

**KAJIAN IMPLEMENTASI HIBRID KAPASITOR BANK DAN TAP  
TRAFO UNTUK PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA  
PENYULANG SUMBERMANJING WETAN**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**LUTHFAN AKBAR AZIZAN FIRDAOS**  
NIM. 145060307111037

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
MALANG  
2021**



**LEMBAR PENGESAHAN**  
**KAJIAN IMPLEMENTASI HIBRID KAPASITOR BANK DAN TAP**  
**TRAFO UNTUK PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA**  
**PENYULANG SUMBERMANJING WETAN**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**LUTHFAN AKBAR AZIZAN FIRDAOS**

**NIM. 145060307111037**

Skripsi ini telah disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

Prof. Hadi Suyono, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.  
NIP. 19730520 200801 1 013

Dr. Rini Nur Hasanah, M.Sc., IPM  
NIP. 19680122 199512 2 001



**JUDUL SKRIPSI:**

***KAJIAN IMPLEMENTASI HIBRID KAPASITOR BANK DAN TAP TRAFO UNTUK PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA PENYULANG SUMBERMANJING WETAN***

**Nama Mahasiswa :** Luthfan Akbar Azizan Firdaos

**NIM :** 145060307111037

**Program Studi :** Teknik Elektro

**Konsentrasi :** Teknik Energi Elektrik

**DOSEN PEMBIMBING**

**Pembimbing I :** Prof. Hadi Suyono, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.



**Pembimbing II :** Dr. Rini Nur Hasanah, M.Sc., IPM



**TIM DOSEN PENGUJI**

**Dosen Penguji I :** Ir. Mahfudz Shidiq, MT.

Disetujui tanggal 27 Juli 2021



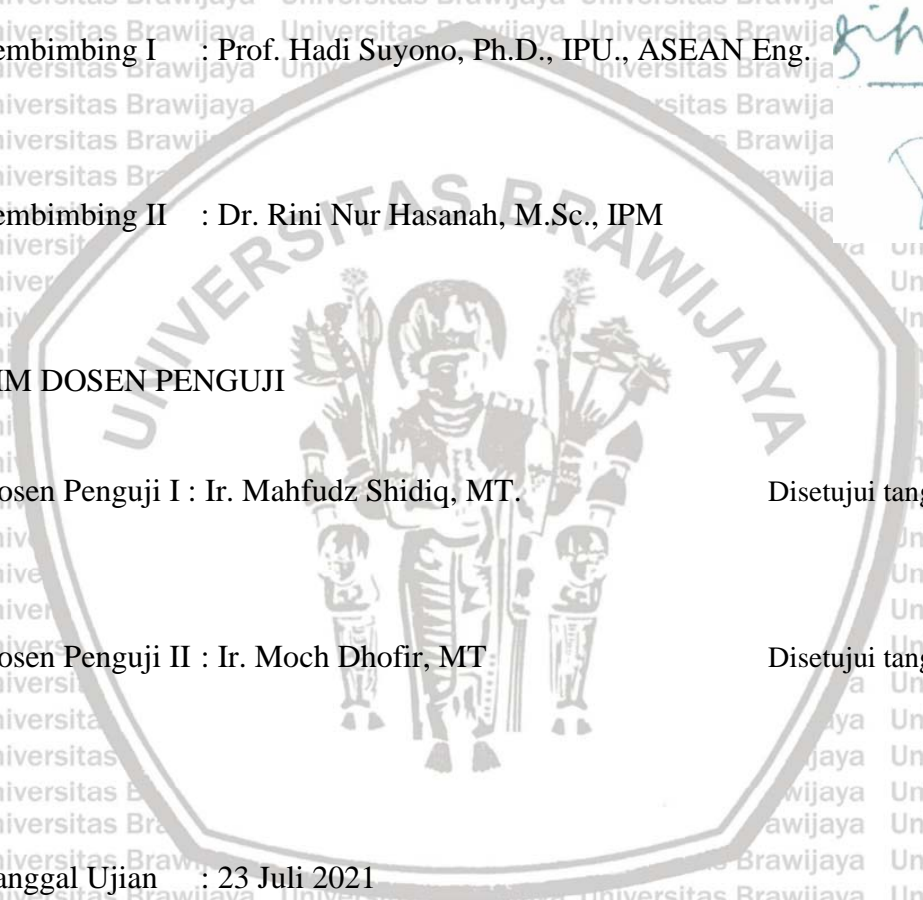
**Dosen Penguji II :** Ir. Moch Dhofir, MT

Disetujui tanggal 27 Juli 2021



**Tanggal Ujian :** 23 Juli 2021

**SK Penguji :** No. 2042 Tahun 2021





***Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada:  
Ayahanda dan Ibunda Tercinta***

## LEMBAR KEASLIAN

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan ditulis di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apalagi ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 18 Juli 2021

Mahasiswa,

**Luthfan Akbar Azizan Firdaos**

**NIM 145060307111037**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





## RINGKASAN

Luthfan Akbar Azizan Firdaos, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2021, Kajian Implementasi Hibrid Kapasitor Bank Dan Tap Trafo Untuk Perbaikan Profil Tegangan Pada Penyulang Sumbermanjing Wetan, Dosen Pembimbing: Prof. Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPU., ASEAN Eng. dan Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc., IPM.

Kecamatan Sumbermanjing Wetan mendapatkan suplai daya energi listrik dari Gardu Induk Gondang Legi yang lokasinya berada jauh dari kecamatan Sumbermanjing Wetan. Hal ini Selain itu, daerah pesisir pantai mempunyai pola pemukiman penduduk yang memanjang sesuai garis pantai dan saling berjauhan. Karena lokasi suplai daya dan penyaluran energy listrik yang jauh, maka dibutuhkan system distribusi listrik yang optimal. Dengan adanya kondisi tersebut diperlukan evaluasi dan perencanaan kembali yang memperhatikan kriteria-kriteria perencanaan seperti jatuh tegangan yang diizinkan oleh PLN dan kelangsungan pelayanan listrik sehingga muncul optimasi pada jaringan yang dipakai. Proses perbaikan jatuh tegangan pada jaringan distribusi ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengaturan tegangan yaitu dengan memanfaatkan komponen kapasitor.

Proses perbaikan jatuh tegangan pada jaringan distribusi ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengaturan tegangan yaitu dengan memanfaatkan komponen kapasitor bank dan tap transformator. Pada penelitian ini, menggunakan software matlab untuk mengetahui oerbaikan profil tegangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 4 gardu hubung megalami kenaikan nilai tegangan setelah dilakukan pemasangan kapasitor bank dan tap trafo. Untuk itu dapat kita nyatakan bahwa gardu hubung yang sangat membutuhkan kapasitor bank dan tap trafo adalah gardu hubung 1,2,3, dan 4 ini mengalami perbaikan tegangan yang signifikan. Jika mengacu kepada SPLN terkait tegangan yang diizinkan sebesar +5% dari tegangan nominal dan -10% dari tegangan nominal, maka dapat dinyatakan bahwa 4 gardu hubung tidak memenuhi standar operasional.

**Kata kunci:** Profil Tegangan, Kapasitor Bank, Tap Transformator





## SUMMARY

Luthfan Akbar Azizan Firdaos *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, April 2021, July 2021, Study On Implementation Of Hybrid Bank Capacitors And Tap Transformers For Voltage Profile Improvement In Sumbermanjing Wetan Feeders, Advisor: Prof. Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPU., ASEAN Eng. dan Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc., IPM*

Sumbermanjing Wetan sub-district gets its electrical energy supply from the Gondang Legi Substation, which is located far from Sumbermanjing Wetan sub-district. In addition, the coastal area has a residential pattern that extends along the coastline and is far from each other. Due to the remote location of the power supply and distribution of electrical energy, an optimal electricity distribution system is needed. With these conditions, it is necessary to evaluate and re-planning that takes into account the planning criteria such as the voltage drop permitted by PLN and the continuity of electricity services so that optimization of the network used appears. The process of improving the voltage drop on this distribution network can be done using the voltage regulation method, namely by utilizing capacitor components.

The process of improving the voltage drop on the distribution network can be done using the voltage regulation method, namely by utilizing the capacitor bank and transformer tap components. In this study, using Matlab software to determine the voltage profile improvement. The results showed that the 4 substations experienced an increase in the value of the voltage after the capacitor bank and transformer tap were installed. For that we can state that the substations that really need capacitor banks and transformer taps are substations 1,2,3, and 4 that have experienced significant voltage improvements. If referring to the SPLN regarding the permissible voltage of +5% of the nominal voltage and -10% of the nominal voltage, it can be stated that the 4 substations do not meet the operational standards.

**Keywords:** *Voltage Profile, Capacitor Bank, Tap Transformer*



**DAFTAR ISI**

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 BATASAN MASALAH.....	3
1.4 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.5 MANFAAT PENELITIAN.....	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Jaringan Distribusi.....	5
2.1.1 Jaringan Sistem Distribusi Primer.....	5
2.1.2 Jaringan Sistem Distribusi Sekunder.....	6
2.2 Gardu Distribusi.....	6
2.2.1 Jenis Gardu Distribusi.....	7
2.3 Transformator.....	9
2.3.1 Konstruksi Bagian-bagian Transformator.....	10
2.3.2 Prinsip Kerja Transformator.....	11
2.3.3 Transformator Distribusi.....	11
2.3.4 Tap Transformator.....	12
2.4 Jatuh Tegangan.....	12
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>

3.1 Jenis Penelitian .....	21
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	21
3.3 Data Penelitian .....	21
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	22
3.4.1 Studi Literatur .....	25
3.4.2 Pengumpulan Data .....	25
3.4.3 Optimasi Jaringan .....	25
3.4.4 Hasil Jatuh Tegangan Setelah Optimasi .....	25
3.4.5 Hasil Jatuh Tegangan Sebelum Optimasi dan Sesudah Optimasi .....	26
3.4.6 Analisis dan Hasil Analisis .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
4.1 Alur Implementasi Program .....	27
4.1.1 Input Data Program <i>Matlab</i> .....	27
4.1.2 Alur Analisis Perbaikan Profil Tegangan .....	30
4.2 Implementasi Program .....	31
4.2.1 Input Data .....	31
4.2.2 Display .....	32
4.2.3 Perhitungan Jatuh Tegangan .....	32
4.2.4 Perhitungan Aliran Daya .....	34
4.3 Perhitungan Analisis Perbaikan Profil Tegangan .....	37
4.3.1 Analisis Kebutuhan Kapasitor Bank .....	37
4.3.2 Analisis Nilai Tap Transformator .....	38
4.4 Pengujian .....	39
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>43</b>
5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran .....	43

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1 Trafo Distribusi Kelas 20kV ..... 9

Gambar 2. 2 Contoh Bushing Transformator ..... 10

Gambar 2. 3 Rangkaian ekivalen saluran distribusi ..... 13

Gambar 3. 1 Single line diagram penyulang Godang Legi ..... 22

Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian ..... 23

Gambar 4. 1 Input Data A ..... 31

Gambar 4. 2 Input Data B ..... 32

Gambar 4. 3 Hasil analisis jatuh tegangan ..... 34

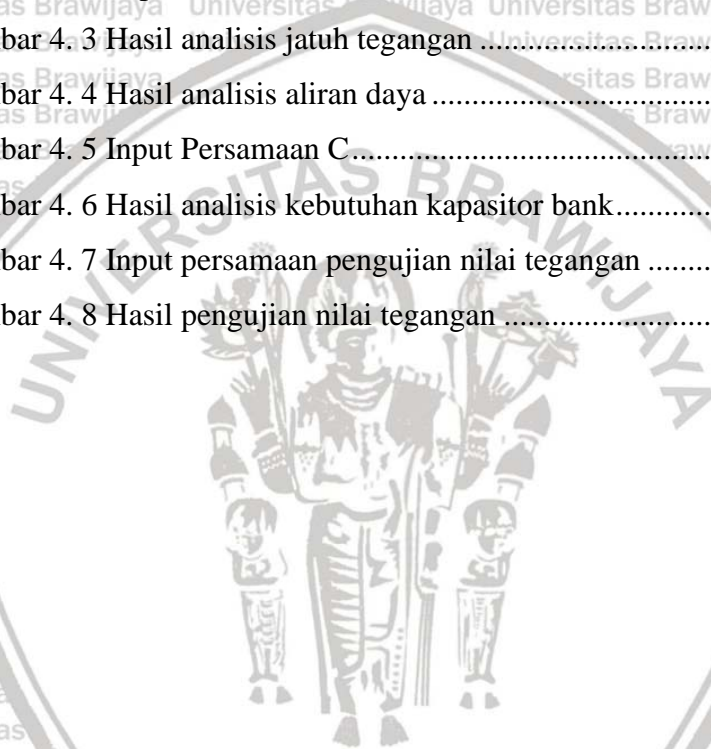
Gambar 4. 4 Hasil analisis aliran daya ..... 36

Gambar 4. 5 Input Persamaan C ..... 37

Gambar 4. 6 Hasil analisis kebutuhan kapasitor bank ..... 38

Gambar 4. 7 Input persamaan pengujian nilai tegangan ..... 40

Gambar 4. 8 Hasil pengujian nilai tegangan ..... 40





## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Tegangan.....	28
Tabel 4. 2 Data Saluran .....	28
Tabel 4. 3 Data Arus dan Power Faktor .....	29
Tabel 4. 4 Jumlah Beban 2020 .....	30
Tabel 4. 5 Persentase nilai tegangan terhadap tegangan nominal .....	41
Tabel 4. 6 Nilai tegangan sekunder setelah pemasangan kapasitor bank dan tap transformator .....	41







## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan pada saat ini. Energi listrik digunakan untuk mendukung kebutuhan manusia secara menyeluruh. Maka itu dibutuhkan sistem tenaga listrik yang handal dan mampu memenuhi kebutuhan tenaga listrik. Dengan melihat perkembangan jumlah penduduk sekarang tentunya kebutuhan energi listrik makin bertambah. Pemanfaatan secara optimal bentuk energi listrik ini harus diikuti dengan sistem distribusi energi listrik yang efisien. Dalam pemasangan pembangkit tersebar ini banyak hal yang harus dipertimbangkan, seperti posisi pemasangan yang tepat, jumlah pembangkit tersebar, besar kapasitas pembangkit tersebar dan jenis teknologi pembangkit tersebar yang digunakan. Pembangkit tersebar umumnya diletakkan dekat dengan beban (konsumen).

