel 2.2. Tahanan ( R ) dan reaktansi ( XL ) penghantar  
NA2XSEYBY (IEC. 502)

| A<br>(mm <sup>2</sup> ) | R<br>( $\Omega$ /km) | L<br>(mH/km) | C<br>(mf/km) | Impedansi urutan positif<br>( $\Omega$ /km) | Impedansi urutan Nol<br>( $\Omega$ /km) |
|-------------------------|----------------------|--------------|--------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 150                     | 0,206                | 0,33         | 0,26         | $0,206 + j 0,104$                           | $0,356 + j 0,312$                       |
| 240                     | 0,125                | 0,31         | 0,31         | $0,125 + j0,097$                            | $0,275 + j0,029$                        |
| 300                     | 0,1                  | 0,3          | 0,34         | $0,100 + j0,094$                            | $0,250 + j0,282$                        |

### 2.2.6 Ketidak Seimbangan Beban

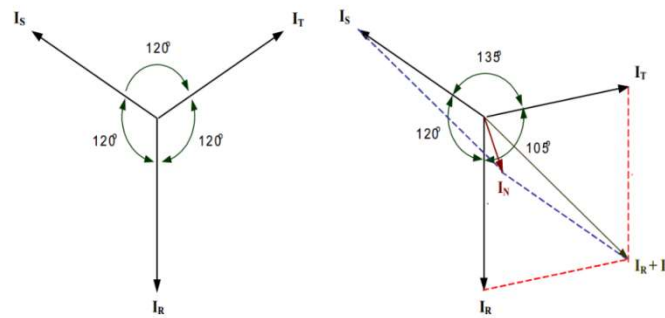
Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana [8]:

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu :

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut  $120^\circ$ .
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$

Pada gambar 2.2. terlihat perbedaan vektor diagram arus kondisi seimbang dan tidak seimbang.



Gambar 2.11. Vektor Diagram Arus [8]

### 2.2.7 Arus Netral Beban Tidak Seimbang

Untuk arus tiga fasa dari suatu sistem yang tidak seimbang dapat juga diselesaikan dengan menggunakan metode komponen simetris. Dengan menggunakan notasi-notasi tegangan akan didapatkan persamaan-persamaan untuk arus-arus fasanya sebagai berikut [9]:

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 \quad (2.1)$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \quad (2.2)$$

$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \quad (2.3)$$

Dengan tiga langkah yang telah dijabarkan dalam menentukan tegangan urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol terdahulu, maka arus - arus urutan juga dapat ditentukan dengan cara yang sama, sehingga kita dapatkan juga.

$$I_1 = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) \quad (2.4)$$

$$I_2 = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (2.5)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \quad (2.6)$$

Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini jumlah arus saluran sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral, menjadi [9]:

$$I_N = I_a + I_b + I_c \quad (2.7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.7) ke (2.8) maka diperoleh :

$$I_N = 3I_0 \quad (2.8)$$

Atau dengan melihat pada gambar (2.2) didapatkan perhitungan untuk arus netral .

$$I_N \angle n^0 = I_R \angle r^0 + I_S \angle s^0 + I_T \angle t^0 \quad (2.9)$$

$$I_N = (I_{Rr} + j I_{Xr}) + (I_{Rs} + j I_{Xs}) + (I_{Rt} + j I_{Xt})$$

$$I_N = (I_{Rn} + j I_{Xn})$$

$$I_N = \sqrt{I_{Rn}^2 + I_{Xn}^2}$$

$$\angle I_n = \arctan (I_{Xn} / I_{Rn})$$

Dimana :

$I_N$  = Arus Netral ( A )

$\angle n^0$  = Sudut Arus Netral ( Derajad )

$I_{Rn}$  = Komponen Resistif Arus Netral ( A )

$I_{Xn}$  = Komponen Reaktansi Arus Netral ( A )

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap - tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi - rugi). Losses pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (2.10)$$

dimana:

$P_N$  = losses pada penghantar netral trafo (watt)

$I_N$  = arus yang mengalir pada netral trafo (A)

$R_N$  = tahanan penghantar netral trafo ( $\Omega$ )

### 2.2.8 Penyaluran dan Susut Daya

Total daya yang diberikan oleh sebuah generator tiga - fasa atau yang diserap suatu beban tiga fasa diperoleh dengan menjumlahkan daya pada ketiga fasanya. (Stevenson, 1996).

$$P = 3 \times [V] \times [I] \times \cos \emptyset \quad (2.14)$$

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Jika  $[I]$  adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$\left. \begin{aligned} [I_r] &= a [I] = a = \frac{I_r}{I} \\ [I_s] &= b [I] = b = \frac{I_s}{I} \\ [I_t] &= c [I] = c = \frac{I_t}{I} \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Dengan  $I_r$ ,  $I_s$  dan  $I_t$  berturut-turut adalah arus di fasa R,S dan T. bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya berbeda dengan besar Daya Aktif yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a + b + c) \times [V] \times [I] \times \cos \emptyset \quad (2.16)$$

Apabila persamaan (2.16) dan persamaan (2.14) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b dan c yaitu:

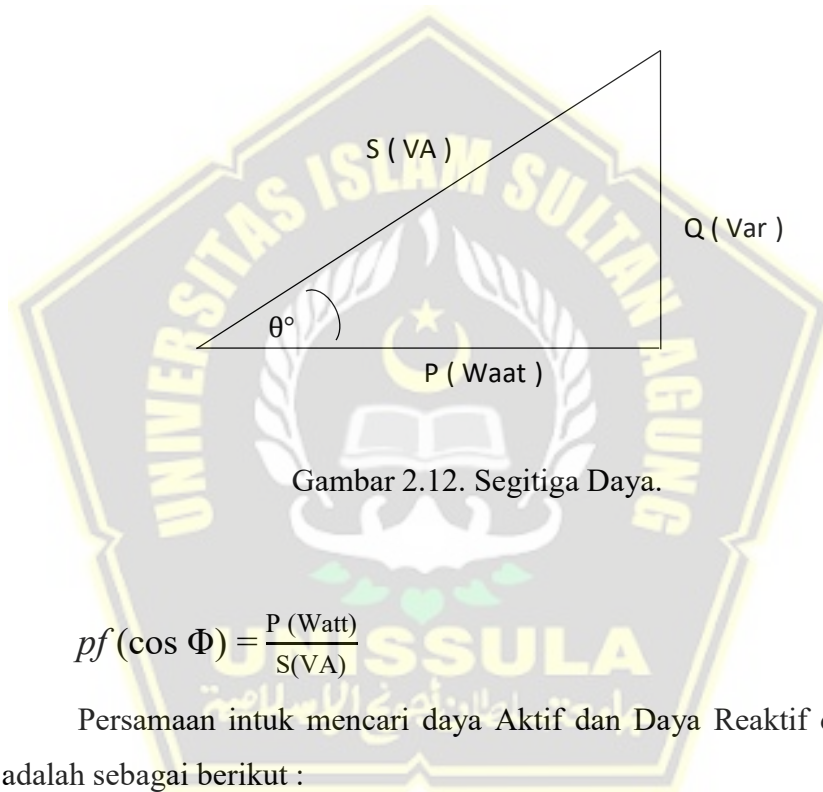
$$a + b + c = 3 \quad (2.17)$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$\%Ub = \frac{\{I_a - 1 I + I_b - 1 I + I_c - 1 I\}}{3} \quad (2.18)$$

### 2.2.9 Perhitungan dan Rugi Rugi Penyulang.

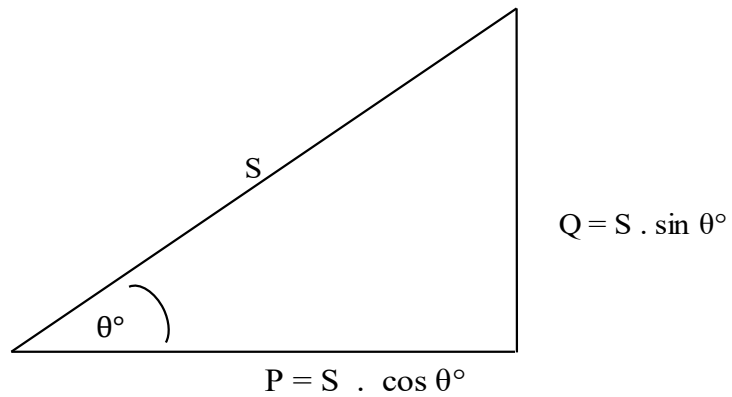
Dalam teori listrik arus bolak-balik penjumlahan daya dilakukan secara vektoris, bentuk vektornya merupakan segitiga siku-siku, yang dikenal dengan segitiga daya seperti terlihat pada gambar 2.13



Gambar 2.12. Segitiga Daya.

$$pf(\cos \Phi) = \frac{P \text{ (Watt)}}{S \text{ (VA)}} \quad (2.19)$$

Persamaan untuk mencari daya Aktif dan Daya Reaktif dari daya Semu adalah sebagai berikut :



Gambar 2.13 Persamaan Daya Semu terhadap daya Aktif dan Reaktif

$$P = S \cdot \cos \theta^\circ \quad (2.20)$$

$$Q = S \cdot \sin \theta^\circ \quad (2.21)$$

Dimana :

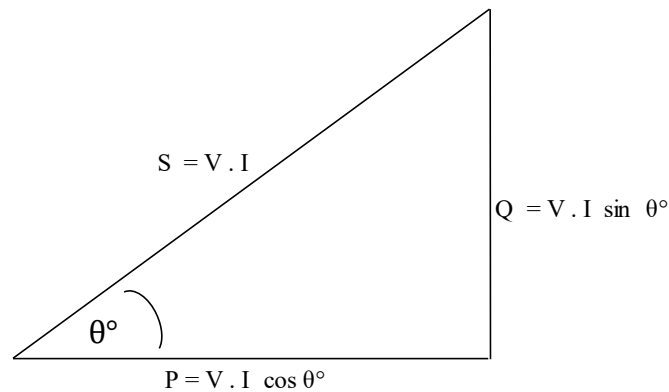
$S$  : Daya Semu ( VA )

$P$  : Daya Aktif ( Watt )

$Q$  : Daya Reaktif ( Var )

$\theta$  : Sudut Phasa (  $^\circ$  )

sedangkan persamaan untuk mencari rugi-rugi daya tiga fasa pada penyulang adalah sebagai berikut.



Gambar 2.14 Persamaan Daya terhadap Arus dan Tegangan

P disebut Daya Nyata ( *real power* ). Satuan dasar dari daya. Cosinus dari sudut  $\theta$  diantara Daya Semu dan daya nNyata dinamakan factor daya ( *power factor* ) [9].

$$\text{Pf} = \cos \theta^\circ$$

$$P = (I_R \cdot V_R \cdot \text{pf}_R) + (I_S \cdot V_S \cdot \text{pf}_S) + (I_T \cdot V_T \cdot \text{pf}_T) \quad (2.22)$$

$$\Delta P = (I_R^2 \cdot R) + (I_S^2 \cdot R) + (I_t^2 \cdot R) \quad (2.23)$$

$$\text{Susut} (\%) = \frac{\Delta P}{P} \times 100 \% \quad (2.24)$$

dimana:

- P : Daya aktif (Watt)
- $\Delta P$  : Rugi daya aktif (Watt)
- I : Arus beban (Ampere)
- R : Resistansi saluran ( $\Omega$ )
- pf : faktor daya beban

Dalam sistem penyaluran tenaga listrik berbagai upaya dilakukan untuk memperkecil nilai susut tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi. Hal tersebut mutlak dilakukan karena merugikan perusahaan penyedia

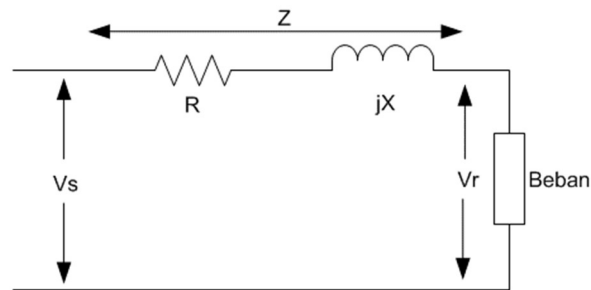
tenaga listrik dan pelanggan / konsumen dari listrik itu sendiri. Beberapa langkah untuk mengurangi *losses* pada jaringan antara lain:

- a. Meningkatkan besar tegangan primer
- b. Keseimbangan jaringan
- c. Mengubah jaringan satu fasa menjadi tiga fasa
- d. Mengurangi pembebanan
- e. Meningkatkan faktor daya (Kapasitor)
- f. Rekonduktor

#### **2.2.10 Tegangan Jatuh atau Drop Voltage.**

Tegangan harus selalu di jaga konstan, terutama rugi tegangan yang terjadi di ujung saluran. Tegangan yang tidak stabil dapat berakibat merusak alat - alat yang peka terhadap perubahan tegangan (khususnya alat - alat elektronik). Demikian juga tegangan yang terlalu rendah akan mengakibatkan alat-alat listrik tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Salah satu syarat penyambungan alat-alat listrik, yaitu tegangan sumber harus sama dengan tegangan yang dibutuhkan oleh peralatan listrik tersebut [5].

Tegangan jatuh didefinisikan sebagai perbedaan antara tegangan sumber dan tegangan beban. Variasi tegangan menurut SPLN 1 : 1995 ditetapkan maksimum + 5% dan minimum – 10 % terhadap tegangan nominal. Gambar 2.3 menunjukkan rangkaian ekivalen distribusi listrik[10].



Gambar 2.15. Rangkaian *ekivalen* distribusi listrik

Tegangan jatuh dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\Delta V = V_s - V_r \quad (2.25)$$

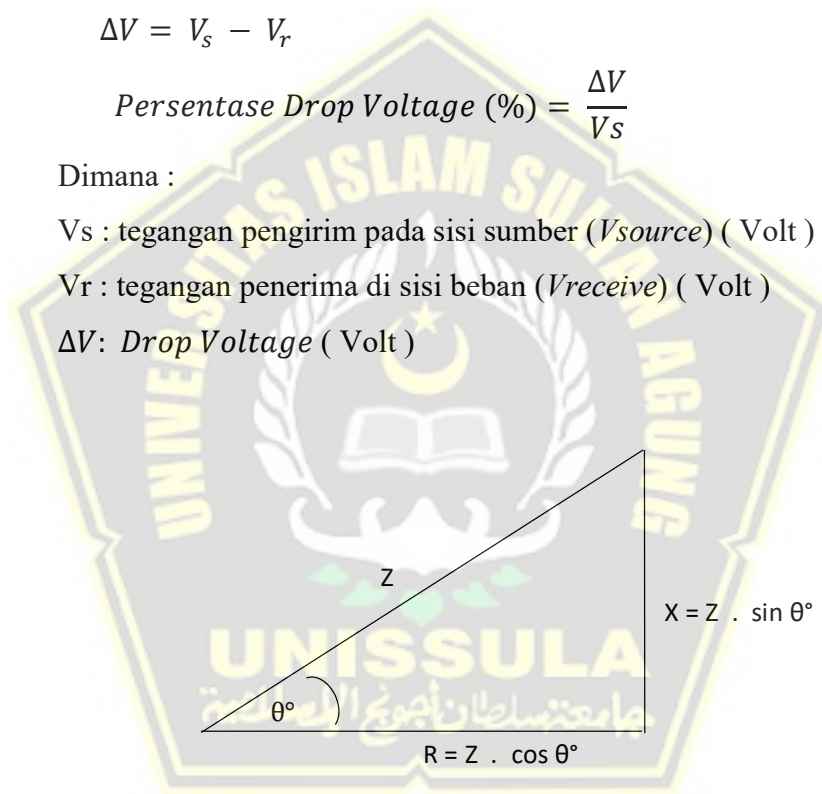
$$\text{Persentase Drop Voltage (\%)} = \frac{\Delta V}{V_s}$$

Dimana :

$V_s$  : tegangan pengirim pada sisi sumber ( $V_{source}$ ) ( Volt )

$V_r$  : tegangan penerima di sisi beban ( $V_{receive}$ ) ( Volt )

$\Delta V$ : Drop Voltage ( Volt )



Gambar 2.16 Persamaan Impedansi terhadap Resistansi dan Reaktansi

Bentuk Persamaan Bilangan Komplek

$$Z = R + j X \quad (2.26)$$

Bentuk Polar

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.27)$$

Drop Tegangan

$$\begin{aligned} \Delta V &= I \cdot Z \\ \Delta V &= I \cdot (R + j X) \\ \Delta V &= I \cdot (Z \cos \theta^\circ + j Z \sin \theta^\circ) \end{aligned} \quad (2.28)$$

Untuk Drop Tegangan saluran satu fasa

$$\begin{aligned} \Delta V &= I \times L (Z \cos \theta + j Z \sin \theta) \\ &\text{atau} \\ \Delta V &= I \times L \times Z \end{aligned} \quad (2.29)$$

Untuk Drop Tegangan saluran tiga fasa

$$\begin{aligned} \Delta V &= \sqrt{3} \times I \times L (R \cos \theta + j X \sin \theta) \\ &\text{Atau} \\ \Delta V &= \sqrt{3} \times I \times L \times Z \end{aligned} \quad (2.30)$$

Dimana :

- $\Delta V$  : Tegangan Jatuh (Volt)
- $Z$  : Impedansi ( $\Omega$ )
- $I$  : arus (Ampere)
- $L$  : panjang (m atau km)
- $R$  : resistansi/tahanan pada saluran ( $\Omega$ )
- $jX$  : reaktansi saluran ( $\Omega$ )
- $\theta$  : sudut daya atau beda sudut antara I dengan E ( $^\circ$ ).

### 2.2.11 Persamaan Aliran Daya

Aliran daya listrik akan selalu mengalir ke beban, sehingga aliran daya disebut juga aliran beban. Beban-beban tersebut direpresentasikan sebagai impedansi tetap ( $Z$ ), daya yang tetap ( $P$ ), tegangan ( $V$ ), dan arus yang tetap

(I). Pada dasarnya beban dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu beban statis (static load) dan beban dinamis (dynamic load).

Besarnya aliran daya yang diserap oleh saluran transmisi beserta rugiruginnya dapat diketahui dengan menghitung lebih dahulu besaran (magnitude) tegangan dan sudut fasornya pada setiap simpul saluran. Pada setiap simpul saluran terdapat empat parameter, yaitu :

- a. Daya nyata (P) dengan satuan megawatt (MW)
- b. Daya reaktif (Q) dengan satuan megavolt ampere reaktif (MVAR)
- c. Besaran tegangan (V) dengan satuan kilovolt (kV)
- d. Sudut fasa tegangan ( $\emptyset$ ) dengan satuan radian

Bila simpul sendiri mempunyai beban, daya pada simpul adalah selisih daya yang dibangkitkan dengan bebannya, tetapi bila simpulnya tidak mempunyai generator, beban pada saluran tersebut dianggap sebagai generator yang membangkitkan daya negatif ke simpul tersebut.

Keempat parameter, untuk mendapatkan penyelesaian aliran daya pada setiap simpul perlu diketahui dua buah parameternya, tergantung pada parameter-parameter yang diketahui maka setiap simpul pada sistem diklasifikasikan dalam tiga kategori :

- a. Simpul beban (Bus PQ).

Parameter yang diketahui adalah P dan Q, parameter yang tidak diketahui adalah V dan  $\emptyset$ .

