

**ANALISIS JATUH TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PADA  
PENYULANG BOROKO BK. 02 GARDU INDUK (GI) BOROKO**

**Oleh:**

**HAFID AKBAR PANGERAN  
T21 18 046**

**SKRIPSI**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO  
2021**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**ANALISIS JATUH TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PADA**  
**PENYULANG BOROKO BK. 02 GARDU INDUK (GI) BOROKO**

Oleh:  
**HAFID AKBAR PANGERAN**  
T21 18 046

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana  
Program Studi Teknik Elektro di Fakultas Teknik. Skripsi ini telah disetujui oleh  
tim pembimbing pada tanggal seperti yang tertera dibawah ini.

Gorontalo, 01 Desember 2021

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

  
Steven Humcha, S.T., M.T.  
NIDN. 0907118903

  
Frengki Eka Putra Surusa, S.T., M.T.  
NIDN. 0906018504

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISIS JATUH TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PADA  
PENYULANG BOROKO BK. 02 GARDU INDUK (GI) BOROKO**

Oleh:

**HAFID AKBAR PANGERAN**

**T2118 046**

Gorontalo, Desember 2021

Diperiksa Oleh Panitia Ujian Strata Satu (S1)

Universitas Ichsan Gorontalo

1. Muammar Zainuddin, S.T., M.T. (Penguji I)
2. Amelya Indah Pratiwi, S.T., M.T. (Penguji II)
3. Muh. Asri, S.T., M.T. (Penguji III)
4. Steven Humera, S.T., M.T. (Pembimbing I)
5. Frengki Eka Putra Surusa, S.T., M.T. (Pembimbing II)



Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Amru Siola, S.T., M.T.  
NIDN. 0922027502



Ketua Program Studi

Frengki Eka Putra Surusa, S.T., M.T.  
NIDN. 0906018504

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hafid Akbar Pangeran

NIM : T21 18 046

Kelas : Karyawan

Program studi : Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya (Skripsi) ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana) baik di Universitas Ichsan Gorontalo maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan dari pihak lain kecuali arahan dari tim pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di Universitas Ichsan Gorontalo.

Gorontalo, Desember 2021



**HAFID AKBAR PANGERAN**

## KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji dan Syukur dipanjatkan kehadiran Allah Azza Wajalla, atas berkat limpahan Rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan Skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar dan tepat waktu.

Adapun penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ichsan Gorontalo.

Penulis menyadari begitu banyak hambatan dan tantangan yang ditemui namun melalui bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak maka penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini sebagaimana yang diharapkan. Untuk itu perkenankanlah penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu DR. Hj. Juriko Abdussamad, M.Si. selaku Ketua Yayasan Pengembangan Ilmu Pengetahuan Teknologi (YPIPT) Ichsan Gorontalo.
2. Bapak DR. H. Abdul Gaffar Latjokke, M.Si, selaku Rektor Universitas Ichsan Gorontalo.
3. Untuk Kedua Orang Tua penulis Imran Pangeran dan Irma Toana, Mertua, Om Tante serta Adik-Adik penulis ucapkan terima kasih untuk dukungan moril maupun materil.
4. Kepada Istri tercinta Fadlun Alkatiri, S.Pd. yang senantiasa memberikan dorongan, motivasi selama proses perkuliahan sampai sekarang. Juga untuk

anak-anak tersayang Zlatan Akhtar Pangeran dan Zarin Ayesha Pangeran yang sudah melengkapi perjalanan hidup penulis selama 5 tahun terakhir.

5. Bapak Amru Siola, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Ichsan Gorontalo.
6. Bapak Frengki Eka Putra Surusa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Ichsan Gorontalo.
7. Bapak Steven Humena, S.T., M.T. sebagai Pembimbing I
8. Bapak Frengki Eka Putra Surusa, S.T., M.T. sebagai Pembimbing II.
9. Bapak Ibu Dosen lingkup Universitas Ichsan Gorontalo.

Akan menjadi sesuatu yang sangat berarti guna menyempurnakan penyusunan Skripsi ini bila kritikan dan saran disampaikan pada penulis. Akhirnya semoga Allah Azza Wajalla senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada kita sekalian. Aamiin.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Gorontalo, November 2021

Penulis

**Hafid Akbar Pangeran**

## **ABSTRACT**

### **HAFID AKBAR PANGERAN. T2118046. VOLTAGE DROP ANALYSIS OF 20KV DISTRIBUTION NETWORK AT THE BOROKO FEEDER BK.02 BOROKO SUBSTATION (GI)**

*The construction of new government buildings ideally requires electricity services, so that the demand for electrical energy will increase. The need for electrical energy in an area will have an impact on distribution. It is due to the far distance between consumers and the generators and the increasing demand for electrical energy. Based on that, it requires an analysis of the value of the voltage drop on the feeder with a long distribution network and a large load. The purpose of this study is to analyze the voltage drop on the BK.02 feeder supplied from the Boroko GI and determine the occurrence points of the voltage drop in accord with the SPLN standard with a determined nominal voltage. The analysis used in this study is an analysis of the results obtained from field data modeled by using the PSAT software integrated with the MATLAB program using the Newton-Raphson method. The results of this study indicate that there is the highest voltage drop on the low-voltage side of 0.4 kV which is not within the SPLN standard limits, namely 1.05 pu (+ 5%) and 0.90 pu (−10%). For this reason, an upgrade is carried out on the distribution transformer experiencing a voltage drop. It then provides an increase in voltage on all buses. After upgrading, all bus voltages are within the standard SPLN limits and can minimize electrical power losses.*

*Keywords: SPLN, PSAT-MATLAB, Newton-Raphson, Voltage Drop*

## ABSTRAK

### **HAFID AKBAR PANGERAN. T2118046. ANALISIS JATUH TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PADA PENYULANG BOROKO BK.02 GARDU INDUK (GI) BOROKO**

Pembangunan gedung-gedung pemerintahan yang baru sudah pasti membutuhkan pelayanan akan energi listrik, sehingga kebutuhan akan energi listrik meningkat. Kebutuhan akan energi listrik pada suatu daerah akan memberikan dampak dari segi penyalurannya, Hal ini disebabkan oleh jarak konsumen terhadap pembangkit cukup jauh serta permintaan akan energi listrik semakin meningkat. Untuk itu perlu suatu analisis tentang nilai jatuh tegangan pada penyulang yang jaringan distribusinya panjang dan memiliki beban yang besar. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa besar jatuh tegangan pada penyulang BK.02 yang disuplai dari GI Boroko dan menentukan titik terjadinya jatuh tegangan sesuai standar SPLN yang telah ditentukan dari tegangan nominalnya. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini berupa analisis hasil yang didapat dari data lapangan yang kemudian dimodelkan dengan menggunakan bantuan *software* PSAT yang terintegrasi dengan program MATLAB menggunakan metode Newton-Raphson. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat drop tegangan terbesar pada sisi tegangan rendah 0,4 kV yang tidak dalam batas standar SPLN yaitu 1.05 pu (+ 5 %) dan 0.90 pu (-10%). Untuk itu dilakukan *upgrating* pada *transformator* distribusi yang mengalami drop tegangan, sehingga memberikan kenaikan tegangan pada semua bus. Setelah dilakukan *upgrating* maka semua tegangan bus masuk dalam batas standar SPLN dan dapat meminimalisir rugi-rugi daya listrik.

Kata kunci: SPLN, PSAT-MATLAB, Newton-Raphson, Jatuh Tegangan

## DAFTAR ISI

|                                                       |      |
|-------------------------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL.....                                    |      |
| HALAMAN PENGESAHAN.....                               | i    |
| HALAMAN PERSETUJUAN.....                              | ii   |
| HALAMAN PERNYATAAN .....                              | iii  |
| KATA PENGANTAR .....                                  | iv   |
| <i>ABSTRACT</i> .....                                 | vi   |
| ABSTRAK .....                                         | vii  |
| DAFTAR ISI.....                                       | viii |
| DAFTAR TABEL .....                                    | xi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                                   | xii  |
| BAB I .....                                           | 1    |
| PENDAHULUAN .....                                     | 1    |
| 1.1. Latar Belakang .....                             | 1    |
| 1.2. Rumusan Masalah .....                            | 3    |
| 1.3. Pembatasan Masalah .....                         | 4    |
| 1.3. Tujuan Penelitian.....                           | 4    |
| 1.4. Manfaat Penelitian.....                          | 4    |
| BAB II.....                                           | 6    |
| TINJAUAN PUSTAKA .....                                | 6    |
| 2.1. Penelitian Sebelumnya .....                      | 6    |
| 2.2. Sistem Tenaga Listrik .....                      | 7    |
| 2.3. Transmisi dan Distribusi .....                   | 9    |
| 2.3.1. Saluran Distribusi.....                        | 9    |
| 2.3.2. Sistem Distribusi Primer .....                 | 10   |
| 2.3.3. Tipe Jaringan Distribusi Sekunder .....        | 11   |
| 2.4. Jatuh Tegangan.....                              | 11   |
| 2.5. Pengaturan Tegangan pada Sistem Distribusi ..... | 12   |
| 2.6. Batas Persentase Tegangan Jatuh .....            | 13   |
| 2.7. Rendahnya Tegangan Ujung .....                   | 15   |
| 2.8. Usaha Memperbaiki Tegangan.....                  | 16   |

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.9. Studi Aliran Daya .....                                                                                              | 16 |
| 2.10. Metode Newton-Raphson Untuk Aliran Daya.....                                                                        | 17 |
| BAB III .....                                                                                                             | 25 |
| METODOLOGI PENELITIAN.....                                                                                                | 25 |
| 3.1. Deskripsi Penelitian.....                                                                                            | 25 |
| 3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian.....                                                                                     | 25 |
| 3.3. Alat Penelitian .....                                                                                                | 25 |
| 3.4. Tahapan Penelitian .....                                                                                             | 25 |
| 3.5. Sumber Data Dibutuhkan .....                                                                                         | 26 |
| 3.6. Metode Penyelesaian.....                                                                                             | 27 |
| 3.6. Diagram Penelitian .....                                                                                             | 28 |
| BAB IV .....                                                                                                              | 29 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN.....                                                                                                 | 29 |
| 4.1. Sistem Kelistrikan Gorontalo .....                                                                                   | 29 |
| 4.2. Analisis Data Sistem Kelistrikan Boroko (BK.02) .....                                                                | 29 |
| 4.2.1. Analisis Data <i>Transformator</i> Daya GI Boroko .....                                                            | 30 |
| 4.2.2. Analisa Data Saluran.....                                                                                          | 31 |
| 4.2.3. Analisa Data Beban.....                                                                                            | 31 |
| 4.3. Simulasi dan Pembahasan .....                                                                                        | 32 |
| 4.3.1. Hasil simulasi Tegangan GI Boroko Penyulang BK.02 ( <i>Eksisting</i> )                                             | 32 |
| 4.3.2. Hasil Simulasi Aliran Beban GI Boroko Penyulang BK.02 .....                                                        | 35 |
| 4.3.3. Rugi-rugi Daya GI Boroko Penyulang BK.02 .....                                                                     | 37 |
| 4.3.4. Hasil Simulasi Tegangan Setelah <i>Upgrating</i> .....                                                             | 37 |
| 4.3.5. Hasil Simulasi Aliran Beban Setelah <i>Upgrating</i> .....                                                         | 40 |
| 4.3.6. Rugi-rugi Daya Setelah <i>Upgrating Transformator</i> Distribusi .....                                             | 42 |
| 4.3.7. Perbandingan Hasil Simulasi Tegangan Sebelum dan Sesudah<br><i>Upgrating Transformator</i> Distribusi. ....        | 43 |
| 4.3.8. Hasil Perbandingan Simulasi Aliran Beban Sebelum (kondisi<br><i>eksisting</i> ) dan Setelah <i>Upgrating</i> ..... | 46 |
| 4.3.9. Perbandingan Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Sebelum dan Setelah<br><i>Upgrating</i> .....                           | 48 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| BAB V.....              | 50 |
| PENUTUP.....            | 50 |
| 5.1.    Kesimpulan..... | 50 |
| 5.2.    Saran .....     | 50 |
| DAFTAR PUSTAKA .....    | 52 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Tegangan Penyulang BK.02 ( <i>Eksisting</i> ).....                         | 33 |
| Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Aliran Beban <i>Upgrating</i> .....                                        | 35 |
| Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Penyulang BK.02.....                                        | 37 |
| Tabel 4. 4 Data <i>Upgrating Transformator</i> Distribusi .....                                      | 38 |
| Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Tegangan <i>Upgrating Transformator</i> Distribusi .....                   | 39 |
| Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Aliran Beban Setelah <i>Upgrating Transformator</i><br>Distribusi.....     | 41 |
| Tabel 4. 7 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Setelah <i>Upgrating</i> .....                              | 42 |
| Tabel 4. 8 Perbandingan Hasil Simulasi Tegangan Sebelum dan Setelah <i>Upgrating</i><br>.....        | 43 |
| Tabel 4. 9 Perbandingan Hasil Simulasi Aliran Beban sebelum dan setelah<br><i>upgrating</i> .....    | 46 |
| Tabel 4. 10 Perbandingan Hasil Simulasi rugi-rugi daya sebelum dan setelah<br><i>upgrating</i> ..... | 48 |

## **DAFTAR GAMBAR**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Sistem Pembangkit dan Penyaluran Energi Listrik..... | 10 |
| Gambar 2. 2 Toleransi Tegangan Pelayanan yang diizinkan.....     | 13 |
| Gambar 2. 3 Diagram Saluran Distribusi Tenaga Listrik .....      | 14 |
| Gambar 2. 4 Sistem 3 Bus Sederhana .....                         | 17 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....                        | 28 |

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Pengaruh pertumbuhan ekonomi di Indonesia membuat kebutuhan masyarakat cenderung meningkat. Pola masyarakat terhadap pemakaian akan energi listrik juga mengalami peningkatan secara signifikan baik itu di perkotaan maupun di daerah terpencil. Akibat dari peningkatan pemakaian energi listrik oleh masyarakat maka pihak PLN wajib menyediakan kontinuitas pelayanan serta kualitas pengiriman daya yang baik. Sistem penyaluran energi listrik dari sumber atau pembangkit ke titik pusat beban sebagai sistem distribusi tenaga listrik yang mempunyai kondisi-kondisi dan persyaratan tertentu dalam upaya agar keandalan sistem penyaluran tetap terjaga (PLN. Buku 1, 2010).

Keandalan sistem penyaluran energi listrik yang harus dipenuhi adalah kualitas tegangan yang baik dan stabil. Salah satu penyaluran energi listrik yakni pada sistem jaringan distribusi. Jaringan distribusi secara umum terdiri dari tiga bagian yakni gardu induk distribusi, jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Sistem distribusi listrik berperan sebagai penyaluran dan pendistribusian tenaga listrik pada masing-masing beban sesuai kebutuhannya. Jaringan distribusi menyalurkan listrik dengan jarak yang cukup jauh yang bisa mengakibatkan tegangan dan arus hilang. Kualitas saluran harus selalu diperhatikan guna menangani permasalahan yang timbul. Pada sistem penyaluran distribusi listrik kemungkinan besar akan terjadi tegangan jatuh dan rugi – rugi daya.

Tegangan jatuh dapat terjadi akibat nilai arus, nilai impedansi dan panjangnya kabel yang mempunyai tahanan (Suhadi, 2008).

Tegangan jatuh merupakan hilangnya tegangan pada saluran distribusi diakibatkan karena panjangnya suatu penghantar. Disamping itu tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh pada penghantar semakin besar jika arus di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar semakin besar (Turan, 1986). Tegangan jatuh yang terjadi pada saluran distribusi perlu dianalisis guna mengetahui apakah tegangan jatuh yang timbul lebih atau kurang dari standar yang telah ditetapkan. Oleh karena itu penyaluran jarak jauh dan arus beban yang besar memungkinkan terjadinya jatuh tegangan (D. Perukasa 2014).

Kabupaten Bolaang Mongondow Utara merupakan daerah pemekaran yang baru dari Provinsi Sulawesi Utara. Pemerintahan daerah yang baru sudah tentu membutuhkan pembangunan yang cepat seperti Pembangunan gedung-gedung pemerintahan yang baru. Pembangunan gedung-gedung ini sudah pasti membutuhkan pelayanan akan energi listrik, sehingga kebutuhan akan energi listrik meningkat. Kebutuhan akan energi listrik pada suatu daerah akan memberikan dampak dari segi penyalurannya, sehingga butuh perencanaan sistem tenaga listrik yang handal dan efisien.

Sistem kelistrikan Bolaang Mongondow Utara saat ini masih disuplai dari pusat pembebanan Gardu Induk (GI) Boroko dan jauh dari pusat pembangkit. Hal ini mengakibatkan pelayanan akan energi listrik terhadap konsumen belum dikatakan handal dan efisien. Sebagai Kabupaten yang baru dimekarkan gencar

melakukan pembangunan, sehingga sangat membutuhkan pelayanan energi listrik guna menunjang aktivitas kerja. Gedung-gedung kantor pemerintahan yang dibangun sudah tentu akan membutuhkan energi listrik. Penggunaan akan energi listrik inilah yang menyebabkan suplai daya dari pembangkit ke konsumen kurang handal dan efisien. Hal ini disebabkan oleh jarak konsumen terhadap pembangkit cukup jauh serta permintaan akan energi listrik semakin meningkat.

Untuk itu perlu suatu analisis tentang nilai jatuh tegangan pada penyulang yang jaringan distribusinya panjang dan memiliki beban yang besar. Pada GI Boroko sistem penyaluran energi listrik terdapat tiga penyulang. Penyaluran energi listrik yang kebutuhannya besar terdapat pada penyulang arah gedung-gedung perkantoran dan pusat kota dari Kabupaten tersebut yakni line Boroko 02. Pada penelitian ini digunakan sebagai bahan acuan penelitian analisis jatuh tegangan pada line Boroko 02. Sehingga butuh suatu analisis tentang jatuh tegangan pada penyulang tersebut. Oleh karena itu penulis mengangkat suatu judul penelitian tentang “Analisis Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi Pada Penyulang BK.02 Gardu Induk (GI) Boroko”.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian adalah:

1. Mencari letak titik jaringan yang memiliki tegangan jatuh pada penyulang BK.02 GI Boroko.
2. Menganalisis jaringan penyulang BK.02 GI Boroko pada letak titik tegangan jatuh.