PT. PLN (Persero) merupakan perusahaan yang bergerak dibidang jasa milik negara. PT PLN (Persero) bergerak di bidang ketenagalistrikan baik dari mulai mengoperasikan pembangkit listrik sampai dengan melakukan transmisi kepada masyarakat. Oleh karena itu sebagai penyedia energi listrik di Indonesia PT PLN (Persero) harus berupaya maksimal dalam pelayanan energi listrik kepada konsumen atau pelanggan. Tugas utama dari PT PLN (Persero) adalah menjaga kestabilan energi listrik dari jatuh tegangan. Dalam hal ini, usaha meminimalisir terjadinya gangguan jatuh tegangan serta menjaga kestabilan sistem merupakan salah satu upaya yang bisa dilakukan PT. PLN (Persero). Pada penelitian ini, objek penelitian yang dipilih yaitu Kecamatan Sumbermanjing Wetan yang merupakan daerah pesisir pantai. Wilayah Kecamatan Sumbermanjing Wetan mendapatkan suplai daya energi listrik dari Gardu Induk Gondang Legi. yang berada di bawah wewenang PT. PLN P3B Region Jawa Timur dan Bali serta di bawah wewenang PT. PLN P3B Pusat.

Seiring dengan bertambahnya waktu dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia, jumlah konsumen yang tersambung ke jaringan PLN juga semakin bertambah. Kondisi jaringan listrik yang terpasang pun juga turut berubah menjadi lebih panjang. Jarak dari transformator distribusi menuju ke beban jadi lebih jauh. Oleh karena itu, penempatan transformator sudah tidak tepat lagi. Hal inilah yang dapat mengakibatkan terjadinya rugi-

rugi daya pada sistem penyaluran energi listrik. Menurut Erhaneli dan Riski (2013), dalam penyaluran energi listrik ke beban akan mengalami rugi-rugi teknis (losses) yaitu rugi daya dan rugi energi mulai dari pembangkit, saluran transmisi, dan saluran distribusi.

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang bertugas menyalurkan energi listrik dari transmisi menuju ke beban atau konsumen. Biasanya seringkali terjadi beban tidak seimbang pada fasa-fasanya (sistem distribusi 3 fasa) atau terjadi naik turunnya tegangan karena penyaluran energi listrik yang jauh dari pusat pembangkit dan mengakibatkan terjadinya losses saat 3 menuju ke beban (Pradono, Sukmadi dan Winardi, 2011).

Untuk memberikan pelayanan yang baik dan agar tidak menimbulkan kerugian pada konsumen, Perusahaan Listrik Negara (PLN) harus menjaga kualitas tegangan pada jaringan. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya-upaya agar jaringan distribusi selalu dalam kondisi baik. Menurut Suryanata. (2013:19), salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi yaitu mengurangi rugi-rugi daya dan meminimalkan drop tegangan.

Kecamatan Sumbermanjing Wetan merupakan kecamatan yang terletak di daerah pesisir pantai. Kecamatan Sumbermanjing Wetan mendapatkan suplai daya energi listrik dari Gardu Induk Gondang Legi yang lokasinya berada jauh dari kecamatan Sumbermanjing Wetan. Hal ini sangat menarik untuk diteliti pada sistem distribusi kelistrikannya. Selain itu, daerah pesisir pantai mempunyai pola pemukiman penduduk yang memanjang sesuai garis pantai dan saling berjauhan. Karena lokasi suplai daya dan penyaluran energi listrik yang jauh, maka dibutuhkan sistem distribusi listrik yang optimal.

Adanya keterbatasan penyaluran energi listrik di mana pusat pembangkit yang berada cukup jauh dari pusat beban dapat menyebabkan kerugian yang signifikan seperti jatuh tegangan. Jatuh tegangan dapat menyebabkan kerusakan pada alat-alat kelistrikan karena menurunkan tegangan pada beban hingga di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Jatuh tegangan ini tidak bisa dihilangkan, hanya bisa diminimalisir sehingga mencapai batas toleransi yang diizinkan. Dengan adanya kondisi tersebut diperlukan evaluasi dan perencanaan kembali yang memperhatikan kriteria-kriteria perencanaan seperti jatuh tegangan yang diizinkan oleh PLN dan kelangsungan pelayanan listrik sehingga muncul optimasi pada jaringan yang dipakai.

Proses perbaikan jatuh tegangan pada jaringan distribusi ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengaturan tegangan yaitu dengan memanfaatkan komponen kapasitor bank dan tap transformator (trafo).

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi perhitungan menggunakan aplikasi matlab?
2. Bagaimana perhitungan analisa aliran daya pada jaringan distribusi di PLN Unit Kerja Sumbermanjing Wetan?
3. Bagaimana nilai perbaikan jatuh tegangan menggunakan metode pengaturan pemanfaatan komponen kapasitor bank dan tap transformator (trafo)?

## 1.3 BATASAN MASALAH

Untuk memperjelas dan menghindari meluasnya masalah, maka dibuat batasan masalah sebagai berikut :

1. Objek penelitian yang akan diteliti yaitu unit kerja PLN Sumbermanjing Wetan yang meliputi daerah desa Druju, Harjo Kuncaran, Kedungbanteng, Klepu, dan Siti Arjo. Pemilihan obek desa berdasarkan letak desa yang berada dekat pesisir pantai.
2. Pemodelan sistem daya dan simulasi dilakukan dengan *software Matlab R2013a*.
- 3.
4. Hanya akan membahas nilai perbaikan jatuh tegangan menggunakan metode pengaturan pemanfaatan komponen kapasitor bank dan tap transformator.

## 1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana perhitungan analisa aliran daya pada jaringan distribusi di PLN Unit Kerja Sumbermanjing Wetan
2. Mengetahui nilai perbaikan jatuh tegangan menggunakan metode pengaturan pemanfaatan komponen kapasitor bank dan tap transformator (trafo).
3. Melakukan simulasi dan analisis untuk mengetahui nilai perbaikan jatuh tegangan.

## 1.5 MANFAAT PENELITIAN

Dalam tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu mengetahui hasil perhitungan jarak penempatan sehingga hasilnya dapat digunakan untuk menganalisis nilai jatuh tegangan. Nilai jatuh tegangan nantinya dapat digunakan untuk evaluasi sistem kelistrikan sistem kelistrikan daerah Kecamatan Sumbermanjing Wetan stabil

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari lima bab, yaitu :

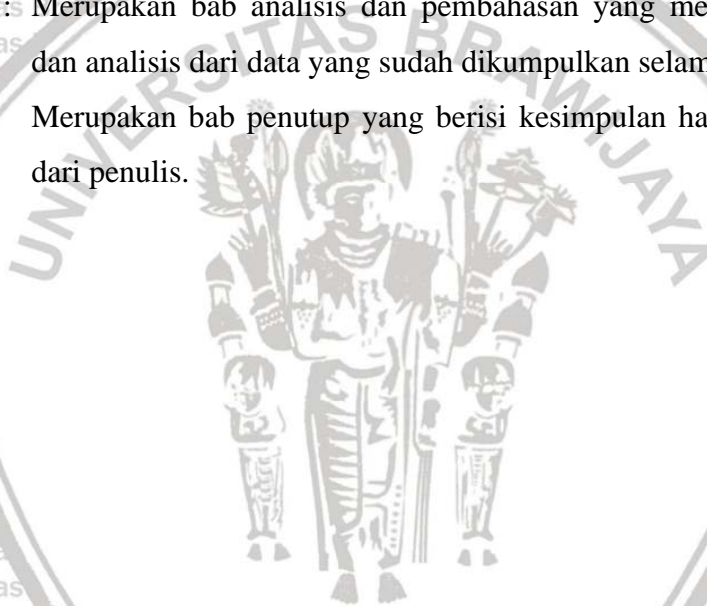
**BAB I :** Merupakan bab pendahuluan yang berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

**BAB II :** Merupakan bab tinjauan pustaka yang memuat kumpulan landasan-landasan teori yang mendukung penelitian seperti teori tentang sistem distribusi, gardu distribusi, transformator, jatuh tegangan.

**BAB III :** Merupakan Merupakan bab metode penelitian yang berisi proses atau alur penelitian ini dikerjakan mulai dari studi literatur, pengumpulan data sampai pada analisis pembahasan dan penarikan kesimpulan.

**BAB IV :** Merupakan bab analisis dan pembahasan yang memuat hasil perhitungan dan analisis dari data yang sudah dikumpulkan selama proses penelitian.

**BAB V :** Merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran dari penulis.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan semua bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan sumber daya besar dengan rangkaian pelayanan pada konsumen. Sumber daya besar adalah pusat-pusat pembangkit listrik dengan kapasitas daya yang dihasilkan dalam satuan MW (Mega Watt). Pembangkit listrik ini digolongkan atas jenis-jenis tenaga yang digunakan, seperti pembangkit yang menggunakan tenaga air, bahan minyak bumi/batu bara, panas surya, tenaga angin dan lain-lain

Jaringan distribusi terdiri atas dua bagian, yang pertama adalah jaringan tegangan menengah/primer (JTM), yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk subtransmisi ke gardu distribusi, jaringan distribusi primer menggunakan tiga kawat atau empat kawat untuk tiga fasa. Jaringan yang kedua adalah jaringan tegangan rendah (JTR), yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen, dimana sebelumnya tegangan tersebut ditransformasikan oleh transformator distribusi dari 20 kV menjadi 380/220 Volt, jaringan ini dikenal pula dengan jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi sekunder terletak antara transformator distribusi dan sambungan pelayanan (beban) menggunakan penghantar udara terbuka atau kabel dengan sistem tiga fasa empat kawat (tiga kawat fasa dan satu kawat netral).

##### 2.1.1 Jaringan Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan disuplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer.

Bagian-bagian sistem distribusi primer terdiri dari :

1. Transformator daya, berfungsi untuk menurunkan dan menaikkan tegangan
2. Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pengaman yaitu pemutus daya
3. Penghantar, berfungsi sebagai penghubung daya

4. Busbar, sebagai titik pertemuan antara trafo daya dengan peralatan lainnya
5. Gardu hubung, menyalurkan daya ke gardu distribusi tanpa mengubah tegangan.
6. Gardu distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah

### 2.1.2 Jaringan Sistem Distribusi Sekunder

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. Melihat letaknya, sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, jadi sistem ini berfungsi menerima daya listrik dari sumber daya (trafo 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 Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi seperti kabel LVTC (Low Voltage Twisted Cable). Ukuran kabel LVTC adalah:  $2 \times 10 \text{mm}^2$ ,  $2 \times 16 \text{mm}^2$ ,  $4 \times 25 \text{mm}^2$ ,  $3 \times 35 \text{mm}^2$ ,  $3 \times 50 \text{mm}^2$ ,  $3 \times 70 \text{mm}^2$ . Menurut SPLN No.3 Tahun 1987, jaringan tegangan rendah adalah jaringan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan beserta perlengkapannya, dari sumber penyaluran tegangan rendah sampai dengan alat pembatas/pengukur. Sedangkan STR (Saluran Tegangan Rendah) ialah bagian JTR tidak termasuk sambungan pelayanan (bagian yang menghubungkan STR dengan alat pembatas/pengukur) (Suhadi, 2008).
- b. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC, kabel ACSR.

## 2.2 Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah gardu tempat mengubah tegangan primer menjadi tegangan sekunder, kemudian membaginya kesaluran pengisi primer dan selanjutnya disalurkan kesetiap titik pelanggan. Menurut Rahmadi (2013) gardu distribusi berfungsi melayani konsumen tegangan rendah dimana tegangan 20 KV diturunkan tegangannya menjadi 380/220 Volt pada trafo distribusi, untuk kemudian disalurkan pada konsumen melalui jaringan tegangan rendah (jaringan distribusi sekunder).

### 2.2.1 Jenis Gardu Distribusi

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan menjadi 3 jenis yaitu jenis pemasangannya, jenis konstruksinya dan jenis penggunaannya. Menurut Jenis Pemasangannya ialah gardu pasangan luar dan gardu pasangan dalam. Menurut Jenis Konstruksinya ialah gardu beton, gardu tiang dan gardu kios.

#### a. Gardu Portal

Gardu Portal adalah gardu listrik jenis terbuka (out-door) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Tempat kedudukan transformator sekurang-kurangnya 3 meter di atas tanah dan ditambahkan platform sebagai fasilitas kemudahan kerja teknis operasi dan pemeliharaan. Transformator dipasang bagian atas dan lemari panel atau PHB-TR pada bagian bawah (Mulyadi, 2011). Lokasi penempatan gardu portal biasanya berdekatan langsung dengan daerah pelayanan konsumen, tegangan disalurkan ke konsumen melewati jurusan-jurusan, dan untuk setiap unit gardu portal dapat disalurkan sampai empat jurusan. Gambar II.1 merupakan tampilan luar dari gardu portal.

#### b. Gardu Cantol

Gardu Cantol adalah tipe gardu distribusi jenis pasangan luar (out-door) yang terpasang dengan konstruksi 1 tiang dan memiliki transformator yang terpasang jenis 3 fasa atau 1 fasa dengan tipe CSP (Completely Self Protected Transformator) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator. Perlengkapan perlindungan tambahan LA (Lightning Arrester) dipasang terpisah dengan penghantar hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengamanan lebur (type NH,NT) sebagai pengamanan jurusan. Semua bagian konduktif terbuka (BKT) dan bagian konduktif ekstra (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi tegangan rendah [15]. Gambar II.2 dan gambar II.3 merupakan tampilan luar dari gardu cantol 1 fasa dan 3 fasa.