- b. Simpul kontrol (Bus generator)

Parameter-parameter yang diketahui adalah P dan V, dimana pada simpul ini mempunyai kendala untuk daya semu (Q) yang melalui simpul, bila kendala ini dalam perhitungan integrasinya tidak dapat dipenuhi maka simpul ini akan berganti menjadi simpul beban. Sebaliknya bila daya

memenuhi kendala maka akan dihitung sebagai simpul kontrol kembali. Parameter-parameter yang tidak diketahui adalah  $\phi$  dan  $Q$ .

c. Simpul ayun (Swing bus atau slack bus)

Parameter-parameter yang diketahui adalah  $V$  dan  $\phi$  (biasanya  $\phi = 0$ ). Simpul ayun selalu mempunyai generator, dalam perhitungan aliran daya,  $P$  dan  $Q$  pada simpul ini tidak perlu dihitung. Simpul ini menentukan dalam perhitungan aliran daya untuk memenuhi kekurangan daya (rugi-rugi dan beban) seluruhnya karena kerugian pada jaringan tidak dapat diketahui sebelum perhitungan selesai dilakukan.

Besaran daya pada setiap bus dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Ti} - S_{Li} \quad (2.31)$$

Keterangan :

$S_{Gi}$  : daya yang masuk ke bus  $i$  (MVA)

$S_{Ti}$  : daya yang keluar dari bus  $i$  (MVA)

$S_{Li}$  : beban daya yang keluar dari bus  $i$  (MVA)

Dalam bentuk kompleks :

$$\begin{aligned} P_i + jQ_i &= (P_{Gi} + jQ_{Gi}) - (P_{Ti} + jQ_{Ti}) - (P_{Li} + jQ_{Li}) \\ &= (P_{Gi} - P_{Ti} - P_{Li}) + j(Q_{Gi} - Q_{Ti} - Q_{Li}) \end{aligned} \quad (2.32)$$

Daya yang mengalir dari setiap bus juga dapat dinyatakan oleh persamaan :

$$S_{Ti} = V_i \cdot I_i^* \quad (2.33)$$

### 2.2.12 Metode Perhitungan Aliran Daya

Pada sistem distribusi seringkali terjadi beban yang tidak seimbang pada setiap fasanya (sistem distribusi merupakan sistem tiga fasa) atau terjadi kelebihan beban karena pemakaian alat-alat elektronik dari konsumen energi listrik. Keadaan tersebut jika dibiarkan terus-menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik

yang disalurkan serta menyebabkan kerusakan alat-alat yang bersangkutan. Untuk itu diperlukan suatu tindakan yang mengurangi pembebanan yang tidak seimbang (unbalanced loading) pada fasa dan kelebihan beban (over loading) pada jaringan distribusi listrik. Selain itu, sistem distribusi radial juga mempunyai rugi – rugi daya yang cukup besar sehingga menyebabkan keandalan sistem menjadi berkurang.

Dasar dari Metode Newton Raphson dalam penyelesaian aliran daya adalah Deret Taylor untuk suatu fungsi dengan dua variabel lebih. Metode Newton Raphson menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan suatu persamaan nonlinier untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan tiap bus.

Daya injeksi pada bus i adalah [11]:

$$P_i - jQ_i = V_i * \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.34)$$

Dengan:

$P_i$  = Daya aktif ke-i

$Q_i$  = Daya reaktif ke-i

$V_i$  = Tegangan ke-i

$Y_{ij}$  = Admittansi

Dalam hal ini dilakukan pemisahan daya nyata dan daya reaktif pada bus i. Pemisahan ini akan menghasilkan suatu set persamaan simultan nonlinier [11]

Dalam koordinat kutub diketahui :

$$|V_i| \angle \delta_i = |V_i| e^{j\delta_i} \quad (2.35)$$

$$V_j \angle \delta_j = |V_j| e^{j\delta_j} \quad (2.36)$$

$$|Y_{ij}| \angle \theta_{ij} = |Y_{ij}| e^{j\theta_{ij}} \quad (2.37)$$

Karena  $e^{(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})} = \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$  maka pemisahan daya pada bus  $i$  menjadi komponen real dan imajiner adalah:

$$\begin{aligned} P_i - jQ_i &= |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} jV_j \angle \theta_{ij} + \delta_j \\ &= |V_i| e^{-j\delta_i} \sum_{j=1}^n Y_{ij} jV_j \angle (e^{(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})}) \quad n, j=1 \end{aligned} \quad (2.38)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.39)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.40)$$

Nilai daya aktif ( $P_i$ ) dan daya reaktif ( $Q_i$ ) telah diketahui, tetapi nilai tegangan ( $V_i$ ) dan sudut ( $\delta_i$ ) tidak diketahui kecuali pada slack bus. Kedua persamaan nonlinier tersebut dapat diuraikan menjadi suatu set persamaan simultan linier dengan cara menyatakan hubungan antara perubahan daya nyata  $\Delta P_i$  daya reaktif  $\Delta Q_i$  terhadap perubahan magnitude tegangan  $\Delta V_i$  dan sudut fasa tegangan  $\Delta \delta_i$  (5).

### 2.2.13 ETAP Power Station 12.6

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik [12]. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (one line diagram) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting

motor, transient stability, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

Etap Power Station memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis. Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

a. Virtual Reality Operasi

Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi real nya. Misalnya, ketika Anda membuka atau menutup sebuah sirkuit breaker, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan untuk kondisi de-energized pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar single line diagram dengan warna abu-abu.

b. Total Integration Data

Etap Power Station menggabungkan informasi sistem elektrik, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisik nya, tapi juga memberikan informasi melalui raceways yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (load flow analysis) dan analisa hubung singkat (short circuit analysis) yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi serta perhitungan ampacity derating suatu kabel -yang memerlukan data fisik routing

c. Simplicity in Data Entry

Etap Power Station memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses 45 entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain

ETAP PowerStation dapat melakukan penggambaran single line diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni Load Flow (aliran daya), Short Circuit (hubung singkat), motor starting, harmonisa, transient stability, protective device coordination, dan cable derating. ETAP PowerStation juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP PowerStation adalah :

- One Line Diagram, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
- Study Case, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota dan waktu penelitian mulai bulan April 2021 sampai selesai.

### 3.2 Metode Penelitian.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan melakukan simulasi aliran daya menggunakan Software Etap 12.6 dengan metode Newton-Raphson. Adapun tahapan - tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Tahap Pengumpulan Data.

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa bagan *single line diagram* jaringan tegangan menengah 20kV PT. PLN (Persero) Area Purwokerto, data transformator penyuplai penyulang KBL05, data beban pada penyulang KBL05, data jenis penghantar yang digunakan, serta data-data lain yang terkait dengan penelitian ini.

b. Rumus Perhitungan Analisa Ketidakseimbangan Beban

Melakukan Perhitungan secara manual pada section Pertama untuk parameter sebagai berikut :

- Perhitungan Nilai Persentase Load Unbalance ( %Ub )
- Perhitungan Arus Netral ( In )
- Perhitungan Susut Daya ( P )
- Perhitungan Drop Tegangan ( Delta V )

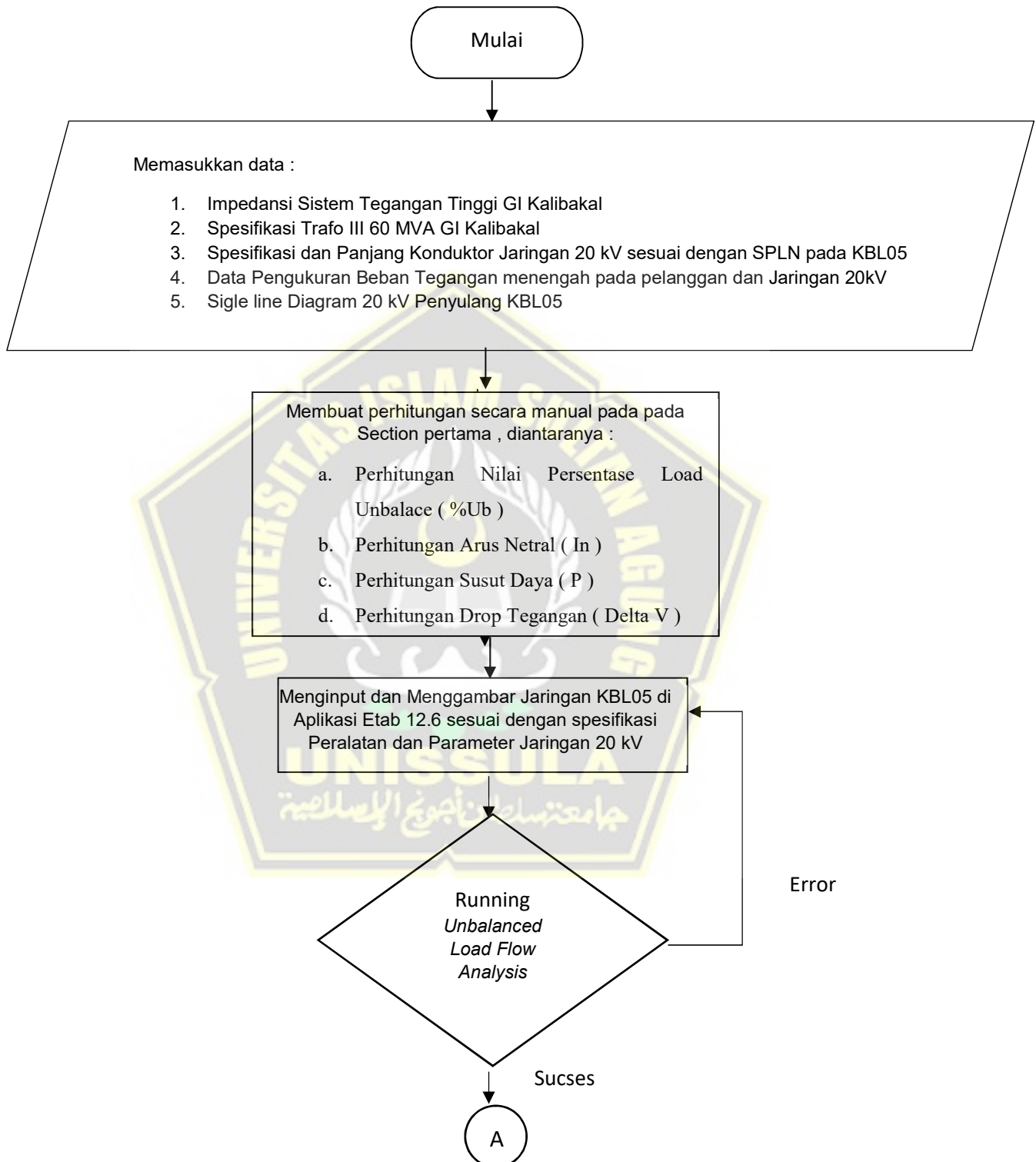
c. Tahap Simulasi dan Analisa

Setelah mendapatkan data Spesifikasi Trafo Tenaga, Spesifikasi Konduktor dan Data Pembebanan tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi

menggunakan *software* ETAP *Power Station* untuk mengetahui besar *losses* yang terjadi. Sedangkan pada tahap analisis, data yang telah didapatkan kemudian diolah dan dilakukan sebuah analisa yang digunakan untuk mendapatkan penyelesaian dari permasalahan yang diangkat hingga terbentuknya laporan penelitian. Langkah - langkahnya adalah sebagai berikut :

- a. Menggambar *single line diagram feeder* KBL05 ke dalam ETAP *Power Station*.
- b. Melakukan Perhitungan Susut Teksis dan Drop tegangan pada pada Section Pertama di Penyulang KBL05 sesuai dengan spesifikasi Penghantar dan Pembebanan pada Single line Diagram.
- c. Memasukkan nilai dari data - data pada penyulang KBL05 seperti nilai pembebanan (kVA) tiap trafo distribusi yang disuplay oleh KBL05, panjang saluran penghantar tiap tiang pada penyulang KBL05 serta nilai impedansi penghantar 1 fasa maupun 3 fasa.
- d. *Running single line diagram* dengan menu *unbalanced load flow analysis* sehingga muncul arus untuk tiap fasa pada bus pertama yang terhubung ke *Power Grid*.
- e. Melakukan perhitungan ketidakseimbangan beban dan persentase ketidakseimbangan beban menggunakan persamaan (2.1) dan (2.8).
- f. Melakukan perhitungan secara manual arus netral dan *losses* akibat arus netral, susut tegangan dan susut daya pada keadaan awal pembebanan dengan menggunakan persamaan (2.19) sd ( 2.30 )
- g. Melakukan pemerataan beban untuk memperbaiki ketidakseimbangan beban dengan cara pemindahan beban dari fasa dengan beban terberat ke fasa dengan beban teringan dengan melihat keadaan jaringan distribusi pada penyulang KBL05.
- h. Menganalisis pengaruh pemerataan beban terhadap arus netral dan *losses* akibat arus netral, susut tegangan dan susut daya.

### 3.3 Alur penelitian





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

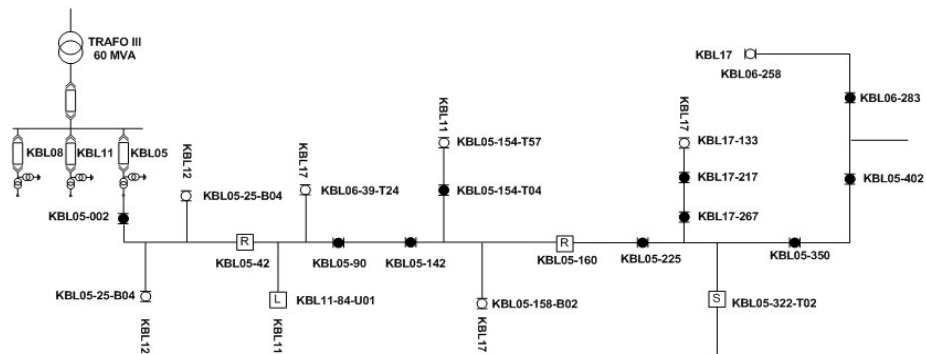
### 4.1 Data Pembebanan GI Kalibakal

Tabel 4.1 Pembebanan GI Kalibakal 01 Juni 2021

| TRAFO | No | JAM 10:00 |                            |     |     |                                   | JAM 19:00             |     |     |                                   |
|-------|----|-----------|----------------------------|-----|-----|-----------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----------------------------------|
|       |    | Feeder    | Beban Feeder<br>( Ampere ) |     |     | Beban<br>Tidak<br>Seimbang<br>(%) | Beban Feeder<br>( A ) |     |     | Beban<br>Tidak<br>Seimbang<br>(%) |
|       |    |           | R                          | S   | T   |                                   | R                     | S   | T   |                                   |
| 60    | 3  | KBL05     | 185                        | 148 | 195 | 10,6%                             | 214                   | 156 | 205 | 12,4%                             |
|       |    | KBL08     | 197                        | 187 | 195 | 2,1%                              | 218                   | 212 | 237 | 4,4%                              |
|       |    | KBL11     | 73                         | 69  | 63  | 5,2%                              | 90                    | 84  | 74  | 7,0%                              |
| 60    | 4  | KBL09     | 99                         | 121 | 128 | 9,8%                              | 145                   | 169 | 175 | 7,4%                              |
|       |    | KBL10     | 279                        | 253 | 297 | 5,6%                              | 267                   | 244 | 276 | 4,7%                              |
| 60    | 5  | KBL06     | 229                        | 251 | 254 | 4,3%                              | 213                   | 245 | 241 | 5,7%                              |
|       |    | KBL07     | 136                        | 114 | 128 | 6,3%                              | 156                   | 130 | 150 | 7,0%                              |
|       |    | KBL15     | 101                        | 102 | 92  | 4,3%                              | 118                   | 110 | 105 | 4,2%                              |
|       |    | KBL16     | 137                        | 159 | 152 | 5,5%                              | 150                   | 178 | 170 | 6,4%                              |
|       |    | KBL17     | 134                        | 135 | 150 | 4,9%                              | 178                   | 185 | 207 | 6,0%                              |

Dari Data diatas , Penyulang dengan In Paling tinggi adalah KBL05 yaitu 47 Ampere dengan Persentase ketidakseimbangan beban mencapai 12.4 %. Pada penelitian kali ini akan dilakukan analisis mengenai pengaruh ketidak seimbangan beban terhadap Susut Daya dan Kualitas Tegangan Pelayanan.

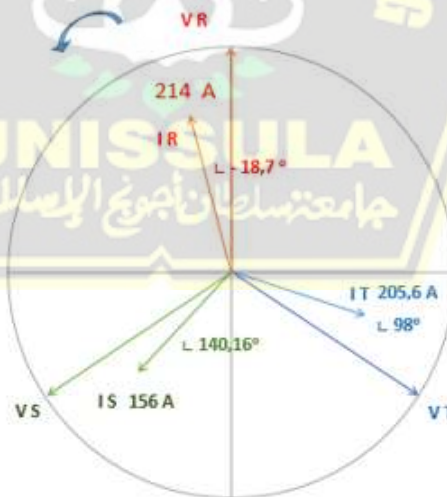
## 4.2 Single Line Diagram KBL05



Gambar 4.1 *Single line* diagram Gardu Induk Kalibakal

KBL05 Adalah Satu Penyulang dari 3 Penyulang pada Trafo III 60 MVA pada Gardu Induk Kalibakal dengan Panjang 47 kms ,memiliki 3 Zona Proteksi dan 14 Section. KBL05 memiliki Jumlah Trafo CSP 1 Phasa 325 Unit dan Trafo 3 Phasa sebanyak 46 Unit

## 4.3 Perhitungan Arus Netral KBL05



Gambar 4.2 Diagram Vektor Arus 3 Phasa

Diketahui :

$$I_r = 214 \text{ A} \quad \angle_r = -18,77^\circ$$

$$I_s = 156 \text{ A} \quad \angle_s = -140,16^\circ$$

$$I_t = 205 \text{ A} \quad \angle_t = 98^\circ$$

$$I_{Rr} = I_r \cdot \cos \theta_r = 214 \cdot \cos -18,77^\circ = 202,6 \text{ A}$$

$$I_{Xr} = I_r \cdot \sin \theta_r = 214 \cdot \sin -18,77^\circ = -68,8 \text{ A}$$

$$I_{Rs} = I_s \cdot \cos \theta_s = 156 \cdot \cos -140,16^\circ = 119,7 \text{ A}$$

$$I_{Xs} = I_s \cdot \sin \theta_s = 156 \cdot \sin -140,16^\circ = -99,9 \text{ A}$$

$$I_{Rt} = I_t \cdot \cos \theta_t = 205 \cdot \cos 98^\circ = -28,9 \text{ A}$$

$$I_{Xt} = I_t \cdot \sin \theta_t = 205 \cdot \sin 98^\circ = 202,9 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_n &= (I_{Rr} + j I_{Xr}) + (I_{Rs} + j I_{Xs}) + (I_{Rt} + j I_{Xt}) \\ &= (202,6 + j -68,8) + (119,7 \text{ A} + j -99,9 \text{ A}) + (-28,9 + j 202,9) \\ &= 53,892 + j 34,147 \end{aligned}$$

$$I_n = \sqrt{53,89^2 + 34,14^2} = 63,79 \text{ A}$$

$$\angle I_n = \arctan (Nb / Na) = 32,35^\circ$$

Dari perhitungan diatas maka KBL 05 memiliki arus Netral sebesar 63 A dengan sudut  $32,35^\circ$

#### 4.4 Jaringan Distribusi Penyulang KBL05

Jaringan distribusi primer yang dipakai di wilayah Area Purwokerto menggunakan sistem distribusi dengan rincian sebagai berikut :

- Tegangan pada sistem distribusi primer adalah 11,54 / 20 kV dan tegangan rendahnya 220/380 V.
- Sistem pentanahannya yaitu titik netral ditanahkan langsung sepanjang saluran dan kawat netral dipakai bersama untuk saluran tegangan menengah dan tegangan rendah yang berada di bawahnya.
- Pelayanan beban 3 fasa 4 kawat bertegangan 20 kV dan 1 fasa 2 kawat bertegangan 11,547 kV.