### **1.3. Pembatasan Masalah**

2. Analisis jatuh tegangan pada saluran distribusi primer 20 kV penyulang BK.02 GI Boroko.
3. Simulasi menggunakan bantuan *software* PSAT yang terintegrasi dengan program MATLAB.
4. Metode yang digunakan adalah metode *Newton-Raphson*
5. Tidak membahas sistem proteksi.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah

1. Menganalisa besar jatuh tegangan pada penyulang BK.02 yang disuplai dari GI Boroko.
2. Menentukan titik terjadinya jatuh tegangan sesuai standar SPLN yang telah ditentukan dari tegangan nominalnya.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Dalam sistem tenaga listrik pada Gardu Induk Boroko sangat membutuhkan informasi keadaan kelistrikannya yang dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi dalam pengoperasian, pengendalian, maupun perencanaan pengembangan sistem. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat:

1. Sebagai bahan evaluasi terhadap PLN maupun pemerintah untuk memperhatikan ketenagalistrikan guna memelihara dan mengembangkan sistem tenaga listrik di Gardu Induk Boroko yang ada di Bolaang Mongondow Utara.

2. Memberikan gambaran mengenai kondisi tegangan, arus, daya aktif dan daya reaktif pada penyulang BK.02 sistem tenaga listrik di Gardu Induk Boroko.
3. Menjadi bahan pembelajaran bagi peneliti dan mahasiswa lainnya .

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Sebelumnya

Hamles menjelaskan dalam penelitiannya tentang analisis kerugian tegangan pada jaringan tegangan rendah gardu distribusi Politeknik Negeri Ambon bahwa analisa terhadap regulasi tegangan terlihat bus beban 16 terjadi regulasi tegangan melewati batas maksimum 4%, sehingga terjadi tegangan jatuh pada jaringan sekundernya. Hal ini diakibatkan dari panjang penghantar dan luas penampang penghantar yang kecil (16 mm). Dengan mengganti ukuran kabel penghantar dengan yang lebih besar (70 mm) maka terjadi perbaikan kualitas tegangan (Hamles L Latupeirissa, 2018).

Suprianto menjelaskan dalam penelitian tentang analisa tegangan jatuh pada jaringan distribusi 20 kV area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu bahwa jatuh tegangan pada saat LWBP masih dalam batas standart 10%. Sedangkan jatuh tegangan pada WBP sudah melebihi batas yang diizinkan. Jatuh tegangan terbesar pada saat LWBP maupun WBP umumnya terjadi pada bus lateral, hal ini disebabkan karena jarak yang jauh dari tegangan kirim (Suprianto, 2018).

Thalib menjelaskan dalam penelitiannya tentang analisis jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah Rayon Takalar bahwa jatuh tegangan yang terjadi pada 5 gardu di Rayon Takalar rata-rata diatas 10%. Hal ini diakibatkan beban kerja dari trafo yang sudah *overload*. Idealnya beban kerja dari sebuah trafo hanya sampai 80%. Sehingga perlu dilakukan tambahan trafo sisipan. Disamping itu akibat dari

jatuh tegangan lainnya adalah ketidakseimbangan beban, ranting pohon yang menempel pada jaringan distribusi, sambungan/konektor yang tidak tersambung dengan baik dan sambungan rumah yang disambungkan secara seri dari rumah ke rumah (Thalib Bini Tadjuddin, 2015).

Arif menjelaskan dalam penelitiannya tentang analisis jatuh tegangan dan penanganannya pada jaringan distribusi 20 kV Rayon Palur menggunakan ETAP bahwa besar jatuh tegangan pada saluran tersebut masih dalam keadaan standar PLN, karena belum melebihi standar yang telah ditentukan yaitu -10%. Jatuh tegangan dipengaruhi oleh nilai resistansi dan nilai reaktansi saluran. Semakin besar nilai reaktansi dan resistansi maka jatuh tegangan akan semakin besar (Arif, 2017).

Rahmat menjelaskan dalam penelitiannya tentang analisa jatuh tegangan jaringan distribusi primer 20 kV pada penyulang Indrapuri bahwa berdasarkan analisa menggunakan *software* ETAP jatuh tegangan yang paling besar terjadi pada gardu IDR 040 sebesar 8,3% yang disebabkan oleh arus beban berlebih. Untuk IDR 018 jatuh tegangan sebesar 7,4% yang disebabkan panjang saluran serta pembebanan trafo berlebih. Jatuh tegangan masih dalam batas standar, sehingga masih dianggap layak (Rahmat Akbar, 2016).

## **2.2. Sistem Tenaga Listrik**

Sistem tenaga listrik merupakan satu kesatuan yang menyuplai energi listrik sampai ke konsumen melalui jaringan transmisi dan distribusi. Komponen utamanya terdiri dari sistem pembangkitan yang sebagai penyuplai daya listrik yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi dan distribusi. Sumber energi yang digunakan pada proses pembangkitan diantaranya menggunakan sumber

energi dari tenaga air, minyak bumi, batubara, panas surya, tenaga angin dan lain-lain.

Dalam menyalurkan energi listrik sampai pada konsumen ataupun pelanggan terdapat beberapa perihal yang harus diperhatikan sebagai penyedia tenaga listrik, yakni:

- a. Pelayanan berkesinambungan
- b. Efisien
- c. Fleksibilitas
- d. Perubahan tegangan
- e. Ekonomis

Syarat yang harus dipenuhi oleh penyedia tenaga listrik dalam hal sistem penyaluran tenaga listrik yang baik adalah:

- a. Kurangnya gangguan pelayanan (*interruption*)
- b. Meminimalisir waktu gangguan
- c. Kecilnya perubahan tegangan
- d. Penekanan biaya operasional
- e. Harus fleksibel (mudah menyesuaikan diri dengan keadaan yang terjadi)

Penyaluran sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri dari sistem jaringan primer dan sistem jaringan sekunder. Sistem jaringan primer adalah jaringan sistem yang menyalurkan dari gardu induk ke gardu distribusi. Sedangkan sistem jaringan sekunder adalah sistem penyaluran dari gardu distribusi ke konsumen.

### **2.3. Transmisi dan Distribusi**

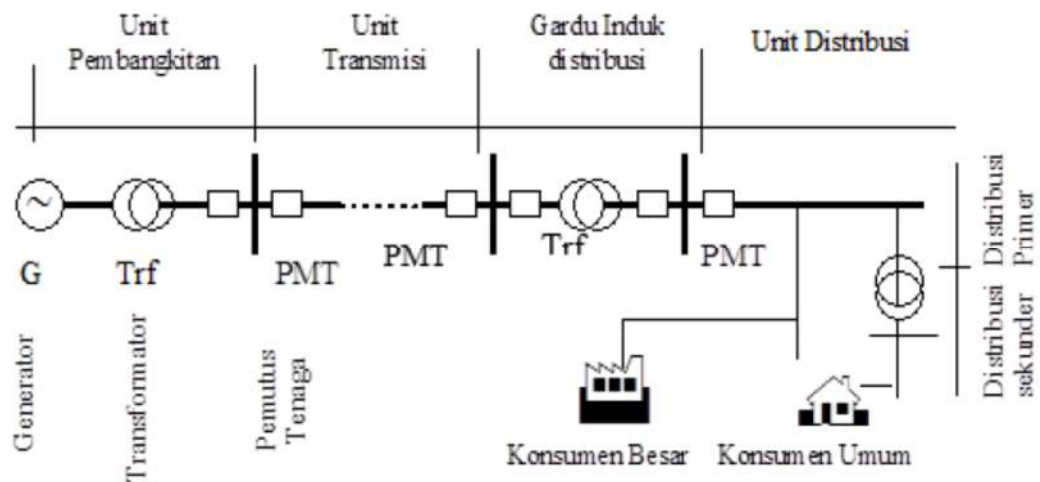
Sistem transmisi merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang bertegangan tinggi ke pusat beban dalam hal ini adalah gardu induk. Sedangkan sistem distribusi merupakan sistem penyaluran tenaga listrik ke pelanggan ataupun ke konsumen (Zuhal, 1995).

Sistem pembangkitan energi listrik dalam menyuplai daya listrik melalui turbin generator, namun tegangan yang dihasilkan masih kecil, sehingga butuh bantuan *transformator* dalam hal untuk menaikkan tegangan yang akan dikirim ke pusat beban yakni gardu induk melalui saluran transmisi. Dari gardu induk tegangan diturunkan dengan *transformator* daya yang ada di gardu induk untuk dikirim ke sistem distribusi dengan tegangan 20 kV. Dari saluran distribusi tegangan diturunkan lagi dengan *transformator* distribusi atau gardu distribusi untuk dikirim ke pelanggan/konsumen. Pelanggan/konsumen energi listrik ada berbagai macam, diantara pelanggan jaringan tegangan menengah 20 kV (primer) atau jaringan tegangan rendah 380/220 Volt (sekunder). Dalam sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan konsumen adalah jaringan sistem distribusi.

#### **2.3.1. Saluran Distribusi**

Pada sistem gardu induk terdapat jaringan sekunder yaitu saluran distribusi 20 kV. Pada saluran tersebut dibagi dalam beberapa penyulang jaringan tegangan menengah yang disalurkan ke gardu distribusi ataupun langsung pada pelanggan konsumen tegangan 20 kV. Gardu distribusi berfungsi melayani konsumen tegangan rendah dimana tegangan 20 kV diturunkan menjadi 380/220 volt pada trafo distribusi, untuk kemudian disalurkan pada konsumen melalui jaringan

tegangan rendah (jaringan distribusi sekunder). Sistem penyaluran distribusi dapat dilihat pada Gambar 2.1 (D.Peukasa, 2014).



Gambar 2. 1 Sistem Pembangkit dan Penyaluran Energi Listrik

### 2.3.2. Sistem Distribusi Primer

Pada sistem distribusi primer terdapat berapa komponen utama, yakni:

1. *Transformator* daya yang fungsinya menaikkan dan menurunkan tegangan.
2. Pemutus tegangan yang fungsinya sebagai pengaman, pemutus dan pemisah saluran.
3. Kawat penghantar.
4. Gardu Hubung yang merupakan penghubung dan penyalur daya ke gardu distribusi.
5. Gardu Distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah ke tegangan rendah.

### **2.3.3. Tipe Jaringan Distribusi Sekunder**

Empat tipe dasar dari sistem jaringan distribusi sekunder yakni:

#### **2.3.3.1. Radial**

Jaringan radial merupakan bentuk jaringan yang sederhana. Disamping itu biaya pembangunan jaringannya dari beban ke titik sumber murah. Namun struktur jaringan radial dari segi keandalannya rendah. Sistem proteksi menggunakan rele arus lebih atau rele jarak.

#### **2.3.3.2 Struktur Gelang**

Tingkat keandalan jaringan distribusi dengan struktur gelang lebih baik. Dari struktur radial. Namun kekurangan dari struktur ini apabila pemutus beban digardu induk akan membuka sehingga menyebabkan semua gardu distribusi akan padam.

#### **2.3.3.3 Spindle**

Penyulang ini telah direncanakan berakhir disuatu titik yang disebut titik refleksi. Titik refleksi ini dalam prakteknya merupakan Gardu Hubung (GH) atau disebut juga *switching substation* dan struktur ini dikenal dengan sebutan *Spindle*.

### **2.4. Jatuh Tegangan**

Jatuh tegangan merupakan selisih antara tegangan kirim dan tegangan di terima. Adanya Jatuh tegangan paling banyak disebabkan oleh nilai impedansi. Semakin besar nilai impedans maka ada perbedaan nilai tegangan yang ada pada sisi pengirim dengan yang ada pada sisi penerima. Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran

tersebut rendah. Persamaan dibawah ini merupakan rumus yang diperlukan untuk menghitung jatuh tegangan pada jaringan distribusi primer, yaitu:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times L \times I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad 1$$

Dimana :

I = Arus pada sisi primer trafo (A)

L = Panjang saluran (km)

R = Resistansi (Ohm/km)

X = Reaktansi (Ohm/km)

$\Phi$  = Sudut faktor daya

Jatuh tegangan pada saluran distribusi primer, adalah:

$$\Delta V_{total} = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 \quad 2$$

Dimana:

$\Delta V_1$  = Jatuh tegangan 1

$\Delta V_2$  = Jatuh tegangan 2

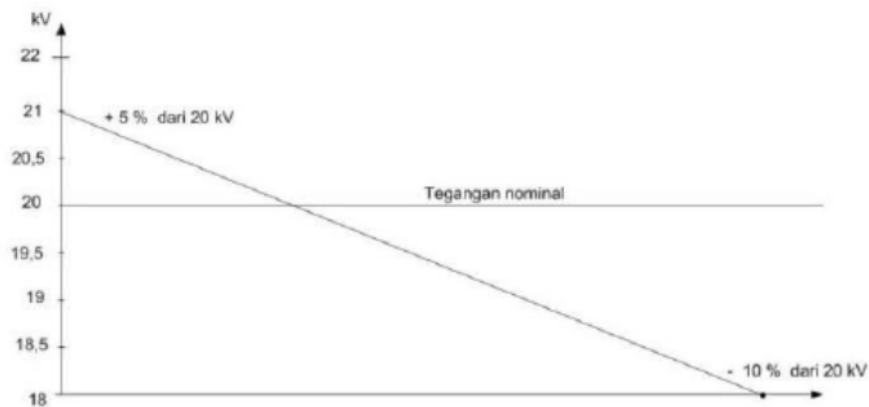
$\Delta V_3$  = Jatuh tegangan 3

## 2.5. Pengaturan Tegangan pada Sistem Distribusi

Jatuh tegangan pada umumnya adalah berbanding lurus dengan besarnya arus dan sudut fasenya, yaitu arus yang mengalir diseluruh sistem. Setiap pelanggan menggunakan jenis-jenis peralatan yang sejenis, sehingga tegangan pelayanan untuk setiap pelanggan harus sama. Perlu adanya toleransi tegangan dari setiap peralatan yang dipakai.

## 2.6. Batas Persentase Tegangan Jatuh

Besarnya jatuh tegangan biasanya dinyatakan dalam bentuk persen (%). Toleransi batas atas dan bawah ditentukan berdasarkan standar SPLN. Induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti. Toleransi pelayanan tegangan yang diizinkan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Toleransi Tegangan Pelayanan yang diizinkan

Standar tegangan menurut (SPLN) untuk batas bawah adalah -10% dan batas atas adalah +5%. Pengaruh Resistansi (R) dan reaktansi (X) pada jaringan mengakibatkan terjadinya Jatuh Tegangan. Jatuh tegangan phasor  $V_d$  pada suatu penghantar yang mempunyai impedansi (Z) dan membawa arus (I) dapat dijabarkan dengan rumus:

$$V_d = I \times Z$$

3

Dimana:

$V_d$  = Drop tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Z = Impedansi (Ohm)

Jatuh tegangan ( $\Delta V$ ) yang dimaksudkan adalah selisih antara tegangan kirim ( $V_s$ ) dengan tegangan terima ( $V_t$ ), seperti terlihat pada rumus dibawah ini.

$$\Delta V = |V_s| - |V_t|$$

4

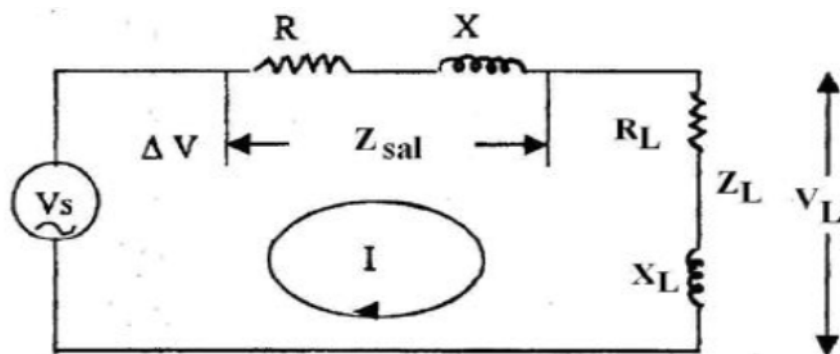
Dimana:

$\Delta V$  = Drop tegangan (Volt)

$V_s$  = Nilai tegangan kirim (Volt)

$V_t$  = Nilai tegangan terima (Volt)

Jatuh tegangan pada sistem distribusi terdapat pada jaringan tegangan Menengah (TM), Gardu Distribusi, Jaringan Tegangan Rendah, Sambungan Rumah dan Instalasi Rumah. Sedangkan penyebab jatuh tegangan meliputi panjang jaringan, rendahnya tegangan kirim, sambungan penghantar, dan arus terlalu besar. Diagram saluran distribusi dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Diagram Saluran Distribusi Tenaga Listrik

Dimana :

$V_s$  = tegangan sumber (Volt)

$V_R$  = tegangan pada sisi penerima (Volt)

$R$  = resistansi jaringan ( $\Omega$ )

$X$  = reaktansi jaringan ( $\Omega$ )

$Z_{sal}$  = impedansi jaringan ( $\Omega$ )

$R_L$  = resistansi beban ( $\Omega$ )

$X_L$  = reaktansi beban ( $\Omega$ )

$Z_L$  = impedansi beban ( $\Omega$ )

$I$  = arus beban (A)

$\Delta V$  = susut tegangan (volt)

## **2.7. Rendahnya Tegangan Ujung**

Rendahnya tegangan ujung diakibatkan karena ketidak sesuaian dengan tegangan pangkal sehingga membuat konsumen sukar melakukan aktifitas yang menggunakan peralatan elektronik. Penyebab terjadinya tegangan ujung yang rendah terdiri dari:

- a. Diameter penghantar untuk mengalirkan energi listrik kepada masing-masing pelanggan. Penghantar yang berdiameter kecil menyebabkan rugi-rugi daya.
- b. Beban tak seimbang adalah dimana beban yang terima pada masing masing jalur ( $R - S - T$ ) berbeda-beda ini akan berpengaruh pada tegangan.
- c. Regulasi tegangan yang buruk.
- d. Faktor daya di beban rendah.
- e. Jaringan terlalu panjang, jaringan yang terlalu panjang akan memiliki tahanan yang cukup banyak, sehingga energi yang tersalur akan berkurang dan akan menjadi losses
- f. Rendahnya perawatan peralatan dan penuaan usia peralatan

g. Rendahnya perawatan material juga akan berpengaruh pada penyaluran energi yang disalurkan, seperti penghantar jika penghantar yang digunakan sudah tidak berfungsi dengan baik, maka penyaluran energi akan menemui kendala dan akan menimbulkan *losses*.