#### c. Gardu Beton

Gardu beton adalah gardu distribusi tipe pasangan dalam, karena pada umumnya seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator, peralatan switching, dan proteksi terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi bangunan pelindung terbuat dari beton (masonry wall building). Dalam pembangunannya semua peralatan di rancang dan dipasang pada lokasi sesuai dengan ukuran bangunan gardu. Konstruksi ini

dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan (Suryana, 2011). Kapasitas transformator yang terpasang pada gardu beton biasanya lebih besar dibandingkan dengan jenis gardu lainnya, karena keamanan dari konstruksi bangunan. Pelayanan dari gardu beton biasanya untuk pemenuhan ditempatkan pada daerah – daerah pemukiman padat atau daerah kawasan industri [3]. Peralatan hubung bagi tegangan menengah (PHB-TM) pada gardu beton berbentuk lemari yang disebut kubikel dan difungsikan sebagai alat penghubung dan pemutus pada sisi tegangan menengah. Sedangkan peralatan hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR) berbentuk rangka terbuka tanpa panel pelindung yang disebut rak TR dan memiliki cabang jurusan yang akan menyalurkan tenaga listrik ke jaringan tegangan rendah (Suryana, 2011). Gambar II.4 merupakan tampilan bangunan gardu beton, sedangkan Gambar II.5 menunjukkan contoh kubikel pada gardu beton dan Gambar II.6 merupakan contoh dari rak TR pada gardu beton.

#### **d. Gardu Kios**

Gardu kios adalah bangunan prefabricated terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu kios kompak, kios modular dan kios bertingkat. Gardu ini dibangun ditempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun gardu beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan empat jurusan tegangan rendah. Khusus untuk kios kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnyanya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut ke lokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya

#### **e. Gardu Hubung**

Gardu Hubung atau Switching Substation adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kontinuitas pelayanan. Isi dari instalasi gardu hubung adalah rangkaian sakelar beban (Load Break Switch – LBS), dan atau pemutus tenaga yang terhubung paralel. Gardu hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus tegangan menengah. Konstruksi gardu hubung sama dengan gardu distribusi tipe beton. Pada ruang dalam gardu hubung singkat dapat

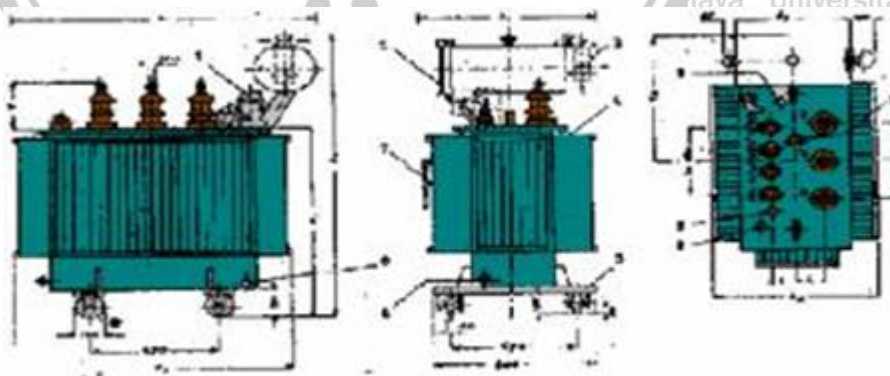


dilengkapi dengan ruang untuk gardu distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh. Ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh dapat berada pada ruang yang sama dengan ruang gardu hubung, namun terpisah dengan ruang gardu distribusinya

### 2.3 Transformator

Transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa terus menerus tanpa berhenti) (Suryadi, 2010). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian transformator dan bagian-bagian mana yang perlu diawasi melebihi bagian yang lainnya.

Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut Interbus Transformator (IBT). Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV disebut juga trafo distribusi. Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan / proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung di sisi netral 20 kV nya (Tarrigan, 2011)



**Gambar 2.1** Trafo Distribusi Kelas 20kV

### 2.3.1 Konstruksi Bagian-bagian Transformator

Transformator terdiri dari :

#### a. Bagian Utama

##### 1. 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*.

##### 2. Kumparan Transformator

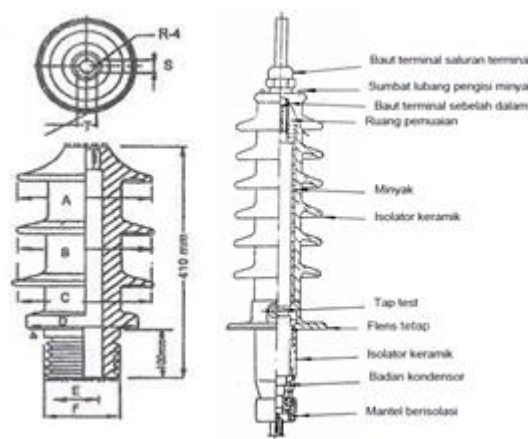
Adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat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

##### 3. Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

##### 4. Bushing

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator.



Gambar 2.2 Contoh Bushing Transformator

## 5. Tangki Konservator

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

### 2.3.2 Prinsip Kerja Transformator

Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer yang menerima daya dan kumparan sekunder yang tersambung dengan beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi (Ahmadi, 2010)

Transformator menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet/fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.

Arus AC yang mengalir pada belitan primer membangkitkan flux magnet yang mengalir melalui inti besi yang terdapat diantara dua belitan, flux magnet tersebut akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial/tegangan induksi (Ahmadi, 2010)

Ratio lilitan pada kumparan sekunder terhadap kumparan primer menentukan rasio tegangan pada kedua kumparan tersebut. Sebagai contoh, 1 lilitan pada kumparan primer dan 10 lilitan pada kumparan sekunder akan menghasilkan tegangan 10 kali lipat dari tegangan input pada kumparan primer. Jenis transformator ini biasanya disebut dengan transformator step up. Sebaliknya, jika terdapat 10 lilitan pada kumparan primer dan 1 lilitan pada kumparan sekunder, maka tegangan yang dihasilkan oleh kumparan sekunder adalah 1/10 dari tegangan input pada kumparan primer.

### 2.3.3 Transformator Distribusi

Transformator distribusi adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah. Tujuan dari penggunaan transformator distribusi adalah untuk mengurangi tegangan utama dari sistem distribusi tenaga listrik menjadi tegangan untuk penggunaan konsumen (Raditya, 2011).

Penempatan transformator untuk instalasi gardu pasangan luar (outdoor) dipasang di atas tiang, dengan menggunakan satu tiang untuk gardu cantol dan dua tiang untuk gardu

portal. Sedangkan penempatan transformator untuk instalasi pasangan dalam dipasang di bawah yang alasnya disemen dengan beton dalam sebuah ruangan tembok atau kios.

Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator step down 20 kV/400 kV 3 fasa dan 1 fasa, dan ada juga yang menggunakan tiga buah transformator 1 fasa. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah 380 Volt. Karena terjadi drop tegangan, maka pada tegangan rendahnya dibuat di atas 380 Volt agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380 Volt.

### **2.3.4 Tap Transformator**

Transformator, 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 (besar)nya tegangan pelayanan disisi sekunder dapat berubah karena tegangan jaringan/sistem yang berubah-ubah akibat dari pembebanan ataupun saat kondisi sistem, pada perubahan ratio yang diatur oleh tap changer adalah perubahan dengan range kecil antara + 10% - 15% dari tegangan dasar trafo tersebut.

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

Sedangkan Transformator penaik tegangan (step up) diunit pembangkit atau pada Trafo kapasitas kecil (Trafo TM), pada umumnya menggunakan Tap Changer yang digunakan oleh Off Load Tap Changer bila akan dilakukan perubahan Trafo harus dipadamkan terlebih dahulu (tanpa beban).

## **2.4 Jatuh Tegangan**

Jatuh tegangan adalah perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Jatuh tegangan selalu terjadi pada jaringan, baik pada pelanggan maupun pada perusahaan listrik. Jatuh tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan pada sisi kirim (sending end) dan tegangan pada sisi terima (receiving end). Dengan semakin besar pula perbedaan nilai tegangan yang ada pada sisi kirim dengan yang ada pada sisi terima.

Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. Di dalam saluran transmisi persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan menengah harus diperhatikan. Dimana ditentukan bahwa variasi tegangan pelayanan, sebagian akibat jatuh tegangan, karena adanya perubahan beban, maksimum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya.

Besarnya rugi tegangan pada saluran transmisi tersebut, dapat diukur pada titik yang paling jauh (ujung). Sebagai contoh dengan menganggap rangkaian pada Gambar 2.3 direpresentasikan sebagai saluran satu fasa.

$$\frac{\theta (\Delta V)}{\theta \phi} = -IR \sin \phi + IX \cos \phi = 0 \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\tan^{-1} \frac{X}{R} = \dots \dots \dots (2.2)$$

Besar persentase drop tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\Delta V = V_S - V_R \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$V_S$  = Tegangan sumber (Volt)

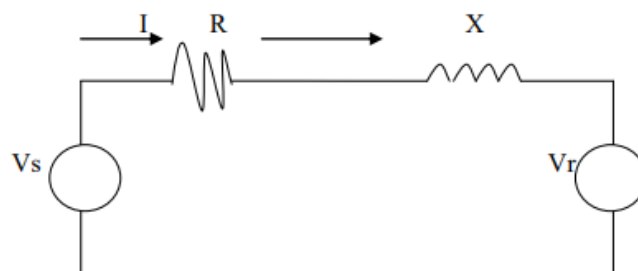
$V_R$  = Tegangan pada sisi penerima (Volt)

$R$  = Resistansi saluran ( $\Omega$ )

$X$  = Reaktansi saluran ( $\Omega$ )

$\Delta V$  = Drop tegangan (Volt)

$\cos \phi$  = Faktor daya beban



**Gambar 2.3** Rangkaian ekivalen saluran distribusi

Menurut Ahmadi (2012) jatuh tegangan pada sistem distribusi mencakup jatuh tegangan pada :

1. Penyulang Tegangan Menengah (TM)
2. Transformator Distribusi
3. Penyulang Jaringan Tegangan Rendah
4. Sambungan Rumah
5. Instalasi Rumah

Adapun penyebab Jatuh Tegangan (Drop Voltage) adalah :

1. Jauhnya jaringan, jauhnya jarak transformator dari Gardu Induk
2. Rendahnya tegangan yang diberikan GI atau rendahnya tegangan transformator distribusi.
3. Sambungan penghantar yang tidak baik, penjampanan disaluran distribusi tidak tepat sehingga bermasalah di sisi tegangan menengah dan tegangan rendah.
4. Jenis penghantar atau konektor yang digunakan
5. Arus yang dihasilkan terlalu besar

Untuk mendapatkan nilai jatuh tegangan dan susut yang dikehendaki perlu memasukkan parameter – parameter antara lain

1. Ukuran (luas penampang) dan jenis penghantar
2. Beban nominal penghantar
3. Panjang Jaringan

## **2.5 Kapasitor Bank**

### **2.5.1 Pengertian Kapasitor Bank**

Kapasitor bank adalah peralatan elektrik untuk meningkatkan faktor daya, yang akan mempengaruhi besarnya arus (Ampere). Peningkatan faktor daya ini tergantung dari seberapa besar nilai kapasitor yang dipasang (dalam kVAR). end a VARh anda bisa dikurangi. Pada kehidupan modern dimana salah satu cirinya adalah pemakaian energi listrik yang besar. Besarnya energi atau beban listrik yang dipakai ditentukan oleh reaktansi (R), induktansi (L) dan kapasitansi (C). Besarnya pemakaian energi listrik itu disebabkan karena banyak dan beraneka ragam peralatan (beban) listrik yang digunakan.

Sedangkan beban listrik yang digunakan umumnya bersifat induktif dan kapasitif. Di mana beban induktif (positif) membutuhkan daya reaktif seperti trafo pada rectifier, motor induksi (AC) dan lampu TL, sedang beban kapasitif (negatif) mengeluarkan daya reaktif

(Putra, 2015).

### 2.5.2 Prinsip Kerja Kapasitor Bank

Berdasarkan dari cara kerjanya, kapasitor bank dibedakan menjadi 2:

1. Fixed type, yaitu dengan memberikan sebuah beban kapasitif yang tetap ataupun berubah-ubah pada beban. Biasanya digunakan pada beban langsung seperti pada motor induksi. Pada tipe ini harus dipertimbangkan adalah pada saat pemasangan kapasitor bank tanpa beban.
2. Automatic type, yaitu memberikan beban kapasitif yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan kapasitor bank yang terpasang. Pada tipe ini jenis panel dilengkapi dengan sebuah Power Factor Controller (PFC) sebagai pengaman. PFC akan menjaga  $\cos \phi$  pada jaringan listrik yang sesuai dengan target yang ditentukan. Apabila pada tipe ini terjadi perubahan beban, maka PFC secara otomatis akan memperbaiki  $\cos \phi$ .

### 2.5.3 Komponen-komponen Kapasitor Bank

1. Main switch/load Break switch

Main switch ini sebagai peralatan kontrol dan isolasi jika ada pemeliharaan panel. Sedangkan untuk pengaman kabel / instalasi sudah tersedia disisi atasnya dari PDU. Main switch atau lebih dikenal load break switch adalah peralatan pemutus dan penyambung yang sifatnya on load yakni dapat diputus dan disambung dalam keadaan berbeban, berbeda dengan on-off switch model knife yang hanya dioperasikan pada saat tidak berbeban

2. Kapasitor Breaker

Kapasitor Breaker digunakan untuk mengamankan instalasi kabel dari breaker ke kapasitor bank dan juga kapasitor itu sendiri. Kapasitas breaker yang digunakan sebesar 1,5 kali dari arus nominal

3. Magnetic Contactor

Magnetic contactor diperlukan sebagai Peralatan kontrol. Beban kapasitor mempunyai arus puncak yang tinggi, lebih tinggi dari beban motor. Untuk pemilihan magnetic contactor minimal 10 % lebih tinggi dari arus nominal (pada AC 3 dengan beban induktif/kapasitif

4. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang akan berfungsi sebagai penyeimbang sifat induktif. Kapasitas kapasitor dari ukuran

5 KVar sampai 60 KVar. Dari tegangan kerja 230 V sampai 525 Volt.

## 5. Reactive Power Regulator

Peralatan ini berfungsi untuk mengatur kerja kontaktor agar daya reaktif yang akan disupply ke jaringan/sistem dapat bekerja sesuai kapasitas yang dibutuhkan.