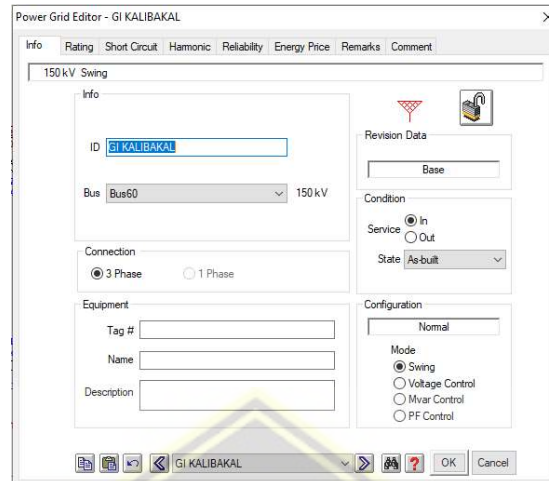
Konstruksi saluran udara terdiri atas :

- Kabel Keluaran Kubikel 20 kV menggunakan Kabel N2XSEKBY Ukuran 3 x 240mm<sup>2</sup> + AAAC 150mm<sup>2</sup> dengan nilai impedansi  $0,100 + j0,094 \Omega / \text{km}$ .
- Saluran utama ( 3 fasa ) menggunakan kawat AAAC ( *ALL Aluminium Alloy Conductor* ) dengan ukuran 3 x 240mm<sup>2</sup> + 150mm<sup>2</sup> untuk sistem 3 fasa 4 kawat dengan nilai impedansi penghantar yaitu  $0,1344 + j 0,3158 \Omega / \text{km}$ .
- Saluran percabangan ( 1 fasa ) menggunakan kawat AAAC ( *ALL Aluminium Alloy Conductor* ) dengan ukuran 3 x 70 mm<sup>2</sup> + 50 mm<sup>2</sup> untuk sistem 1 fasa 2 kawat dengan nilai impedansi penghantar yaitu  $0,4608 + j 0,3572 (\Omega / \text{km})$ .

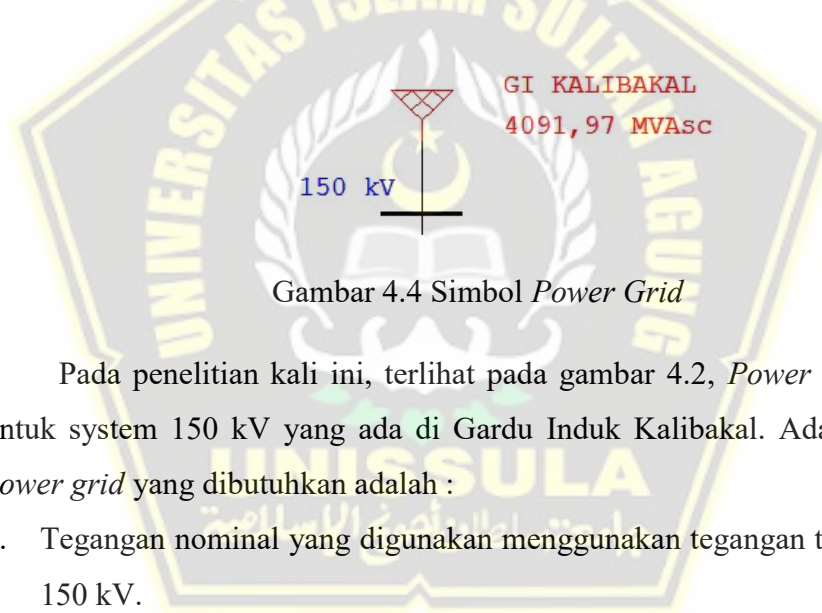
#### 4.5 Pemodelan Single Line Pada Program ETAB

Setelah semua data penunjang simulasi ETAP terkumpul seperti panjang jaringan, resistansi jaringan per km, rating trafo, impedansi urutan nol, positif dan negatif penghantar, persentase pembebanan trafo distribusi, dan dengan berpedoman pada *single line* penyulang Kalibakal 05 yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota, penulis membuat pemodelan rangkaian pada program ETAP. Berikut Spesifikasi Data yang dimasukkan dalam Etab :

a. Power Grid



Gambar 4.3 *Power Grid Editor*



Gambar 4.4 Simbol *Power Grid*

Pada penelitian kali ini, terlihat pada gambar 4.2, *Power Grid* digunakan untuk system 150 kV yang ada di Gardu Induk Kalibakal. Adapun spesifikasi *power grid* yang dibutuhkan adalah :

1. Tegangan nominal yang digunakan menggunakan tegangan tegangan system 150 kV.
2. Kapasitas hubung singkat (MVA<sub>sc</sub>). Nilai MVA<sub>sc</sub> untuk *power grid* pada keluaran trafo adalah sesuai dengan Tabel Arus Hubung Singkat GI/GITET Sistem Jawa Bali Semester 1 Tahun 2020:
  - Kolom 3 fasa = 4091,97 MVA<sub>sc</sub>.
  - Kolom 1 fasa = 4091,97 MVA<sub>sc</sub>.

3. Arus hubung singkat = 15,75 kAsc
4. *Short Circuit Impedance* (100 MVA base)

Saat memasukkan spesifikasi kapasitas hubung singkat, maka ETAP akan menghitung nilai arus hubung singkat dan *SC. Impedance* secara otomatis.

b. Data Trafo Tenaga

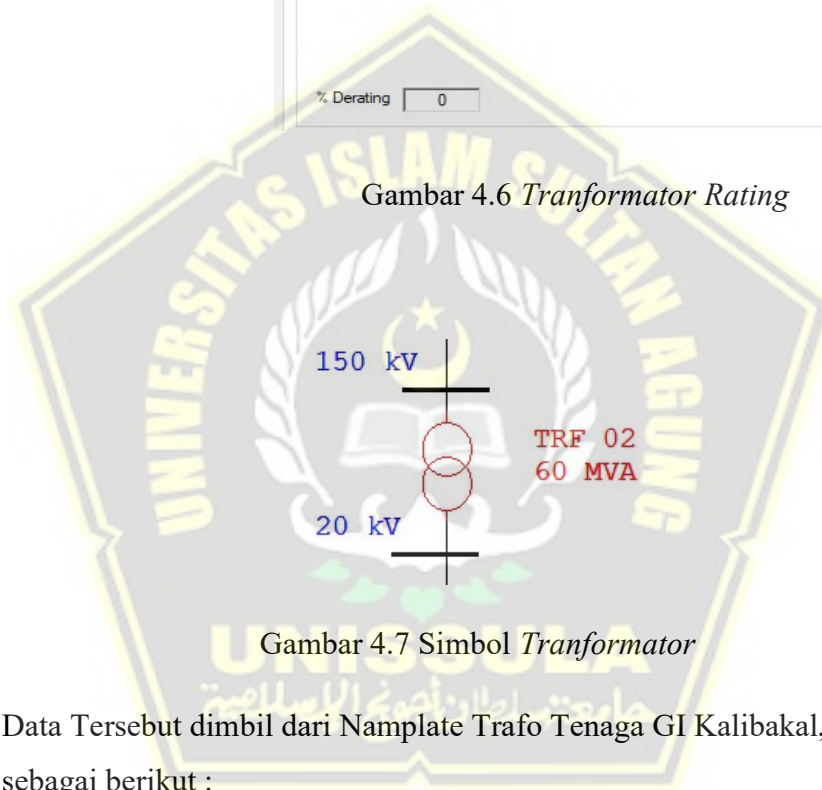
2-Winding Transformer Editor - TRF 02

| Reliability                                            |        | Remarks       |       | Comment   |            |
|--------------------------------------------------------|--------|---------------|-------|-----------|------------|
| Info                                                   | Rating | Impedance     | Tap   | Grounding | Protection |
| 60 MVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C                     |        |               |       |           |            |
| 150 20 kV                                              |        |               |       |           |            |
| Impedance                                              |        |               |       |           |            |
|                                                        | %Z     | X/R           | R/X   | %X        | %R         |
| Positive                                               | 12.495 | 34.115        | 0.029 | 12.49     | 0.366      |
| Zero                                                   | 12.493 | 44.852        | 0.022 | 12.49     | 0.278      |
| Typical Z & X/R Typical X/R                            |        |               |       |           |            |
| Z Base                                                 |        |               |       |           |            |
| MVA                                                    |        |               |       |           |            |
| 60                                                     |        |               |       |           |            |
| Other 65                                               |        |               |       |           |            |
| Z Variation                                            |        |               |       |           |            |
| @ -5 % Tap                                             | %Z     | % Z Variation |       |           |            |
| @ 5 % Tap                                              | %Z     | % Z Variation |       |           |            |
| Z Tolerance                                            |        |               |       |           |            |
| + 0 %                                                  |        |               |       |           |            |
| No Load Test Data (Used for Unbalanced Load Flow only) |        |               |       |           |            |
|                                                        | % FLA  | kW            | % G   | % B       |            |
| Positive                                               | 0      | 0             | 0     | 0         |            |
| Zero                                                   | 0      | 0             | 0     | 0         |            |
| <input type="checkbox"/> Bured Delta Winding           |        |               |       |           |            |
| Zero Seq. Impedance Typical Value                      |        |               |       |           |            |

Gambar 4.5 Tranformator Rating

2-Winding Transformer Editor - TRF 02

| Info                               | Reliability | Impedance | Tap | Grounding | Sizing | Remarks |
|------------------------------------|-------------|-----------|-----|-----------|--------|---------|
| 60 MVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C |             |           |     |           |        |         |
| Voltage Rating                     |             |           |     |           |        |         |
|                                    | kV          | FLA       |     | Bus kVnom |        |         |
| Prim.                              | 150         | 230.9     |     | 150       |        |         |
| Sec.                               | 20          | 1732      |     | 20        |        |         |
| Other 65                           |             |           |     |           |        |         |
| Power Rating                       |             |           |     |           |        |         |
| MVA                                |             |           |     |           |        |         |
| Rated                              | 60          | Other 65  |     |           |        |         |
| Derated                            | 60          |           |     |           |        |         |
| % Derating 0                       |             |           |     |           |        |         |

Gambar 4.6 *Tranformator Rating*Gambar 4.7 Simbol *Tranformator*

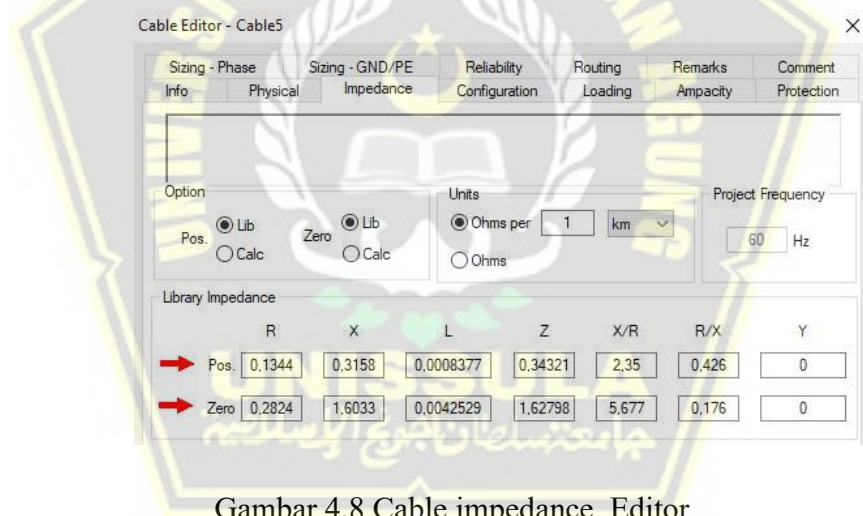
Data Tersebut diambil dari Namplate Trafo Tenaga GI Kalibakal, dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 4.2 Spesifikasi Trafo Tenaga

|                  | HV  | LV    |     |
|------------------|-----|-------|-----|
| Rate Power       | 60  | 60    | MVA |
| Rate Voltage     | 150 | 20    | kV  |
| Rate Current     | 230 | 1732  | A   |
| Insulation Level | 650 | 125   | kV  |
| Impedansi        |     | 12,49 | %   |

| POSISI SADAPAN | TEGANGAN SADAPAN ( VOLT ) | TEGANGAN PENGENAL ( VOLT ) | POSISI SADAPAN | TEGANGAN SADAPAN ( VOLT ) | TEGANGAN PENGENAL ( VOLT ) |
|----------------|---------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|
| 1              | 165750                    | 20000                      | 9              | 147750                    |                            |
| 2              | 163500                    |                            | 10             | 145500                    |                            |
| 3              | 161250                    |                            | 11             | 143250                    |                            |
| 4              | 159000                    |                            | 12             | 143250                    |                            |
| 5              | 156750                    |                            | 13             | 132750                    |                            |
| 6              | 154500                    |                            | 14             | 133500                    |                            |
| 7              | 152250                    |                            | sd             |                           |                            |
| 8              | 150000                    | 20000                      | 19             | 125000                    | 20000                      |

## c. Data Penghantar



Gambar 4.8 Cable impedance Editor

Gambar 4.3 diatas merupakan data impedansi yang diisikan pada menu penghantar pada *software* ETAP. Sebelum memasukkan nilai penghantar secara manual, pastikan menggunakan fungsi *user-defined* seperti ditunjukkan pada gambar diatas. Jenis penghantar yang digunakan adalah AAAC dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Jaringan 3 fasa menggunakan penghantar dengan luas penampang sebesar  $240 \text{ mm}^2$  dengan nilai impedansi sebagai berikut :
  - Impedansi urutan positif  $= ( 0,1344 + j 0,3158 )$
  - Impedansi urutan nol  $= ( 0,2824 + j 1,6033 )$
2. Jaringan 1 fasa menggunakan penghantar dengan luas penampang sebesar  $70 \text{ mm}^2$  dengan nilai impedansi sebagai berikut :
  - Impedansi urutan positif  $= ( 0,4608 + j 0,3572 )$
  - Impedansi urutan nol  $= ( 0,6088 + j 1,6447 )$

Gambar 4.9 Data Panjang Kawat Penghantar

Selain data - data impedansi, dimasukkan juga data panjang penghantar dengan satuan kilometer (km) seperti pada gambar 4.9 diatas. Data panjang penghantar setiap tiang didapatkan dengan melihat *asset management* PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota.

## d. Data Trafo Distribusi

2-Winding Transformer Editor - T10

Reliability: Info Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic

Remarks: 200 kVA IEC Liquid-Fill Other 65 C 20 0.4 kV

Comment: 20 0.4 kV

Voltage Rating

Prim. kV 20 FLA 5.774 Bus kVnom 21 Z Base kVA 200

Sec. kV 0.4 Other 65

Power Rating

Rated kVA 200 Other 65 Derated kVA 200

% Derating 0

MFR

Alert - Max

kVA 50000

☐ Derated kVA ☒ User-Defined

Installation

Altitude 1000 m Ambient Temp. 30 °C

Type / Class

Type Liquid-Fill Sub Type Other Class Other Temp. Rise 65

OK Cancel

Gambar 4.10 2 Winding Trafo Editor

Parameter Trafo didapatkan dari Namplate Trafo Distribusi 3 Phasa dan 1 Phasa dengan Data sebahai berikut :

Tabel 4.3 Namplate Trafo CSP 1 Phasa

|                  | HV    | LV              |     |
|------------------|-------|-----------------|-----|
| Rate Power       | 50    | 50              | MVA |
| Rate Voltage     | 11547 | 462/231         | V   |
| Rate Current     | 4,33  | 108,22 / 216,45 | A   |
| Insulation Level | 125   | 0,1             | kV  |
| Impedansi        |       | 2,5             | %   |

| POSISI SADAPAN | TEGANGAN SADAPAN ( VOLT) |
|----------------|--------------------------|
| 1              | 12702                    |
| 2              | 12124                    |
| 3              | 11547                    |
| 4              | 10970                    |
| 5              | 10392                    |

| POSISI SADAPAN | TEGANGAN SADAPAN ( VOLT) | TEGANGAN PENGENAL ( |
|----------------|--------------------------|---------------------|
| 231            | X1 - X4                  | X1 - X2<br>X3 - X4  |
| 462            | X1 -X4                   | X3-X3               |

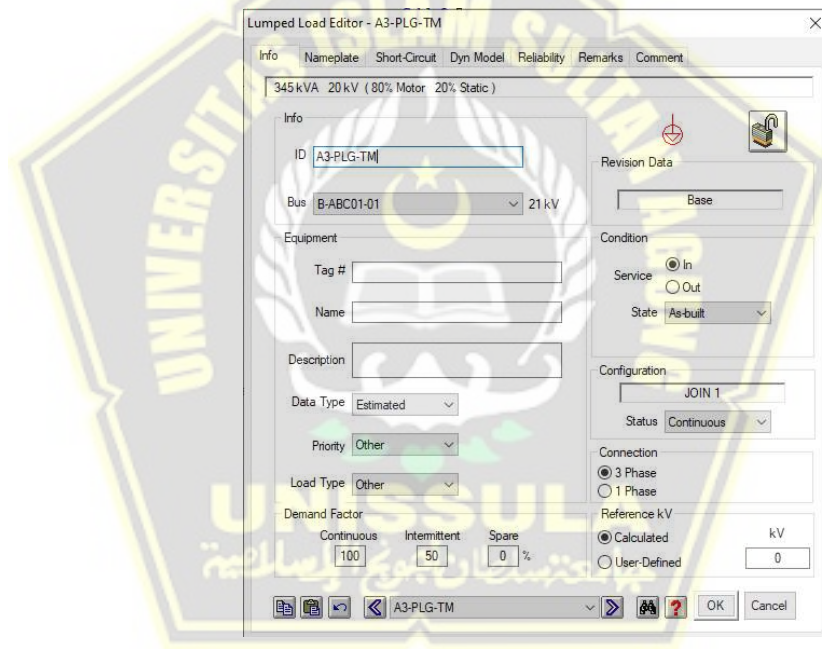
Tabel 4.4 Namplate Trafo Distribusi 3 Fasa

|                  | HV    | LV              |     |
|------------------|-------|-----------------|-----|
| Rate Power       | 50    | 50              | MVA |
| Rate Voltage     | 11547 | 462/231         | V   |
| Rate Current     | 4,33  | 108,22 / 216,45 | A   |
| Insulation Level | 125   | 0,1             | kV  |
| Impedansi        |       | 2,5             | %   |

| POSISI SADAPAN | TEGANGAN<br>SADAPAN ( VOLT) |
|----------------|-----------------------------|
| 1              | 12702                       |
| 2              | 12124                       |
| 3              | 11547                       |
| 4              | 10970                       |
| 5              | 10392                       |

| POSISI SADAPAN | TEGANGAN<br>SADAPAN ( VOLT) | TEGANGAN<br>PENGENAL ( |
|----------------|-----------------------------|------------------------|
| 231            | X1 - X4                     | X1 - X2<br>X3 - X4     |
| 462            | X1 - X4                     | X3-X3                  |

## e. Data pembabanan

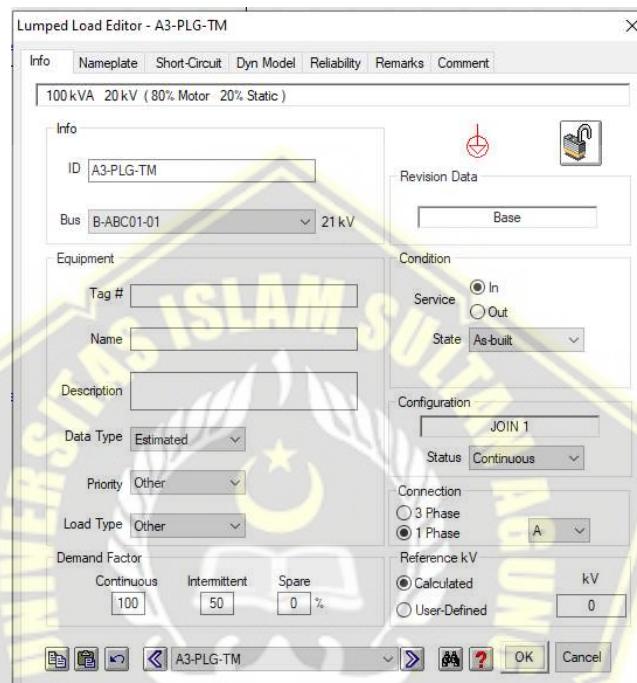


Gambar 4.11 Load Editor ( 3 Fasa )

Data *static load* pada gambar 4.5 diatas digunakan untuk mewakili trafo 1 fasa yang ada di jaringan distribusi penyulang rawalo 3. Pada menu diatas terdapat fungsi *connection* yang digunakan untuk menentukan sambungan trafo

pada masing - masing fasa. Ada 2 jenis *connection* yaitu 3 *phase* dan 1 *phase*. Untuk hubungan 1 *phase* dapat dijelaskan sebagai berikut.