## **2.8. Usaha Memperbaiki Tegangan**

Bentuk usaha meminimalisir tegangan jatuh yang harus dilakukan oleh pihak PLN agar tidak merugikan konsumen yakni:

### **1. Penyeimbangan Beban**

Akibat dari tidak adanya penyeimbangan beban memberikan pengaruh terhadap arus mengalir pada penghantar netral sehingga nilai tidak terukur dan dapat merugikan pihak PLN, sehingga perlu untuk keseimbangan beban.

### **2. Tegangan Kirim diperbesar**

Dengan memperbesar tegangan kirim maka regulasi tegangan akan menjadi baik.

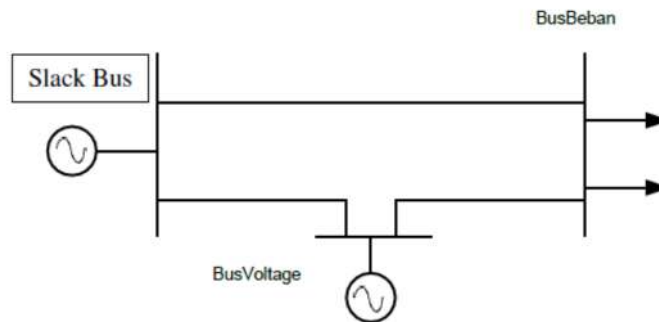
### **3. Memperbesar Penampang Hantaran**

Ukuran kawat penghantar memberikan dampak nilai jatuh tegangan dan rugi daya.

## **2.9. Studi Aliran Daya**

Studi aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi pengoperasian normal, baik yang sedang berjalan maupun yang akan datang (H. Basri, 1997).

Dalam studi aliran daya, bus-bus dibagi dalam 3 macam, yaitu: Slack bus, Bus *Voltage* dan Bus Beban.



Gambar 2. 4 Sistem 3 Bus Sederhana

Pada tiap-tiap bus terdapat 4 besaran, yaitu:

1. Daya nyata atau daya aktif P
2. Daya reaktif Q
3. Harga skalar tegangan  $|V|$
4. Sudut fasa tegangan  $\Theta$

## 2.10. Metode Newton-Raphson Untuk Aliran Daya

Teknik yang paling umum digunakan dalam menyelesaikan persamaan aljabar non linier secara iterasi adalah Metode Gauss Seidel, Newton-Raphson, dan Fast Decoupled. Pada metode Newton-Raphson, slack bus diabaikan dari perhitungan iterasi untuk menentukan tegangan-tegangan, karena besar dan sudut tegangan pada slack bus telah ditentukan (H. Saadat). Perhitungan dimulai dengan membentuk impedansi jaringan ( $Z_{ij}$ ) dengan rumus:

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} \quad 5$$

Dimana:

$Z_{ij}$  = impedansi jaringan antar bus i dan j

$R_{ij}$  = Resistansi jaringan antara bus i dan j

$X_{ij}$  = Reaktansi jaringan antara bus i dan j

Kemudian impedansi jaringan dikonversi ke admitansi jaringan

$$Y_{ij} = Y_{r_{ij}} + jY_{x_{ij}} \quad 6$$

Dimana:

$$Y_{r_{ij}} = \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$$

$$Y_{x_{ij}} = \frac{X_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2}$$

Selanjutnya matrik admitansi bus Y dibentuk dengan komponen-komponen yang terdiri atas admitansi jaringan, kapasitansi saluran dan perubahan tapping *transformator*. Kemudian matrik admitansi bus Y yang terbentuk dalam bentuk rectangular dirubah ke dalam bentuk polar. Dimana sebelumnya matrik admitansi bus Y tersebut dipisahkan menjadi komponen matrik G dan matrik B. Daya terjadwal yang ada pada setiap bus dihitung dengan rumus:

$$P_i^{jd} = P_{Gi} - P_{Li} \quad 7$$

$$Q_i^{jd} = Q_{Gi} - Q_{Li} \quad 8$$

Dimana:

$$P_i^{jd} = \text{Daya reaktif terjadwal}$$

$$Q_i^{jd} = \text{Daya reaktif terjadwal}$$

$$P_{Gi} = \text{Daya aktif pembangkitan}$$

$Q_{Gi}$  = Daya reaktif pembangkitan

$P_{Li}$  = Daya aktif beban

$Q_L$  = Daya reaktif beban.

Dalam proses iterasi dicari daya terhitung dengan rumus:

$$p_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad 9$$

$$Q_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n + \delta_i) \quad 10$$

Dimana:

$P_i$  = Daya reaktif terhitung pada bus i

$Q_i$  = Daya reaktif terhitung pada bus i

$V_{i,\theta_i}$  = Magnitude tegangan dan sudut fasa pada bus i

$V_{j,\theta_j}$  = Magnitude tegangan dan sudut fasa pada bus j

$y_{in,\theta_{in}}$  = Magnitude dan sudut fasa elemen matrik admitansi Y

Mismatch daya dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$\Delta P_i = P_i^{jd} - P_i^{hit} \quad 11$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{jd} - Q_i^{hit} \quad 12$$

Dimana:

$\Delta p_i$  = Mismatch daya aktif bus ke I

$\Delta Q_i$  = Mismatch daya reaktif bus ke I

Setelah mismatch daya dihitung maka selanjutnya dihitung matrik jacobian

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & N = J_2 & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & L = J_4 & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{pmatrix} \quad 13$$

$$\partial p_i = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad 14$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial \delta_j} = \sum_{n=i, n \neq i}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad 15$$

Untuk komponen diagonal dengan membandingkan pada persamaan  $Q_i^{hit}$  diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial p_i}{\partial \delta_j} = -Q_i - |V_i|^2 B_{ii} \quad 16$$

Untuk submatrik M atau dapat dihitung dengan rumus J3 sebagai berikut:

Untuk komponen *off diagonal*

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad 17$$

Untuk komponen *diagonal*

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{n=i, n \neq i}^n |V_i V_j V_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_i) = \sum_{n=i, n \neq i}^n \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n} \quad 18$$

Komponen diagonal M atau J3 dengan membandingkan berbagai persamaan

$p^{hit}$  diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = P_i - |V_i|^2 G_{ii}$$

Submatrik N atau dapat dihitung dengan rumus J2 sebagai berikut

Untuk komponen *off diagonal*

$$|V_j| \frac{\partial p_i}{\partial |V_j|} = |V_j| |V_i Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad 19$$

Untuk komponen *diagonal*

$$|V_i| \frac{\partial p_i}{\partial |V_i|} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} + 2|V_i|^2 G_{ii} = P_i + |V_i|^2 G_{ii} \quad 20$$

Komponen submatrik L atau dapat dihitung dengan rumus J4 sebagai berikut.

Untuk komponen *off diagonal*

$$|V_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = |V_j| |V_i Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = \frac{\partial p_i}{\partial \delta_j} \quad 21$$

Komponen *diagonal*

$$|V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} - \frac{\partial p_i}{\partial \delta_i} - 2|V_i|^2 B_{ii} = Q_i - |V_i|^2 B_{ii} \quad 22$$

Dimana:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} \text{ dan } \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \text{Elemen dari submatrik J1} = H$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} \text{ dan } \frac{\partial p_i}{\partial \delta_j} = \text{Elemen dari submatrik J3} = M$$

$$|V_j| \frac{\partial p_i}{\partial |V_i|} \text{ dan } |V_i| \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \text{Elemen dari submatrik J2} = N$$

$$|V_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} \text{ dan } |V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = \text{Elemen dari submatrik J6} = L$$

Setelah diperolehnya harga dari masing-masing elemen pada submatrik Jacobian maka selanjutnya dibentuk matrik Jacobian dengan menggabungkan keempat submatrik Jacobian tersebut sehingga terbentuk rumus umum untuk menghitung aliran daya dengan metode Newton-Raphson:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & J \\ N & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta |V|}{|V|} \end{bmatrix} \text{ atau } \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{\Delta |V|}{|V|} \end{bmatrix} \quad 23$$

Dimana:

$\Delta \delta_i$  = Perubahan sudut fasa tegangan bus i

$\Delta |V_i|$  = Perubahan magnitude tegangan bus i

Daya pada Slack Bus selanjutnya dihitung setelah konvergensi tercapai.

Adapun rumus yang digunakan adalah:

$$P_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad 24$$

$$Q_i = - \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad 25$$

Dimana:

$P_i$  = Daya aktif pada slack bus

$Q_i$  = Daya reaktif pada slack bus

Selain itu pula daya reaktif pada Bus PV (Bus Pembangkit) juga dihitung setelah konvergensi tercapai, adapun rumus yang digunakan adalah:

$$Q_i = - \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad 26$$

Dimana:

$Q_i$  = daya reaktif pada bus pembangkit 1

Aliran daya antara bus dihitung dengan menggunakan rumus:

$$S_{ij} = V_i (V_{ij}^* Y_{ij}^* + V_i^* Y_{cij}) \text{ atau } P_{ij} - jQ_{ij} = V_i^* (V_i - V_j) Y_{ij} + V_i^* V_i Y_{cij} \quad 27$$

Dimana:

$S_{ij}$  = Aliran daya kompleks dari bus i ke bus j

$P_{ij}$  = Aliran daya aktif dari bus i ke bus j

$Q_{ij}$  = Aliran daya reaktif dari bus i ke bus j

$V_i$  = Vektor tegangan di bus i

$V_j$  = Vektor tegangan di bus j

$V_{ij}$  = Vektor tegangan antara bus i dan bus j

$Y_i$  = Admitansi antara bus i dan bus j

$Y_{cij}$  = Admitansi line charging antara bus i dan bus j

Rugi-rugi daya antar bus dihitung dengan menggunakan rumus:

$$S_{ij}(\text{losses}) = S_{ij} + S_{ji}$$

28

Dimana:

$S_{ij}(\text{losses})$  = rugi daya kompleks dari bus i ke bus j

$S_{ij}$  = Daya kompleks dari bus i ke bus j

$S_{ji}$  = Daya kompleks dari bus j ke bus i

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Deskripsi Penelitian**

Dalam penelitian ini penulis menggunakan penelitian kuantitatif, karena data yang diperoleh nantinya berupa angka. Dari angka yang diperoleh akan di analisis lebih lanjut dalam analisis data. Penelitian ini menganalisis tegangan jatuh pada penyulang BK.02 Gardu Induk (GI) Boroko. Penyulang distribusi 20 kV BK.02 termasuk wilayah kerja dari PLN ULP Boroko yang ada di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara yang saat ini sudah berada wilayah kerja PLN UP3 Kotamobagu. Pemodelan sistem tersebut dengan cara melakukan simulasi menggunakan bantuan *software* PSAT yang terintegrasi dengan program MATLAB serta menggunakan metode Newton-Raphson.

#### **3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian**

Pelaksanaan penelitian berlangsung selama 2 (dua) bulan, yakni dari Maret 2021 s/d Mei 2021. Lokasi penelitian ini bertempat di sistem tenaga listrik ULP Boroko Kabupaten Bolaang Mongondow Utara.

#### **3.3. Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa *Calculator Scientific, Personal Computer (PC) dan Handphone*.

#### **3.4. Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian yakni:

a. Studi literature

Untuk mempelajari pustaka berupa buku, jurnal ilmiah, serta dokumen lain yang erat hubungannya dengan penelitian ini.

b. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan pada sistem tenaga listrik di Gardu Induk Boroko dan ULP Boroko yang ada di kabupaten Bolaang Mongondow Utara.

c. Pengolahan data

Sebelum data dimasukkan kedalam simulasi maka data tersebut diolah terlebih dahulu kedalam satuan per unit (pu). Hal ini dikarenakan dalam simulasinya menggunakan nilai parameter input satuan per unit (pu).

d. Simulasi

Simulasi ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan, aliran beban dan rugi-rugi dayapada penyulang BK.02 pada sistem Gardu Induk Boroko. Sebelum melakukan simulasi terlebih dahulu dilakukan permodelan diagram satu garis.

### 3.5. Sumber Data Dibutuhkan

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data yang ada pada penyulang BK.02 sistem Gardu Induk Boroko .

Adapun data yang dibutuhkan antara lain :

1. Diagram satu garis (*single line diagram*) penyulang BK.02 pada sistem Gardu Induk Boroko. (dapat dilihat pada Lampiran L.3.1. dan Lampiran L.3.2)

2. Data *Transformer* pada Gardu Induk Boroko, data yang dibutuhkan adalah rating tegangan/rasio tegangan (kV), rating daya (MVA). (dapat dilihat pada Lampiran L.3.3)
3. Jenis dan panjang penghantar yang digunakan yaitu data yang di butuhkan impedans saluran (R,X,dan Y) dan kuat hantar arus. (dapat dilihat pada Lampiran L.3.4)
4. Data beban penyulang BK.02 pada sistem tenaga listrik Gardu Induk Boroko. (dapat dilihat pada Lampiran L.3.5)

### **3.6. Metode Penyelesaian**

#### **1. Metode Pengumpulan Data**

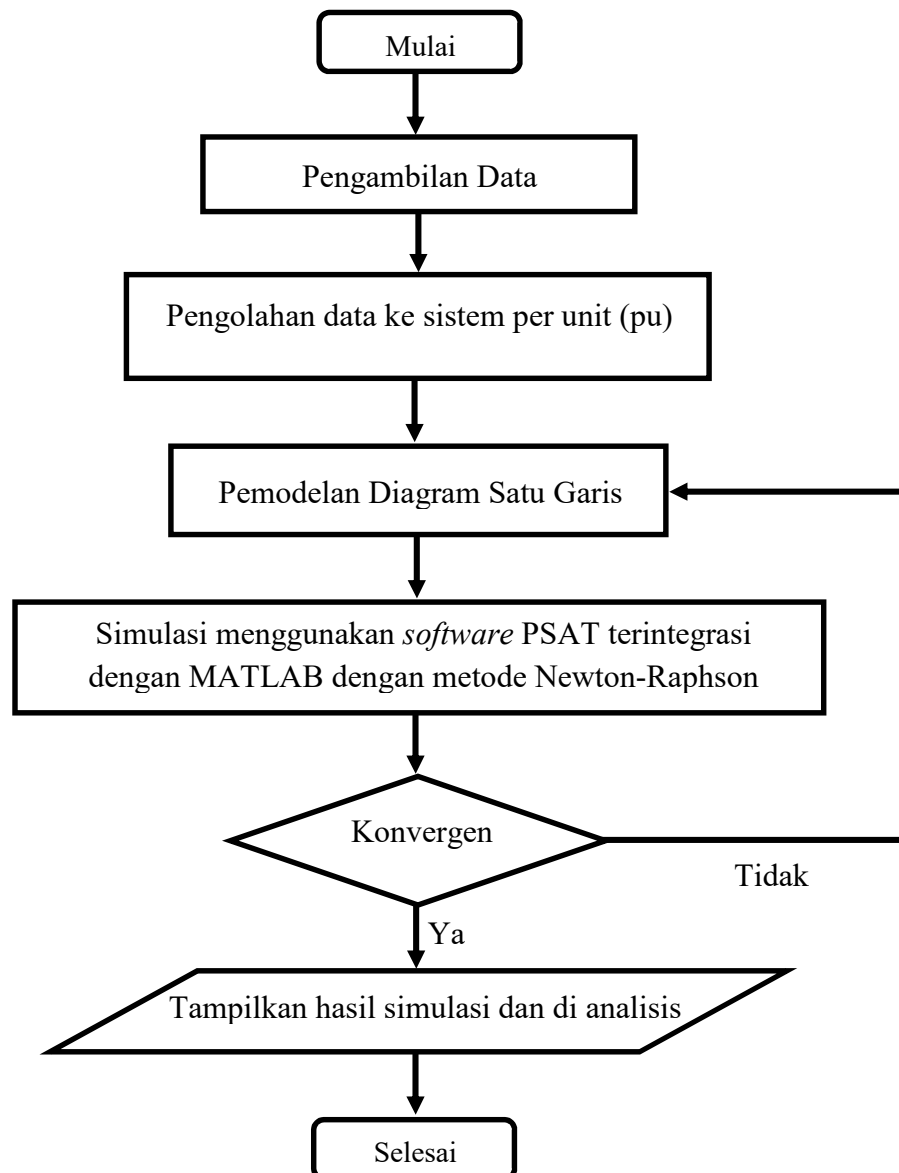
Semua data yang digunakan dalam penelitian ini,yaitu data : *single line diagram*, data pada *transformator*, jenis dan panjang penghantar, dan data beban merupakan data primer yang diperoleh dari sistem Gardu Induk Boroko dan ULP Boroko.

#### **2. Metode Analisa Data**

Data-data yang telah di dapatkan berupa nilai dari tegangan dan kapasitas daya terhadap beban yang di suplai, dan peneliti akan menganalisis data yang diperoleh dengan pengolahan data yaitu menggunakan rumus konversi kedalam satuan per unit (pu). Hasil pengolahan data tersebut selanjutnya dijadikan nilai input pada simulasi mengenai aliran daya berupa tegangan jatuh pada penyulang BK.02 sistem Gardu Induk Boroko menggunakan *software* PSAT yang terintegrasi dengan program MATLAB menggunakan metode Newton-Raphson.