Dengan acuan pembacaan besaran arus dan tegangan pada sisi utama breaker maka daya reaktif yang dibutuhkan dapat terbaca dan regulator inilah yang akan mengatur kapan dan berapa daya reaktif yang diperlukan.

## 2.6 Analisis Aliran Daya

Studi aliran daya di dalam sistem tenaga merupakan studi yang penting. Studi aliran daya mengungkapkan kinerja dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu tatkala sistem bekerja saat tunak (steady state). Studi aliran daya juga memberikan informasi mengenai beban saluran transmisi di sistem, tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga dan bertujuan untuk menentukan besarnya daya nyata (real power), daya reaktif (reactive power) di berbagai titik pada sistem daya yang dalam keadaan berlangsung atau diharapkan untuk operasi normal, (reactive power) di berbagai titik pada sistem daya yang dalam keadaan berlangsung atau diharapkan untuk operasi normal.

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

Sistem tenaga listrik terdiri dari banyak bus. Untuk menyelesaikan aliran daya di sistem tenaga listrik salah satunya menggunakan metode Newton Rhapson. Pada metode ini sistem dibagi sehingga memiliki tiga kelompok bus, yaitu bus generator, referensi, dan beban. Perhitungan dengan metode Newton Rhapson merupakan cara yang relevan untuk penghitungan aliran daya pada sistem yang terdiri dari banyak bus karena memiliki kecepatan dalam mengkalkulasi (Saadat, 1999). Perhitungan persamaan ini menggunakan matriks admitansi bus yang dirumuskan sebagai berikut:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \dots \dots \dots (2.5)$$

Arus yang mengalir pada sistem berbentuk bilangan kompleks sehingga persamaan di atas dapat dinyatakan dalam bentuk polar, yaitu:



$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.6)$$

Daya nyata dan reaktif di bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.7)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan (2-2) ke persamaan (2-3) didapatkan:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle - \delta_i \quad (2.8)$$

Pemisahan antara nilai rill dan imajiner dilakukan sehingga hasilnya:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.9)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.10)$$

Dengan menggunakan metode iterasi dan menyelesaikan dengan matriks, maka kedua persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Pada persamaan di atas, bus pertama dianggap sebagai bus referensi. Matriks Jacobian dapat digunakan untuk merepresentasikan persamaan (2.11) sehingga menghasilkan:

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Elemen matriks Jacobian dapat dicari dengan:

Elemen diagonal dan *off*-diagonal dari  $J_1$

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i^{(k)}| |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_j} = - |V_i^{(k)}| |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad j \neq i \quad (2.14)$$

Elemen diagonal dan *off*-diagonal dari  $J_2$

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_i|} = 2 |V_i^{(k)}| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \dots (2.15)$$

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_j|} = |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots (2.16)$$

Elemen  $J_3$

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i^{(k)}| |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \dots (2.17)$$

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_j} = -|V_i^{(k)}| |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots (2.18)$$

Elemen  $J_4$

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_i|} = -2 |V_i^{(k)}| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \dots (2.19)$$

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_j|} = -|V_i^{(k)}| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots (2.20)$$

Perhitungan akan selesai ketika hasil perhitungan  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  antara nilai spesifikasi dan perhitungan memiliki selisih yang sangat kecil.

$$\Delta P_i^{(k)} = P_{i,spec} - P_{i,calc} \dots (2.21)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_{i,spec} - Q_{i,calc} \dots (2.22)$$

Selanjutnya, nilai  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V_i|^{(k)}$  dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_i^{(k)} \\ \Delta |V_i|^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} \end{bmatrix} \dots (2.23)$$

Untuk mendapatkan nilai  $\delta_i^{(k)}$  dan  $|V_i^{(k)}|$  yang baru menggunakan persamaan:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \dots (2.24)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.25)$$

Selanjutnya proses iterasi kembali lagi ke proses awal dan hal ini terus diulang sampai nilai  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  atau semua nilai  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V_i^{(k)}|$  lebih kecil dari suatu indeks ketepatan yang telah dipilih.

## 2.7 Analisis Power Faktor

Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif dengan daya semu. Faktor daya atau faktor kerja menggambarkan sudut fasa antara daya aktif dan daya semu.

Daya aktif digunakan untuk mengoperasikan beban-beban pada pelanggan listrik.

Daya semu dihasilkan oleh generator pembangkit yang ditransmisikan ke pelanggan listrik. Daya reaktif yang bertambah akan menyebabkan turunnya faktor daya listrik.

Cara yang mudah untuk mengantisipasi turunnya faktor daya listrik dapat dilakukan dengan memilih beban-beban yang mempunyai faktor daya besar juga dapat dilakukan dengan memasang kapasitor

Kapasitor adalah komponen listrik yang justru menghasilkan daya reaktif pada jaringan dimana dia tersambung. Pemasangan kapasitor dapat memperbaiki faktor daya, jika faktor daya di perbaiki maka daya reaktif dapat berkurang dan mendekati daya aktif. Suatu beban dengan faktor daya 1.0 merupakan beban yang hanya mengandung nilai resistansi murni dan merupakan pembebanan yang paling efisiensi.

Beban dengan faktor daya yang rendah (0.5) merupakan beban yang mengandung nilai induktansi yang menyebabkan kerugian yang lebih tinggi dalam sistem suplai tenaga listrik

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

Didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata (P) dan daya semu (S), dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya Nyata (W)}}{\text{Daya Semu (VA)}}$$

Dari persamaan dituliskan menjadi:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{P + jQ} = \frac{W}{VA}$$

$$W = VA \cos \phi$$

$$VAR = VA \sin \phi = W \tan \phi \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\tan \phi = \frac{VAR}{W}$$

Di mana:  $\cos \phi$  = faktor daya.

P = daya nyata (Watt).

S = daya semu (VA).

Q = daya reaktif (VAR).

$$\Delta V = V_s - V_R$$





## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian “Kajian Implementasi Hibrid Kapasitor Bank Dan Tap Trafo Untuk Perbaikan Profil Tegangan Pada Penyulang Sumbermanjing Wetan” peneliti menggunakan jenis penelitian pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Kuantitatif adalah melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini.

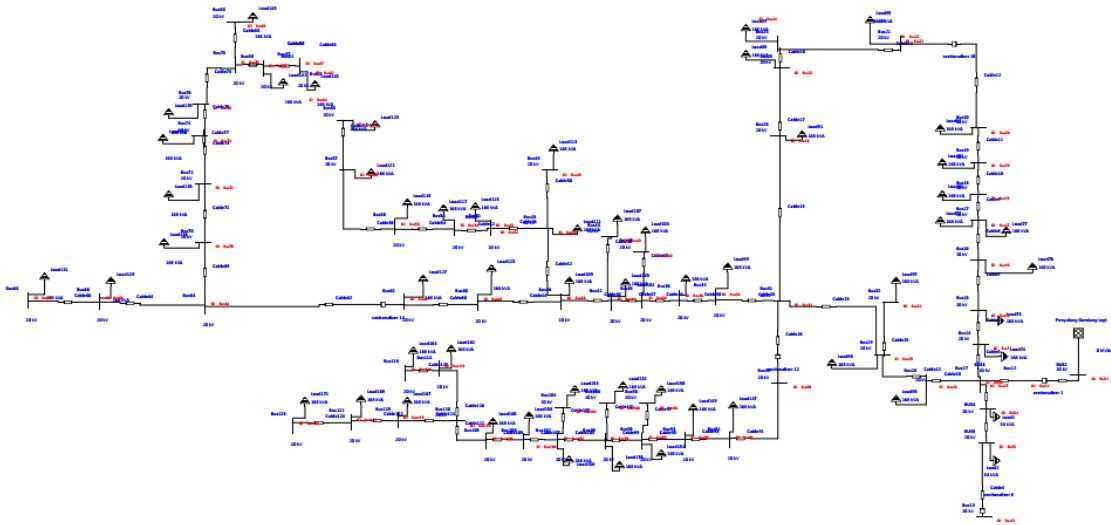
#### 3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan data-data di PT.PLN Gondanglegi Kabupaten Malang. Area kerja yang digunakan untuk data penelitian adalah Kecamatan Sumbermanjing Wetan. Penelitian sehabis seminar proposal dan akan dilaksanakan selama 2 minggu.

#### 3.3 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari data yang dimiliki Perusahaan Listrik Negara. Data akan diambil dari gardu induk Gondanglegi yang merupakan gardu induk yang memayungi daerah Sumbermanjing wetan dan sekitarnya. Data distribusi yang diambil adalah data tahun 2020-2021. Data yang dibutuhkan untuk aplikasi matlab adalah Diagram Satu Garis (Single Line Diagram) main line feeder Gondanglegi, yaitu peta sistem yang berisi informasi mengenai gardu distribusi, seperti kode gardu, lokasi gardu, kapasitas gardu, tipe gardu, merk gardu, beban trafo tersebut, jarak antar gardu, dan data penghantar yang di gunakan sepanjang saluran.

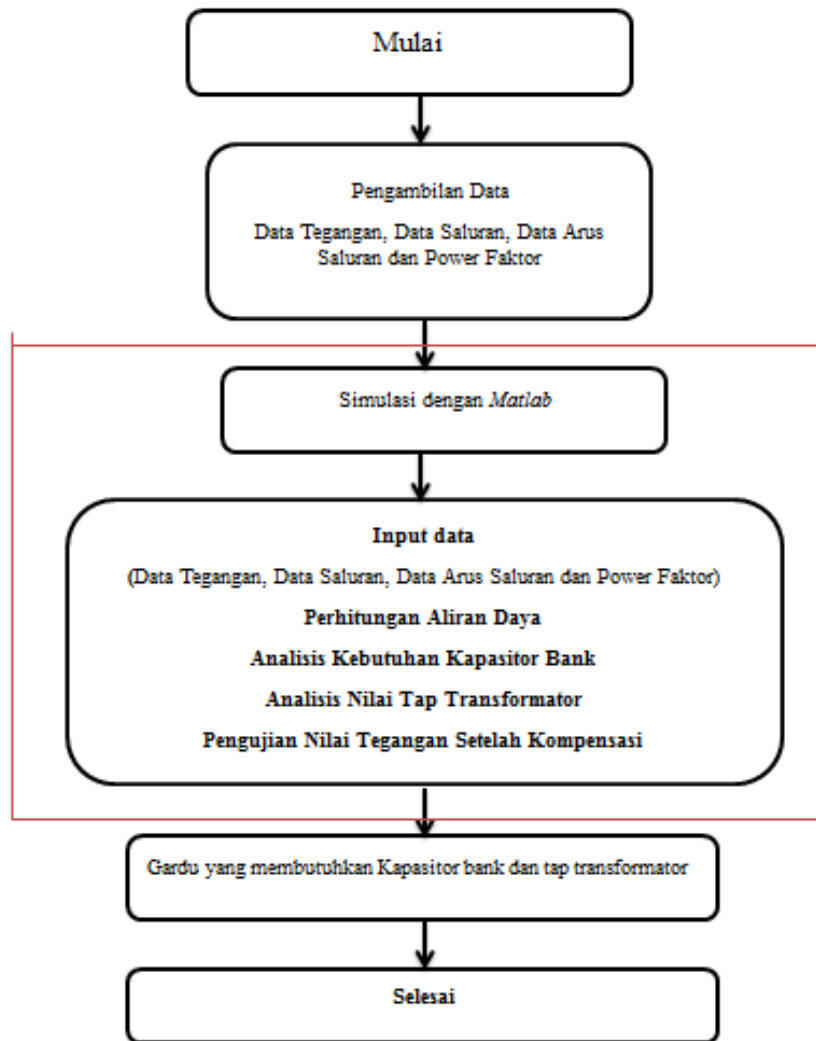
Adapun Single line diagram GI Gondang Legi dapat diperoleh dari data PLN (Persero), yaitu:



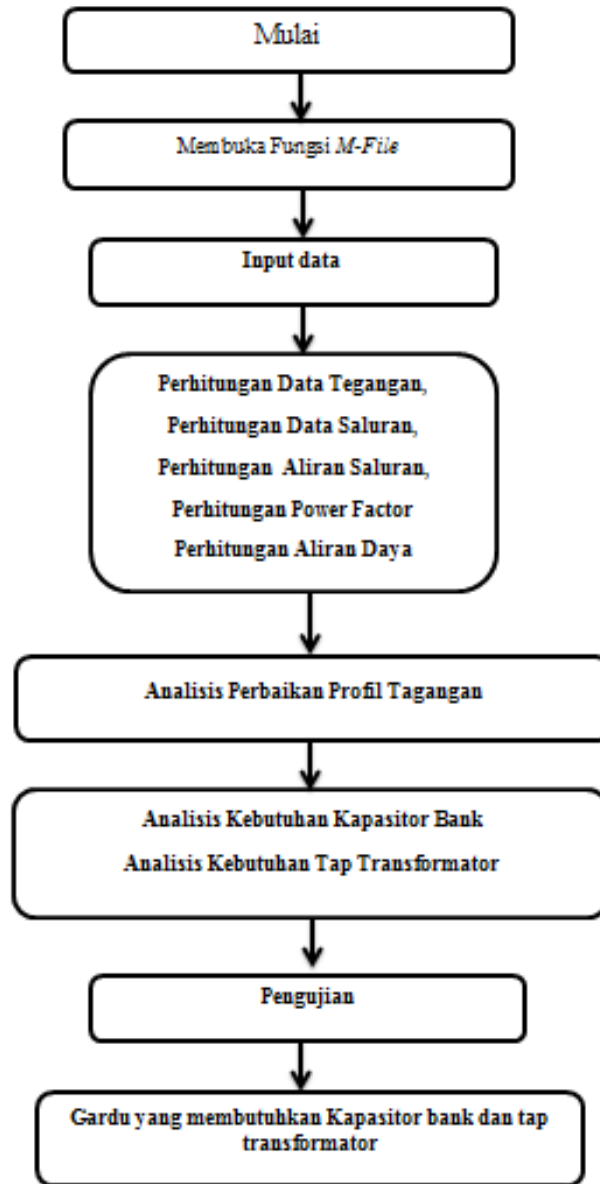
**Gambar 3. 1** Single line diagram penyulang Godang Legi

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Dalam metode penelitian ini akan diuraikan langkah-langkah yang akan dilaksanakan dalam mencapai tujuan penyusunan penelitian. Metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Berikut terlampir *flowchart* simulasi aliran daya dengan metode newraphson dan simulasi dengan *matlab*



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir Matlab (Lanjutan)



### 3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur yang mendukung dalam penelitian ini adalah teori yang berkaitan dengan perbaikan profil tegangan pada jaringan distribusi 20 kv menggunakan kapasitor bank dan tap transformator

### 3.4.2 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, penulis melakukan pengumpulan data di PT.PLN (Persero) Gondanglegi Kabupaten Malang. Pengumpulan data dilakukan dengan meminta data yang sudah ada pada PT. PLN (Persero) tersebut. Data yang akan diambil adalah :

1. Data tegangan
2. Data saluran
3. Data Arus Saluran dan Power Factor

### 3.4.3 Optimasi Jaringan

Pada tahap ini akan dilakukan desain sistem menggunakan perangkat lunak *matlab* untuk simulasi beserta analisis teknis, dan perbandingan serta penentuan spesifikasi sistem. Agar didapatkan optimasi sistem yang diinginkan sehingga penempatan pada trafo tersebut dapat sesuai dengan standar dari sistem distribusi tersebut.