- connection* A mewakili fasa R
- connection* B mewakili fasa S
- connection* C mewakili fasa T



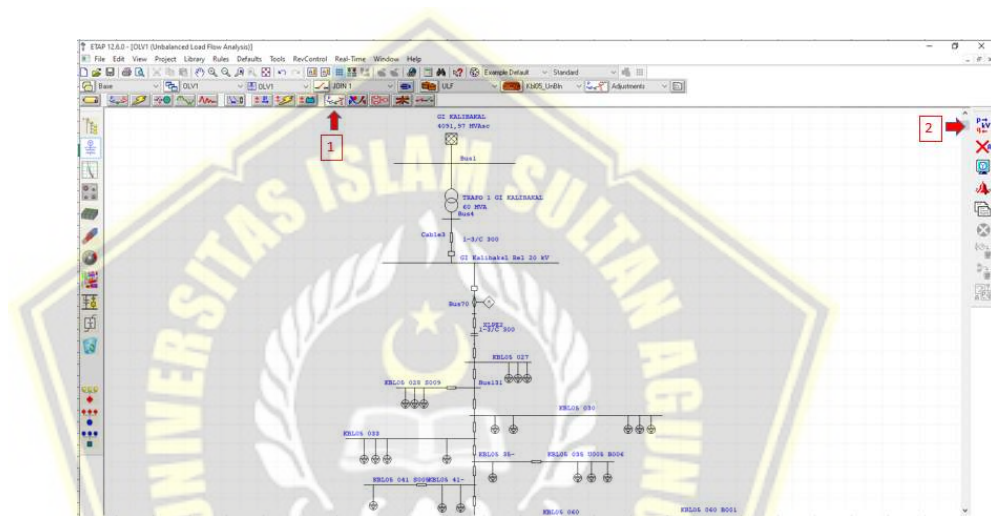
Gambar 4.12 Load Editor ( 1 Phasa )

Untuk trafo 1 fasa, maka *rated* tegangan yang digunakan sebesar 11.547 kV yang merupakan tegangan antara fasa - netral. Data *lumped load* yang dapat terlihat pada gambar 4.6 mewakili trafo 3 fasa yang ada di jaringan distribusi penyulang rawalo 3. Untuk trafo 3 fasa, maka *rated* tegangan bernilai 20 kV yang merupakan nilai tegangan antar fasa. Besarnya pembebanan (kVA) trafo distribusi yang merupakan beban pada siang hari dapat dilihat pada lampiran 1.

Setelah semua data yang diperlukan simulasi dimasukkan ke dalam program ETAP, selanjutnya simulasi dijalankan dengan menggunakan *unbalanced load*

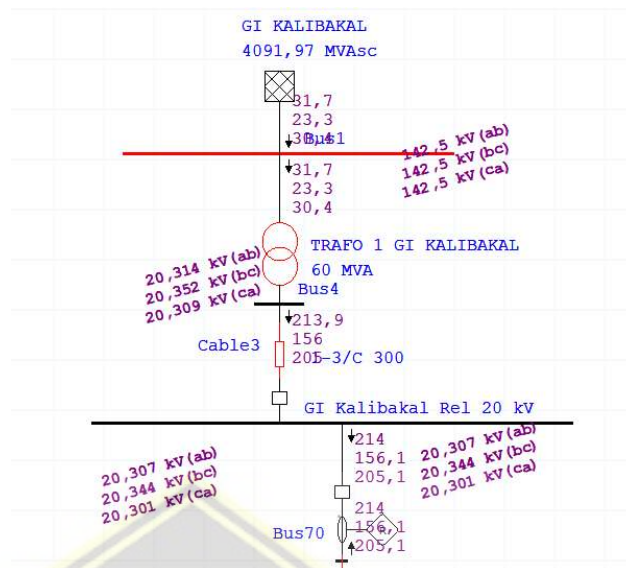
*flow analysis* untuk mengetahui besar arus masing - masing fasa. Berikut ini merupakan tampilan gambar langkah - langkah untuk melakukan simulasi dengan menggunakan menu *unbalanced load flow analysis*.

Setelah semua data yang diperlukan simulasi dimasukkan ke dalam program ETAP, selanjutnya simulasi dijalankan dengan menggunakan *unbalanced load flow analysis* untuk mengetahui besar arus masing - masing fasa. Berikut ini merupakan tampilan gambar langkah - langkah untuk melakukan simulasi dengan menggunakan menu *unbalanced load flow analysis*.



Gambar 4.13 Langkah menjalankan program *Unbalanced Load Flow Analysis*

Langkah eksekusi program diawali dengan memilih menu *Unbalanced Load Flow Analysis* yang ditunjukkan pada gambar 4.7 panah nomor 1. Kemudian memilih *Run Unbalanced Load Flow* yang ditunjuk panah nomor 2. Berikut hasil nilai arus yang didapatkan pada masing - masing fasa.



Gambar 4.14 Hasil *running* sebelum pemerataan beban

Dari gambar 4.8 diatas maka arus fasa (R, S, T) pada saat kondisi sebelum pemerataan beban dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini. Setelah mendapatkan nilai arus masing - masing fasa, kemudian dapat dicari nilai arus rata - rata yang digunakan sebagai nilai pedoman untuk mendapatkan nilai arus yang setimbang. Ketiga arus dapat dikatakan seimbang jika nilainya sama dengan arus rata - rata atau mendakati nilai arus rata - rata..

$$I_{rata-rata} = \frac{I_r + I_s + I_t}{3} = \frac{214 + 156,1 + 205,1}{3} = 191.67 \text{ A}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.15), koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya. Dalam keadaan seimbang, besarnya arus masing - masing fasa sama dengan besarnya arus rata - rata ( $I_{rata}$ )

$$[I_r] = a [I] \text{ maka : } a = \frac{I_r}{I} = \frac{214}{191.67} = 1.12$$

$$[I_s] = b [I] \text{ maka : } b = \frac{I_s}{I} = \frac{156.1}{191.67} = 0.81$$

$$[I_t] = c [I] \text{ maka : } c = \frac{I_t}{I} = \frac{205.1}{191.67} = 1.07$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian, rata - rata ketidakseimbangan beban ( dalam % ) pada siang hari sebesar:

$$\begin{aligned}\%U_b &= \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,12-1| + |0,81-1| + |1,07-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{0,12+0,81+0,07\}}{3} \times 100\% \\ &= 12,4 \%\end{aligned}$$

Beberapa Hal yang menyebabkan Beban Penyulang KBL05 tidak Seimbang :

- a. Penempatan Sambungan Fasa dan Besar Beban Taping 1 Fasa.

Tabel 4.5 Pengukuran Taping 1 Fasa 20 kV

| No | NO TIANG            | Waktu Pengukuran |       | Arus ( A ) |       |       |
|----|---------------------|------------------|-------|------------|-------|-------|
|    |                     | Tanggal          | Jam   | R          | S     | T     |
| 1  | KBL05 041 S005      | 1 Juni 2020      | 18:30 | 2,70       |       |       |
| 2  | KBL05 060 B001      | 1 Juni 2020      | 18:36 | 3,90       |       |       |
| 3  | KBL05 066 T001      | 1 Juni 2020      | 18:45 |            | 29,40 |       |
| 4  | KBL05 070 B001      | 1 Juni 2020      | 18:59 | 2,20       |       |       |
| 5  | KBL05 078 T001      | 1 Juni 2020      | 19:02 |            |       | 2,90  |
| 6  | KBL05 086 S005      | 1 Juni 2020      | 19:08 | 21,40      |       |       |
| 7  | KBL05 088 U001      | 1 Juni 2020      | 19:15 | 4,80       |       |       |
| 8  | KBL05 102 U001      | 1 Juni 2020      | 19:22 | 11,20      |       |       |
| 9  | KBL05 110 U001      | 1 Juni 2020      | 19:29 | 21,20      |       |       |
| 10 | KBL05 112 T001      | 1 Juni 2020      | 19:36 |            | 26,20 |       |
| 11 | KBL05 146 B001      | 1 Juni 2020      | 19:43 | 2,60       |       |       |
| 12 | KBL05 153 T015 U001 | 1 Juni 2020      | 19:50 | 1,70       |       |       |
| 13 | KBL05 153 T044 U001 | 1 Juni 2020      | 19:57 | 14,90      |       |       |
| 14 | KBL05 153 T050 U001 | 1 Juni 2020      | 18:24 | 2,10       |       |       |
| 15 | KBL05 174 T001      | 1 Juni 2020      | 18:33 |            |       | 27,90 |
| 16 | KBL05 175 B001      | 1 Juni 2020      | 18:42 | 8,10       |       |       |
| 17 | KBL05 204 T001      | 1 Juni 2020      | 18:51 |            | 32,00 |       |
| 18 | KBL05 210 T001      | 1 Juni 2020      | 19:00 | 21,50      |       |       |
| 19 | KBL05 217 T001      | 1 Juni 2020      | 19:09 | 13,10      |       |       |
| 20 | KBL05 225 B001      | 1 Juni 2020      | 19:18 | 6,70       |       |       |
| 21 | KBL05 247 T001      | 1 Juni 2020      | 19:27 |            |       | 24,60 |
| 22 | KBL05 259 T001      | 1 Juni 2020      | 19:36 |            | 7,90  |       |
| 23 | KBL05 316 B01       | 1 Juni 2020      | 19:45 | 4,30       |       |       |
| 24 | KBL05 331 U01       | 1 Juni 2020      | 19:54 |            |       | 22,20 |
| 25 | KBL05 351 S03       | 1 Juni 2020      | 20:03 |            |       | 27,20 |



Gambar 4.15 Taping 1 Phasa 20 kV

- b. Penempatan Sambungan Phasa Trafo CSP pada Jaringan utama 3 Phasa.

Terdapat 65 Unit Trafo 1 Phasa pada Jalur 3 Phasa penyulang KBL05 dengan penjamperan phasa sesuai dengan data yang diambil dari PT. PLN ( Persero ) ULP Purwokerto Kota.

Tabel 4.6 Sambungan Phasa dan Pengukuran Trafo CSP pada Jalur Utama.

| NO | NO GARDU     | NO TIANG/<br>NO GARDU | Arus<br>( A ) | ALAMAT   | MERK     | PHS | KVA | KET               |
|----|--------------|-----------------------|---------------|----------|----------|-----|-----|-------------------|
| 1  | GD-CSP-0001  | KBL 05 029            | 1,070         | MERSI    | VOLTRA   | T   | 50  | 1 JUNI 2021 18:14 |
| 2  | GD-CSP-0002  | KBL 05 030            | 2,007         | MERSI    | BD       | T   | 50  | 1 JUNI 2021 18:13 |
| 3  | GD-CSP-0003  | KBL 05 031            | 1,612         | MERSI    | TRAFINDO | R   | 50  | 1 JUNI 2021 19:21 |
| 4  | GD-CSP-0004  | KBL 05 035            | 1,824         | POLTEKES | VOLTRA   | T   | 50  | 1 JUNI 2021 19:18 |
| 5  | GD-CSP-0005  | KBL 05 037            | 2,667         | POLTEKES | TRAFINDO | T   | 50  | 1 JUNI 2021 19:34 |
| 6  | GD-CSP-0006  | KBL 05 041            | 1,158         | POLTEKES | SINTRA   | R   | 50  | 1 JUNI 2021 19:38 |
| 7  | GD-CSP-0007  | KBL 05 045            | 1,380         | POLTEKES | TRAFINDO | T   | 50  | 1 JUNI 2021 19:46 |
| 8  | GD-CSP-0008  | KBL 05 060            | 1,508         | STIKES   | BD       | R   | 50  | 1 JUNI 2021 19:44 |
| 9  | GD-CSP-0009  | KBL 05 064            | 2,259         | STIKES   | BD       | T   | 50  | 1 JUNI 2021 19:57 |
| 10 | GD-CSP-0010  | KBL 05 067            | 2,631         | STIKES   | TRAFINDO | T   | 50  | 1 JUNI 2021 19:54 |
| 11 | GD-CSP-0011  | KBL 05 069            | 1,284         | STIKES   | SINTRA   | R   | 50  | 1 JUNI 2021 20:11 |
| 12 | GD-CSP-0012  | KBL 05 070            | 1,698         | STIKES   | SINTRA   | T   | 50  | 1 JUNI 2021 20:09 |
| 13 | GD-CSP-0013  | KBL 05 071            | 2,027         | STIKES   | TRAFINDO | T   | 50  | 1 JUNI 2021 20:25 |
| 14 | GD-CSP-0014  | KBL 05 073            | 1,166         | STIKES   | TRAFINDO | T   | 50  | 1 JUNI 2021 20:24 |
| 15 | GD-CSP-0015  | KBL 05 076            | 2,467         | STIKES   | SINTRA   |     | 50  | 1 JUNI 2021 20:35 |
| 16 | GD-CSP-0015A | KBL 05 078            | 2,269         | STIKES   | BD       | R   | 50  | 1 JUNI 2021 20:34 |

| NO | NO GARDU     | NO TIANG/<br>NO GARDU | Arus<br>( A ) | ALAMAT      | MERK     | PHS | KVA | KET               |
|----|--------------|-----------------------|---------------|-------------|----------|-----|-----|-------------------|
| 17 | GD-CSP-0015B | KBL 05 081            | 0,608         | DAMPIT      | TRAFINDO | R   | 50  | 1 JUNI 2021 20:44 |
| 18 | GD-CSP-0015C | KBL 05 083            | 1,794         | DAMPIT      | SINTRA   |     | 50  | 1 JUNI 2021 20:40 |
| 19 | GD-CSP-0016  | KBL 05 086            | 2,953         | DAMPIT      | BD       | T   | 50  | 1 JUNI 2021 21:10 |
| 20 | GD-CSP-0017  | KBL 05 093            | 1,658         | DAMPIT      | BD       | R   | 50  | 1 JUNI 2021 21:25 |
| 21 | GD-CSP-0018  | KBL 05 095            | 1,336         | DAMPIT      | SINTRA   | T   | 50  | 2 JUNI 2021 18:12 |
| 22 | GD-CSP-0019  | KBL 05 101            | 2,013         | DAMPIT      | BD       | T   | 50  | 2 JUNI 2021 18:18 |
| 23 | GD-CSP-0020  | KBL 05 104            | 1,704         | DAMPIT      | SINTRA   | T   | 50  | 2 JUNI 2021 18:21 |
| 24 | GD-CSP-0021  | KBL 05 106            | 1,652         | DAMPIT      | SINTRA   | T   | 50  | 2 JUNI 2021 18:20 |
| 25 | GD-CSP-0022  | KBL 05 107            | 1,456         | DAMPIT      | SINTRA   | T   | 50  | 2 JUNI 2021 18:38 |
| 26 | GD-CSP-0023  | KBL 05 113            | 1,280         | KARANG SARI | SINTRA   | T   | 50  | 2 JUNI 2021 18:41 |
| 27 | GD-CSP-0024  | KBL 05 115            | 0,758         | KARANG SARI | TRAFINDO | T   | 50  | 2 JUNI 2021 18:55 |
| 28 | GD-CSP-0025  | KBL 05 120            | 1,864         | KARANG SARI | SINTRA   | S   | 50  | 2 JUNI 2021 18:54 |
| 29 | GD-CSP-0026  | KBL 05 124            | 1,736         | LARANGAN    | SINTRA   | S   | 50  | 2 JUNI 2021 19:05 |
| 30 | GD-CSP-0027  | KBL 05 128            | 2,373         | LARANGAN    | SINTRA   | T   | 50  | 2 JUNI 2021 19:11 |
| 31 | GD-CSP-0028  | KBL 05 130            | 0,446         | LARANGAN    | TRAFINDO | T   | 50  | 2 JUNI 2021 19:05 |
| 32 | GD-CSP-0029  | KBL 05 136            | 1,572         | LARANGAN    | SINTRA   | T   | 50  | 2 JUNI 2021 19:08 |
| 33 | GD-CSP-0030  | KBL 05 141            | 1,890         | LARANGAN    | SINTRA   | S   | 50  | 2 JUNI 2021 19:30 |
| 34 | GD-CSP-0031  | KBL 05 143            | 1,354         | LARANGAN    | TRAFINDO | S   | 50  | 2 JUNI 2021 19:45 |
| 35 | GD-CSP-0032  | KBL 05 181            | 2,915         | SUMBANG     | BD       | R   | 50  | 2 JUNI 2021 19:49 |
| 36 | GD-CSP-0033  | KBL 05 184            | 0,700         | SUMBANG     | SINTRA   | T   | 50  | 2 JUNI 2021 20:11 |
| 37 | GD-CSP-0034  | KBL 05 198            | 1,844         | SUMBANG     | TRAFINDO | S   | 50  | 2 JUNI 2021 20:12 |
| 38 | GD-CSP-0035  | KBL 05 206            | 1,500         | CIBEREM     | UNINDO   | T   | 50  | 2 JUNI 2021 20:25 |
| 39 | GD-CSP-0036  | KBL 05 209            | 0,264         | CIBEREM     | SINTRA   | R   | 50  | 2 JUNI 2021 20:26 |
| 40 | GD-CSP-0037  | KBL 05 216            | 1,506         | CIBEREM     | BD       | S   | 50  | 2 JUNI 2021 20:35 |
| 41 | GD-CSP-0038  | KBL 05 220            | 1,396         | CIBEREM     | BD       | T   | 50  | 2 JUNI 2021 20:36 |
| 42 | GD-CSP-0039  | KBL 05 225            | 1,440         | CIBEREM     | BD       | T   | 50  | 2 JUNI 2021 20:45 |
| 43 | GD-CSP-0040  | KBL 05 240            | 1,480         | CEHENG      | SINTRA   | R   | 50  | 2 JUNI 2021 20:54 |
| 44 | GD-CSP-0041  | KBL 05 241            | 0,572         | CEHENG      | BD       | S   | 50  | 2 JUNI 2021 21:02 |
| 45 | GD-CSP-0042  | KBL 05 263            | 1,316         | CEHENG      | VOLTRA   | T   | 50  | 2 JUNI 2021 21:05 |
| 46 | GD-CSP-0043  | KBL 05 295            | 0,630         | CEHENG      | BD       | R   | 50  | 2 JUNI 2021 21:11 |
| 47 | GD-CSP-0044  | KBL 05 352            | 0,382         | CEHENG      | SINTRA   | R   | 50  | 2 JUNI 2021 21:15 |
| 48 | GD-CSP-0045  | KBL 05 354            | 0,744         | GANDATAPA   | UNINDO   | S   | 50  | 3 JUNI 2021 18:15 |
| 49 | GD-CSP-0046  | KBL 05 365            | 0,772         | WATU JARAN  | SINTRA   | T   | 50  | 3 JUNI 2021 18:25 |
| 50 | GD-CSP-0047  | KBL 05 401            | 0,254         | BATURADEN   | VOLTRA   | T   | 50  | 3 JUNI 2021 18:24 |
| 51 | GD-CSP-0048  | KBL 05 430            | 0,180         | BATURADEN   | BD       |     | 50  | 3 JUNI 2021 18:35 |
| 52 | GD-CSP-0049  | KBL 05 433            | 0,194         | BATURADEN   | TRAFINDO | S   | 50  | 3 JUNI 2021 18:36 |
| 53 | GD-CSP-0050  | KBL 05 446            | 0,210         | BATURADEN   | EBT      | R   | 50  | 3 JUNI 2021 18:48 |
| 54 | GD-CSP-0051  | KBL 06 279            | 1,706         | BATURRADEN  | TRAFINDO | S   | 50  | 3 JUNI 2021 18:58 |
| 55 | GD-CSP-0052  | KBL 06 276            | 1,454         | BATURRADEN  | SINTRA   | S   | 50  | 3 JUNI 2021 19:05 |
| 56 | GD-CSP-0053  | KBL 06 275            | 1,168         | BATURRADEN  | SINTRA   | T   | 50  | 3 JUNI 2021 19:04 |
| 57 | GD-CSP-0054  | KBL 06 270            | 1,258         | BATURRADEN  | BD       | S   | 50  | 3 JUNI 2021 19:11 |
| 58 | GD-CSP-0055  | KBL 06 266            | 0,652         | BATURRADEN  | TRAFINDO | T   | 50  | 3 JUNI 2021 19:12 |
| 59 | GD-CSP-0056  | KBL 06 264            | 1,888         | BATURRADEN  | SINTRA   | S   | 50  | 3 JUNI 2021 19:25 |
| 60 | GD-CSP-0057  | KBL 06 260            | 1,502         | BATURRADEN  | TRAFINDO | S   | 50  | 3 JUNI 2021 19:26 |
| 61 | GD-CSP-0058  | KBL 06 255            | 1,656         | BATURRADEN  | SINTRA   | R   | 50  | 3 JUNI 2021 19:35 |
| 62 | GD-CSP-0059  | KBL 06 252            | 1,782         | BATURRADEN  | BD       | R   | 50  | 3 JUNI 2021 19:45 |
| 63 | GD-CSP-0060  | KBL 06 250            | 1,438         | BATURRADEN  | SINTRA   | R   | 50  | 3 JUNI 2021 20:05 |
| 64 | GD-CSP-0061  | KBL 06 232            | 1,540         | BATURRADEN  | BD       | T   | 50  | 3 JUNI 2021 20:11 |
| 65 | GD-CSP-0062  | KBL 06 231            | 0,724         | BATURRADEN  | JP       | S   | 50  | 3 JUNI 2021 20:25 |