### 3.6. Diagram Penelitian

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Sistem Kelistrikan Gorontalo**

Sistem kelistrikan di Bolaang Mongondow Utara merupakan satu kesatuan interkoneksi dengan sistem kelistrikan Minahasa dan Gorontalo melalui Gardu Induk Boroko (GI) dengan saluran transmisi 150 kV. Pada Gardu Induk Boroko terdapat 3 penyulang distribusi 20 kV yaitu penyulang BK.01, BK.02, BK.03. Kota Boroko merupakan pusat pemerintahan dari pada Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, sehingga memiliki beban listriknya paling besar. Disamping itu pusat pembangkit yang melayani beban listriknya tersebut terletak sangat jauh. Akibat letak pusat pembangkit dengan pusat beban di Boroko membuat tegangan listrik dibawah standar SPLN. Sehingga perlu analisis drop tegangan pada penyulang yang melayani Kota Boroko yaitu BK.02. Dalam analisis drop tegangan perlu data sistem kelistrikan dari pada penyulang BK.02 GI Boroko. Adapun data tersebut berupa data *transformator* daya pada GI, beban pada masing-masing Gardu Distribusi dan data kawat Penghantar. Setelah mendapatkan data sistem selanjutnya menganalisis data tersebut.

#### **4.2. Analisis Data Sistem Kelistrikan Boroko (BK.02)**

Perolehan data dari lapangan untuk sistem kelistrikan Boroko terlebih dahulu data dikonversi kedalam satuan per unit (p.u). Untuk analisis drop tegangan menggunakan bantuan *software* PSAT versi 2.1.9 yang terintegrasi dengan program MATLAB versi R.2014a.

#### 4.2.1. Analisis Data *Transformator* Daya GI Boroko

Analisis daya *transformator* pada GI Boroko dijadikan sebagai slack bus pada sistem 150 kV, dasar yang digunakan adalah data aktual dengan membagi cos phi dengan daya aktif diperoleh daya semu. Cos phi adalah 0.8 dan 0.9 dengan daya semu dapat dijadikan acuan untuk menentukan daya aktif maksimum ( $P_{max}$ ) dan daya aktif minimum ( $P_{min}$ ) yang dijadikan sebagai acuan untuk nilai parameter PV dan bus referensi. Nilai S (daya semu) adalah 20 MVA maka:

$$P_{max} = \frac{S}{\cos \phi}$$

$$P_{max} = \frac{20}{0.8} = 16 \text{ MW}$$

Untuk daya aktif minimum dapat dihitung dengan:

$$P_{min} = 50\% \times P_{max} = 50\% \times 16 = 8 \text{ MW}$$

Daya reaktif maksimum ( $Q_{max}$ ) dan daya reaktif minimum ( $Q_{min}$ ) dapat dicari dengan menggunakan persamaan segitiga daya.

$$Q_{max} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{20^2 - 16^2} = 12 \text{ MVAR}$$

$$Q_{min} = -\sqrt{S^2 - P^2} = -\sqrt{20^2 - (20 \times 0.9)^2} = -8.72 \text{ MVAR}$$

Daya aktif dan daya reaktif dalam bentuk p.u dapat dihitung sebagai berikut:

$$S = \frac{P_{aktual}}{S_{aktual}} = \frac{16}{20} = 0.8 \text{ p.u}$$

$$Q_{max} = \frac{Q_{max}}{S_{aktual}} = \frac{12}{20} = 0.6 \text{ p.u} \quad \text{dan}$$

$$Q_{min} = \frac{Q_{min}}{S_{aktual}} = \frac{-8.72}{20} = -0.436 \text{ p.u}$$

#### 4.2.2. Analisa Data Saluran

Penyulang BK. 02 GI Boroko menggunakan penghantar jenis AAAC dengan luas penampang 150 mm<sup>2</sup>. Dengan mengacu pada SPLN 64 Tahun 1985 sehingga nilai resistansi penghantar ( $r$ ) = 0.216 ohm/km dan reaktansi penghantar ( $x$ ) = 0.331 ohm/km dengan jarak antar penghantar 0.059 km, maka resistansi ( $R$ ) dan reaktansi ( $X$ ) dapat dihitung:

$$R = r \times L = 0.216 \times 0,059 = 0.0127 \text{ ohm}$$

$$X = x \times L = 0.331 \times 0,059 = 0.0159 \text{ ohm}$$

MVA dasar ( $S_{base}$ ) yang digunakan adalah tegangan (kV) dikali dengan kuat arus penghantar AAAC 150 mm<sup>2</sup> (KHA), maka Impedansi dasar ( $Z_{base}$ ) dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$Z_{base} = \frac{kV^2}{S_{base}} = \frac{20^2}{8.500} = 47,059 \text{ ohm}$$

Sehingga diperoleh R dan X dalam bentuk p.u

$$R_{p.u} = \frac{R}{Z_{base}} = \frac{0,0127}{47,059} = 0.00027 \text{ p.u}$$

$$X_{p.u} = \frac{X}{Z_{base}} = \frac{0,0159}{47,059} = 0.00041 \text{ p.u}$$

#### 4.2.3. Analisa Data Beban

Dalam menganalisis data beban dalam bentuk p.u perlu menentukan MVA dasar yang akan digunakan. Perhitungan parameter beban dalam bentuk p.u adalah beban daya semu ( $S$ ) pada masing-masing beban yang ditanggung oleh Gardu Distribusi (GD). Contohnya untuk beban bus GD Kantor Pendidikan Bolmut diketahui beban daya semu adalah 0.101 MVA, dengan beban daya aktif ( $P$ ) 0.096

MW dan beban daya reaktif (Q) 0,031 MVAR, dalam bentuk p.u dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{p.u} = \frac{P}{S} = \frac{0,096}{0,101} = 0.95 \text{ p.u}$$

$$Q_{p.u} = \frac{Q}{S} = \frac{0,031}{0,101} = 0.312 \text{ p.u}$$

### 4.3. Simulasi dan Pembahasan

#### 4.3.1. Hasil simulasi Tegangan GI Boroko Penyulang BK.02 (*Eksisting*)

Simulasi aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson, pertama-tama sistem dimodelkan sesuai dengan *single line* sistem GI Boroko penyulang BK.02. Setelah sistem dimodelkan, selanjutnya dilakukan penginputan data dari masing-masing parameter sesuai dengan hasil pengolahan data dan referensi sistem. Penginputan data hasil perhitungan parameter PV, slack bus, *transformator*, penghantar dan beban kedalam *software* PSAT yang terintegrasi dengan program MATLAB. Gambar permodelan penyulang BK.02 terlihat pada Gambar Lampiran L.4.1.

Setelah penginputan data, selanjutnya dilakukan proses simulasi. Hasil dari simulasi tegangan penyulang BK.02 merupakan hasil tegangan pada setiap bus Gardu Distribusi (GD) di sisi 20 kV dan 0,4 kV dengan menggunakan metode Newton-Raphson. Setelah didapatkan hasilnya maka dilakukan analisis tegangan yang terdapat pada setiap bus beban, bus beban tersebut terdapat pada masing-masing bus GD. Beban pada masing-masing GD terbaca pada bus tegangan 20 kV dan 0,4 kV. Sehingga hasil simulasi tegangan penyulang BK.02 kondisi *eksisting* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Tegangan Penyulang BK.02 (*Eksisting*)

| Bus                     | V        | Phase     |
|-------------------------|----------|-----------|
|                         | [p.u.]   | [rad]     |
| B -139                  | 0,907285 | -0,178548 |
| B-128                   | 0,982644 | -0,020347 |
| B-129                   | 0,961793 | -0,070658 |
| B-130                   | 0,936575 | -0,12651  |
| B-131                   | 0,947995 | -0,101213 |
| B-132                   | 0,974545 | -0,03798  |
| B-133                   | 0,731174 | -0,455139 |
| B-134                   | 0,951374 | -0,089726 |
| B-135                   | 0,82365  | -0,322674 |
| B-136                   | 0,952567 | -0,086715 |
| B-137                   | 0,553552 | -0,669773 |
| B-138                   | 0,63827  | -0,571213 |
| B-140                   | 0,659123 | -0,545655 |
| B-Bigo Trans            | 0,85049  | -0,278331 |
| B-Kuala Utara Apotik    | 0,946307 | -0,097707 |
| B-Mohing                | 0,756068 | -0,419238 |
| B-Pasar                 | 0,858471 | -0,265165 |
| B-Perum Pinagut Sisipan | 0,847669 | -0,282543 |
| B-Telkomsel             | 0,91813  | -0,156163 |
| B-kuala sisipan         | 0,977529 | -0,022135 |
| Bus                     | 0,981901 | -0,020616 |
| Bus GD B-128            | 0,982644 | -0,020346 |
| Bus GD B-129            | 0,981843 | -0,020665 |
| Bus GD B-130            | 0,981882 | -0,020634 |
| Bus GD B-131            | 0,981421 | -0,020777 |
| Bus GD B-132            | 0,981126 | -0,020876 |
| Bus GD B-133            | 0,980107 | -0,021202 |
| Bus GD B-134            | 0,979278 | -0,02147  |
| Bus GD B-135            | 0,979143 | -0,021517 |
| Bus GD B-136            | 0,979109 | -0,021545 |
| Bus GD B-137            | 0,978673 | -0,021651 |
| Bus GD B-139            | 0,977721 | -0,022005 |
| Bus GD B-140            | 0,977691 | -0,02201  |
| Bus GD B-141            | 0,977617 | -0,022019 |
| Bus GD B-142            | 0,97785  | -0,021978 |
| Bus GD Bigo Trans       | 0,97735  | -0,022225 |
| Bus GD Mohing           | 0,976819 | -0,022405 |
| Bus GD Pasar            | 0,977375 | -0,022222 |

|                              |          |           |
|------------------------------|----------|-----------|
| Bus GD Perum Pinagut sisipan | 0,97698  | -0,022353 |
| Bus GD Telkomsel             | 0,976835 | -0,0224   |
| Bus Kuala Sisipan            | 0,977529 | -0,022135 |
| Bus Kuala Utara Apotik       | 0,977379 | -0,022197 |
| Bus-141                      | 0,613844 | -0,600079 |
| Bus1                         | 0,981884 | -0,020633 |
| Bus10                        | 0,977529 | -0,022135 |
| Bus11                        | 0,976983 | -0,022351 |
| Bus12                        | 0,977414 | -0,022196 |
| Bus13                        | 0,977384 | -0,022217 |
| Bus2                         | 0,981422 | -0,020776 |
| Bus3                         | 0,981127 | -0,020875 |
| Bus4                         | 0,980113 | -0,021201 |
| Bus42                        | 0,97785  | -0,021979 |
| Bus5                         | 0,979279 | -0,021469 |
| Bus6                         | 0,979163 | -0,021506 |
| Bus7                         | 0,978718 | -0,021633 |
| Bus8 (GD B-138)              | 0,978107 | -0,021872 |
| Bus9                         | 0,97785  | -0,021978 |
| BusBK 150                    | 1        | 0         |
| BusBK 20                     | 0,982788 | -0,020294 |

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa hasil simulasi tegangan pada penyulang BK.02 pada kondisi *eksisting* dengan menggunakan metode Newton-Raphson yang tertinggi terdapat pada bus sisi beban tegangan rendah 0,4 kV sebesar 0.982644 pu dan pada tegangan menengah 20 kV terdapat pada bus BK 20 sebesar 0,982788 pu. Tegangan terendah terdapat pada bus sisi beban tegangan rendah 0,4 kV yaitu 0.553552 pu dan tegangan menengah 20 kV terdapat pada bus GD Mohing sebesar 0,976819 pu . Hal ini menandakan bahwa tegangan yang ada pada bus tegangan menengah 20 kV masih dalam batas standar SPLN, sedangkan tegangan pada bus beban tegangan rendah 0,4 kV masih ada 10 bus yang diluar batas standar SPLN yaitu 1.05 pu (+ 5 %) dan 0.90 pu (– 10%).

#### 4.3.2. Hasil Simulasi Aliran Beban GI Boroko Penyulang BK.02

Hasil simulasi aliran beban sebelum *upgrating* dengan menggunakan metode Newton-Raphson dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Aliran Beban *Upgrating*

| From Bus                     | To Bus                     | P Flow | Q Flow | P Loss | Q Loss |
|------------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                              |                            | [MW]   | [MVar] | [MW]   | [MVar] |
| Bus9                         | Bus GD B-142               | 0,000  | -0,008 | 0,000  | -0,008 |
| Bus10                        | Bus Kuala Utara Apotik     | 0,451  | 0,308  | 0,000  | -0,008 |
| Bus Kuala Utara Apotik       | Bus11                      | 0,424  | 0,305  | 0,000  | -0,008 |
| Bus11                        | Bus GD Perum Pinagut sisip | 0,110  | 0,063  | 0,000  | -0,008 |
| Bus                          | Bus1                       | 0,121  | 0,024  | 0,000  | -0,008 |
| Bus11                        | Bus GD Telkomsel           | 0,314  | 0,249  | 0,000  | -0,008 |
| Bus GD Telkomsel             | Bus GD Mohing              | 0,298  | 0,250  | 0,000  | -0,008 |
| Bus Kuala Sisipan            | Bus10                      | 0,000  | 0,000  | 0,000  | -0,008 |
| Bus1                         | Bus GD B-129               | 0,096  | 0,029  | 0,000  | -0,008 |
| Bus2                         | Bus GD B-131               | 0,010  | -0,004 | 0,000  | -0,008 |
| BusBK 150                    | BusBK 20                   | 2,076  | 1,638  | 0,003  | 0,070  |
| Bus GD B-136                 | B-136                      | 0,062  | 0,025  | 0,000  | 0,005  |
| Bus GD B-137                 | B-137                      | 0,352  | 0,508  | 0,020  | 0,399  |
| Bus8 (GD B-138)              | B-138                      | 0,087  | 0,102  | 0,004  | 0,075  |
| Bus GD B-139                 | B -139                     | 0,035  | 0,018  | 0,000  | 0,007  |
| Bus GD B-140                 | B-140                      | 0,171  | 0,190  | 0,007  | 0,137  |
| Bus GD B-141                 | Bus-141                    | 0,087  | 0,109  | 0,004  | 0,082  |
| Bus GD B-142                 | Bus42                      | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Bus Kuala Utara Apotik       | B-Kuala Utara Apotik       | 0,027  | 0,011  | 0,000  | 0,002  |
| Bus GD Perum Pinagut sisipan | B-Perum Pinagut Sisipan    | 0,110  | 0,072  | 0,002  | 0,036  |
| Bus GD Telkomsel             | B-Telkomsel                | 0,015  | 0,007  | 0,000  | 0,002  |
| Bus GD B-128                 | B-128                      | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Bus GD Mohing                | B-Mohing                   | 0,298  | 0,258  | 0,008  | 0,163  |
| Bus Kuala Sisipan            | B-kuala sisipan            | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Bus GD Bigo Trans            | B-Bigo Trans               | 0,326  | 0,210  | 0,005  | 0,105  |
| Bus GD Pasar                 | B-Pasar                    | 0,052  | 0,033  | 0,001  | 0,016  |
| Bus GD B-129                 | B-129                      | 0,096  | 0,037  | 0,000  | 0,006  |
| Bus GD B-130                 | B-130                      | 0,025  | 0,011  | 0,000  | 0,003  |
| Bus GD B-131                 | B-131                      | 0,010  | 0,004  | 0,000  | 0,001  |
| Bus GD B-132                 | B-132                      | 0,013  | 0,005  | 0,000  | 0,000  |
| Bus GD B-133                 | B-133                      | 0,158  | 0,147  | 0,005  | 0,097  |

|                 |                   |       |        |       |        |
|-----------------|-------------------|-------|--------|-------|--------|
| Bus GD B-134    | B-134             | 0,016 | 0,007  | 0,000 | 0,001  |
| Bus GD B-135    | B-135             | 0,124 | 0,088  | 0,002 | 0,048  |
| BusBK 20        | Bus GD B-128      | 2,073 | 1,568  | 0,000 | -0,008 |
| Bus3            | Bus4              | 1,926 | 1,581  | 0,001 | -0,006 |
| Bus4            | Bus GD B-133      | 0,158 | 0,139  | 0,000 | -0,008 |
| Bus4            | Bus5              | 1,767 | 1,448  | 0,001 | -0,006 |
| Bus5            | Bus GD B-134      | 0,016 | -0,002 | 0,000 | -0,008 |
| Bus5            | Bus6              | 1,749 | 1,456  | 0,000 | -0,008 |
| Bus6            | Bus GD B-135      | 0,186 | 0,097  | 0,000 | -0,008 |
| Bus GD B-135    | Bus GD B-136      | 0,062 | 0,017  | 0,000 | -0,008 |
| Bus6            | Bus7              | 1,563 | 1,367  | 0,001 | -0,007 |
| Bus7            | Bus GD B-137      | 0,352 | 0,500  | 0,000 | -0,008 |
| Bus7            | Bus8 (GD B-138)   | 1,210 | 0,874  | 0,001 | -0,007 |
| Bus GD B-128    | Bus               | 2,073 | 1,576  | 0,001 | -0,006 |
| Bus8 (GD B-138) | Bus9              | 1,123 | 0,780  | 0,000 | -0,008 |
| Bus9            | Bus GD B-139      | 0,294 | 0,293  | 0,000 | -0,008 |
| Bus GD B-139    | Bus GD B-140      | 0,258 | 0,283  | 0,000 | -0,008 |
| Bus GD B-140    | Bus GD B-141      | 0,087 | 0,101  | 0,000 | -0,008 |
| Bus GD B-142    | Bus9              | 0,000 | 0,000  | 0,000 | -0,008 |
| Bus9            | Bus10             | 0,829 | 0,502  | 0,000 | -0,008 |
| Bus10           | Bus Kuala Sisipan | 0,000 | -0,008 | 0,000 | -0,008 |
| Bus10           | Bus12             | 0,378 | 0,211  | 0,000 | -0,008 |
| Bus12           | Bus GD Bigo Trans | 0,326 | 0,202  | 0,000 | -0,008 |
| Bus12           | Bus13             | 0,052 | 0,016  | 0,000 | -0,008 |
| Bus13           | Bus GD Pasar      | 0,052 | 0,024  | 0,000 | -0,008 |
| Bus1            | Bus GD B-130      | 0,025 | 0,003  | 0,000 | -0,008 |
| Bus             | Bus2              | 1,950 | 1,558  | 0,001 | -0,007 |
| Bus2            | Bus3              | 1,940 | 1,570  | 0,000 | -0,008 |
| Bus3            | Bus GD B-132      | 0,013 | -0,004 | 0,000 | -0,008 |

Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa hasil simulasi aliran beban pada kondisi *eksisting* tegangan menengah 20 kV dengan menggunakan metode Newton-Raphson terbesar terdapat pada bus BK 20 kV menuju bus GD B-128 yaitu daya aktif sebesar 2,1 MW dan daya reaktif sebesar 1,45 MVar. Sedangkan aliran beban terendah terdapat pada bus 2 menuju bus GD B-131 yaitu daya aktif sebesar 0,01 MW dan daya reaktif yaitu sebesar -0,004 MVar.