Optimasi pada penelitian ini dilakukan dengan pendekatan langsung. Karena seringnya terjadi beban berlebih pada gardu induk Sumbermanjing Wetan yang mengakibatkan besarnya jatuh tegangan. Maka dari itu untuk meminimalisir jatuh tegangan pada penelitian ini perlu dilakukan optimasi dengan cara penyeimbangan beban. Langkah-langkah untuk melakukan optimasi adalah :

- a. Menghitung aliran daya pada penyulang yang akan dioptimasi. Untuk itu bisa dilakukan dengan software yang mendukung. Dalam penelitian ini menggunakan software *matlab*
- b. Optimasi pada penyulang dilakukan dengan melihat jatuh tegangan dengan melakukan penyeimbangan beban dengan cara melihat keadaan realtime beban.
- c. Membandingkan kondisi penyulang setelah optimasi dengan kondisi sebelum optimasi.
- d. Analisis setiap jaringan yang telah dioptimasi dengan menghitung kembali jatuh tegangan sehingga didapat nantinya konstruksi jaringan dan penempatan transformator distribusi yang lebih optimal.

### 3.4.4 Hasil Jatuh Tegangan Setelah Optimasi

Pada tahap ini setelah dilakukan optimasi maka didapatkan hasil jatuh tegangan, jika hasil jatuh tegangan yang didapat setelah optimasi tidak sesuai dengan batas toleransi SPLN

No. 72 Tahun 1987 +5% dan -10% maka perlu dilakukan kembali simulasi aliran daya menggunakan metode Newton Raphson hingga didapat hasil jatuh tegangan yang +5% dan -10%.

### 3.4.5 Hasil Jatuh Tegangan Sebelum Optimasi dan Sesudah Optimasi

Setelah didapat hasil jatuh tegangan +5% dan -10%, maka selanjutnya didapatlah hasil jatuh tegangan yang terjadi sebelum dilakukan optimasi dan setelah dilakukan optimasi.

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui berapa jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang.

### 3.4.6 Analisis dan Hasil Analisis

Pada penelitian ini mengenai optimasi jaringan yang dipilih dan perhitungan beban untuk mengetahui jatuh tegangan. Analisis optimasi jaringan yang akan dipilih yaitu dengan melakukan analisis berdasarkan aliran daya metode Newton-Raphson, kemudian membuat simulasi menggunakan perangkat lunak *Matlab*. Analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini, yaitu analisis trafo yang mengalami jatuh tegangan lebih dari batas toleransi yang telah di *Matlab* kan PLN sebelum dilakukan optimasi. Selanjutnya menganalisis hasil dan menempatkan tap transformator dan kapasitor bank berdasarkan jatuh tegangan. setelah dilakukan optimasi harus didapat jatuh tegangan +5% dan -10%, jika tidak maka akan dilakukan simulasi ulang dengan metode Newton-Raphson menggunakan *Matlab*. Setelah didapatkan hasil analisis jatuh tegangan pada jaringan sebelum optimasi dan setelah optimasi, maka didapatlah jatuh tegangan sebelum dilakukan optimasi dan sesudah dilakukan optimasi. kemudian dari hasil tersebut didapat nilai untuk penambahan tap trafo dan kapasitor bank yang optimal.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai proses melakukan simulasi hingga hasil dari simulasi didapatkan serta pembahasan untuk menemukan solusi terbaik penambahan kapasitor bank dan tap transformator

#### 4.1 Alur Implementasi Program

##### 4.1.1 Input Data Program *Matlab*

Berikut ini adalah *script* dan langkah dalam input data Program *Matlab*

```
%0%INPUT DATA%0%
```

```
R=0.2162;
```

```
X=0.3305;
```

```
Xj=j*X;
```

```
Vk=20000
```

```
Vk_real=19000
```

```
L1=24.8;
```

```
L2=19.5;
```

```
L3=18.8;
```

```
L4=24;
```

```
L5=20;
```

```
f=50
```

```
omega=2*pi*f
```

Keterangan :

R : Tahanan rangkaian (Ohm/km)

X : Reaktansi rangkaian (Ohm/km)

VK : Tegangan Kirim

VT : Tegangan Terima

L : panjang kabel (m)

- **Data Tegangan**

Berikut data tegangan yang terdapat pada masing-masing gardu hubung.

**Tabel 4. 1** Data Tegangan

Data Tegangan		
Gardu Hubung	Tegangan Nominal	Tegangan Kirim
Druju	20 kV	19 kV
Harjo Kuncaran	20 kV	19 kV
Kedung Banteng	20 kV	19 kV
Klepu	20 kV	19 kV
Sitiarjo	20 kV	19 kV

- **Data Saluran**

Berikut data saluran yang terdapat pada masing-masing gardu hubung

**Tabel 4. 2** Data Saluran

Data Saluran		
Gardu Hubung	Panjang Saluran	Jenis Kabel
Druju	24,8 km	AAAC 150 mm <sup>2</sup>
Harjo Kuncaran	19,5 km	AAAC 150 mm <sup>2</sup>
Kedung Banteng	18,8 km	AAAC 150 mm <sup>2</sup>
Klepu	24 km	AAAC 150 mm <sup>2</sup>
Sitiarjo	20 km	AAAC 150 mm <sup>2</sup>

- **Data Arus Saluran dan Power Factor**

Berikut ini adalah *script* dan hasil data arus saluran dan power faktor Program

*Matlab*

```
%nilai power factor
```

```
pf1=0.75
```

```
theta1=acos(pf1)
```

```
deg_pf1=theta1*(180/pi)
```

```
sin1=sin(theta1)
```

```
pf2=0.72
```

-

```

theta2=acos(pf2)
deg_pf2=theta2*(180/pi)
sin2=sin(theta2)
• pf3=0.7
theta3=acos(pf3)
deg_pf3=theta3*(180/pi)
sin3=sin(theta3)
pf4=0.73
• theta4=acos(pf4)
deg_pf4=theta4*(180/pi)
sin4=sin(theta4)
pf5=0.8
theta5=acos(pf5)
• deg_pf5=theta5*(180/pi)
sin5=sin(theta5)

%nilai power factor baru yang diinginkan
pf_new=0.95
deg_pf_new=acos(pf_new)*(180/pi)

```

```

%Arus Saluran (beban)

```

```

Iline1=132;
Iline2=120;
Iline3=140;
Iline4=112;
Iline5=95;
Keterangan :
PF      : Power Factor
I line  : Arus Saluran Gardu

```

**Tabel 4. 3** Data Arus dan Power Faktor

Arus dan Power Factor		
Gardu Hubung	Arus Saluran	Power Factor
Druju	132 A	0,75
Harjo Kuncaran	120 A	0,73
Kedung Banteng	140 A	0,6
Klepu	112 A	0,7
Sitiarjo	95 A	0,5

**Tabel 4. 4** Jumlah Beban 2020

Daya : 50 MVA		
I nominal : 1443 Ampere		
Bulan	Beban (A)	Beban Tertinggi (A)
Januari	807	1394
Februari	1394	
Maret	1207	
April	1183	
Mei	784	
Juni	588	
Juli	588	
Agustus	776	
September	677	
Oktober	901	
November	1010	
Desember	729	

#### 4.1.2 Alur Analisis Perbaikan Profil Tegangan

- **Analisis Kapasitor Bank**

$$QC = Q1 - Q2$$

Keterangan :

QC= Daya reaktif kapasitor bank yang dibutuhkan

Q1= Daya reaktif sebelum perbaikan

Q2= Target Daya reaktif yang akan dicapai

- **Analisis Kebutuhan Tap Transformator**

Penggunaan tap transformator ini dilakukan pada keadaan tanpa beban, untuk beban menengah dan rendah dipilih transformator yang memiliki 5 tapping, yaitu:

**Untuk 2,5%/tap:**

$$\text{Tapping 1} = VN + (0,05 \times VN)$$

$$\text{Tapping 2} = VN + (0,025 \times VN)$$

$$\text{Tapping 3} = VN$$

$$\text{Tapping 4} = VN - (0,025 \times VN)$$

$$\text{Tapping 5} = VN - (0,05 \times VN)$$

**Untuk 5% tap:**

$$\text{Tapping 1} = VN + (0,1 \times VN)$$

$$\text{Tapping 2} = VN + (0,05 \times VN)$$

$$\text{Tapping 3} = VN$$

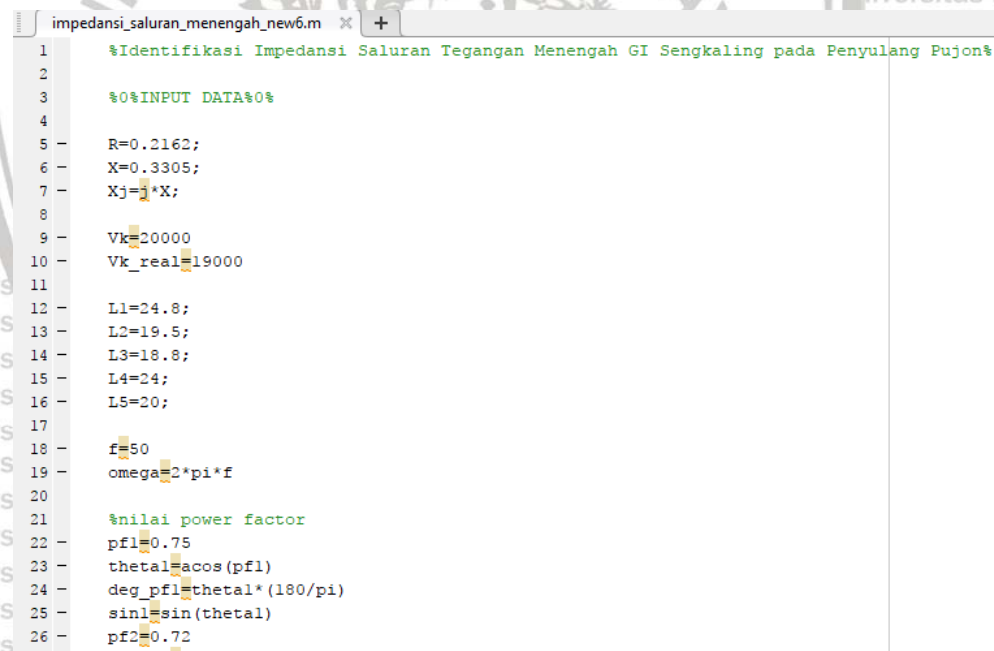
$$\text{Tapping 4} = VN - (0,05 \times VN)$$

$$\text{Tapping 5} = VN - (0,1 \times VN)$$

## 4.2 Implementasi Program

### 4.2.1 Input Data

Langkah awal yang dilakukan dengan membuka aplikasi Matlab dan membuka fungsi M-file, setelah dibuka langkah selanjutnya adalah input data yang didapat sesuai dengan kaidah penulisan *script* pada fungsi M-file. Berikut hasil input data.



```

1      %Identifikasi Impedansi Saluran Tegangan Menengah GI Sengkaling pada Penyulang Pujon%
2
3      %0%INPUT DATA%0%
4
5      R=0.2162;
6      X=0.3305;
7      Xj=1*X;
8
9      Vk=20000
10     Vk_real=19000
11
12     L1=24.8;
13     L2=19.5;
14     L3=18.8;
15     L4=24;
16     L5=20;
17
18     f=50
19     omega=2*pi*f
20
21     %nilai power factor
22     pf1=0.75
23     thetal=acos(pf1)
24     deg_pf1=thetal*(180/pi)
25     sin1=sin(thetal)
26     pf2=0.72
  
```

**Gambar 4. 1** Input Data A

```

27 - theta2=acos(pf2)
28 - deg_pf2=theta2*(180/pi)
29 - sin2=sin(theta2)
30 - pf3=0.7
31 - theta3=acos(pf3)
32 - deg_pf3=theta3*(180/pi)
33 - sin3=sin(theta3)
34 - pf4=0.73
35 - theta4=acos(pf4)
36 - deg_pf4=theta4*(180/pi)
37 - sin4=sin(theta4)
38 - pf5=0.8
39 - theta5=acos(pf5)
40 - deg_pf5=theta5*(180/pi)
41 - sin5=sin(theta5)
42
43 %nilai power factor baru yang diinginkan
44 - pf_new=0.95
45 - deg_pf_new=acos(pf_new)*(180/pi)
46
47 %Arus Saluran (beban)
48 - Iline1=132;
49 - Iline2=120;
50 - Iline3=140;
51 - Iline4=112;
52 - Iline5=95;

```

**Gambar 4.2** *Input Data B*

Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa data yang diinput berupa nilai tahanan dan reaktansi, tegangan nominal dari jaringan distribusi, panjang saluran dari masing-masing gardu hubung, frekuensi, nilai omega (didapat dari besarnya nilai frekuensi jaringan), dan nilai faktor daya (power factor). Sedangkan pada gambar 4.2 merupakan lanjutan dari input data yang dilakukan berupa nilai faktor daya dari masing-masing gardu hubung, nilai faktor daya yang diinginkan (dibuat untuk keperluan perbaikan profil tegangan), besar arus saluran dari masing-masing gardu hubung.