Gambar 4.16 Sambungan Trafo 1 Phasa Pada Jalur Utama 20 kV

c. Ketidakseimbangan beban Pada Pelanggan 3 Phasa

Terdapat Sejumlah 46 Pelanggan 3 Phasa Pada Penyulang KBL05 .Pengambilan data pembebanan dilakukan menggunakan system AMR ( Automatic mater Reading ) dengan Pengambilan data saat waktu beban malam menyesuaikan pengukuran pada Taping 1 phasa.

Tabel 4.7 Beban Pelanggan 3 Phasa

| No | Section  |          | Daya ( kVA ) | READ_DATE          | Rasio<br>Sec | Arus ( A ) |      |      |
|----|----------|----------|--------------|--------------------|--------------|------------|------|------|
|    | I        | II       |              |                    |              | R          | S    | T    |
| 1  | ABSW I   | KBL05-42 | 33000        | 1-JUNI-21 19:01:05 | 1            | 1,09       | 0,12 | 0,00 |
| 2  | ABSW I   | KBL05-42 | 82500        | 1-JUNI-21 19:11:10 | 5            | 0,31       | 0,29 | 0,50 |
| 3  | ABSW I   | KBL05-42 | 33000        | 1-JUNI-21 19:15:07 | 1            | 0,01       | 0,01 | 0,08 |
| 4  | ABSW I   | KBL05-42 | 33000        | 1-JUNI-21 19:14:08 | 1            | 0,33       | 0,32 | 0,38 |
| 5  | ABSW I   | KBL05-42 | 41500        | 1-JUNI-21 19:01:09 | 1            | 0,07       | 0,15 | 0,18 |
| 6  | ABSW I   | KBL05-42 | 82500        | 1-JUNI-21 19:03:10 | 5            | 0,73       | 0,64 | 0,53 |
| 7  | KBL05-42 | KBL05-90 | 66000        | 1-JUNI-21 19:05:59 | 5            | 1,35       | 0,85 | 0,82 |
| 8  | KBL05-42 | KBL05-90 | 66000        | 1-JUNI-21 19:10:54 | 5            | 1,22       | 2,14 | 1,24 |
| 9  | KBL05-42 | KBL05-90 | 41500        | 1-JUNI-21 19:17:21 | 1            | 0,01       | 0,01 | 0,12 |
| 10 | KBL05-42 | KBL05-90 | 33000        | 1-JUNI-21 19:18:20 | 1            | 0,82       | 0,52 | 0,59 |
| 11 | KBL05-42 | KBL05-90 | 66000        | 1-JUNI-21 19:05:15 | 5            | 0,05       | 0,35 | 0,28 |
| 12 | KBL05-42 | KBL05-90 | 82500        | 1-JUNI-21 19:04:47 | 5            | 0,04       | 0,26 | 0,50 |

| No | Section   |           | Daya ( kVA ) | READ_DATE          | Rasio<br>Sec | Arus ( A ) |      |      |
|----|-----------|-----------|--------------|--------------------|--------------|------------|------|------|
|    | I         | II        |              |                    |              | R          | S    | T    |
| 13 | KBL05-42  | KBL05-90  | 53000        | 1-JUNI-21 19:00:11 | 5            | 0,03       | 0,05 | 0,07 |
| 14 | KBL05-42  | KBL05-90  | 33000        | 1-JUNI-21 19:08:15 | 1            | 0,05       | 0,07 | 0,02 |
| 15 | KBL05-42  | KBL05-90  | 53000        | 1-JUNI-21 19:14:17 | 5            | 0,50       | 0,17 | 0,47 |
| 16 | KBL05-42  | KBL05-90  | 197000       | 1-JUNI-21 19:15:17 | 5            | 0,88       | 0,60 | 0,51 |
| 17 | KBL05-42  | KBL05-90  | 240000       | 1-JUNI-21 19:14:54 | 5            | 2,29       | 2,49 | 2,28 |
| 18 | KBL05-42  | KBL05-90  | 41500        | 1-JUNI-21 19:24:15 | 1            | 0,08       | 0,15 | 0,29 |
| 19 | KBL05-90  | KBL05-142 | 53000        | 1-JUNI-21 19:28:32 | 5            | 1,21       | 0,44 | 0,60 |
| 20 | KBL05-90  | KBL05-142 | 33000        | 1-JUNI-21 19:27:14 | 1            | 0,18       | 0,07 | 0,08 |
| 21 | KBL05-142 | KBL05-225 | 105000       | 1-JUNI-21 19:24:54 | 5            | 0,16       | 0,02 | 0,02 |
| 22 | KBL05-142 | KBL05-225 | 33000        | 1-JUNI-21 19:08:14 | 1            | 0,02       | 0,06 | 0,04 |
| 23 | KBL05-142 | KBL05-225 | 131000       | 1-JUNI-21 19:45:14 | 5            | 0,65       | 1,12 | 1,24 |
| 24 | KBL05-142 | KBL05-225 | 53000        | 1-JUNI-21 19:24:10 | 5            | 0,00       | 0,00 | 0,04 |
| 25 | KBL05-225 | KBL05-350 | 147000       | 1-JUNI-21 19:12:18 | 5            | 0,02       | 0,09 | 0,02 |
| 26 | KBL05-225 | KBL05-350 | 33000        | 1-JUNI-21 19:15:15 | 1            | 0,03       | 0,09 | 0,03 |
| 27 | KBL05-225 | KBL05-350 | 33000        | 1-JUNI-21 19:25:24 | 1            | 0,68       | 0,71 | 0,74 |
| 28 | KBL05-225 | KBL05-350 | 33000        | 1-JUNI-21 19:04:11 | 1            | 0,04       | 0,04 | 0,04 |
| 29 | KBL05-225 | KBL05-350 | 197000       | 1-JUNI-21 20:01:54 | 5            | 3,42       | 3,68 | 3,77 |
| 30 | KBL05-225 | KBL05-350 | 197000       | 1-JUNI-21 20:05:11 | 5            | 3,01       | 2,92 | 2,80 |
| 31 | KBL05-225 | KBL05-350 | 197000       | 1-JUNI-21 20:02:24 | 5            | 3,47       | 3,78 | 3,82 |
| 32 | KBL05-225 | KBL05-350 | 105000       | 1-JUNI-21 20:14:08 | 5            | 1,73       | 1,79 | 1,84 |
| 33 | KBL05-225 | KBL05-350 | 197000       | 1-JUNI-21 20:15:25 | 5            | 1,36       | 1,45 | 1,51 |
| 34 | KBL05-350 | KBL05-402 | 82500        | 1-JUNI-21 20:14:47 | 5            | 1,97       | 1,58 | 2,03 |
| 35 | KBL05-403 | KBL06-284 | 131000       | 1-JUNI-21 20:25:27 | 5            | 1,92       | 2,36 | 2,38 |
| 36 | KBL05-404 | KBL06-285 | 105000       | 1-JUNI-21 20:34:25 | 5            | 0,35       | 0,41 | 0,81 |
| 37 | KBL06-283 | KBL06-258 | 33000        | 1-JUNI-21 20:05:11 | 1            | 0,22       | 0,10 | 0,14 |
| 38 | KBL06-283 | KBL06-258 | 41500        | 1-JUNI-21 20:54:17 | 1            | 0,49       | 0,03 | 0,28 |
| 39 | KBL06-283 | KBL06-258 | 131000       | 1-JUNI-21 20:25:17 | 5            | 0,27       | 0,34 | 0,22 |
| 40 | KBL06-283 | KBL06-258 | 41500        | 1-JUNI-21 20:15:18 | 1            | 0,05       | 0,05 | 0,18 |
| 41 | KBL06-283 | KBL06-258 | 240000       | 1-JUNI-21 20:07:20 | 5            | 0,00       | 0,00 | 0,00 |
| 42 | KBL06-283 | KBL06-258 | 33000        | 1-JUNI-21 20:05:11 | 1            | 0,00       | 0,00 | 0,00 |
| 43 | KBL06-283 | KBL06-258 | 41500        | 1-JUNI-21 20:05:08 | 1            | 0,27       | 0,23 | 0,32 |
| 44 | KBL06-283 | KBL06-258 | 240000       | 1-JUNI-21 20:48:05 | 5            | 0,03       | 0,05 | 0,03 |
| 45 | KBL06-283 | KBL06-258 | 41500        | 1-JUNI-21 20:08:28 | 1            | 0,69       | 0,95 | 0,80 |
| 46 | KBL06-283 | KBL06-258 | 164000       | 1-JUNI-21 20:04:57 | 5            | 0,66       | 0,79 | 0,70 |

Jaringan KBL 05 merupakan jaringan dengan Tipe Open Loop dimana Perubahan Konfigurasinya dapat melalui peralihan Section ke penyulang lain. Sehingga dilakukan pengambilan data beban persection untuk merencanakan Penyeimbangan beban pada penyulang KBL05 dengan data pembebanan sebagai berikut :

Tabel 4.8 Ketidakseimbangan beban KBL05

| No           | Section Awal  | Section Akhir    | Beban Feeder ( A ) |              |              | Ir          | Is          | Ib          | %Ub           |
|--------------|---------------|------------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
|              |               |                  | R                  | S            | T            |             |             |             |               |
| 1            | PMT KBL05     | RECLOSER KBL5 42 | 6,8                | 1,3          | 9,1          | 1,19        | 0,23        | 1,59        | 51,55%        |
| 2            | ABSW KBL42    | ABSW KBL5 90     | 55,6               | 45,9         | 37,9         | 1,20        | 0,99        | 0,82        | 13,10%        |
| 3            | ABSW KBL5 90  | ABSW KBL5 142    | 35,6               | 26,5         | 10,7         | 1,47        | 1,09        | 0,44        | 37,27%        |
| 4            | ABSW KBL5 142 | ABSW KBL5 225    | 18,5               | 40,8         | 33,8         | 0,60        | 1,31        | 1,09        | 26,92%        |
| 5            | ABSW KBL5 225 | ABSW KBL5 350    | 84,2               | 23,5         | 69,5         | 1,43        | 0,40        | 1,18        | 40,14%        |
| 6            | ABSW KBL5 350 | ABSW KBL5 402    | 2,1                | 2,5          | 34,6         | 0,16        | 0,19        | 2,65        | 109,86%       |
| 7            | ABSW KBL5 402 | ABSW KBL6 283    | 2,8                | 3,1          | 3,1          | 0,93        | 1,03        | 1,03        | 4,44%         |
| 8            | ABSW KBL6 283 | ABSW KBL6 283    | 8,4                | 12,5         | 6,4          | 0,92        | 1,37        | 0,70        | 24,91%        |
| <b>Total</b> |               |                  | <b>214</b>         | <b>156,1</b> | <b>205,1</b> | <b>1,12</b> | <b>0,81</b> | <b>1,07</b> | <b>12,39%</b> |

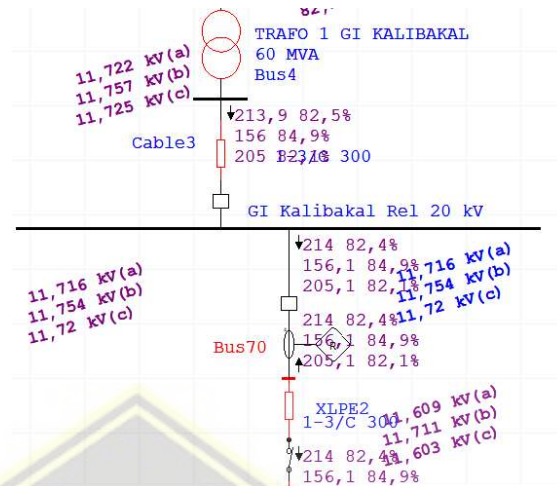
Dari table diatas , Nampak bahwa Komposisi pembebanan persection pada penyulang KBL05 tidak linier dengan Total pembebanan pada Penyulang KBL05. Sehingga perencanaan Penyeimbangan baban akan merujuk pada Penyeimbangan beban Persection dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Besaran arus pada masing masing Bus akan seimbang sehingga dampak susut Teknis akan lebih efisien.
2. Apabila terjadi perubahan konfigurasi maka beban yang dilimpah tidak berdampak pada penambahan ketidakseimbangan beban pada penyulang yang menerima beban

#### 4.6 Hasil Simulasi Susut Daya

Setelah Parameter Beban pada masing masing Bus dimasukkan. Maka akan didapatkan simulasi Pembeban Jaringan KBL05 pada kondisi Exsisting. Tahap berikutnya adalah perhitungan nilai susut daya dengan tahapan sebagai berikut :

a. Nilai Susut Daya Pada Penyulang KBL05 kondisi Existing



Gambar 4.17 Hasil Running Unbalanced Load Analysis

Berikut perhitungan Susut pada section Pertama Penyulang KBL05

1. Perhitungan Daya Aktif ( Watt )

$$\begin{aligned}
 P &= (I_R \cdot V_R \cdot \cos \theta_R) + (I_S \cdot V_S \cdot \cos \theta_S) \\
 &\quad + (I_T \cdot V_T \cdot \cos \theta_T) \\
 &= (214 \cdot 11,716 \cdot 0,824) + (156,1 \cdot 11,754 \cdot 0,841) \\
 &\quad + (205,1 \cdot 11,720 \cdot 0,821) \\
 &= 2065952,57 + 1557744,69 + 1973496,81 \\
 &= 5597194,07 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Susut Daya ( Watt )

$$\Delta P = (I_R^2 \cdot R) + (I_S^2 \cdot R) + (I_t^2 \cdot R)$$

$$\begin{aligned}
 &= (214^2 \cdot 0,0336) + (156^2 \cdot 0,0336 \Omega) \\
 &\quad + (205^2 \cdot 0,0336 \Omega) \\
 &= 1538,74 + 818,73 + 1413,41 \\
 &= 3770,90 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\text{Susut (\%)} = \frac{P_{\text{Susut (Watt)}}}{P_{\text{Terpakai (Watt)}}} \times 100 \%$$

$$\text{Susut (\%)} = \frac{3770,90}{5597194,07} \times 100 \%$$

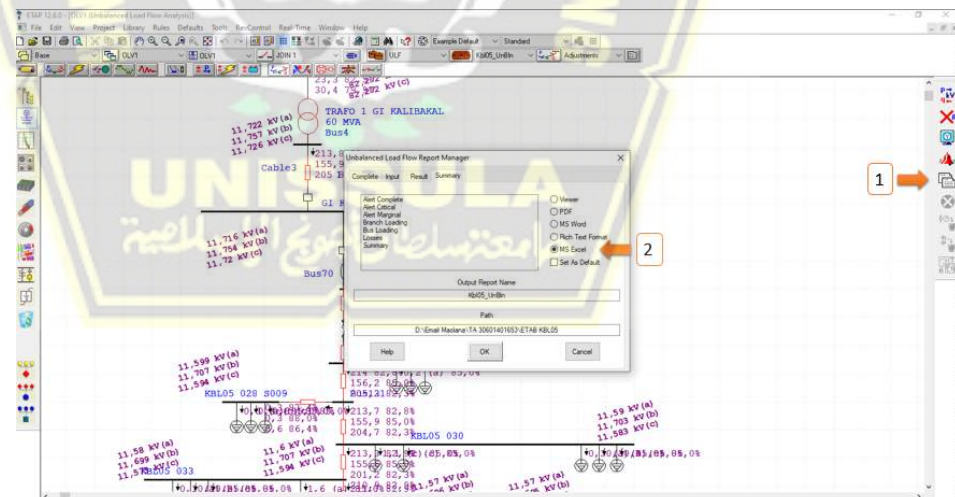
$$\text{Susut (\%)} = 0.067 \%$$

Hasil Susut Daya pada Section Pertama penyulang KBL 05 adalah 3,771 kWatt atau 0,067 %