#### 4.3.3. Rugi-rugi Daya GI Boroko Penyulang BK.02

Hasil simulasi rugi-rugi daya pada kondisi *eksisting* GI Boroko penyulang BK.02 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Penyulang BK.02

| Daya/persentase     | Pembangkit | Beban | Rugi-rugi daya |
|---------------------|------------|-------|----------------|
| Daya Aktif (MW)     | 2,076      | 2,006 | 0,07           |
| Daya Reaktif (Mvar) | 1,638      | 0,657 | 0,98           |
| Daya Aktif (%)      | 3,4%       |       |                |
| Daya Reaktif (%)    | 59,8%      |       |                |

Dari Tabel 4.3 terlihat bahwa hasil simulasi rugi-rugi daya pada GI Boroko penyulang BK.02 menggunakan metode Newton-Raphson untuk daya aktif sebesar 0,07 MW dan untuk daya reaktif sebesar 0,98 MVar. Sedangkan perbandingan persentase rugi-rugi daya dengan pembangkitan total adalah untuk daya aktif sebesar 3,4 % dan daya reaktif sebesar 59,8%.

#### 4.3.4. Hasil Simulasi Tegangan Setelah *Upgrating*

Simulasi analisa aliran daya, pertama-tama sistem dimodelkan sesuai dengan diagram satu garis sistem GI Boroko Penyulang BK.02. Sistem dimodelkan dengan mengupgrate data *transformator* distribusi. Metode untuk mengupgrating data *transformator* distribusi adalah dengan melihat titik jatuh tegangan. Hal ini dilakukan dengan melihat beban yang tidak sesuai dengan pembebanan dari *transformator* distribusi. Dengan asumsi bahwa pembebanan dari *transformator* distribusi sesuai dengan beban yang dilayani oleh *transformator* distrtribusi tersebut. Data *upgrating transformator* distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Data *Upgrating Transformator* Distribusi

| No. Gardu | Nama / Lokasi         | Daya Trafo Eksisting (kVA) | Beban Konsumen (kVA) | Daya Trafo <i>Upgrating</i> (kVA) |
|-----------|-----------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| B-133     | Sulut Boroko Sisipan  | 100                        | 193,297              | 260                               |
| B-135     | Pelabuhan Boroko      | 100                        | 128,310              | 200                               |
| B-137     | Kantor ULP Bolmut     | 200                        | 730,856              | 900                               |
| B-138     | Boroko Timur (Agil)   | 50                         | 137,317              | 200                               |
| B-140     | Bigo Induk            | 100                        | 253,503              | 360                               |
| B-141     | Bigo Selatan          | 50                         | 149,441              | 260                               |
| B-145     | Perum Pinagut Sisipan | 100                        | 114,177              | 160                               |
| B-147     | Boroko Mohing         | 200                        | 342,253              | 460                               |
| B-149     | Bigo Trans            | 200                        | 338,443              | 460                               |
| B-150     | Boroko Pasar          | 50                         | 54,248               | 100                               |

Pada Tabel 4.4 terlihat bahwa data *transformator* distribusi *upgrating* terbesar terdapat pada B-137 Kanto ULP Bolmut dan yang terendah terdapat pada B-150 Boroko Pasar. Dari data *upgrating transformator* ini kemudian akan digunakan parameter untuk menginput ke dalam simulasi. Setelah data parameter diinput, selanjutnya menggunakan metode Newton-Raphson, dan selanjutnya dilakukan proses *running*. Hasil simulasi tegangan setelah *upgrating transformator* distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Tegangan *Upgrating Transformator* Distribusi

| Bus                     | V        | phase     |
|-------------------------|----------|-----------|
|                         | [p.u.]   | [rad]     |
| B -139                  | 0,913291 | -0,184215 |
| B-128                   | 0,98771  | -0,026374 |
| B-129                   | 0,967026 | -0,076389 |
| B-130                   | 0,974546 | -0,058472 |
| B-131                   | 0,953356 | -0,106757 |
| B-132                   | 0,979739 | -0,04431  |
| B-133                   | 0,915466 | -0,182452 |
| B-134                   | 0,956821 | -0,096088 |
| B-135                   | 0,926375 | -0,160209 |
| B-136                   | 0,958013 | -0,09315  |
| B-137                   | 0,905239 | -0,200244 |
| B-138                   | 0,920202 | -0,171264 |
| B-140                   | 0,917381 | -0,176323 |
| B-Bigo Trans            | 0,913578 | -0,183334 |
| B-Kuala Utara Apotik    | 0,951983 | -0,104413 |
| B-Mohing                | 0,912031 | -0,185792 |
| B-Pasar                 | 0,935506 | -0,139769 |
| B-Perum Pinagut Sisipan | 0,915908 | -0,178514 |
| B-Telkomsel             | 0,924163 | -0,1622   |
| B-kuala sisipan         | 0,982964 | -0,029686 |
| Bus                     | 0,987011 | -0,026876 |
| Bus GD B-128            | 0,98771  | -0,026373 |
| Bus GD B-129            | 0,986954 | -0,026925 |
| Bus GD B-130            | 0,986994 | -0,026894 |
| Bus GD B-131            | 0,986561 | -0,027192 |
| Bus GD B-132            | 0,986284 | -0,027386 |
| Bus GD B-133            | 0,985327 | -0,028043 |
| Bus GD B-134            | 0,984541 | -0,028584 |
| Bus GD B-135            | 0,984414 | -0,028671 |
| Bus GD B-136            | 0,984381 | -0,028698 |
| Bus GD B-137            | 0,983965 | -0,028989 |
| Bus GD B-139            | 0,983118 | -0,02957  |
| Bus GD B-140            | 0,98309  | -0,029588 |
| Bus GD B-141            | 0,98302  | -0,029635 |
| Bus GD B-142            | 0,983239 | -0,02949  |
| Bus GD Bigo Trans       | 0,982808 | -0,029788 |
| Bus GD Mohing           | 0,982366 | -0,030078 |
| Bus GD Pasar            | 0,982832 | -0,029785 |

|                              |          |           |
|------------------------------|----------|-----------|
| Bus GD Perum Pinagut sisipan | 0,982501 | -0,029994 |
| Bus GD Telkomsel             | 0,98238  | -0,03007  |
| Bus Kuala Sisipan            | 0,982964 | -0,029686 |
| Bus Kuala Utara Apotik       | 0,982837 | -0,029772 |
| Bus-141                      | 0,932205 | -0,146778 |
| Bus1                         | 0,986995 | -0,026893 |
| Bus10                        | 0,982964 | -0,029686 |
| Bus11                        | 0,982503 | -0,029992 |
| Bus12                        | 0,982864 | -0,029755 |
| Bus13                        | 0,98284  | -0,029779 |
| Bus2                         | 0,986561 | -0,027191 |
| Bus3                         | 0,986285 | -0,027385 |
| Bus4                         | 0,985332 | -0,028039 |
| Bus42                        | 0,983239 | -0,02949  |
| Bus5                         | 0,984541 | -0,028583 |
| Bus6                         | 0,984432 | -0,028658 |
| Bus7                         | 0,984006 | -0,028942 |
| Bus8 (GD B-138)              | 0,983465 | -0,029328 |
| Bus9                         | 0,983239 | -0,02949  |
| BusBK 150                    | 1        | 0         |
| BusBK 20                     | 0,987846 | -0,026276 |

Pada Tabel 4.5 terlihat bahwa hasil simulasi tegangan setelah *upgrating transformator* distribusi dengan menggunakan metode Newton-Raphson yang tertinggi terdapat pada bus GD B-128 sebesar 0.98771 pu dan tegangan terendah terdapat pada bus B-137 yaitu 0.90524 pu. Hal ini menandakan bahwa tegangan yang ada pada masing-masing bus tegangan menengah 20 kV maupun tegangan rendah 0,4 kV masih dalam batas standar SPLN yaitu 1.05 pu (+ 5 %) dan 0.90 pu (– 10%).

#### 4.3.5. Hasil Simulasi Aliran Beban Setelah *Upgrating*

Hasil simulasi aliran beban setelah *upgrating* dengan menggunakan metode Newton-Raphson dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Aliran Beban Setelah *Upgrating Transformator* Distribusi

| From Bus                     | To Bus                       | P Flow | Q Flow | P Loss | Q Loss |
|------------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                              |                              | [MW]   | [MVar] | [MW]   | [MVar] |
| Bus10                        | Bus Kuala Utara Apotik       | 0,479  | 0,200  | 0,000  | -0,008 |
| Bus Kuala Utara Apotik       | Bus11                        | 0,453  | 0,197  | 0,000  | -0,008 |
| Bus11                        | Bus GD Perum Pinagut sisipan | 0,109  | 0,047  | 0,000  | -0,008 |
| Bus                          | Bus1                         | 0,121  | 0,021  | 0,000  | -0,008 |
| Bus11                        | Bus GD Telkomsel             | 0,343  | 0,158  | 0,000  | -0,008 |
| Bus GD Telkomsel             | Bus GD Mohing                | 0,328  | 0,159  | 0,000  | -0,008 |
| Bus1                         | Bus GD B-129                 | 0,096  | 0,029  | 0,000  | -0,008 |
| Bus2                         | Bus GD B-131                 | 0,010  | -0,004 | 0,000  | -0,008 |
| Bus GD B-136                 | B-136                        | 0,062  | 0,025  | 0,000  | 0,005  |
| Bus GD B-137                 | B-137                        | 0,702  | 0,372  | 0,007  | 0,145  |
| Bus8 (GD B-138)              | B-138                        | 0,131  | 0,065  | 0,001  | 0,022  |
| Bus GD B-139                 | B -139                       | 0,035  | 0,018  | 0,000  | 0,007  |
| Bus GD B-140                 | B-140                        | 0,243  | 0,122  | 0,002  | 0,043  |
| Bus GD B-141                 | Bus-141                      | 0,143  | 0,066  | 0,001  | 0,020  |
| Bus Kuala Utara Apotik       | B-Kuala Utara Apotik         | 0,027  | 0,011  | 0,000  | 0,002  |
| Bus GD Perum Pinagut sisipan | B-Perum Pinagut Sisipan      | 0,109  | 0,055  | 0,001  | 0,019  |
| Bus GD Telkomsel             | B-Telkomsel                  | 0,015  | 0,007  | 0,000  | 0,002  |
| Bus GD Mohing                | B-Mohing                     | 0,328  | 0,167  | 0,003  | 0,061  |
| Bus GD Bigo Trans            | B-Bigo Trans                 | 0,324  | 0,165  | 0,003  | 0,059  |
| Bus GD Pasar                 | B-Pasar                      | 0,052  | 0,023  | 0,000  | 0,007  |
| Bus GD B-129                 | B-129                        | 0,096  | 0,037  | 0,000  | 0,005  |
| Bus GD B-130                 | B-130                        | 0,025  | 0,009  | 0,000  | 0,001  |
| Bus GD B-131                 | B-131                        | 0,010  | 0,004  | 0,000  | 0,001  |
| Bus GD B-132                 | B-132                        | 0,013  | 0,005  | 0,000  | 0,000  |
| Bus GD B-133                 | B-133                        | 0,185  | 0,094  | 0,002  | 0,034  |
| Bus GD B-134                 | B-134                        | 0,016  | 0,007  | 0,000  | 0,001  |
| Bus GD B-135                 | B-135                        | 0,123  | 0,059  | 0,001  | 0,019  |
| BusBK 20                     | Bus GD B-128                 | 2,647  | 1,034  | 0,000  | -0,008 |
| Bus3                         | Bus4                         | 2,500  | 1,050  | 0,002  | -0,006 |
| Bus4                         | Bus GD B-133                 | 0,185  | 0,086  | 0,000  | -0,008 |
| Bus4                         | Bus5                         | 2,313  | 0,969  | 0,001  | -0,006 |
| Bus5                         | Bus GD B-134                 | 0,016  | -0,002 | 0,000  | -0,008 |
| Bus5                         | Bus6                         | 2,296  | 0,977  | 0,000  | -0,008 |
| Bus6                         | Bus GD B-135                 | 0,185  | 0,067  | 0,000  | -0,008 |
| Bus GD B-135                 | Bus GD B-136                 | 0,062  | 0,017  | 0,000  | -0,008 |
| Bus6                         | Bus7                         | 2,111  | 0,918  | 0,001  | -0,007 |
| Bus7                         | Bus GD B-137                 | 0,702  | 0,364  | 0,000  | -0,008 |

|                 |                   |       |        |       |        |
|-----------------|-------------------|-------|--------|-------|--------|
| Bus7            | Bus8 (GD B-138)   | 1,409 | 0,561  | 0,001 | -0,007 |
| Bus GD B-128    | Bus               | 2,647 | 1,042  | 0,001 | -0,006 |
| Bus8 (GD B-138) | Bus9              | 1,277 | 0,504  | 0,000 | -0,008 |
| Bus9            | Bus GD B-139      | 0,421 | 0,181  | 0,000 | -0,008 |
| Bus GD B-139    | Bus GD B-140      | 0,386 | 0,171  | 0,000 | -0,008 |
| Bus GD B-140    | Bus GD B-141      | 0,143 | 0,058  | 0,000 | -0,008 |
| Bus9            | Bus10             | 0,855 | 0,339  | 0,000 | -0,008 |
| Bus10           | Bus12             | 0,376 | 0,155  | 0,000 | -0,008 |
| Bus12           | Bus GD Bigo Trans | 0,324 | 0,156  | 0,000 | -0,008 |
| Bus12           | Bus13             | 0,052 | 0,007  | 0,000 | -0,008 |
| Bus13           | Bus GD Pasar      | 0,052 | 0,015  | 0,000 | -0,008 |
| Bus1            | Bus GD B-130      | 0,025 | 0,001  | 0,000 | -0,008 |
| Bus             | Bus2              | 2,524 | 1,027  | 0,001 | -0,007 |
| Bus2            | Bus3              | 2,514 | 1,039  | 0,001 | -0,007 |
| Bus3            | Bus GD B-132      | 0,013 | -0,004 | 0,000 | -0,008 |

Dari Tabel 4.6 terlihat bahwa hasil simulasi aliran beban *upgrating transformer* distribusi dengan menggunakan metode Newton-Raphson terbesar terdapat pada bus BK20 menuju bus GD B-128 yaitu daya aktif sebesar 2,647 MW dan daya reaktif sebesar 1,034 MVar. Sedangkan aliran beban terendah terdapat pada bus 2 menuju GD B-131 yaitu daya aktif sebesar 0,010 MW dan daya reaktif yaitu sebesar -0,004 MVar.

#### 4.3.6. Rugi-rugi Daya Setelah *Upgrating Transformer* Distribusi

Hasil simulasi rugi-rugi daya setelah *upgrating transformer* distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Setelah *Upgrating*

| Daya/persentase     | Pembangkit | Beban | Rugi-rugi daya |
|---------------------|------------|-------|----------------|
| Daya Aktif (MW)     | 2,651      | 2,616 | 0,03           |
| Daya Reaktif (Mvar) | 1,116      | 0,856 | 0,26           |
| Daya Aktif (%)      | 1,1%       |       |                |
| Daya Reaktif (%)    | 23,3%      |       |                |

Dari Tabel 4.7 terlihat bahwa hasil simulasi rugi-rugi daya setelah *upgrating transformator* distribusi menggunakan metode Newton-Raphson untuk daya aktif sebesar 0,03 MW dan untuk daya reaktif sebesar 0,26 MVar. Sedangkan perbandingan persentase rugi-rugi daya dengan pembangkitan total adalah untuk daya aktif sebesar 1,1 % dan daya reaktif sebesar 23,3%.