#### 4.2.2 Display

Jika *script* di atas *dirun*, maka semua persamaan yang telah *diinput* akan keluar sesuai dengan urutan pengetikan yang dilakukan, dan hal ini akan mempersulit dalam penganalisaan. Untuk mempermudah maka dibuat tampilan seperti tabel yang lebih mudah mengidentifikasi dan menganalisisnya.

#### 4.2.3 Perhitungan Jatuh Tegangan

Langkah awal melakukan perhitungan jatuh tegangan adalah dengan terlebih dahulu input persamaan yang sudah dipaparkan pada bab sebelumnya kedalam *script* dan



persamaan ini harus disesuaikan dengan variabel input data sebelumnya. Berikut *script* perhitungan jatuh tegangan.

*%1% Menghitung Impedansi pada masing-masing gardu hubung %1%*

```
Z1=((R*pf1)+(X*sin1))*L1
R1=real(Z1)
X1=imag(Z1)
Z2=((R*pf2)+(X*sin2))*L2;
R2=real(Z2)
X2=imag(Z2)
Z3=((R*pf3)+(X*sin3))*L3;
R3=real(Z3)
X3=imag(Z3)
Z4=((R*pf4)+(X*sin4))*L4;
R4=real(Z4)
X4=imag(Z4)
Z5=((R*pf5)+(X*sin5))*L5;
R5=real(Z5)
X5=imag(Z5)
```

*%2% Menghitung tegangan jatuh pada saat beban puncak %2%*

```
Vt1=Iline1*Z1
Vt2=Iline2*Z2
Vt3=Iline3*Z3
Vt4=Iline4*Z4
Vt5=Iline5*Z5
```

```
jVt1_real=Vt1+1000
jVt2_real=Vt2+1000
jVt3_real=Vt3+1000
jVt4_real=Vt4+1000
jVt5_real=Vt5+1000
```

```
Vt1_real=real(jVt1_real)
Vt2_real=real(jVt2_real);
Vt3_real=real(jVt3_real);
Vt4_real=real(jVt4_real);
Vt5_real=real(jVt5_real);
```

Keterangan :

R : Tahanan rangkaian

Z : rangkaian listrik AC (Alternating Current)

Jvt : jatuh tegangan

Command Window

```
#####
TABEL 1
#####
```

---

Jatuh Tegangan pada Masing-masing Bus

---

2246.4402		1900.9525		2019.5426		2031.3998		1705.394	
-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	----------	--

---

```
#####
TABEL 2
#####
```

---

Persentase Jatuh Tegangan pada Masing-masing Bus

---

12.6535		10.5031		11.2319		11.3053		9.3218	
---------	--	---------	--	---------	--	---------	--	--------	--

---

**Gambar 4.3** Hasil analisis jatuh tegangan

Dari hasil di atas dapat kita nyatakan bahwa jatuh tegangan yang tertinggi terdapat pada gardu hubung 1, yakni sebesar 2.246,4402 volt dengan persentase 12,6535%, sedangkan yang terendah terdapat pada gardu hubung 5, yakni sebesar 1705,394 volt dengan persentase 9,3218 %

#### 4.2.4 Perhitungan Aliran Daya

Perhitungan aliran daya di sini merupakan proses input persamaan-persamaan yang sudah dipaparkan pada bab-bab sebelumnya ke dalam *script*, input persamaan ini harus disesuaikan dengan variabel data yang diinput di awal. Berikut *script* input persamaan yang telah dilakukan.

`%2 Menghitung tegangan jatuh pada saat beban puncak %2`

`Vt1=Iline1*Z1`

`Vt2=Iline2*Z2`

`Vt3=Iline3*Z3`

`Vt4=Iline4*Z4`

`Vt5=Iline5*Z5`

`jVt1_real=Vt1+1000`

`jVt2_real=Vt2+1000`

`jVt3_real=Vt3+1000`

`jVt4_real=Vt4+1000`

`jVt5_real=Vt5+1000`

`Vt1_real=real(jVt1_real)`

`Vt2_real=real(jVt2_real);`

`Vt3_real=real(jVt3_real);`

`Vt4_real=real(jVt4_real);`

`Vt5_real=real(jVt5_real);`

```

Vt3_real=real(jVt3_real);
Vt4_real=real(jVt4_real);
Vt5_real=real(jVt5_real);
%Menghitung persentase jatuh tegangan yang terjadi pada
beban puncak
jVdrop1=Vk_real-Vt1
jVdrop2=Vk_real-Vt2
jVdrop3=Vk_real-Vt3
jVdrop4=Vk_real-Vt4
jVdrop5=Vk_real-Vt5
Vdrop1=real(jVdrop1)
Vdrop2=real(jVdrop2);
Vdrop3=real(jVdrop3);
Vdrop4=real(jVdrop4);
Vdrop5=real(jVdrop5);
V_drop1=(Vt1_real/Vdrop1)*100
V_drop2=(Vt2_real/Vdrop2)*100
V_drop3=(Vt3_real/Vdrop3)*100
V_drop4=(Vt4_real/Vdrop4)*100
V_drop5=(Vt5_real/Vdrop5)*100
%3% Menghitung Rugi-rugi Daya %3%
%Menghitung Daya Semu saat beban puncak (S)
Sn1=(sqrt(3)*Vk*Iline1)/1000
Sn2=(sqrt(3)*Vk*Iline2)/1000;
Sn3=(sqrt(3)*Vk*Iline3)/1000;
Sn4=(sqrt(3)*Vk*Iline4)/1000;
Sn5=(sqrt(3)*Vk*Iline5)/1000;
S1=(sqrt(3)*jVdrop1*Iline1)/1000
S2=(sqrt(3)*jVdrop2*Iline2)/1000
S3=(sqrt(3)*jVdrop3*Iline3)/1000
S4=(sqrt(3)*jVdrop4*Iline4)/1000
S5=(sqrt(3)*jVdrop5*Iline5)/1000
jS1=real(S1);
jS2=real(S2);
jS3=real(S3);
jS4=real(S4);
jS5=real(S5);
delta_S1=Sn1-S1
delta_S2=Sn2-S2;
delta_S3=Sn3-S3;
delta_S4=Sn4-S4;
delta_S5=Sn5-S5;
%menghitung persentasenya
jS_per1=(delta_S1/S1)*100
jS_per2=(delta_S2/S2)*100;
jS_per3=(delta_S3/S3)*100;
jS_per4=(delta_S4/S4)*100;

```

```

jS_per5=(delta_S5/S5)*100;
S_per1=real(jS_per1);
S_per2=real(jS_per2);
S_per3=real(jS_per3);
S_per4=real(jS_per4);
S_per5=real(jS_per5);
%Mencari Daya Aktif saat beban puncak(P)
Pj1=S1*pf1
Pj2=S2*pf2;
Pj3=S3*pf3;
Pj4=S4*pf4;
Pj5=S5*pf5;
%Rugi-rugi Daya Aktif saat bebsnj puncak (P)
Keterangan
Vt      : Tegangan Terima
Jvt     : Jatuh tegangan terima
Vdrop  : Jatuh tegangan setelah terima
S       : Daya semu (VoltAmpere)

```

Hasil yang didapat dari input persamaan untuk analisis aliran daya terdapat pada Gambar 4.9 di bawah ini.

Command Window

```

#####
TABEL 3
#####

```

Rugi-rugi Daya dalam Bentuk Daya Semu (S), Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q)					
Daya Semu Kirim (kVA)	Daya Semu Terima(kVA)	Persentase(%)	Daya Aktif (kWatt)	Daya Reaktif(kVAR)	
4572.6141	4059.0089	12.6535	3044.2567	2684.782	
4156.9219	3761.8164	10.5031	2708.5078	2610.603	
4849.7423	4360.0292	11.2319	3052.0204	3113.6837	
3879.7938	3485.7232	11.3053	2544.5779	2382.3076	
3290.8965	3010.2828	9.3218	2408.2262	1806.1697	

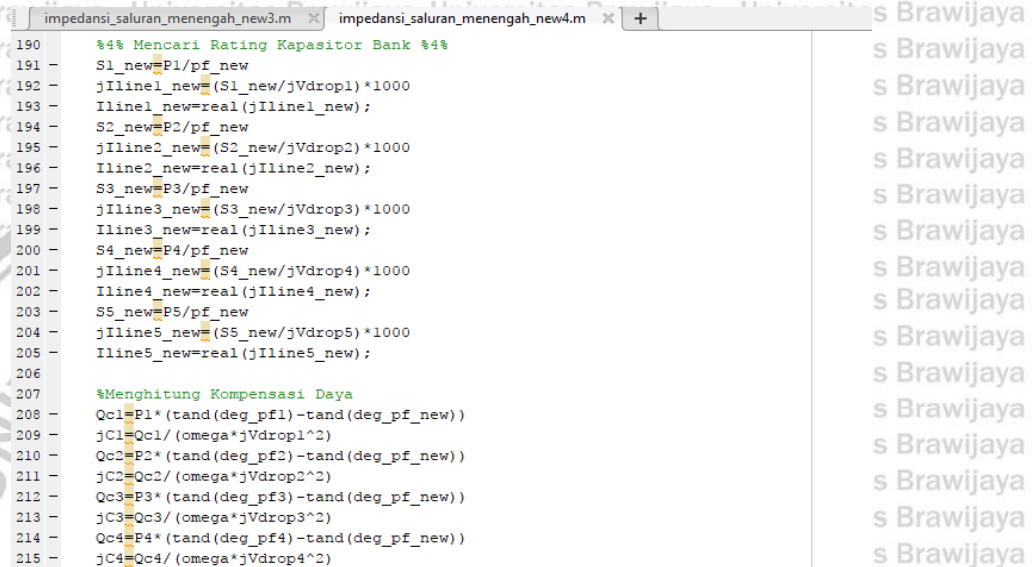
**Gambar 4.4 Hasil analisis aliran daya**

Dari tabel di atas dapat kita lihat nilai susut daya tertinggi terdapat pada gardu hubung 1 sebesar 12,65%, dan nilai susut daya terendah terdapat pada gardu hubung 5 sebesar 9,3%. Jika mengacu kepada SPLN terkait tegangan yang diizinkan sebesar +5% dari tegangan nominal dan -10% dari tegangan nominal, maka dapat dinyatakan bahwa 4 gardu hubung tidak memenuhi standar operasional yakni 1,2,3,4, dan 1 gardu hubung memenuhi standar operasional, yakni 5%

### 4.3 Perhitungan Analisis Perbaikan Profil Tegangan

#### 4.3.1 Analisis Kebutuhan Kapasitor Bank

Setelah melihat hasil analisis jatuh tegangan dan aliran daya selanjutnya merupakan tahap perbaikan perbaikan profil tegangan dengan menggunakan kapasitor bank. Pada tahap ini juga merupakan proses input persamaan untuk melakukan perbaikan tegangan di mana persamaannya sudah dipaparkan pada bab sebelumnya, dalam memasukkan persamaan harus disesuaikan dengan variabel yang telah dibuat pada *script*, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini



```

190 % Mencari Rating Kapasitor Bank %
191 S1_new=P1/pf_new
192 jIline1_new=(S1_new/jVdrop1)*1000
193 Iline1_new=real(jIline1_new);
194 S2_new=P2/pf_new
195 jIline2_new=(S2_new/jVdrop2)*1000
196 Iline2_new=real(jIline2_new);
197 S3_new=P3/pf_new
198 jIline3_new=(S3_new/jVdrop3)*1000
199 Iline3_new=real(jIline3_new);
200 S4_new=P4/pf_new
201 jIline4_new=(S4_new/jVdrop4)*1000
202 Iline4_new=real(jIline4_new);
203 S5_new=P5/pf_new
204 jIline5_new=(S5_new/jVdrop5)*1000
205 Iline5_new=real(jIline5_new);
206
207 %Menghitung Kompensasi Daya
208 Qc1=P1*(tand(deg_pf1)-tand(deg_pf_new))
209 jC1=Qc1/(omega*jVdrop1^2)
210 Qc2=P2*(tand(deg_pf2)-tand(deg_pf_new))
211 jC2=Qc2/(omega*jVdrop2^2)
212 Qc3=P3*(tand(deg_pf3)-tand(deg_pf_new))
213 jC3=Qc3/(omega*jVdrop3^2)
214 Qc4=P4*(tand(deg_pf4)-tand(deg_pf_new))
215 jC4=Qc4/(omega*jVdrop4^2)

```

Gambar 4.5 Input Persamaan C



## Command Window

```
#####
TABEL 4
#####
```

Nilai Kompensasi Daya dan Nilai Kapasitor Bank yang dibutuhkan

	Kompensasi Daya (kVAR)	Nilai Kapasitor Bank
	1684.1833	1.7009e-05
	1720.3595	1.6717e-05
	2110.533	2.078e-05
	1545.9452	1.5241e-05
	1014.624	9.6496e-06

**Gambar 4. 6** Hasil analisis kebutuhan kapasitor bank

Dari data yang didapat kita lihat nilai kompensasi daya masing-masing gardu hubung berbeda, dengan nilai tertinggi terdapat pada gardu hubung 3 sebesar 2110,533 kVAR, sedangkan yang terendah terdapat pada gardu hubung 5 sebesar 1014,624 kVAR.