### 3. Perhitungan Susut Total( kWatt )

Perhitungan susut Daya sesaat Total menggunakan Unbalance Load Flow Manager

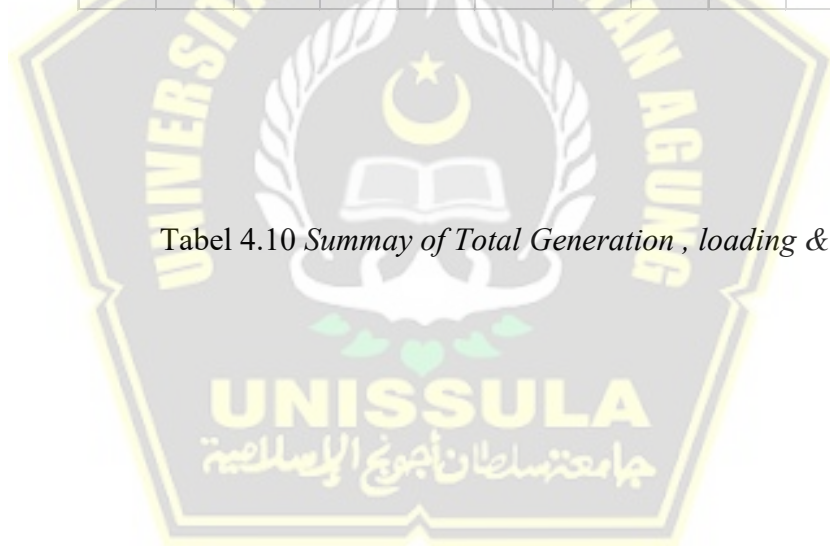
Gambar 4.18 Unbalanced Load Flow Manager KBL05 Existing



Tabel 4.9 Branch Losses Summary Report KBL 05 Existing

| Branch Losses Summary Report |       |                  |        |                  |        |        |       |               |       |                |
|------------------------------|-------|------------------|--------|------------------|--------|--------|-------|---------------|-------|----------------|
| CKT / Branch                 |       | From-To Bus Flow |        | To-From Bus Flow |        | Losses |       | % Bus Voltage |       | Vd             |
| ID                           | Phase | MW               | Mvar   | MW               | Mvar   | kW     | kvar  | From          | To    | % Drop in Vmag |
|                              | B     | 0,167            | 0,100  | -0,167           | -0,100 | 0,0    | -0,1  | 97,1          | 97,1  | 0,02           |
|                              | C     | 0,103            | 0,060  | -0,103           | -0,061 | 0,0    | -0,1  | 88,5          | 88,5  | 0,01           |
| Line277                      | A     | 0,000            | 0,000  | 0,000            | 0,000  | 0,0    | 0,0   | 95,2          | 95,2  | 0,00           |
|                              | B     | 0,000            | 0,000  | 0,000            | 0,000  | 0,0    | 0,0   | 97,2          | 97,2  | 0,00           |
|                              | C     | -0,209           | -0,129 | 0,209            | 0,129  | 0,0    | 0,0   | 88,7          | 88,8  | 0,01           |
| Line278                      | A     | 0,000            | 0,000  | 0,000            | 0,000  | 0,0    | -0,1  | 95,2          | 95,2  | 0,02           |
|                              | B     | 0,000            | 0,000  | 0,000            | 0,000  | 0,0    | -0,1  | 97,1          | 97,1  | 0,01           |
|                              | C     | -0,255           | -0,158 | 0,255            | 0,158  | 0,1    | 0,1   | 88,5          | 88,5  | 0,04           |
| Line280                      | A     | 0,000            | 0,000  | 0,000            | 0,000  | 0,0    | -0,2  | 95,9          | 96,0  | 0,04           |
|                              | B     | 0,000            | 0,000  | 0,000            | 0,000  | 0,0    | -0,2  | 99,0          | 99,0  | 0,02           |
|                              | C     | 0,267            | 0,166  | -0,267           | -0,165 | 0,2    | 0,1   | 93,6          | 93,5  | 0,10           |
| Cable3                       | A     | 2,067            | 1,417  | -2,067           | -1,418 | 0,7    | -1,1  | 101,5         | 101,5 | 0,05           |
|                              | B     | 1,558            | 0,966  | -1,558           | -0,968 | 0,3    | -1,8  | 101,8         | 101,8 | 0,03           |
|                              | C     | 1,974            | 1,371  | -1,973           | -1,373 | 0,8    | -1,4  | 101,5         | 101,5 | 0,05           |
| XLPE2                        | A     | 2,067            | 1,418  | -2,066           | -1,420 | 0,9    | -1,4  | 101,5         | 101,4 | 0,06           |
|                              | B     | 1,558            | 0,968  | -1,557           | -0,970 | 0,3    | -2,2  | 101,8         | 101,8 | 0,03           |
|                              | C     | 1,973            | 1,373  | -1,972           | -1,375 | 1,0    | -1,8  | 101,5         | 101,4 | 0,06           |
| TRAFO 1C                     | A     | 2,093            | 1,554  | -2,067           | -1,417 | 25,7   | 137,1 | 95,0          | 101,5 | 6,51           |
|                              | B     | 1,583            | 1,085  | -1,558           | -0,966 | 25,3   | 118,3 | 95,0          | 101,8 | 6,82           |
|                              | C     | 1,999            | 1,505  | -1,974           | -1,371 | 25,6   | 133,8 | 95,0          | 101,5 | 6,55           |

Tabel 4.10 Summary of Total Generation , loading &amp; Demand



| <u>SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING &amp; DEMAND</u> |       |       |       |       |       |         |  |  |
|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--|--|
|                                                          | Phase | MW    | Mvar  | MVA   | % PF  |         |  |  |
| Source (Swing                                            | A     | 2,093 | 1,554 | 2,607 | 80,28 | Lagging |  |  |
|                                                          | B     | 1,583 | 1,085 | 1,919 | 82,50 | Lagging |  |  |
|                                                          | C     | 1,999 | 1,505 | 2,503 | 79,89 | Lagging |  |  |
| Source (Non-Swing                                        | A     | 0     | 0     | 0     |       |         |  |  |
|                                                          | B     | 0     | 0     | 0     |       |         |  |  |
|                                                          | C     | 0     | 0     | 0     |       |         |  |  |
| Total Demand:                                            | A     | 2,093 | 1,554 | 2,607 | 80,28 | Lagging |  |  |
|                                                          | B     | 1,583 | 1,085 | 1,919 | 82,50 | Lagging |  |  |
|                                                          | C     | 1,999 | 1,505 | 2,503 | 79,89 | Lagging |  |  |
| Apparent Losses:                                         | A     | 0,054 | 0,291 |       |       |         |  |  |
|                                                          | B     | 0,056 | 0,138 |       |       |         |  |  |
|                                                          | C     | 0,129 | 0,346 |       |       |         |  |  |

$$\begin{aligned}
 \text{Susut ( \% )} &= \frac{(\text{Losses A} + \text{Losses B} + \text{Losses C})}{(\text{Demand A} + \text{Demand B} + \text{Demand C})} \times 100 \% \\
 &= \frac{(0,054 + 0,056 + 0,129) \text{ Mega Watt}}{(2,093 + 1,583 + 1,999) \text{ Mega Watt}} \times 100 \% \\
 &= \frac{0,239 \text{ Mega Watt}}{5,676 \text{ Mega Watt}} \times 100 \% \\
 &= 4,21 \%
 \end{aligned}$$

4. Rencana Penyeimbangan beban pada Penyulang KBL 05
  - Pemindahan baban pada Trafo CSP 1 Phasa

Tabel 4.11 Rencana Pemindahan Beban Trafo CSP

| NO | FEEDER | Section   |           | NO GARDU     | NO TIANG/  | BEBAN (A) | ALAMAT      | MERK     | Sambungan |         | KVA |
|----|--------|-----------|-----------|--------------|------------|-----------|-------------|----------|-----------|---------|-----|
|    |        | I         | II        |              |            |           |             |          | Existing  | Rencana |     |
| 1  | KBL 05 | KBL05 02  | KBL05 42  | GD-CSP-0001  | KBL 05 029 | 1,070     | MERSI       | VOLTRA   | T         | S       | 50  |
| 2  | KBL 05 | KBL05 02  | KBL05 42  | GD-CSP-0004  | KBL 05 035 | 1,824     | POLTEKES    | VOLTRA   | T         | S       | 50  |
| 3  | KBL 05 | KBL05 02  | KBL05 42  | GD-CSP-0006  | KBL 05 041 | 1,158     | POLTEKES    | SINTRA   | R         | S       | 50  |
| 4  | KBL 05 | KBL05 42  | KBL05 90  | GD-CSP-0015B | KBL 05 081 | 0,608     |             | TRAFINDO | R         | T       | 50  |
| 5  | KBL 05 | KBL05 90  | KBL05 142 | GD-CSP-0025  | KBL 05 120 | 1,864     | KARANG SARI | SINTRA   | S         | T       | 50  |
| 6  | KBL 05 | KBL05 142 | KBL05 283 | GD-CSP-0031  | KBL 05 143 | 1,354     | LARANGAN    | TRAFINDO | S         | R       | 50  |
| 7  | KBL 05 | KBL05 142 | KBL05 283 | GD-CSP-0034  | KBL 05 198 | 1,844     | SUMBANG     | TRAFINDO | S         | R       | 50  |
| 8  | KBL 05 | KBL05 142 | KBL05 283 | GD-CSP-0037  | KBL 05 216 | 1,506     | CIBEREM     | BD       | S         | R       | 50  |
| 9  | KBL 05 | KBL05 142 | KBL05 283 | GD-CSP-0039  | KBL 05 225 | 1,440     | CIBEREM     | BD       | T         | R       | 50  |
| 10 | KBL 05 | KBL05 142 | KBL05 283 | GD-CSP-0047  | KBL 05 401 | 0,254     | BATURADEN   | VOLTRA   | T         | R       | 50  |
| 11 | KBL 06 | KBL05 283 | KBL05 350 | GD-CSP-0061  | KBL 06 232 | 1,540     | BATURRADEN  | BD       | T         | R       | 50  |

- Pemindahan baban Jaringan 1 Phasa

Tabel 4.12 Rencana Pemindahan Beban Jaringan 1 Phasa

| No | SECTION   |           | NO TIANG       | BEBAN (A) | SAMBUNGAN |         |
|----|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|---------|
|    | I         | II        |                |           | SEBELUM   | SESUDAH |
| 1  | KBL05-42  | KBL05-90  | KBL05 060 B001 | 3,90      | R         | T       |
| 2  | KBL05-42  | KBL05-90  | KBL05 088 U001 | 4,80      | R         | T       |
| 3  | KBL05-90  | KBL05-142 | KBL05 102 U001 | 11,20     | R         | T       |
| 4  | KBL05-225 | KBL05-350 | KBL05 316 B01  | 4,30      | R         | S       |
| 5  | KBL05-225 | KBL05-350 | KBL05 331 U01  | 22,20     | T         | R       |

Lumped Load Editor - GD-CSP-006

Info | Nameplate | Short-Circuit | Dyn Model | Reliability | Remarks | Comment

13.4 kVA 11.54 kV (80% Motor 20% Static)

Info

ID: GD-CSP-006

Bus: KBL05 41- 20 kV

Equipment

Tag #:

Name:

Description:

Data Type: Estimated

Priority: Other

Load Type: Other

Demand Factor

Continuous: 100 Intermittent: 50 Spare: 0 %

Revision Data

Base:

Condition

Service: ☒ In ☐ Out

State: As-built

Configuration

JOIN 1

Status: Continuous

Connection

☐ 3 Phase ☒ 1 Phase

Reference kV

☒ Calculated ☐ User-Defined

A B C AB BC CA

GD-CSP-006

OK Cancel

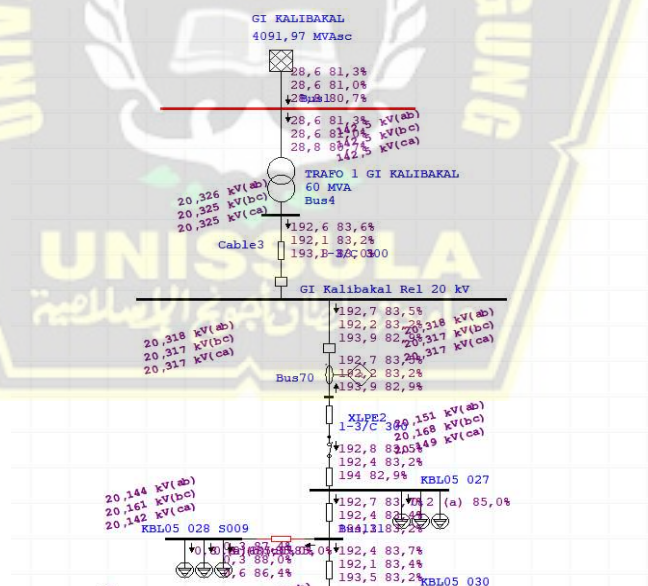
Gambar 4.19 Lump Load Editor

- Beban Per Section setelah Pemindahan Beban

Tabel 4.13 Ketidakseimbangan Beban Per Section

| No    | Section Awal  | Section Akhir    | Beban ( A ) |       |       | [ Ir ] | [ Is ] | [ Ib ] | %Ub     |
|-------|---------------|------------------|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
|       |               |                  | R           | S     | T     |        |        |        |         |
| 1     | PMT KBL05     | RECLOSER KBL5 42 | 5,6         | 5,2   | 6,2   | 0,99   | 0,92   | 1,09   | 6,27%   |
| 2     | ABSW KBL42    | ABSW KBL5 90     | 46,3        | 46    | 46,9  | 1,00   | 0,99   | 1,01   | 0,72%   |
| 3     | ABSW KBL5 90  | ABSW KBL5 142    | 24          | 26,6  | 22,1  | 0,99   | 1,10   | 0,91   | 6,51%   |
| 4     | ABSW KBL5 142 | ABSW KBL5 225    | 84,6        | 35,9  | 38,3  | 1,60   | 0,68   | 0,72   | 39,88%  |
| 5     | ABSW KBL5 225 | ABSW KBL5 350    | 16,6        | 59,2  | 40,6  | 0,43   | 1,53   | 1,05   | 38,14%  |
| 6     | ABSW KBL5 350 | ABSW KBL5 402    | 2,6         | 2,9   | 32,6  | 0,20   | 0,23   | 2,57   | 104,46% |
| 7     | ABSW KBL5 402 | ABSW KBL6 283    | 2,8         | 2,3   | 2,8   | 1,06   | 0,87   | 1,06   | 8,44%   |
| 8     | ABSW KBL6 283 | Ujung            | 10,2        | 14,1  | 4,4   | 1,07   | 1,47   | 0,46   | 36,00%  |
| Total |               |                  | 192,7       | 192,2 | 193,9 | 1,00   | 1,00   | 1,01   | 0,33%   |

## 5. Nilai Susut Daya Pada Penyulang KBL05 kondisi Rencana



Gambar 4.20 Hasil Running Unbalanced Load Analysis 2

Tabel 4.14 Summary of total Generation , loading &amp; Demand 2

SUMMARY OF TOTAL GENERATION , LOADING & DEMAND

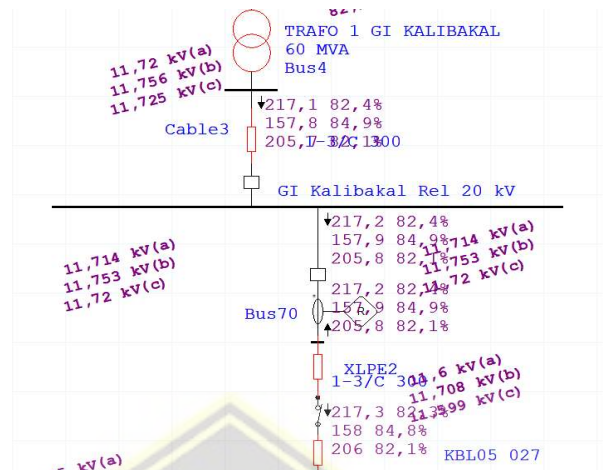
|                   | Phase | MW    | Mvar  | MVA   | % PF          |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Source (Swing     | A     | 1,914 | 1,371 | 2,355 | 81,30 Lagging |
|                   | B     | 1,902 | 1,379 | 2,349 | 80,97 Lagging |
|                   | C     | 1,913 | 1,399 | 2,370 | 80,71 Lagging |
| Source (Non-Swing | A     | 0     | 0     | 0     |               |
|                   | B     | 0     | 0     | 0     |               |
|                   | C     | 0     | 0     | 0     |               |
| Total Demand:     | A     | 1,914 | 1,371 | 2,355 | 81,30 Lagging |
|                   | B     | 1,902 | 1,379 | 2,349 | 80,97 Lagging |
|                   | C     | 1,913 | 1,399 | 2,370 | 80,71 Lagging |
| Apparent Losses:  | A     | 0,084 | 0,237 |       |               |
|                   | B     | 0,086 | 0,253 |       |               |
|                   | C     | 0,063 | 0,253 |       |               |
| System Mismatch:  |       | 0,000 | 0,000 |       |               |

$$\begin{aligned}
 \text{Susut ( \% )} &= \frac{(\text{Losses A} + \text{Losses B} + \text{Losses C})}{(\text{Demand A} + \text{Demand B} + \text{Demand C})} \times 100 \% \\
 &= \frac{(0.084 + 0.086 + 0.063) \text{ Mega Watt}}{(1,914 + 1,902 + 1,913) \text{ Mega Watt}} \times 100 \% \\
 &= \frac{0,233 \text{ Mega Watt}}{5,729 \text{ Mega Watt}} \times 100 \% \\
 &= 4,070 \%
 \end{aligned}$$

#### 4.7 Hasil Simulasi Drop Tegangan

Jatuh tegangan merupakan selisih antara tegangan pangkal pengiriman dan tegangan ujung penerimaan. Jatuh tegangan disebabkan oleh Impedansi dan arus yang besarnya tergantung dari impedansi saluran serta faktor daya. Dengan menggunakan *software* ETAP, dapat dilihat nilai tegangan pangkal pengiriman dan tegangan ujung penerimaan pada penghantar KBL05. Besarnya nilai tegangan pangkal dan ujung dapat dilihat pada gambar 4.22 di bawah ini.

a. Perhitungan Jatuh Tegangan Section Pertama pada Kondisi Existing



Gambar 4.21 Pembebanan Pangkal KBL05 Kondisi Eksisting

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,1344^2 + 0,3158^2} = 0,3432 \Omega$$