#### 4.3.7. Perbandingan Hasil Simulasi Tegangan Sebelum dan Sesudah

##### *Upgrating Transformator Distribusi.*

Perbandingan hasil simulasi tegangan sebelum (kondisi *eksisting*) dan setelah *upgrating transformator* distribusi dengan menggunakan metode Newton-Raphson di setiap bus dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Perbandingan Hasil Simulasi Tegangan Sebelum dan Setelah *Upgrating*

| Bus                    | Sebelum   |            | <i>Upgrating</i> |            |
|------------------------|-----------|------------|------------------|------------|
|                        | V         | Phase      | V                | phase      |
|                        | [p.u.]    | [rad]      | [p.u.]           | [rad]      |
| B -139                 | 0,9072854 | -0,1785483 | 0,9132906        | -0,1842148 |
| B-128                  | 0,9826436 | -0,0203469 | 0,98771          | -0,0263738 |
| B-129                  | 0,9617928 | -0,0706576 | 0,9670255        | -0,0763887 |
| B-130                  | 0,9365754 | -0,12651   | 0,9745461        | -0,0584723 |
| B-131                  | 0,9479947 | -0,1012133 | 0,9533564        | -0,1067574 |
| B-132                  | 0,9745452 | -0,0379797 | 0,9797394        | -0,0443104 |
| B-133 Sulut Boroko     | 0,7311736 | -0,4551394 | 0,9154661        | -0,1824522 |
| B-134                  | 0,951374  | -0,0897263 | 0,9568205        | -0,0960877 |
| B-135 Pelabuhan Boroko | 0,8236496 | -0,3226737 | 0,9263753        | -0,1602095 |
| B-136                  | 0,9525675 | -0,086715  | 0,958013         | -0,0931497 |
| B-137 ULP Bolmut       | 0,5535515 | -0,6697728 | 0,9052385        | -0,2002444 |
| B-138 Boroko Timur     | 0,6382699 | -0,5712131 | 0,9202017        | -0,171264  |
| B-140 Bigo Induk       | 0,6591228 | -0,5456547 | 0,9173813        | -0,1763231 |
| B-Bigo Trans           | 0,8504899 | -0,2783315 | 0,9135779        | -0,1833338 |
| B-Kuala Utara Apotik   | 0,9463071 | -0,0977067 | 0,9519827        | -0,1044131 |
| B-Mohing               | 0,7560677 | -0,4192378 | 0,9120314        | -0,1857917 |
| B-Pasar                | 0,8584712 | -0,265165  | 0,9355064        | -0,1397688 |

|                              |           |            |           |            |
|------------------------------|-----------|------------|-----------|------------|
| B-Perum Pinagut Sisipan      | 0,8476687 | -0,2825426 | 0,9159078 | -0,1785138 |
| B-Telkomsel                  | 0,9181295 | -0,1561633 | 0,9241633 | -0,1622    |
| B-kuala sisipan              | 0,9775286 | -0,0221353 | 0,9829643 | -0,0296862 |
| Bus                          | 0,9819006 | -0,0206159 | 0,9870113 | -0,0268757 |
| Bus GD B-128                 | 0,982644  | -0,020346  | 0,9877104 | -0,0263728 |
| Bus GD B-129                 | 0,9818429 | -0,0206651 | 0,9869543 | -0,0269247 |
| Bus GD B-130                 | 0,9818825 | -0,0206336 | 0,9869937 | -0,0268936 |
| Bus GD B-131                 | 0,9814213 | -0,0207768 | 0,9865607 | -0,0271918 |
| Bus GD B-132                 | 0,9811263 | -0,0208761 | 0,9862841 | -0,0273864 |
| Bus GD B-133                 | 0,980107  | -0,0212023 | 0,9853271 | -0,0280425 |
| Bus GD B-134                 | 0,9792783 | -0,0214697 | 0,984541  | -0,0285835 |
| Bus GD B-135                 | 0,9791428 | -0,0215172 | 0,9844145 | -0,0286706 |
| Bus GD B-136                 | 0,9791088 | -0,0215446 | 0,9843807 | -0,0286978 |
| Bus GD B-137                 | 0,9786727 | -0,0216511 | 0,9839649 | -0,0289894 |
| Bus GD B-139                 | 0,9777208 | -0,0220051 | 0,9831183 | -0,02957   |
| Bus GD B-140                 | 0,9776906 | -0,0220098 | 0,9830901 | -0,0295881 |
| Bus GD B-141                 | 0,9776173 | -0,0220185 | 0,9830203 | -0,0296348 |
| Bus GD B-142                 | 0,9778497 | -0,0219783 | 0,983239  | -0,0294899 |
| Bus GD Bigo Trans            | 0,9773504 | -0,0222253 | 0,9828083 | -0,0297878 |
| Bus GD Mohing                | 0,9768191 | -0,0224049 | 0,982366  | -0,0300777 |
| Bus GD Pasar                 | 0,9773747 | -0,0222225 | 0,982832  | -0,0297848 |
| Bus GD Perum Pinagut sisipan | 0,9769796 | -0,0223527 | 0,9825006 | -0,0299941 |
| Bus GD Telkomsel             | 0,9768354 | -0,0224001 | 0,9823798 | -0,0300697 |
| Bus Kuala Sisipan            | 0,9775286 | -0,0221351 | 0,9829644 | -0,029686  |
| Bus Kuala Utara Apotik       | 0,9773789 | -0,0221974 | 0,9828374 | -0,0297724 |
| Bus-141 Bigo Selatan         | 0,613844  | -0,6000795 | 0,9322054 | -0,1467784 |
| Bus1                         | 0,9818836 | -0,0206326 | 0,9869947 | -0,0268925 |
| Bus10                        | 0,9775286 | -0,0221351 | 0,9829644 | -0,029686  |
| Bus11                        | 0,9769826 | -0,0223512 | 0,9825033 | -0,0299924 |
| Bus12                        | 0,9774136 | -0,0221959 | 0,9828642 | -0,0297545 |
| Bus13                        | 0,9773841 | -0,0222174 | 0,98284   | -0,0297788 |
| Bus2                         | 0,9814217 | -0,0207761 | 0,9865612 | -0,0271911 |
| Bus3                         | 0,9811273 | -0,0208746 | 0,9862851 | -0,027385  |
| Bus4                         | 0,9801129 | -0,0212007 | 0,9853321 | -0,0280395 |
| Bus42                        | 0,9778496 | -0,0219787 | 0,9832389 | -0,0294903 |
| Bus5                         | 0,9792786 | -0,0214693 | 0,9845413 | -0,0285832 |
| Bus6                         | 0,9791633 | -0,0215058 | 0,9844321 | -0,0286577 |
| Bus7                         | 0,9787183 | -0,0216333 | 0,9840064 | -0,028942  |
| Bus8 (GD B-138)              | 0,9781068 | -0,0218722 | 0,9834651 | -0,0293276 |
| Bus9                         | 0,9778496 | -0,0219783 | 0,9832389 | -0,0294898 |
| BusBK 150                    | 1         | 0          | 1         | 0          |

|          |           |            |           |            |
|----------|-----------|------------|-----------|------------|
| BusBK 20 | 0,9827881 | -0,0202941 | 0,9878462 | -0,0262757 |
|----------|-----------|------------|-----------|------------|

Pada Tabel 4.8 terlihat bahwa perbandingan hasil simulasi tegangan dengan menggunakan metode Newton-Raphson sebelum (kondisi *eksisting*) pada tegangan menengah 20 kV yang tertinggi terdapat pada busBK20 sebesar 0,9827881 pu dan setelah *upgrating* adalah sebesar 0,9878462 pu. Sedangkan tegangan terendah sebelum terdapat pada bus GD Mohing sebesar 0,976819pu dan setelah *upgrating* sebesar 0,982366 pu. Hal ini menandakan bahwa tegangan yang ada pada masing-masing bus tegangan menengah 20 kV masih dalam batas standar SPLN yaitu 1.05 pu (+ 5 %) dan 0.90 pu (– 10%).

Perbandingan Hasil simulasi tegangan sebelum (kondisi *eksisting*) pada tegangan rendah 0,4 kV yang tertinggi terdapat pada busB-128 sebesar 0,98264 pu dan setelah *upgrating* adalah sebesar 0,987771 pu. Sedangkan tegangan terendah sebelum terdapat pada bus B-137 ULP Bolmut sebesar 0,55355 pu dan setelah *upgrating* sebesar 0,90524 pu. Hal ini menandakan bahwa tegangan yang ada pada masing-masing bus beban tegangan rendah 0,4 kV masih ada beberapa yang di luar batas standar SPLN yaitu 1.05 pu (+ 5 %) dan 0.90 pu (– 10%) dan setelah di *upgrating transformator* distribusi mengalami kenaikan tegangan sebesar 0,352 pu, dengan persentase kenaikan adalah sebesar 38,9 %.

Terlihat adanya perbandingan yang sangat signifikan. Terdapat 10 bus beban di sisi tegangan rendah 0,4 kV yang sebelumnya memiliki nilai tegangan diluar batas standar dan setelah di lakukan *upgrating* pada *transformator* distribusi maka tegangan mengalami kenaikan, sehingga masih dalam batas standar SPLN. Dengan demikian keseluruhan bus dari hasil simulasi tegangan setelah dilakukan

*upgrating* masih dalam batas standar SPLN yaitu 1.05 pu (+ 5 %) dan 0.90 pu (– 10%).

#### 4.3.8. Hasil Perbandingan Simulasi Aliran Beban Sebelum (kondisi *eksisting*) dan Setelah *Upgrating*

Perbandingan hasil simulasi aliran beban sebelum (kondisi *eksisting*) dan setelah *upgrating transformator* distribusi dengan menggunakan metode Newton-Raphson dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Perbandingan Hasil Simulasi Aliran Beban sebelum dan setelah *upgrating*

| From Bus                     | To Bus                       | Sebelum |        | <i>Upgrating</i> |        |
|------------------------------|------------------------------|---------|--------|------------------|--------|
|                              |                              | P Flow  | Q Flow | P Flow           | Q Flow |
|                              |                              | [MW]    | [MVar] | [MW]             | [MVar] |
| Bus10                        | Bus Kuala Utara Apotik       | 0,451   | 0,308  | 0,479            | 0,200  |
| Bus Kuala Utara Apotik       | Bus11                        | 0,424   | 0,305  | 0,453            | 0,197  |
| Bus11                        | Bus GD Perum Pinagut sisipan | 0,110   | 0,063  | 0,109            | 0,047  |
| Bus                          | Bus1                         | 0,121   | 0,024  | 0,121            | 0,021  |
| Bus11                        | Bus GD Telkomsel             | 0,314   | 0,249  | 0,343            | 0,158  |
| Bus GD Telkomsel             | Bus GD Mohing                | 0,298   | 0,250  | 0,328            | 0,159  |
| Bus1                         | Bus GD B-129                 | 0,096   | 0,029  | 0,096            | 0,029  |
| Bus2                         | Bus GD B-131                 | 0,010   | -0,004 | 0,010            | -0,004 |
| Bus GD B-136                 | B-136                        | 0,062   | 0,025  | 0,062            | 0,025  |
| Bus GD B-137                 | B-137                        | 0,352   | 0,508  | 0,702            | 0,372  |
| Bus8 (GD B-138)              | B-138                        | 0,087   | 0,102  | 0,131            | 0,065  |
| Bus GD B-139                 | B -139                       | 0,035   | 0,018  | 0,035            | 0,018  |
| Bus GD B-140                 | B-140                        | 0,171   | 0,190  | 0,243            | 0,122  |
| Bus GD B-141                 | Bus-141                      | 0,087   | 0,109  | 0,143            | 0,066  |
| Bus Kuala Utara Apotik       | B-Kuala Utara Apotik         | 0,027   | 0,011  | 0,027            | 0,011  |
| Bus GD Perum Pinagut sisipan | B-Perum Pinagut Sisipan      | 0,110   | 0,072  | 0,109            | 0,055  |
| Bus GD Telkomsel             | B-Telkomsel                  | 0,015   | 0,007  | 0,015            | 0,007  |
| Bus GD Mohing                | B-Mohing                     | 0,298   | 0,258  | 0,328            | 0,167  |
| Bus GD Bigo Trans            | B-Bigo Trans                 | 0,326   | 0,210  | 0,324            | 0,165  |
| Bus GD Pasar                 | B-Pasar                      | 0,052   | 0,033  | 0,052            | 0,023  |
| Bus GD B-129                 | B-129                        | 0,096   | 0,037  | 0,096            | 0,037  |

|                 |                   |       |        |       |        |
|-----------------|-------------------|-------|--------|-------|--------|
| Bus GD B-130    | B-130             | 0,025 | 0,011  | 0,025 | 0,009  |
| Bus GD B-131    | B-131             | 0,010 | 0,004  | 0,010 | 0,004  |
| Bus GD B-132    | B-132             | 0,013 | 0,005  | 0,013 | 0,005  |
| Bus GD B-133    | B-133             | 0,158 | 0,147  | 0,185 | 0,094  |
| Bus GD B-134    | B-134             | 0,016 | 0,007  | 0,016 | 0,007  |
| Bus GD B-135    | B-135             | 0,124 | 0,088  | 0,123 | 0,059  |
| BusBK 20        | Bus GD B-128      | 2,073 | 1,568  | 2,647 | 1,034  |
| Bus3            | Bus4              | 1,926 | 1,581  | 2,500 | 1,050  |
| Bus4            | Bus GD B-133      | 0,158 | 0,139  | 0,185 | 0,086  |
| Bus4            | Bus5              | 1,767 | 1,448  | 2,313 | 0,969  |
| Bus5            | Bus GD B-134      | 0,016 | -0,002 | 0,016 | -0,002 |
| Bus5            | Bus6              | 1,749 | 1,456  | 2,296 | 0,977  |
| Bus6            | Bus GD B-135      | 0,186 | 0,097  | 0,185 | 0,067  |
| Bus GD B-135    | Bus GD B-136      | 0,062 | 0,017  | 0,062 | 0,017  |
| Bus6            | Bus7              | 1,563 | 1,367  | 2,111 | 0,918  |
| Bus7            | Bus GD B-137      | 0,352 | 0,500  | 0,702 | 0,364  |
| Bus7            | Bus8 (GD B-138)   | 1,210 | 0,874  | 1,409 | 0,561  |
| Bus GD B-128    | Bus               | 2,073 | 1,576  | 2,647 | 1,042  |
| Bus8 (GD B-138) | Bus9              | 1,123 | 0,780  | 1,277 | 0,504  |
| Bus9            | Bus GD B-139      | 0,294 | 0,293  | 0,421 | 0,181  |
| Bus GD B-139    | Bus GD B-140      | 0,258 | 0,283  | 0,386 | 0,171  |
| Bus GD B-140    | Bus GD B-141      | 0,087 | 0,101  | 0,143 | 0,058  |
| Bus9            | Bus10             | 0,829 | 0,502  | 0,855 | 0,339  |
| Bus10           | Bus12             | 0,378 | 0,211  | 0,376 | 0,155  |
| Bus12           | Bus GD Bigo Trans | 0,326 | 0,202  | 0,324 | 0,156  |
| Bus12           | Bus13             | 0,052 | 0,016  | 0,052 | 0,007  |
| Bus13           | Bus GD Pasar      | 0,052 | 0,024  | 0,052 | 0,015  |
| Bus1            | Bus GD B-130      | 0,025 | 0,003  | 0,025 | 0,001  |
| Bus             | Bus2              | 1,950 | 1,558  | 2,524 | 1,027  |
| Bus2            | Bus3              | 1,940 | 1,570  | 2,514 | 1,039  |
| Bus3            | Bus GD B-132      | 0,013 | -0,004 | 0,013 | -0,004 |

Pada Tabel 4.9 terlihat bahwa perbandingan hasil simulasi aliran beban dengan menggunakan metode Newton-Raphson sebelum (kondisi *eksisting*) yang tertinggi terdapat pada bus BK 20 kV menuju bus GD B-128 yaitu daya aktif sebesar 2,1 MW dan setelah *upgrating transformator* distribusi adalah sebesar

2,647 MW. Sedangkan daya reaktif sebelum (kondisi *eksisting*) sebesar 1,45 MVar dan setelah *upgrating* adalah sebesar 1,034 MVar.

Terlihat juga perbandingan hasil simulasi aliran beban dengan menggunakan metode Newton-Raphson sebelum (kondisi *eksisting*) yang terendah sebelum (kondisi *eksisting*) terdapat pada bus 2 menuju GD B-131 yaitu daya aktif sebesar 0,010 MW dan setelah di *upgrating transformator* distribusi adalah sebesar 0,010 MW. Sedangkan daya reaktif sebelum (kondisi *eksisting*) yaitu sebesar -0,004 MVar dan setelah di *upgrating* adalah sebesar -0,004 MVar. Hal ini terlihat bahwa untuk aliran daya terendah tidak terdapat perubahan aliran beban yang signifikan antara sebelum dan setelah *upgrating transformator* distribusi.

#### 4.3.9. Perbandingan Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Sebelum dan Setelah

##### *Upgrating*

Perbandingan Hasil simulasi rugi-rugi daya sebelum dan setelah *upgrating transformator* distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Perbandingan Hasil Simulasi rugi-rugi daya sebelum dan setelah *upgrating*

| Daya/persentase     | Rugi-rugi Daya |                  |
|---------------------|----------------|------------------|
|                     | Sebelum        | <i>Upgrating</i> |
| Daya Aktif (MW)     | 0,07           | 0,03             |
| Daya Reaktif (Mvar) | 0,98           | 0,26             |
| Daya Aktif (%)      | 3,4%           | 1,1%             |
| Daya Reaktif (%)    | 59,8%          | 23,3%            |

Dari Tabel 4.10 terlihat bahwa perbandingan hasil simulasi rugi-rugi daya sebelum (kondisi *eksisting*) untuk daya aktif adalah sebesar 0,07 MW dan setelah di *upgrating transformator* distribusi adalah sebesar 0,03 MW. Sedangkan untuk

daya reaktif sebelum (kondisi *eksisting*) adalah sebesar 0,98 Mvar dan setelah di *upgrating* adalah sebesar 0,26 Mvar. Persentase rugi-rugi daya aktif sebelum (kondisi *eksisting*) adalah 3,4 % dan setelah di *upgrating transformator* distribusi adalah 1,1%. Sedangkan persentase untuk daya reaktif sebelum adalah 59,8% dan setelah di *upgrating* yaitu 23,3%.