#### 4.3.2 Analisis Nilai Tap Transformator

Pada proses analisis perbaikan tegangan menggunakan komponen kedua yakni tap transformator, pemilihan tapping ini didasarkan pada penyesuaian besar tegangan primer transformator yang dipengaruhi oleh jatuh tegangan yang terjadi pada saluran. Untuk jaringan distribusi yang lebih panjang serta beban yang besar maka akan dipilih jumlah tapping 5, dengan variasi 2,5% per tap, dan 5% per tap, yaitu:

- Untuk 2,5%/tap:

$$\text{Tapping 1} = V_N + (0,05 \times V_N)$$

$$\text{Tapping 2} = V_N + (0,025 \times V_N)$$

$$\text{Tapping 3} = V_N$$

$$\text{Tapping 4} = V_N - (0,025 \times V_N)$$

$$\text{Tapping 5} = V_N - (0,05 \times V_N)$$

- Untuk 5%/tap:

$$\text{Tapping 1} = V_N + (0,1 \times V_N)$$

$$\text{Tapping 2} = V_N + (0,05 \times V_N)$$

$$\text{Tapping 3} = V_N$$

$$\text{Tapping 4} = V_N - (0,05 \times V_N)$$

$$\text{Tapping 5} = V_N - (0,1 \times V_N)$$

Jika trafo distribusi tiga fasa sebesar 20 kV, maka didapatkan nilai tegangan pada masing-masing tap. Berikut hasil perhitungannya:

- Untuk 2,5%/tap:

$$\text{Tapping 1} = VN + (0,05 \times VN) = 20 + (0,05 \times 20) = 20 + 1 = 21 \text{ kV}$$

$$\text{Tapping 2} = 20,5 \text{ kV}$$

$$\text{Tapping 3} = 20 \text{ kV}$$

$$\text{Tapping 4} = 19,5 \text{ kV}$$

$$\text{Tapping 5} = 19 \text{ kV}$$

- Untuk 5%/tap:

$$\text{Tapping 1} = 22 \text{ kV}$$

$$\text{Tapping 2} = 21 \text{ kV}$$

$$\text{Tapping 3} = 20 \text{ kV}$$

$$\text{Tapping 4} = 19 \text{ kV}$$

$$\text{Tapping 5} = 18 \text{ kV}$$

Setelah hasil perhitungan dilakukan, langkah selanjutnya pemilihan tap berdasarkan nilai tegangan pada tap yang terdekat dari tegangan kirim pada masing-masing gardu hubung yang terdapat pada trafo. Berikut detail dari pemilihan tap yang dilakukan:

1. Tegangan terima gardu hubung 1 adalah 18,9 kV, maka trafo akan dipasang pada tap 5 dengan trafo tipe tapping 5 variasi 2,5%, atau tap 4 dengan trafo tipe tapping 5, variasi 5%.
2. Tegangan terima gardu hubung 2 adalah 17,2 kV, maka trafo akan dipasang pada tap 5 dengan trafo tipe tapping 5, variasi 5%.
3. Tegangan terima gardu hubung 3 adalah 19,3 kV, maka trafo akan dipasang pada tap 5 dengan trafo tipe tapping 5 variasi 2,5%, tap 4 dengan trafo tipe tapping 5 variasi 5%.
4. Tegangan terima gardu hubung 4 adalah 16,1 kV, maka trafo akan dipasang pada tap 5 dengan trafo tipe tapping 5 variasi 5%.
5. Tegangan terima gardu hubung 5 adalah 15,5 kV, maka trafo akan dipasang pada tap 5 dengan trafo tipe tapping 5 variasi 5%.

#### 4.4 Pengujian

Setelah semua data diinput, persamaan-persamaan untuk menganalisis aliran daya dan analisis kebutuhan kapasitor bank juga sudah diinput. Langkah selanjutnya adalah menguji nilai tegangan yang dihasilkan setelah mendapat kompensasi, untuk menguji hasilnya terlebih dahulu input persamaan ke dalam *script*.

```

219 - C1=real(jC1);
220 - C2=real(jC2);
221 - C3=real(jC3);
222 - C4=real(jC4);
223 - C5=real(jC5);
224
225
226 %5% PERUBAHAN TEGANGAN SALURAN %5%
227 - V1_new=S1_new^2/(3*Iline1_new);
228 - V2_new=S2_new^2/(3*Iline2_new);
229 - V3_new=S3_new^2/(3*Iline3_new);
230 - V4_new=S4_new^2/(3*Iline4_new);
231 - V5_new=S5_new^2/(3*Iline5_new);
232

```

**Gambar 4.7** Input persamaan pengujian nilai tegangan

Command Window

```

#####
TABEL 5
#####

```

Nilai tegangan setelah kompensasi									
18963.6467		17200.4952		19254.9907		16042.9837		15458.7894	

**Gambar 4.8** Hasil pengujian nilai tegangan

Dari hasil di atas dapat kita lihat 1 gardu hubung memiliki nilai di atas tegangan nominal, dan 4 gardu hubung memiliki nilai di bawah tegangan nominal. Untuk melihat persentasenya apakah layak dengan standar operasional dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

$$\%V = \left| \frac{V_n - V_t}{V_t} \right| * 100\%$$

Dimana :

$V_n$  = Tegangan nominal

$V_t$  = Tegangan terima

$V_n$  = 20.000 V (20kV)

$V_t$  = 20.398 V (20,4 kV)

$$\%V = \left| \frac{20.000 - 18963,65}{18963,65} \right| * 100\%$$

$$= |0,0546| * 100\%$$

$$= 0,0546 * 100\%$$

$$= 5,46 \%$$



Presentasi tegangan terhadap tegangan nominal pada gardu hubung 1 setelah dilakukan perbaikan faktor daya sebesar 5,46 %, sehingga tegangan ini masih layak operasi karena memenuhi standar SPLN

Untuk hasil keseluruhannya dapat dilihat pada tabel 4.5 di bawah ini:

**Tabel 4. 5** Persentase nilai tegangan terhadap tegangan nominal

Gardu Hubung	Besar Tegangan (V)	Persentase
1	18.963,65	5,46 %
2	17.200,50	16,27 %
3	19.254,99	3,87 %
4	16.042,98	24,67 %
5	15.458,79	29,37 %

Selanjutnya pengujian menggunakan tap trafo berdasarkan nilai tegangan yang sudah mendapat perbaikan tegangan menggunakan kapasitor bank, pada pengujian menggunakan tap trafo sisi yang dilihat adalah tegangan sekunder.

**Tabel 4. 6** Nilai tegangan sekunder setelah pemasangan kapasitor bank dan tap transformator

Gardu Hubung	Besar tegangan	Persentase
1	367,16 volt	4,4%
2	348,59 volt	9%
3	369,70 volt	2,79%
4	364,17 volt	4,35%
5	313,3 volt	21,3%

Setelah didapat maka tahap terakhir adalah membandingkan persentase semua nilai perbaikan tegangan mulai dari identifikasi awal hingga tahap pemanfaatan komponen kapasitor bank dan tap trafo.

Dari tabel di atas dapat kita lihat bahwa 4 gardu hubung mengalami kenaikan nilai tegangan setelah dilakukan pemasangan kapasitor bank dan tap trafo. Untuk itu dapat kita nyatakan bahwa gardu hubung yang sangat membutuhkan kapasitor bank dan tap trafo adalah gardu hubung 1,2,3,4 dikarenakan keempat gardu hubung ini mengalami perbaikan tegangan yang signifikan.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Perhitungan ini dapat diimplementasikan menggunakan matlab dengan cara menginput data yang berisi nilai tahanan dan reaktansi, tegangan nominal dari jaringan distribusi, panjang saluran dari masing-masing gardu hubung, frekuensi, nilai omega (didapat dari besarnya nilai frekuensi jaringan), dan nilai faktor daya (power factor) yang kemudian menjalankan *script* yang telah diprogram.

Perhitungan analisis aliran daya pada jaringan distribusi di PLN Unit Kerja Sumbermanjing Wetan menggunakan metode perhitungan *Newton Raphson*

Hasil dari perbaikan profil tegangan yang dilakukan pada penyulang sebesar 25,15% dan rata-ratanya sebesar 6,28%

### 5.2 Saran

1. Perlunya untuk melakukan pengujian menggunakan *simulink*.
2. Dalam pengimplementasian perbaikan profil tegangan, diperlukan untuk mengkaji dari aspek ekonomi terlebih dahulu.
3. Pada gardu hubung 5 perlu dilakukan kajian analisis lebih lanjut untuk menemukan penanganan yang tepat terhadap nilai faktor daya yang rendah.
- 4.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi. 2010. *Penstabilan Tegangan Sekunder Pada Transformator Daya 150/20 Kv Akibat Jatuh Tegangan*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang Salman
- Erhaneli dan A. Riski. 2013. *Pengaruh Penambahan Jaringan Terhadap Drop Tegangan pada SUTM 20 kV Feeder Kersik Tuo*. Jurnal Momentum. 15(2): 19–23
- Marsudi, D. 2010. *Pembangkitan Energi Listrik*. Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.
- Pradono, S. S., T. Sukmadi dan B. Winardi. 2011. *Optimasi Penempatan Transformator Distribusi Berdasar Jatuh Tegangan (Studi Kasus pada Wilayah Kawasan Tertib Listrik UPJ Semarang Selatan)*. Seminar Tugas Akhir
- Raditya. 2011. *Reduction Technique of Drop Voltage and Power Losses to Improve Power Quality using ETAP Power Station Simulation Model*. AIP Conference Proceedings. Universitas Negeri Semarang. Semarang. 1-12.
- Rahmadi. 2013. *Wireless Network 802.11*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Suhardi. 2019. *Analisis Perbaikan Tegangan Ujung Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv Dengan Simulasi Matlab ( Studi Kasus PT PLN ( Persero ) Rayon Kuala*. Seminar Nasional Teknik. Universitas Negeri Sumatera Utara. Medan. 207-212.
- Suryadi. 2010. *Distribusi dan Utilitas Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia
- Suryana. 2011. *Pelatihan Software Matlab (Digital SimuLation Electrical NeTwork calculation program)*. 7(1): 7–11



LAMPIRAN

Lampiran 1

<b>Data Tegangan</b>		
<b>Gardu Hubung</b>	<b>Tegangan Nominal</b>	<b>Tegangan Kirim</b>
Druju	20 kV	19 kV
Harjo Kuncaran	20 kV	19 kV
Kedung Banteng	20 kV	19 kV
Klepu	20 kV	19 kV
Sitiarjo	20 kV	19 kV

Tabel Data Tegangan Gardu Hubung

<b>Data Saluran</b>		
<b>Gardu Hubung</b>	<b>Panjang Saluran</b>	<b>Jenis Kabel</b>
Druju	24,8 km	AAAC 150 mm <sup>2</sup>
Harjo Kuncaran	19,5 km	AAAC 150 mm <sup>2</sup>
Kedung Banteng	18,8 km	AAAC 150 mm <sup>2</sup>
Klepu	24 km	AAAC 150 mm <sup>2</sup>
Sitiarjo	20 km	AAAC 150 mm <sup>2</sup>

Tabel Data Saluran Gardu Hubung

<b>Arus dan Power Factor</b>		
<b>Gardu Hubung</b>	<b>Arus Saluran</b>	<b>Power Factor</b>
Druju	132 A	0,75
Harjo Kuncaran	120 A	0,73
Kedung Banteng	140 A	0,6
Klepu	112 A	0,7
Sitiarjo	95 A	0,5

Tabel Data Arus dan Power Factor pada Gardu Hubung





Lampiran 2. Kode Program Matlab:

%Identifikasi Impedansi Saluran Tegangan Menengah GI Sengkaling pada Penyulang Pujon%

%0%INPUT DATA%0%

R=0.2162;

X=0.3305;

Xj=j\*X;

Vk=20000

Vk\_real=19000

L1=24.8;

L2=19.5;

L3=18.8;

L4=24;

L5=20;

f=50

omega=2\*pi\*f

%nilai power factor pf1=0.75

theta1=acos(pf1)

deg\_pf1=theta1\*(180/pi)

sin1=sin(theta1) pf2=0.72

theta2=acos(pf2)

deg\_pf2=theta2\*(180/pi)

sin2=sin(theta2) pf3=0.7

theta3=acos(pf3)

deg\_pf3=theta3\*(180/pi)

sin3=sin(theta3) pf4=0.73

theta4=acos(pf4)

deg\_pf4=theta4\*(180/pi)

sin4=sin(theta4) pf5=0.8

theta5=acos(pf5)

deg\_pf5=theta5\*(180/pi)

sin5=sin(theta5)

%nilai power factor baru yang diinginkan pf\_new=0.95

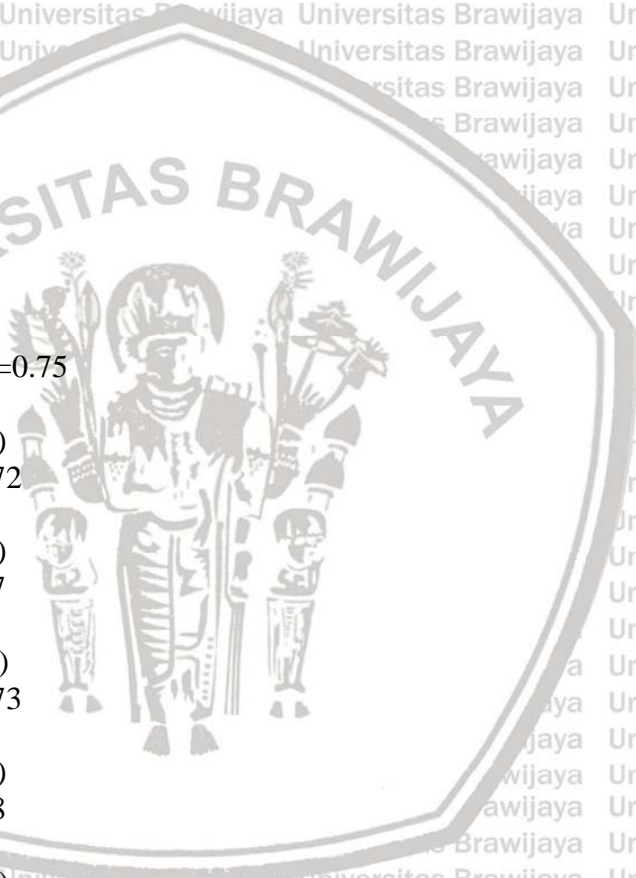
deg\_pf\_new=acos(pf\_new)\*(180/pi)