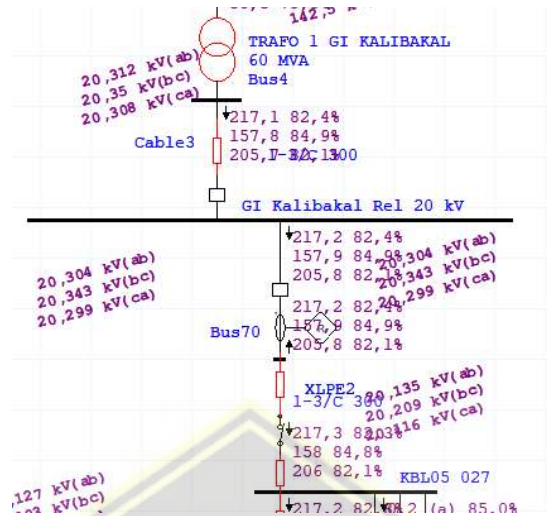
$$Z_{Total} = l \times Z = 0,3432 \Omega \times 0,25 \text{ Km} = 0,0858 \Omega$$

$$\begin{aligned} \Delta V_R = I_R \times Z_{Total} &= 214 \text{ A} \times 0,0858 \Omega \\ &= 18,36 \text{ Volt} \end{aligned}$$

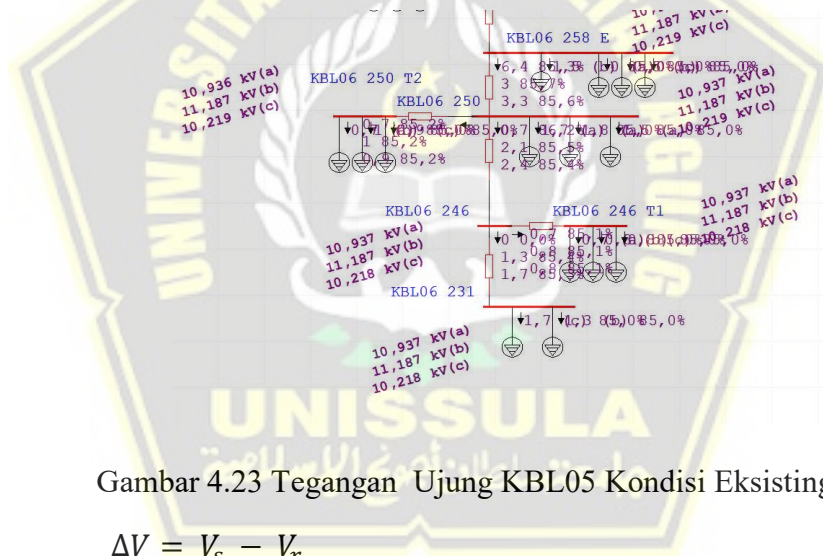
$$\begin{aligned} \Delta V_S = I_S \times Z_{Total} &= 156,1 \text{ A} \times 0,0858 \Omega \\ &= 13,39 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_T = I_T \times Z_{Total} &= 205,1 \text{ A} \times 0,0858 \Omega \\ &= 17,59 \text{ Volt} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Jatuh Tegangan Kumulatif pada kondisi eksisting



Gambar 4.22 Tegangan Pangkal KBL05 Kondisi Eksisting



Gambar 4.23 Tegangan Ujung KBL05 Kondisi Eksisting

$$\Delta V = V_s - V_r$$

Phasa R

$$\Delta V_R = 11,714 \text{ kV} - 10,937 \text{ kV} = 0,777 \text{ kV}$$

$$\text{Persentase Drop Tegangan} = \frac{0,777 \text{ kV}}{11,714 \text{ kV}} \times 100\% = 6.63 \%$$

Phasa S

$$\Delta VR = 11,753 \text{ kV} - 11,187 \text{ kV} = 0,566 \text{ kV}$$

$$\text{Persentase Drop Tegangan} = \frac{0,566 \text{ kV}}{11,753 \text{ kV}} \times 100\%$$

$$= 4,82 \%$$

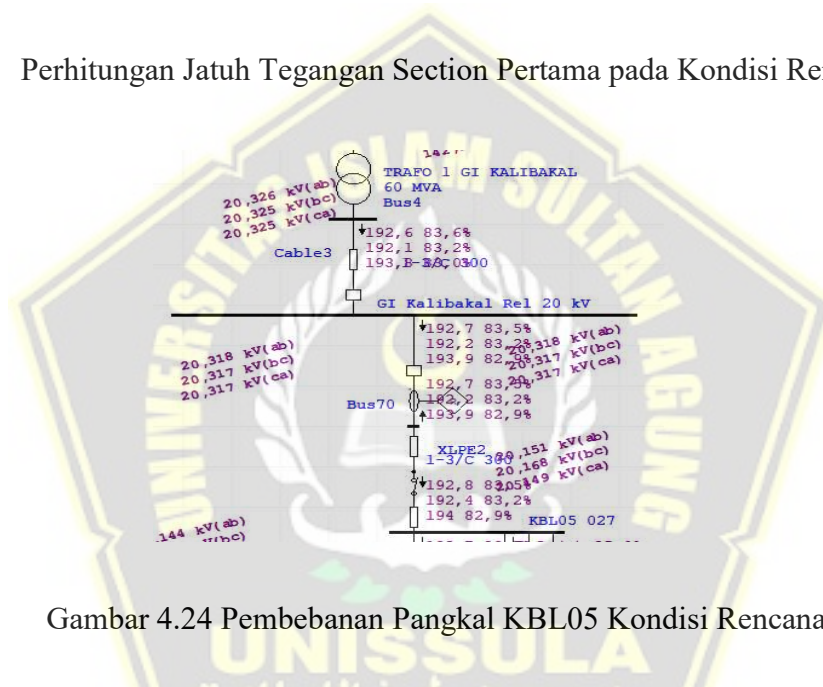
Phasa T

$$\Delta VR = 11,720 \text{ kV} - 10,218 \text{ kV} = 1,502 \text{ kV}$$

$$\text{Persentase Drop Tegangan} = \frac{1,502 \text{ kV}}{11,720 \text{ kV}} \times 100\%$$

$$= 12,85 \%$$

c. Perhitungan Jatuh Tegangan Section Pertama pada Kondisi Rencana



Gambar 4.24 Pembebanan Pangkal KBL05 Kondisi Rencana

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,1344^2 + 0,3158^2} = 0,3432 \Omega$$

$$Z \text{ Total} = l \times Z = 0,3432 \Omega \times 0,25 \text{ Km} = 0,0858 \Omega$$

$$\Delta V_R = I_R \times Z = 192,7 \text{ A} \times 0,0858 \Omega$$

$$= 16,53 \text{ Volt}$$

$$\Delta V_S = I_S \times Z = 192,2 \text{ A} \times 0,0858 \Omega$$

$$= 16,49 \text{ Volt}$$

$$\Delta V_T = I_T \times Z = 193,9 \text{ A} \times 0,0858 \Omega$$

$$= 16,63 \text{ Volt}$$



*Phasa S*

$$\Delta V_T = 11,729 \text{ kV} - 10,909 \text{ kV} = 0,820 \text{ kV}$$

#### 4.8 Perbandingan Data Sebelum dan Sesudah Penyeimbangan Beban.

##### a. Perbandingan Ketidakseimbangan beban sebelum dan Sesudah

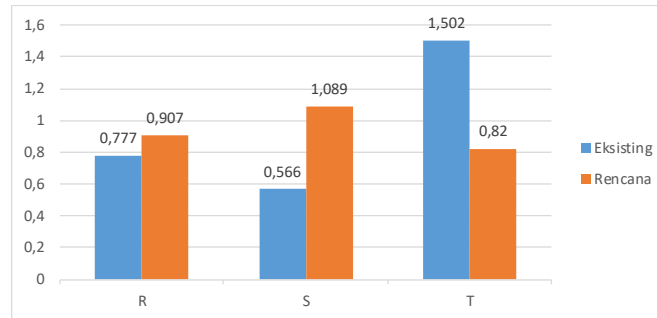
Tabel 4.15 : Tabel Perbandingan Sebelum dan Sesuddah Rencana Penyeimbangan Beban

| No | Section Awal  | Section Akhir    | %Ub       |         |
|----|---------------|------------------|-----------|---------|
|    |               |                  | Eksisting | Rencana |
| 1  | PMT KBL05     | RECLOSER KBL5 42 | 51,55%    | 6,27%   |
| 2  | ABSW KBL42    | ABSW KBL5 90     | 13,10%    | 0,72%   |
| 3  | ABSW KBL5 90  | ABSW KBL5 142    | 37,27%    | 6,51%   |
| 4  | ABSW KBL5 142 | ABSW KBL5 225    | 26,92%    | 39,88%  |
| 5  | ABSW KBL5 225 | ABSW KBL5 350    | 40,14%    | 38,14%  |
| 6  | ABSW KBL5 350 | ABSW KBL5 402    | 109,86%   | 104,46% |
| 7  | ABSW KBL5 402 | ABSW KBL6 283    | 4,44%     | 8,44%   |
| 8  | ABSW KBL6 283 | Ujung            | 24,91%    | 36,00%  |
|    | Total         |                  | 12,39%    | 0,33%   |

##### b. Perbandingan Drop Tegangan sebelum dan sesudah penyeimbangan.

Tabel 4.16 Perbandingan Drop Tegangan

| No | Phasa | Tegangan Pangkal |              | Delta V        |              | Tegangan Ujung |            |              |            |
|----|-------|------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|------------|--------------|------------|
|    |       | Eksisting (kV)   | Rencana (kV) | Eksisting (kV) | Rencana (kV) | Eksisting (kV) | Persentase | Rencana (kV) | Persentase |
| 1  | R     | 11,714           | 11,731       | 0,777          | 0,907        | 10,937         | 6,63%      | 10,824       | 7,73%      |
| 2  | S     | 11,753           | 11,73        | 0,566          | 1,089        | 11,187         | 4,82%      | 10,641       | 9,28%      |
| 3  | T     | 11,72            | 11,729       | 1,502          | 0,82         | 10,218         | 12,82%     | 10,909       | 6,99%      |

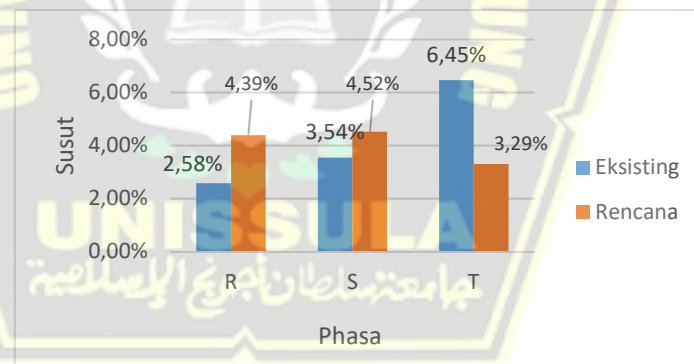


Gambar 4.27 Perbandingan Drop Tegangan

c. Perbandingan Susut Teknis sebelum dan sesudah penyeimbangan.

Tabel 4.17 Perbandingan Susut Teknis sebelum dan sesudah penyeimbangan

| No | Phasa | Daya Pakai<br>( Mega Watt ) |         | Daya Hilang<br>( Mega Watt ) |         | Susut     |         |
|----|-------|-----------------------------|---------|------------------------------|---------|-----------|---------|
|    |       | Eksisting                   | Rencana | Eksisting                    | Rencana | Eksisting | Rencana |
| 1  | R     | 2,093                       | 1,914   | 0,054                        | 0,084   | 2,58%     | 4,39%   |
| 2  | S     | 1,583                       | 1,902   | 0,056                        | 0,086   | 3,54%     | 4,52%   |
| 3  | T     | 1,999                       | 1,913   | 0,129                        | 0,063   | 6,45%     | 3,29%   |
| 4  | Total | 5,675                       | 5,729   | 0,239                        | 0,233   | 4,21%     | 4,07%   |



Gambar 4.28 Perbandingan Susut Teknis sebelum dan sesudah penyeimbangan

## BAB V KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

- a. Besarnya ketidakseimbangan pada sistem 3 Pasha 4 Kawat akan berdampak pada besarnya arus netral. Dengan Pembeban 214 A, 156 A, dan 205 A menghasilkan arus netral sebesar 63,79 A dengan Sudut 32.35 derajat dan Kedidakseimbangan beban sebesar 12,4 %
- b. Simulasi aliran daya pada Etap 12.6 dengan jenis konduktor AAAC 240 mm<sup>2</sup> dan Panjang Jaringan 29.04 kms. Menghasilkan susut daya sebesar 4,21 % atau setara dengan 239 kWatt.
- c. Besarnya Arus dan Panjang Jaringan berdampak pada Penurunan Tegangan Phasa R 10,94 kV , Phasa S 11,19 kV dan Phasa T 10,2 kV dengan Delta Penurunan Tegangan masing masing Phasah 0,78 kV, 0,56 kV dan 1,50 kV.
- d. Sesuai dengan hasil simulasi penyeimbangan beban. penyulang KBL05 memiliki susut teknis sebesar 4.07 % atau setara dengan 233 kWatt dengan penurunan susut sebesar 0,14 %. Tegangan ujung penyulang meningkat dari 10,2 kV menjadi 10,6 kV dengan persentase drop tegangan turun dari 11,51% menjadi 9,28%

### 5.2 Saran

- a. Sifat Beban yang dimasukkan pada masing-masing beban Pelanggan dan Penyulang belum menginput besaran sifat beban sesuai dengan kondisi lapangan, Hal tersebut dikarenakan keterbatasan Alat Ukut yang digunakan. Power Faktor yang digunakan menggunakan nilai 85%.

- b. Perlu dilakukan monitoring terhadap ketidak seimbangan beban terutama saat melakukan penyambungan Trafo 1 Phasa baru di Jaringan 3 Phasa.
- c. Tegangan Jatuh masih diatas 5 % yaitu 9,28 %. Perlu dilakukan analisa pembagian beban dengan rekonfigurasi jaringan dan penambahan penyulang baru untuk pemecah beban penyulang KBL05.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perusahaan Umum Listrik Negara, “SPLN 72 : 1987 Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Lampiran Surat Keputusan Direksi PLN No.060/DIR/87 tanggal 4 Juli 1987,” *Dep. Pertamb. dan Energi*, p. 15, 1987, [Online]. Available: <http://www.pln-litbang.co.id/perpustakaan>.
- [2] E. Prasetyo, “Rugi Rugi Daya Akibat Beban Tidak Seimbang Penyulang RWO 03 Gardu Induk Rawalo,” 2019.
- [3] E. Hadiyanto, “Reduksi Drop Voltage Penyulang JPR05 DAN JPR10 dengan Pembangunan Penyulang Baru.” 2020.
- [4] Z. Abdul Aziz, “Perhitungan Jatuh Tegangan Pda JTM dari TBL06 sampai ke Ujung dengan menggunakan Aplikasi ETAP di PT. PLN (PERSERO) UP3 SEMARANG,” 2017.
- [5] Suhadi and T. Wrahatnolo, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik*, vol. 53, no. 9. 2008.
- [6] Ir. Badruddin, *Modul II Sistem Distribusi*. Bengkulu, 2013.
- [7] Perusahaan Umum Listrik Negara, “Spln 64 : 1985 Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah,” *Dep. Pertamb. dan Energi*, p. 64, 1985, [Online]. Available: <http://www.pln-litbang.co.id/perpustakaan>.
- [8] Gassing and I. Jaya, “Optimalisasi pembebanan transformator distribusi dengan penyeimbangan beban,” *Pros. Has. Penelit. Fak. Tek. Univ. Hasanuddin*, vol. 7, pp. 978–979, 2013.
- [9] Willian D. Stevenson. JR, *Analisa Sistem Tenaga edisi ke 4*. Jakarta: Erlangga, 1996.
- [10] PT. PLN, “SPLN 1 : 1995 Standar-Standar Tegangan,” *Standar Perusah. List. Negara*, p. 5, 1995.

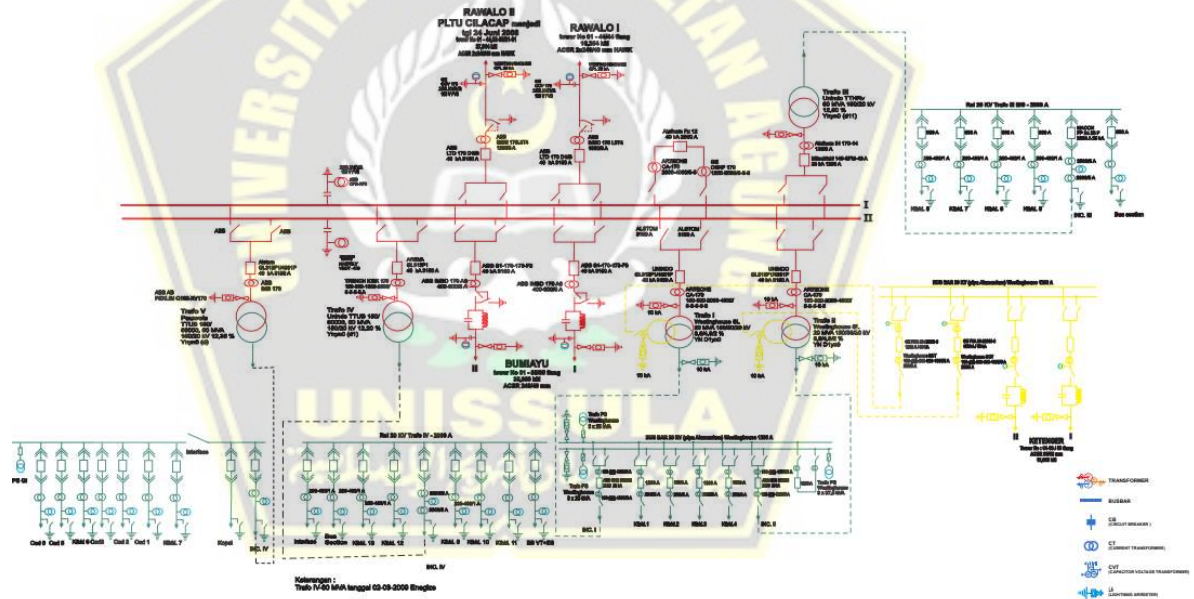
- [11] B. L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi Edisi 1*. PT. Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- [12] H. Eirene Patoding, *Energi dan Operasi Tenaga Listrik dengan ETAP*. CV. Budi Utama, 2019.