Hal ini dapat kita lihat bahwa terjadi penurunan rugi-rugi daya aktif dari yang sebelum dan setelah *upgrating transformator* distribusi adalah sebesar 2,3%, dan untuk daya reaktif adalah sebesar 36,5%. Sehingga untuk rugi-rugi daya aktif maupun daya reaktif dapat diminimalisir setelah dilakukan *upgrating* pada *transformator* distribusi. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan beban konsumen tidak sesuai dengan pembebanan pada *transformator* distribusi yang terpasang sebelumnya, sehingga *transformator* mengalami *overload*.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

1. Letak drop tegangan tertinggi ada pada tegangan rendah 0,4 kV yaitu pada bus beban Kantor ULP Boroko dengan nilai tegangannya adalah 0,55355 pu yang berada diluar batas standar SPLN. Hal ini disebabkan oleh pembebanan trafo yang tidak mampu lagi menanggung beban konsumen.
2. Setelah dilakukan *upgrating* pada *transformator* distribusi bahwa tegangan yang ada pada sisi tegangan rendah 0,4 kV semua bus mengalami kenaikan tegangan dan masih berada dalam standar SPLN yaitu 1.05 pu (+ 5 %) dan 0.90 pu (– 10%)
3. Rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif dari sebelum (kondisi *eksisting*) dan setelah dilakukan *upgrating* telah mengalami penurunan dengan persentase penurunan daya aktif adalah sebesar 2,3% dan daya reaktif adalah sebesar 3,4%.

#### 5.2. Saran

Dengan penelitian ini maka disarankan agar dapat melanjutkan penelitian tentang analisis peningkatan beban terhadap pengembangan sistem GI Boroko khususnya untuk Penyulang BK.02. Sehingga perencanaan sistem kelistrikan di Boroko dapat direncanakan dengan baik dan handal serta tidak akan terjadi lagi permasalahan berupa drop tegangan yang mengakibatkan peralatan-peralatan

elektronik tidak akan berfungsi dengan baik serta akan adanya pemadaman listrik secara bergilir.

## DAFTAR PUSTAKA

PLN. 2010. *Buku 1 Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan Disrtibusi Tenaga Lisrik*. Jakarta: PT. PLN (Persero)

Latuperissa. Hamles, Muskita. Halamoan, Leihitu. Critter. 2018. *Analisis Kerugian Tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 308/220 Volt Gardu Distribusi Politeknik Negeri Ambon*. Politeknik Negeri Ambon. Jurnal SIMETRIK. Vol. 8, No.1. Ambon.

Suprianto, 2018. *Analisis Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 kV. PT.PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu*. Politeknik Negeri Medan. Journal of Electrical Engineering. Vol. 3, No.2. Medan.

Thalib Bini. Tadjudin, A. Nuruh. Maajidah, Anugrah Trisaka. Putra, 2015. *Analisis Tegangan Jatuh pada Jaringan Tegangan Rendah. PT.PLN (Persero) Rayon Takalar*. Politeknik Negeri Ujung Pandang. ELETRIKA. No.1. Makassar.

Arif. Kurniawan, 2017. *Analisis Jatuh Tegangan dan Penanganan pada Jaringan Distribusi 20 kV Rayon Palur PT. PLN (Persero) Menggunakan ETAP 12.6*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Tugas Akhir. Surakarta.

Rahmat. Akbar, 2016. *Analisis Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi Primer 20 kV pada Penyulang Indrapuri (Studi Kasus pada PT. PLN (Persero) Rayon Lamboro)*. Universitas Syiah Kuala. Tugas Akhir. Banda Aceh.

D. Peukasa, 2014. *Analisis Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi 20 kV pada Feeder Syiah Kuala PT. PLN (Persero) UPT Tragi Banda Aceh*. Skripsi. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.

Zuhal. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Saadat, H. 1999. *Power Sistem Analysis*. Milwaukee school of engineering: WCB/McGraw-Hill.

Turan, G. 1986. *Electric Power Distribution Sistem Engineering*. Colombia: McGraw-Hill. Book Company.

Basri, Hasan. 1997. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta: penerbit istn.

Data PLN ULP Boroko, 2019

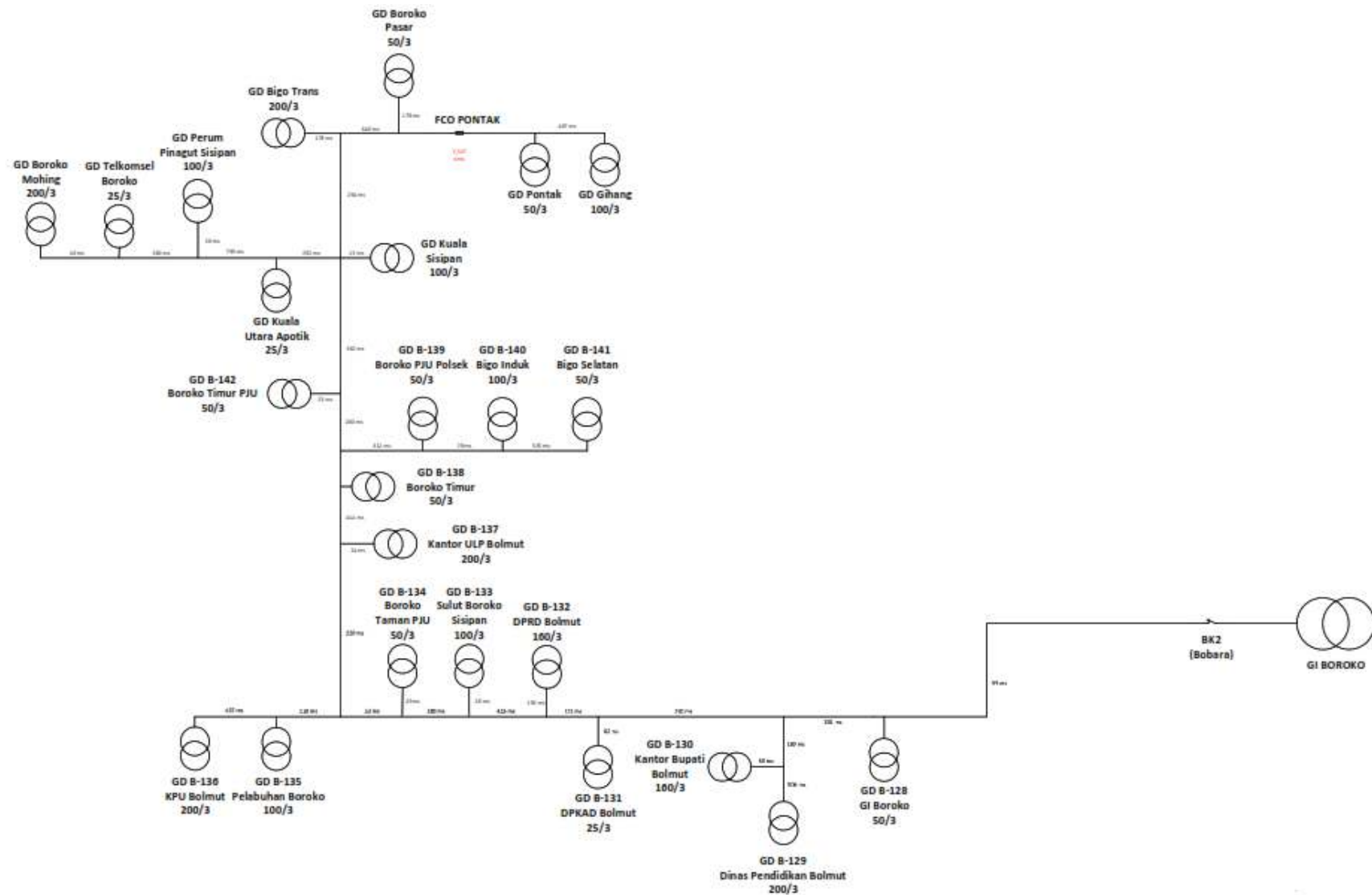
## LAMPIRAN-LAMPIRAN

## Lampiran 1

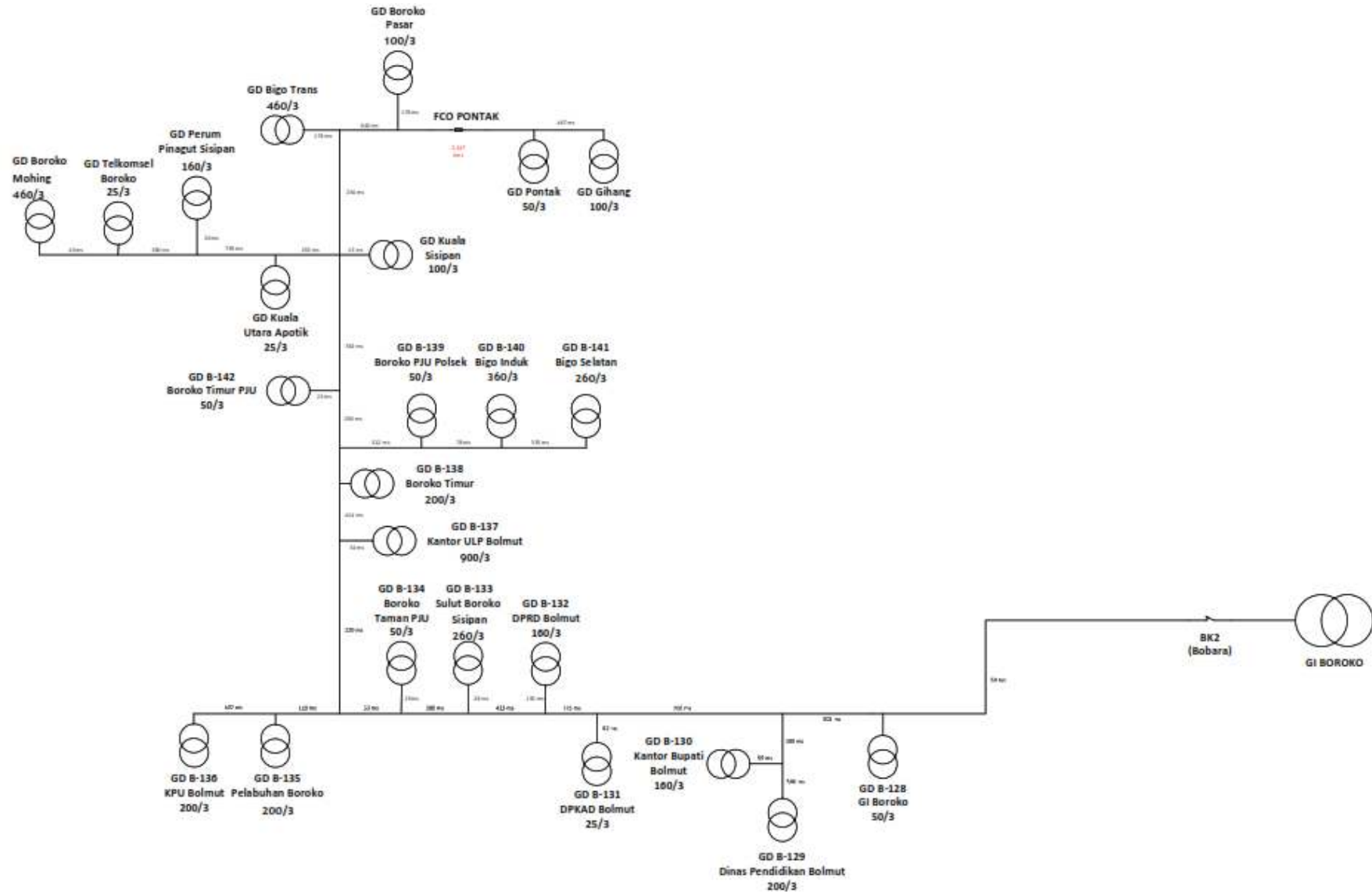
Dokumentasi mengantar surat permohonan penelitian dan permintaan data pada ULP Bolmut di Boroko



Lampiran L.3.1 *Single Line Diagram* kondisi eksisting



Lampiran L.3.2 *Single Line Diagram* kondisi *upgrating*



### Lampiran L.3.3. Data *nameplate transformer* pada Gardu Induk Boroko

#### UNINDO

|                                               |
|-----------------------------------------------|
| THREE PHASE TRANSFORMER No P020LEC538         |
| YEAR OF MANUFACTURE 2008                      |
| WITH 18 POSITIONS ON LOAD TAP CHANGER         |
| RATED POWER 14/20 MVA - FREQUENCY 50 Hz       |
| OUTDOOR TYPE - CONTINUOUS SERVICE             |
| TEMPERATURE RISE : OIL 50° C - WINDINGS 55° C |
| COOLING ONAN / ONAF                           |

|                                | HIGH VOLTAGE | LOW VOLTAGE | TERTIARY VOLTAGE |
|--------------------------------|--------------|-------------|------------------|
| RATED POWER in MVA (ONAN/ONAF) | 14/20        | 14/20       | -                |
| RATED VOLTAGE in kV            | 150          | 20          | 10               |
| RATED CURRENT (ONAN/ONAF)      | 53,9/77,0    | 404,1/577,4 | -                |
| CONNECTION                     | STAR         | STAR        | DELTA            |
| LINE IN                        | 1U 1V 1W     | 2U 2V 2W    | 3W 3W            |
| NEUTRAL IN                     | 1N           | 2N          | -                |

|                  | RATED LIGHTNING IMPULSE<br>WITHSTAND VOLTAGE 1.2/50µs<br>(kV) |              | RATED POWER FREQUENCY<br>WITHSTAND VOLTAGE<br>(kV) |              |
|------------------|---------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------|--------------|
| WINDINGS         | LINE SIDE                                                     | NEUTRAL SIDE | LINE SIDE                                          | NEUTRAL SIDE |
| HIGH VOLTAGE     | 650                                                           | 95           | 275                                                | 38           |
| LOW VOLTAGE      | 125                                                           | 125          | 50                                                 | 50           |
| TERTIARY VOLTAGE | 75                                                            | -            | 28                                                 | -            |

| POSITION<br>OF<br>OLTC | HIGH VOLTAGE               |                        |      | LOW VOLTAGE              |                      |       | RATED<br>POWER<br>(MVA) |      |
|------------------------|----------------------------|------------------------|------|--------------------------|----------------------|-------|-------------------------|------|
|                        | TAPPING<br>VOLTAGE<br>(kV) | TAPPING CURRENT<br>(A) |      | RATED<br>VOLTAGE<br>(kV) | RATED CURRENT<br>(A) |       |                         |      |
|                        |                            | ONAN                   | ONAF |                          | ONAN                 | ONAF  | ONAN                    | ONAF |
| 1                      | 165.750                    | 48.8                   | 69.7 | 20.000                   | 404.1                | 577.4 | 14                      | 20   |
| 2                      | 163.500                    | 49.4                   | 70.6 |                          |                      |       |                         |      |
| 3                      | 161.250                    | 50.1                   | 71.6 |                          |                      |       |                         |      |
| 4                      | 159.000                    | 50.8                   | 72.6 |                          |                      |       |                         |      |
| 5                      | 156.750                    | 51.6                   | 73.7 |                          |                      |       |                         |      |
| 6                      | 154.500                    | 52.3                   | 74.7 |                          |                      |       |                         |      |
| 7                      | 152.250                    | 53.1                   | 75.8 |                          |                      |       |                         |      |
| 8                      | 150.000                    | 53.9                   | 77.0 |                          |                      |       |                         |      |
| 9                      | 147.750                    | 54.7                   | 78.2 |                          |                      |       |                         |      |
| 10                     | 145.500                    | 55.6                   | 79.4 |                          |                      |       |                         |      |
| 11                     | 143.250                    | 56.4                   | 80.6 |                          |                      |       |                         |      |
| 12                     | 141.000                    | 57.3                   | 81.9 |                          |                      |       |                         |      |
| 13                     | 138.750                    | 58.3                   | 83.2 |                          |                      |       |                         |      |
| 14                     | 136.500                    | 59.2                   | 84.6 |                          |                      |       |                         |      |
| 15                     | 134.250                    | 60.2                   | 86.0 |                          |                      |       |                         |      |
| 16                     | 132.000                    | 61.2                   | 87.5 |                          |                      |       |                         |      |
| 17                     | 129.750                    | 62.3                   | 89.0 |                          |                      |       |                         |      |
| 18                     | 127.500                    | 63.4                   | 90.6 |                          |                      |       |                         |      |

| CURRENT TRANSFORMER |                |       |         |             |
|---------------------|----------------|-------|---------|-------------|
| DESIGNATION         | RATED POWER VA | CLASS | RATIO   | PURPOSE     |
| CT01                | 15             | 3     | 700/5 A | MEASUREMENT |

|                               |                           |              |
|-------------------------------|---------------------------|--------------|
| HV/LV SHORT CIRCUIT IMPEDANCE | POSITION 8 BASE ON 20 MVA | 12.04        |
| TYPE OF MINERAL OIL           |                           | UN-INHIBITED |