%Arus Saluran (beban)

Iline1=132; Iline2=120;

Iline3=140; Iline4=112;

Iline5=95;



%1% Menghitung Impedansi pada masing-masing gardu hubung %1%

$$Z1=((R*pf1)+(X*\sin1))*L1$$

$$R1=\text{real}(Z1)$$

$$X1=\text{imag}(Z1)$$

$$Z2=((R*pf2)+(X*\sin2))*L2;$$

$$R2=\text{real}(Z2)$$

$$X2=\text{imag}(Z2)$$

$$Z3=((R*pf3)+(X*\sin3))*L3;$$

$$R3=\text{real}(Z3)$$

$$X3=\text{imag}(Z3)$$

$$Z4=((R*pf4)+(X*\sin4))*L4;$$

$$R4=\text{real}(Z4)$$

$$X4=\text{imag}(Z4)$$

$$Z5=((R*pf5)+(X*\sin5))*L5;$$

$$R5=\text{real}(Z5)$$

$$X5=\text{imag}(Z5)$$

%2% Menghitung tegangan jatuh pada saat beban puncak %2%  $Vt1=Iline1*Z1$

$$Vt2=Iline2*Z2$$

$$Vt3=Iline3*Z3$$

$$Vt4=Iline4*Z4$$

$$Vt5=Iline5*Z5$$

$$jVt1\_real=Vt1+1000$$

$$jVt2\_real=Vt2+1000$$

$$jVt3\_real=Vt3+1000$$

$$jVt4\_real=Vt4+1000$$

$$jVt5\_real=Vt5+1000$$

$$Vt1\_real=\text{real}(jVt1\_real)$$

$$Vt2\_real=\text{real}(jVt2\_real);$$

$$Vt3\_real=\text{real}(jVt3\_real);$$

$$Vt4\_real=\text{real}(jVt4\_real);$$

$$Vt5\_real=\text{real}(jVt5\_real);$$

%Menghitung persentase jatuh tegangan yang terjadi pada beban puncak

$$jVdrop1=Vk\_real-Vt1$$

$$jVdrop2=Vk\_real-Vt2$$

$$jVdrop3=Vk\_real-Vt3$$

$$jVdrop4=Vk\_real-Vt4$$

$$jVdrop5=Vk\_real-Vt5$$

$$Vdrop1=\text{real}(jVdrop1)$$

$$Vdrop2=\text{real}(jVdrop2);$$

$$Vdrop3=\text{real}(jVdrop3);$$

$$Vdrop4=\text{real}(jVdrop4);$$

$$Vdrop5=\text{real}(jVdrop5);$$

$$V\_drop1=(Vt1\_real/Vdrop1)*100$$



$$V\_drop2=(Vt2\_real/Vdrop2)*100$$

$$V\_drop3=(Vt3\_real/Vdrop3)*100$$

$$V\_drop4=(Vt4\_real/Vdrop4)*100$$

$$V\_drop5=(Vt5\_real/Vdrop5)*100$$

**%3% Menghitung Rugi-rugi Daya %3%**

**%Menghitung Daya Semu saat beban puncak**

$$(S) Sn1=(\sqrt{3}*Vk*Iline1)/1000$$

$$Sn2=(\sqrt{3}*Vk*Iline2)/1000;$$

$$Sn3=(\sqrt{3}*Vk*Iline3)/1000;$$

$$Sn4=(\sqrt{3}*Vk*Iline4)/1000;$$

$$Sn5=(\sqrt{3}*Vk*Iline5)/1000;$$

$$S1=(\sqrt{3}*jVdrop1*Iline1)/1000$$

$$S2=(\sqrt{3}*jVdrop2*Iline2)/1000$$

$$S3=(\sqrt{3}*jVdrop3*Iline3)/1000$$

$$S4=(\sqrt{3}*jVdrop4*Iline4)/1000$$

$$S5=(\sqrt{3}*jVdrop5*Iline5)/1000$$

$$jS1=real(S1);$$

$$jS2=real(S2);$$

$$jS3=real(S3);$$

$$jS4=real(S4);$$

$$jS5=real(S5);$$

$$\text{delta\_}S1=Sn1-S1$$

$$\text{delta\_}S2=Sn2-S2;$$

$$\text{delta\_}S3=Sn3-S3;$$

$$\text{delta\_}S4=Sn4-S4;$$

$$\text{delta\_}S5=Sn5-S5;$$

**%menghitung persentasenya**

$$jS\_per1=(\text{delta\_}S1/S1)*100$$

$$jS\_per2=(\text{delta\_}S2/S2)*100;$$

$$jS\_per3=(\text{delta\_}S3/S3)*100;$$

$$jS\_per4=(\text{delta\_}S4/S4)*100;$$

$$jS\_per5=(\text{delta\_}S5/S5)*100;$$

$$S\_per1=real(jS\_per1);$$

$$S\_per2=real(jS\_per2);$$

$$S\_per3=real(jS\_per3);$$

$$S\_per4=real(jS\_per4);$$

$$S\_per5=real(jS\_per5);$$

**% Mencari Daya Aktif saat beban puncak(P) Pj1=S1\*pf1**

$$Pj2=S2*pf2;$$

$$Pj3=S3*pf3;$$

$$Pj4=S4*pf4;$$

$$Pj5=S5*pf5;$$



```

%Rugi-rugi Daya Aktif saat bebsn puncak (P)
Loss_P1=delta_S1*pf1; Loss_P2=delta_S2*pf2;
Loss_P3=delta_S3*pf3; Loss_P4=delta_S4*pf4;
Loss_P5=delta_S5*pf5;

P1=real(Pj1)
P2=real(Pj2)
P3=real(Pj3)
P4=real(Pj4)
P5=real(Pj5)

%Mencari Daya Reaktif saat beban puncak(Q) Qj1=S1*sin1;
Qj2=S2*sin2;
Qj3=S3*sin3;
Qj4=S4*sin4;
Qj5=S5*sin5;

%Rugi-rugi Daya Reaktif saat bebsn puncak (Q)
Loss_Q1=delta_S1*sin1; Loss_Q2=delta_S2*sin2;
Loss_Q3=delta_S3*sin3; Loss_Q4=delta_S4*sin4;
Loss_Q5=delta_S5*sin5;

Q1=real(Qj1)
Q2=real(Qj2)
Q3=real(Qj3)
Q4=real(Qj4)
Q5=real(Qj5)

%4% Mencari Rating Kapasitor Bank %4%
S1_new=P1/pf_new
jlline1_new=(S1_new/jVdrop1)*1000
Iline1_new=real(jlline1_new) S2_new=P2/pf_new
jlline2_new=(S2_new/jVdrop2)*1000
Iline2_new=real(jlline2_new) S3_new=P3/pf_new
jlline3_new=(S3_new/jVdrop3)*1000
Iline3_new=real(jlline3_new) S4_new=P4/pf_new
jlline4_new=(S4_new/jVdrop4)*1000
Iline4_new=real(jlline4_new) S5_new=P5/pf_new
jlline5_new=(S5_new/jVdrop5)*1000
Iline5_new=real(jlline5_new)

%Menghitung Kompensasi Daya
Qc1=P1*(tand(deg_pf1)-tand(deg_pf_new))
jC1=(Qc1*1000)/(omega*jVdrop1^2)
Qc2=P2*(tand(deg_pf2)-tand(deg_pf_new))
jC2=(Qc2*1000)/(omega*jVdrop2^2)
Qc3=P3*(tand(deg_pf3)-tand(deg_pf_new))
jC3=(Qc3*1000)/(omega*jVdrop3^2)
Qc4=P4*(tand(deg_pf4)-tand(deg_pf_new))
jC4=(Qc4*1000)/(omega*jVdrop4^2)

```



```

Sitiarj
o
disp(['num2str(V_drop1)
num2str(V_drop2),
num2str(V_drop3),
num2str(V_drop4),
num2str(V_drop5),
disp(
)
disp(') disp(#####)
disp('TABEL 3')
disp(#####)
disp(
)
disp('
Rugi-rugi Daya dalam Bentuk Daya Semu
(S), Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q)')
disp(
)
disp('
Daya Semu Kirim Daya Semu
(kVA)
Persentase (%) Daya Aktif Reaktif(
(kWatt) D a y a
kVAR)
Terima (k
VA)
)
disp(['D
ruju
',num2str(Sn1
),',
',num2str(S_p
er1)
),',
',num2str(P1)
|',num2str(Q1),
|
)
disp(['H
K
',num2str(Sn2
),',
',num2str(S_p
er2)
),',
',num2str(P2)
|',num2str(Q2),
|
)
disp(['K
B
',num2str(Sn3
),',
',num2str(S_p
er3)
),',
',num2str(P3)
|',num2str(Q3),
|
)
disp(['K
lepu
',num2str(Sn4
),',
)

```

```

, num2str(S_p
, num2str(jS4), 'er4)
, num2str(P4), 'er4), num2str(Q4),
disp(['Sitiarjo', num2str(Sn
5),
, num2str(S_p
, num2str(jS5), 'er5)
, num2str(P5), 'er5), num2str(Q5),
disp(_____)
disp(') disp(#####)
disp('TABEL 4')
disp(#####)
disp(_____)
disp(')
disp('Nilai Kompensasi Daya dan Nilai Kapasitor Bank yang dibutuhkan')
disp(_____)
disp(')
disp('Kompensasi Daya (kVAR) Nilai Kapasitor Bank
, num2str(Qc1),
disp(['Druju
, num2str(C1), '], num2str(Qc2),
disp(['HK
, num2str(C2), '],
, num2str(Qc3),
disp(['KB
, num2str(C3), '],
, num2str(Qc4),
disp(['Klepu
, num2str(C4), '],
, num2str(Qc5),
disp(['Sitiarjo

```





## Lampiran 3:

**IMPEDANSI KAWAT PENGHANTAR MENURUT SPLN 64 : 1995**

**Tahanan ( R ) dan reaktansi (  $X_L$  ) penghantar AAC tegangan 20 kV  
(SPLN 64: 1985)**

Luas Penampang mm <sup>2</sup>	Jari <sup>2</sup> mm	Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ohm / km)	Impedansi urutan Nol (Ohm / km)
16	2,2563	7	1,6380	1,8382 + j 0,4035	1,9862 + j 1,6910
25	2,8203	7	2,0475	1,1755 + j 0,3895	1,3245 + j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,8403 + j 0,3791	0,9883 + j 1,6666
50	3,9886	7	2,8957	0,5882 + j 0,3677	0,7362 + j 1,6552
70	4,7193	7	3,4262	0,4202 + j 0,3572	0,5682 + j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3096 + j 0,3464	0,4576 + j 1,6339
120	6,1791	19	4,6837	0,2451 + j 0,3375	0,3931 + j 1,6250
150	6,9084	19	5,2365	0,1961 + j 0,3305	0,3441 + j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1590 + j 0,3239	0,3070 + j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1225 + j 0,3157	0,2705 + j 1,6032

**Tahanan ( R ) dan reaktansi (  $X_L$  ) penghantar AAAC tegangan 20 kV  
(SPLN 64: 1985)**

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Jari <sup>2</sup> mm	Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ohm / km)	Impedansi urutan Nol (Ohm / km)
16	2,2563	7	1,6380	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



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

**Tahanan, induktansi dan kapasitansi kabel isolasi  
XLPE: N2XSEKBY/NA2XSEKBY tegangan 12 / 20 kV.  
(IEC. 502)**

Pengantar	Luas penampang	Pengantar	Tahanan maks pada DC temp 20°C	Tahanan pada AC temp 90°C	Induktansi (L)		Kapasitansi (C)		Maks kapasitas arus temp 30°C	Arus hub singkat selama 1 detik	Teg nom. prcbn
					dlm tanah	di udara	dlm tanah	di udara			
	mm <sup>2</sup>	Cu /Al	Ohm/km	Ohm/km	mH/km	mF/km	Amp	Amp	kA	kV/5 min	
35		Cu	0,5240	0,6680	0,520	0,131	164	173	5,01	30	
		Al	0,8680	1,1130	0,520	0,131	127	139	3,29	30	
50		Cu	0,3870	0,4940	0,497	0,143	194	206	7,15	30	
		Al	0,6410	0,8220	0,497	0,143	148	161	4,70	30	
70		Cu	0,2680	0,3420	0,467	0,162	236	257	10,01	30	
		Al	0,4430	0,5680	0,467	0,162	179	204	6,58	30	
95		Cu	0,1930	0,2470	0,445	0,180	283	313	13,59	30	
		Al	0,3200	0,4110	0,445	0,180	214	242	8,93	30	
120		Cu	0,1530	0,1960	0,430	0,195	322	360	17,16	30	
		Al	0,2530	0,3250	0,430	0,195	246	292	11,28	30	
150		Cu	0,1240	0,1590	0,414	0,213	362	410	21,45	30	

		Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	
		0,2060	0,0991	0,1640	0,0754	0,1250	0,0601	0,1000		
	185	0,2650	0,1280	0,2110	0,0980	0,1620	0,0790	0,1300		
		0,414	0,404	0,404	0,382	0,382	0,376	0,376		
		0,213	0,227	0,227	0,263	0,273	0,276	0,276		
		264	409	308	474	358	533	398		
		313	469	365	553	425	629	481		
		14,10	26,46	17,39	34,32	22,56	42,90	28,20		
										30
										30
										30
										30
										30
										30

### Impedansi Kabel Tanah Dengan Penghantar Al

A (mm <sup>2</sup> )	R ( $\Omega$ /km)	L (mH/km)	C (mf/km)	Impedansi urutan positif ( $\Omega$ /km)	Impedansi urutan Nol ( $\Omega$ /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	$0,125 + j 0,097$	$0,275 + j 0,029$
300	0,100	0,30	0,34	$0,100 + j 0,094$	$0,250 + j 0,282$