## LAMPIRAN LAMPIRAN

| No. | Bus | GI/GITET    | UP2B                   | TEG | Impedansi Urutan Positif |        | Impedansi Urutan Negatif |        | Impedansi Urutan Nol |        | Arus Hubung Singkat |         |
|-----|-----|-------------|------------------------|-----|--------------------------|--------|--------------------------|--------|----------------------|--------|---------------------|---------|
|     |     |             |                        | kV  | R1(pu)                   | X1(pu) | R2(pu)                   | X2(pu) | R0(pu)               | X0(pu) | 1ph(kA)             | 3ph(kA) |
| 585 | 1   | GODEAN      | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0084                   | 0,0540 | 0,0084                   | 0,0541 | 0,0253               | 0,1138 | 5,62                | 7,73    |
| 586 | 2   | GODEAN      | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0084                   | 0,0540 | 0,0084                   | 0,0541 | 0,0253               | 0,1138 | 5,62                | 7,73    |
| 587 | I   | GOMBONG5    | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0101                   | 0,0388 | 0,0101                   | 0,0401 | 0,0199               | 0,0887 | 7,36                | 10,54   |
| 588 | II  | GOMBONG5    | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0101                   | 0,0388 | 0,0101                   | 0,0401 | 0,0199               | 0,0887 | 7,36                | 10,54   |
| 589 | 1   | GONDANGREJO | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0063                   | 0,0421 | 0,0063                   | 0,0421 | 0,0163               | 0,0740 | 7,88                | 9,92    |
| 590 | 2   | GONDANGREJO | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0063                   | 0,0421 | 0,0063                   | 0,0421 | 0,0163               | 0,0740 | 7,88                | 9,92    |
| 591 | 1   | JAJAR       | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0022                   | 0,0303 | 0,0022                   | 0,0303 | 0,0077               | 0,0385 | 12,69               | 13,91   |
| 592 | 2   | JAJAR       | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0022                   | 0,0303 | 0,0022                   | 0,0303 | 0,0077               | 0,0385 | 12,69               | 13,91   |
| 593 | 1   | JEKULOS     | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0028                   | 0,0205 | 0,0030                   | 0,0208 | 0,0091               | 0,0408 | 15,16               | 20,37   |
| 594 | 2   | JEKULOS     | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0028                   | 0,0205 | 0,0030                   | 0,0208 | 0,0091               | 0,0408 | 15,16               | 20,37   |
| 595 | 1   | JELOK       | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0055                   | 0,0298 | 0,0055                   | 0,0300 | 0,0089               | 0,0310 | 13,63               | 13,94   |
| 596 | 2   | JELOK       | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0055                   | 0,0298 | 0,0055                   | 0,0300 | 0,0089               | 0,0310 | 13,63               | 13,94   |
| 597 | 1   | JEPARA      | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0028                   | 0,0175 | 0,0028                   | 0,0177 | 0,0080               | 0,0309 | 18,74               | 23,73   |
| 598 | 2   | JEPARA      | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0028                   | 0,0175 | 0,0028                   | 0,0177 | 0,0080               | 0,0309 | 18,74               | 23,73   |
| 599 | 1   | KALIBAKAL   | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0037                   | 0,0266 | 0,0036                   | 0,0275 | 0,0030               | 0,0284 | 15,25               | 15,75   |
| 600 | 2   | KALIBAKAL   | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0037                   | 0,0266 | 0,0036                   | 0,0275 | 0,0030               | 0,0284 | 15,25               | 15,75   |
| 601 | 1   | KALISARI    | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0024                   | 0,0188 | 0,0024                   | 0,0194 | 0,0052               | 0,0219 | 20,76               | 22,26   |
| 602 | 2   | KALISARI    | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0024                   | 0,0188 | 0,0024                   | 0,0194 | 0,0052               | 0,0219 | 20,76               | 22,26   |
| 603 | 1   | KALIWUNGU   | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0042                   | 0,0233 | 0,0042                   | 0,0238 | 0,0104               | 0,0353 | 14,98               | 17,79   |
| 604 | 2   | KALIWUNGU   | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0042                   | 0,0233 | 0,0042                   | 0,0238 | 0,0104               | 0,0353 | 14,98               | 17,79   |
| 605 | 1   | KEBASEN     | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0144                   | 0,0556 | 0,0143                   | 0,0561 | 0,0364               | 0,1488 | 4,72                | 7,36    |
| 606 | 2   | KEBASEN     | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0065                   | 0,0559 | 0,0067                   | 0,0588 | 0,0249               | 0,1279 | 5,17                | 7,52    |
| 607 | 1   | KEBUMEN     | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0170                   | 0,0594 | 0,0172                   | 0,0614 | 0,0324               | 0,1442 | 4,64                | 6,84    |
| 608 | 1   | KEDUNG OMBO | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0102                   | 0,0444 | 0,0102                   | 0,0446 | 0,0166               | 0,0908 | 6,91                | 9,28    |
| 609 | 2   | KEDUNG OMBO | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0102                   | 0,0444 | 0,0102                   | 0,0446 | 0,0166               | 0,0908 | 6,91                | 9,28    |
| 610 | 1   | KENTUNGAN   | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0040                   | 0,0412 | 0,0040                   | 0,0412 | 0,0160               | 0,0752 | 7,96                | 10,23   |
| 611 | 2   | KENTUNGAN   | UP2B Jawa Tengah & DIY | 150 | 0,0040                   | 0,0412 | 0,0040                   | 0,0412 | 0,0160               | 0,0752 | 7,96                | 10,23   |

Lampiran 1 : Arus Hubung Singkat GI/GITET Sistem Jawa Bali Semester 1 Tahun 2020



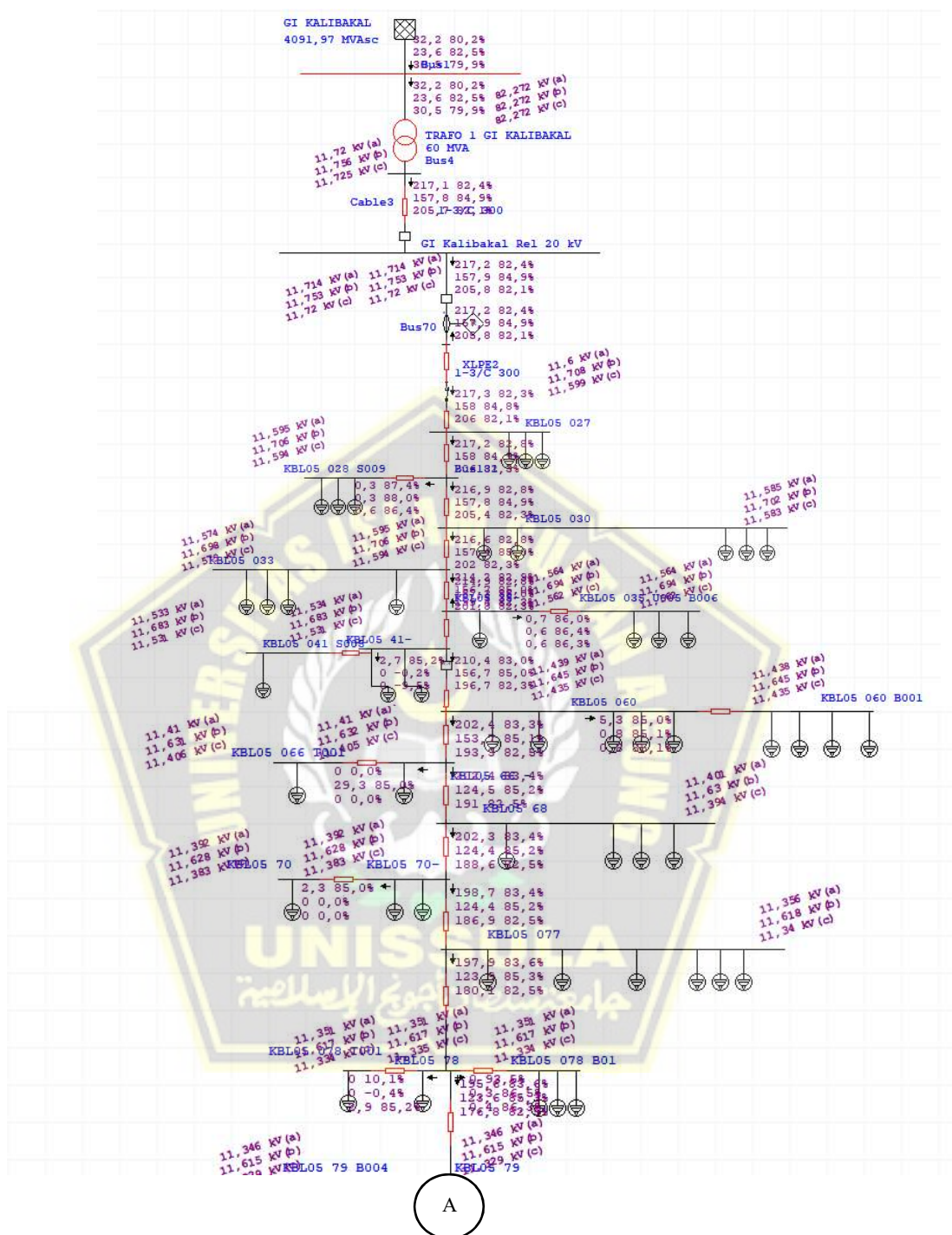
Lampiran 2 : Single Line Diagram Gardu Induk Kalibakal

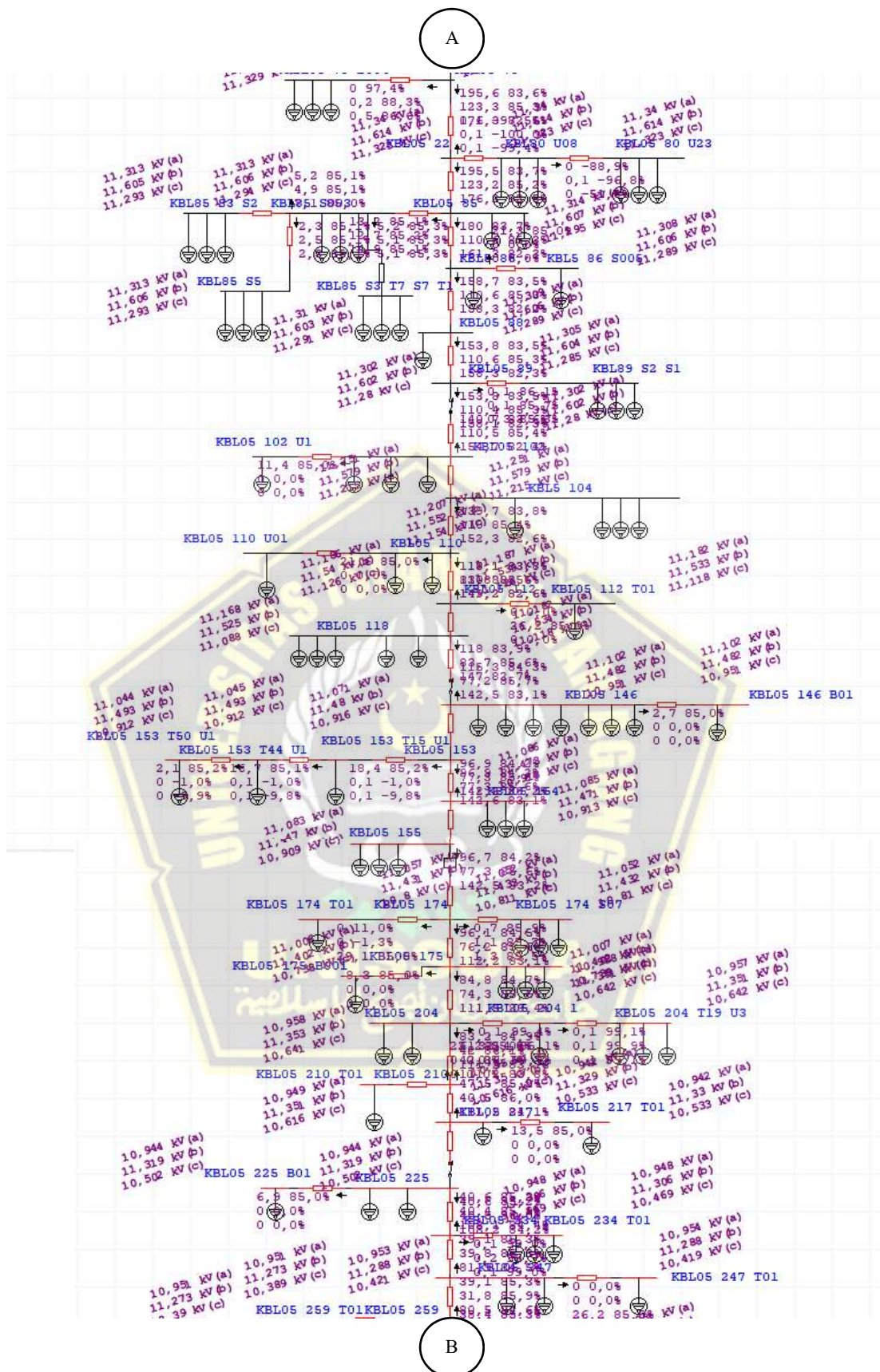


Lampiran 3 : Trafo Tenaga 60 MVA

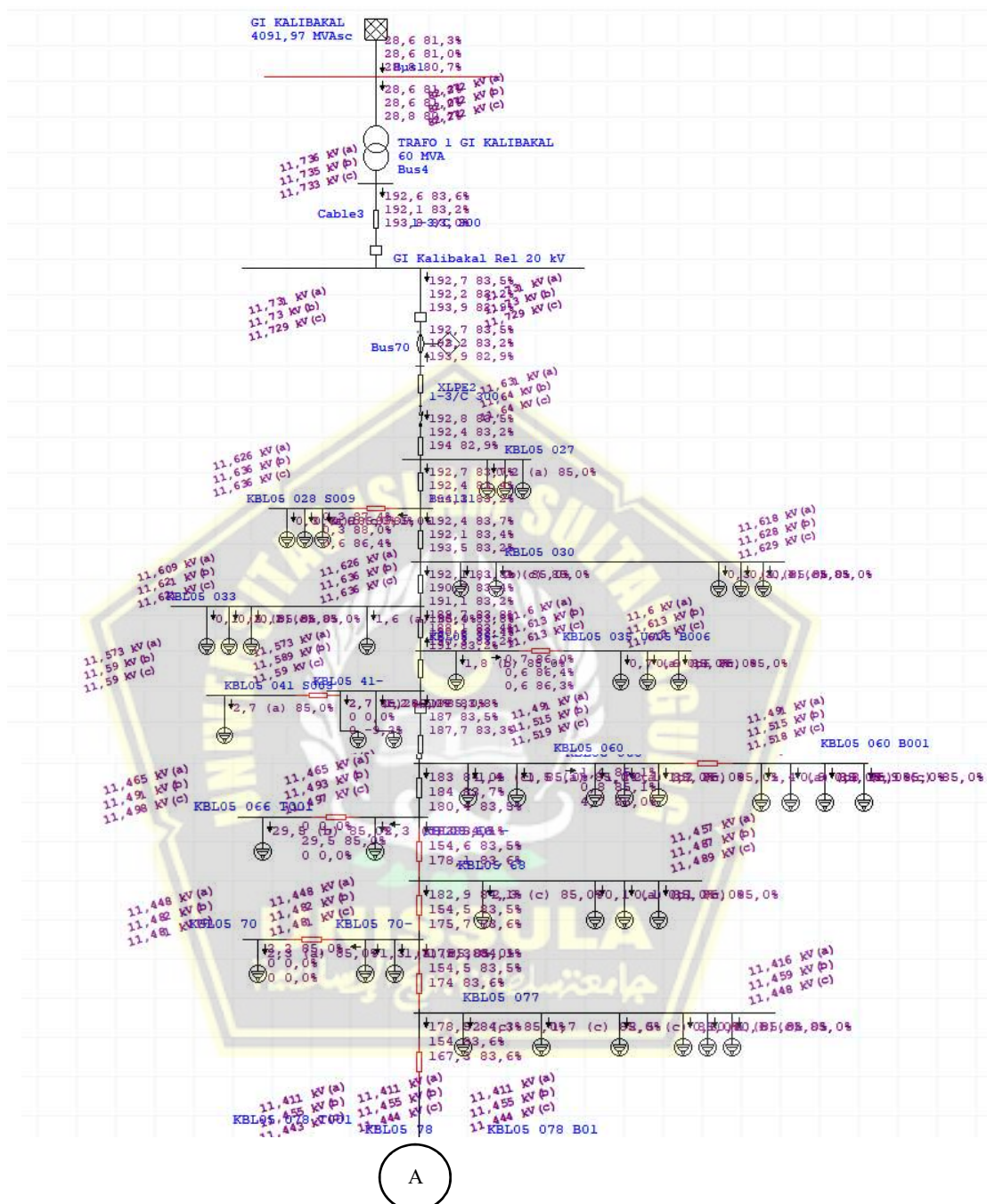


Lampiran 3 : Namplate Trafo Tenaga 60 MVA

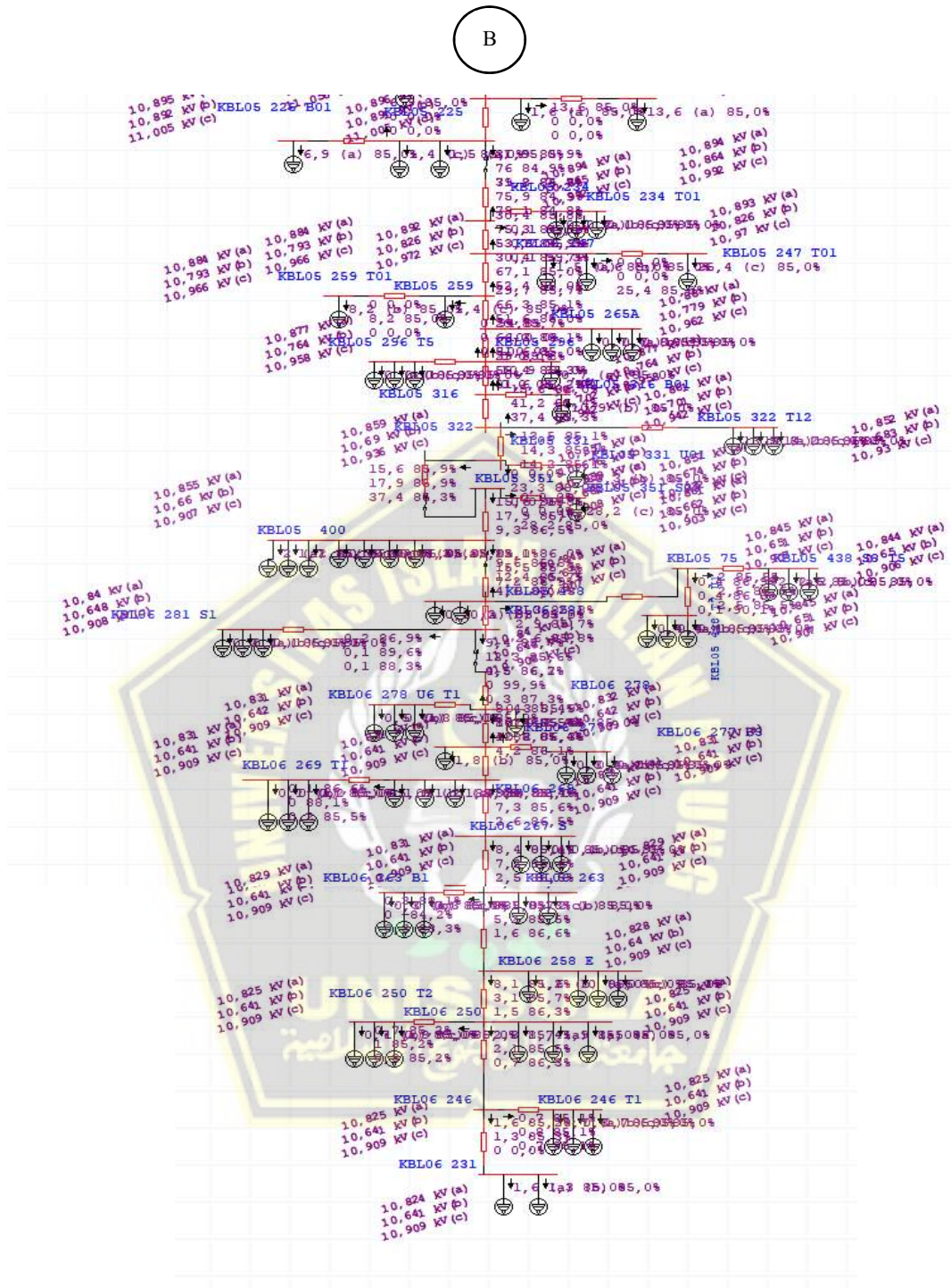












## LAMPIRAN 6 : *Unbalance Load Flow Analisis* Rencana Penyeimbangan