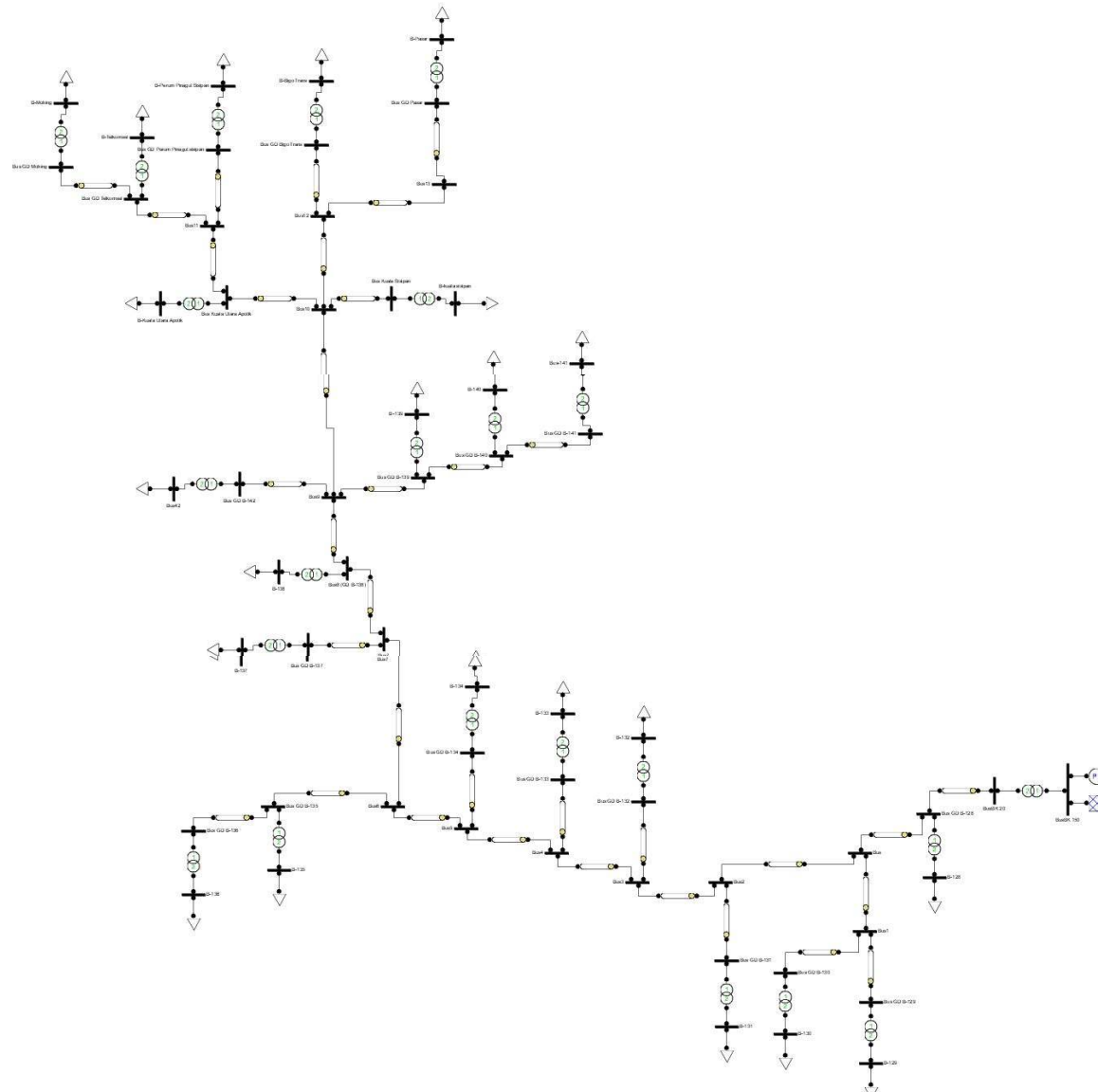
### Lampiran L.3.4. Data Penghantar

| No | Dari ke -      |                  | Jenis | Ukuran (mm2) | Impedansi |       | Jarak (km) | Tegangan (kV) | Kuat Hantar Arus (kA) | S dasar (MVA) | Z dasar (ohm) | R       |         | X       |         |
|----|----------------|------------------|-------|--------------|-----------|-------|------------|---------------|-----------------------|---------------|---------------|---------|---------|---------|---------|
|    |                |                  |       |              | R         | jX    |            |               |                       |               |               | ohm     | pu      | ohm     | pu      |
| 1  | GI BK          | GD B-128         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 059      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 01274 | 0 00027 | 0 01953 | 0 00041 |
| 2  | GD B-128       | bus              | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 301      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 06502 | 0 00138 | 0 09963 | 0 00212 |
| 3  | bus            | bus 1            | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 189      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 04082 | 0 00087 | 0 06256 | 0 00133 |
| 4  | bus 1          | GD B-130         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 059      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 01274 | 0 00027 | 0 01953 | 0 00041 |
| 5  | GD B-130       | GD B-129         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 506      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 10930 | 0 00232 | 0 16749 | 0 00356 |
| 6  | bus            | bus 2            | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 2        | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 04320 | 0 00092 | 0 06620 | 0 00141 |
| 7  | bus 2          | GD B-131         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 082      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 01771 | 0 00038 | 0 02714 | 0 00058 |
| 8  | bus 2          | bus 3            | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 123      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 02657 | 0 00056 | 0 04071 | 0 00087 |
| 9  | bus 3          | GD B-132         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 13       | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 02808 | 0 00060 | 0 04303 | 0 00091 |
| 10 | bus 3          | bus 4            | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 423      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 09137 | 0 00194 | 0 14001 | 0 00298 |
| 11 | bus 4          | GD B-133         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 028      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 00605 | 0 00013 | 0 00927 | 0 00020 |
| 12 | bus 4          | bus 5            | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 38       | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 08208 | 0 00174 | 0 12578 | 0 00267 |
| 13 | bus 5          | GD B-134         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 029      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 00626 | 0 00013 | 0 00960 | 0 00020 |
| 14 | bus 5          | bus 6            | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 053      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 01145 | 0 00024 | 0 01754 | 0 00037 |
| 15 | bus 6          | GD B-135         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 11       | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 02376 | 0 00050 | 0 03641 | 0 00077 |
| 16 | GD B-135       | GD B-136         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 657      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 14191 | 0 00302 | 0 21747 | 0 00462 |
| 17 | bus 6          | bus 7            | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 22       | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 04752 | 0 00101 | 0 07282 | 0 00155 |
| 18 | bus 7          | GB B-137         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 034      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 00734 | 0 00016 | 0 01125 | 0 00024 |
| 19 | bus 7          | bus 8 (GD B-138) | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 434      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 09374 | 0 00199 | 0 14365 | 0 00305 |
| 20 | bus 9          | GD B-139         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 312      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 06739 | 0 00143 | 0 10327 | 0 00219 |
| 21 | GD B-139       | GD B-140         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 078      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 01685 | 0 00036 | 0 02582 | 0 00055 |
| 22 | GD B-140       | GD B-141         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 535      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 11556 | 0 00246 | 0 17709 | 0 00376 |
| 23 | bus 8          | bus 9            | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 2        | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 04320 | 0 00092 | 0 06620 | 0 00141 |
| 24 | bus 9          | GD B-142         | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 023      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 00497 | 0 00011 | 0 00761 | 0 00016 |
| 25 | bus 9          | bus 10           | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 362      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 07819 | 0 00166 | 0 11982 | 0 00255 |
| 26 | bus 10         | GD Kuala Sisipan | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 015      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 00324 | 0 00007 | 0 00497 | 0 00011 |
| 27 | bus 10         | GD Kuala Utara   | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 292      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 06307 | 0 00134 | 0 09665 | 0 00205 |
| 28 | GD Kuala Utara | bus 11           | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 799      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 17258 | 0 00367 | 0 26447 | 0 00562 |
| 29 | bus 11         | GD Perum Pinagut | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 026      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 00562 | 0 00012 | 0 00861 | 0 00018 |
| 30 | bus 11         | GD Telkomsel     | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 38       | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 08208 | 0 00174 | 0 12578 | 0 00267 |
| 31 | GD Telkomsel   | GD Boroko Mohing | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 043      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 00929 | 0 00020 | 0 01423 | 0 00030 |
| 32 | bus 10         | bus 12           | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 294      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 06350 | 0 00135 | 0 09731 | 0 00207 |
| 33 | bus 12         | GD bigo Trans    | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 178      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 03845 | 0 00082 | 0 05892 | 0 00125 |
| 34 | bus 12         | bus 13           | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 64       | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 13824 | 0 00294 | 0 21184 | 0 00450 |
| 35 | bus 13         | GD Boroko Pasar  | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 178      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 03845 | 0 00082 | 0 05892 | 0 00125 |
| 36 | bus 13         | FCO (GD Pontak)  | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 2 347      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 50695 | 0 01077 | 0 77686 | 0 01651 |
| 37 | GD Pontak      | GD Gihang        | A3C   | 150          | 0 216     | 0 331 | 0 467      | 20            | 0 425                 | 8 5           | 47 059        | 0 10087 | 0 00214 | 0 15458 | 0 00328 |

## DATA PENGUKURAN GARDU ULP BOLMUT

| No. Gardu | Nama / Lokasi           | Merk Trafo  | Konstruksi Gardu | Daya (kVA) | Jlh Fasa | Beban (A) |     |     |     |
|-----------|-------------------------|-------------|------------------|------------|----------|-----------|-----|-----|-----|
|           |                         |             |                  |            |          | R         | S   | T   | N   |
| B-129     | Dinas Pendidikan Bolmut | STARLITE    | PORTAL           | 200        | 3        | 49        | 56  | 40  | 36  |
| B-130     | Kantor Bupati Bolmut    | KALTRA      | PORTAL           | 160        | 3        | 13        | 9   | 17  | 11  |
| B-131     | DPKAD Bolmut            | SINTRA      | CANTOL           | 25         | 3        | 5         | 7   | 2   | 3   |
| B-132     | DPRD Bolmut             | STARLITE    | CANTOL           | 160        | 3        | 4         | 3   | 14  | 8   |
| B-133     | Sulut Boroko Sisipan    | KALLA TRAFO | PORTAL           | 100        | 3        | 75        | 100 | 104 | 51  |
| B-134     | Boroko Taman PJU        | KALLA TRAFO | CANTOL           | 50         | 3        | 10        | 9   | 5   | 5   |
| B-135     | Pelabuhan Boroko        | SINTRA      | PORTAL           | 100        | 3        | 50        | 57  | 78  | 58  |
| B-136     | KPU Bolmut              | SINTRA      | PORTAL           | 200        | 3        | 34        | 7   | 53  | 55  |
| B-137     | Kantor ULP Bolmut       | SINTRA      | PORTAL           | 200        | 3        | 392       | 326 | 337 | 113 |
| B-138     | Boroko Timur (Agil)     | SINTRA      | CANTOL           | 50         | 3        | 99        | 38  | 61  | 54  |
| B-139     | Boroko PJU Polsek       | KALLA TRAFO | CANTOL           | 50         | 3        | 20        | 12  | 20  | 13  |
| B-140     | Bigo Induk              | VOLTRA      | PORTAL           | 100        | 3        | 120       | 117 | 130 | 83  |
| B-141     | Bigo Selatan            | SINTRA      | PORTAL           | 50         | 3        | 54        | 74  | 88  | 79  |
| B-143     | Kuala Utara Apotik      | TRAFINDO    | CANTOL           | 25         | 3        | 30        | 5   | 5   | 24  |
| B-145     | Perum Pinagut Sisipan   | KALLA TRAFO | PORTAL           | 100        | 3        | 67        | 40  | 58  | 33  |
| B-146     | Telkomsel Boroko        | TRAFINDO    | CANTOL           | 25         | 3        | 5         | 7   | 11  | 5   |
| B-147     | Boroko Mohing           | TRAFINDO    | PORTAL           | 200        | 3        | 216       | 126 | 152 | 106 |
| B-148     | Kuala Sisipan           | KALLA TRAFO | PORTAL           | 100        | 3        | 112       | 88  | 88  | 62  |
| B-149     | Bigo Trans              | SINTRA      | PORTAL           | 200        | 3        | 187       | 151 | 150 | 84  |
| B-150     | Boroko Pasar            | SINTRA      | CANTOL           | 50         | 3        | 16        | 14  | 48  | 38  |
| B-151     | Pontak                  | B&D         | PORTAL           | 50         | 3        | 65        | 45  | 50  | 31  |
| B-152     | Gihang                  | SINTRA      | PORTAL           | 100        | 3        | 88        | 78  | 102 | 67  |

Lampiran L.4.1 Gambar Pemodelan Penyulang BK.02



## ABSTRACT

**HAFID AKBAR PANGERAN, T2118046. VOLTAGE DROP ANALYSIS OF 20KV DISTRIBUTION NETWORK AT THE BOROKO FEEDER BK.02 BOROKO SUBSTATION (GI)**

*The construction of new government buildings ideally requires electricity services, so that the demand for electrical energy will increase. The need for electrical energy in an area will have an impact on distribution. It is due to the far distance between consumers and the generators and the increasing demand for electrical energy. Based on that, it requires an analysis of the value of the voltage drop on the feeder with a long distribution network and a large load. The purpose of this study is to analyze the voltage drop on the BK.02 feeder supplied from the Boroko GI and determine the occurrence points of the voltage drop in accord with the SPLN standard with a determined nominal voltage. The analysis used in this study is an analysis of the results obtained from field data modeled by using the PSAT software integrated with the MATLAB program using the Newton-Raphson method. The results of this study indicate that there is the highest voltage drop on the low-voltage side of 0.4 kV which is not within the SPLN standard limits, namely 1.05 pu ( $\pm 5\%$ ) and 0.90 pu ( $-10\%$ ). For this reason, an upgrade is carried out on the distribution transformer experiencing a voltage drop. It then provides an increase in voltage on all buses. After upgrading, all bus voltages are within the standard SPLN limits and can minimize electrical power losses.*

**Keywords:** *SPLN, PSAT-MATLAB, Newton-Raphson, Voltage Drop*



## ABSTRAK

### **HAFID AKBAR PANGERAN. T2118046. ANALISIS JATUH TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PADA PENYULANG BOROKO BK.02 GARDU INDUK (GI) BOROKO**

Pembangunan gedung-gedung pemerintahan yang baru sudah pasti membutuhkan pelayanan akan energi listrik, sehingga kebutuhan akan energi listrik meningkat. Kebutuhan akan energi listrik pada suatu daerah akan memberikan dampak dari segi penyalurannya, Hal ini disebabkan oleh jarak konsumen terhadap pembangkit cukup jauh serta permintaan akan energi listrik semakin meningkat. Untuk itu perlu suatu analisis tentang nilai jatuh tegangan pada penyulang yang jaringan distribusinya panjang dan memiliki beban yang besar. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa besar jatuh tegangan pada penyulang BK.02 yang disuplai dari GI Boroko dan menentukan titik terjadinya jatuh tegangan sesuai standar SPLN yang telah ditentukan dari tegangan nominalnya. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini berupa analisis hasil yang didapat dari data lapangan yang kemudian dimodelkan dengan menggunakan bantuan software PSAT yang terintegrasi dengan program MATLAB menggunakan metode Newton-Raphson. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat drop tegangan terbesar pada sisi tegangan rendah 0,4 kV yang tidak dalam batas standar SPLN yaitu 1.05 pu (+ 5 %) dan 0.90 pu (-10%). Untuk itu dilakukan *upgrating* pada *transformator* distribusi yang mengalami drop tegangan, sehingga memberikan kenaikan tegangan pada semua bus. Setelah dilakukan *upgrating* maka semua tegangan bus masuk dalam batas standar SPLN dan dapat meminimalisir rugi-rugi daya listrik.

Kata kunci : SPLN, PSAT-MATLAB, Newton-Raphson, jatuh tegangan





SKRIPSI\_1\_T2118046\_HAFID AKBAR PANGERAN.docx

Nov 27, 2021

9531 words / 55937 characters

T2118046 HAFID AKBAR PANGERAN

## ANALISIS JATUH TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PA

### Sources Overview

7%

OVERALL SIMILARITY

|    |                                                                                                                         |     |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1  | www.scribd.com                                                                                                          | 2%  |
|    | INTERNET                                                                                                                |     |
| 2  | pustaka.unimal.ac.id                                                                                                    | 2%  |
|    | INTERNET                                                                                                                |     |
| 3  | iryadi97.blogspot.com                                                                                                   | <1% |
|    | INTERNET                                                                                                                |     |
| 4  | repository.uin-suska.ac.id                                                                                              | <1% |
|    | INTERNET                                                                                                                |     |
| 5  | id.scribd.com                                                                                                           | <1% |
|    | INTERNET                                                                                                                |     |
| 6  | etd.unsyiah.ac.id                                                                                                       | <1% |
|    | INTERNET                                                                                                                |     |
| 7  | es.scribd.com                                                                                                           | <1% |
|    | INTERNET                                                                                                                |     |
| 8  | adoc.pub                                                                                                                | <1% |
|    | INTERNET                                                                                                                |     |
| 9  | text-id.123dok.com                                                                                                      | <1% |
|    | INTERNET                                                                                                                |     |
| 10 | library.walisongo.ac.id                                                                                                 | <1% |
|    | INTERNET                                                                                                                |     |
| 11 | Hamles Leonardo Latupeirissa, Halomon Muskita, Critter Leihiu. 'ANALISIS KERUGIAN TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN RE... | <1% |
|    | CROSSREF                                                                                                                |     |

#### Excluded search repositories:

Submitted Works

#### Excluded from document:

Small Matches (less than 25 words)

#### Excluded sources:

None



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN  
UNIVERSITAS ICHSAN  
(UNISAN) GORONTALO**

SURAT KEPUTUSAN MENDIKNAS RI NOMOR 84/D/O/2001  
Jl. Achmad Nadjamuddin No. 17 Telp (0435) 829975 Fax (0435) 829976 Gorontalo

**SURAT REKOMENDASI BEBAS PLAGIASI**

No. 0992/UNISAN-G/S-BP/XI/2021

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sunarto Taliki, M.Kom  
NIDN : 0906058301  
Unit Kerja : Pustikom, Universitas Ichsan Gorontalo

Dengan ini Menyatakan bahwa :

Nama Mahasisw : HAFID AKBAR PANGERAN  
NIM : T2118046  
Program Studi : Teknik Elektro (S1)  
Fakultas : Fakultas Teknik  
Judul Skripsi : ANALISIS JATUH TEGANGAN JARINGAN  
DISTRIBUSI 20KV PADA PENYULANG BOROKO BK  
02 GARDU INDUK (GI) BOROKO

Sesuai dengan hasil pengecekan tingkat kemiripan skripsi melalui aplikasi Turnitin untuk judul skripsi di atas diperoleh hasil Similarity sebesar 7%, berdasarkan SK Rektor No. 237/UNISAN-G/SK/IX/2019 tentang Panduan Pencegahan dan Penanggulangan Plagiarisme, bahwa batas kemiripan skripsi maksimal 35% dan sesuai dengan Surat Pernyataan dari kedua Pembimbing yang bersangkutan menyatakan bahwa isi softcopy skripsi yang diolah di Turnitin SAMA ISINYA dengan Skripsi Aslinya serta format penulisannya sudah sesuai dengan Buku Panduan Penulisan Skripsi, untuk itu skripsi tersebut di atas dinyatakan BEBAS PLAGIASI dan layak untuk diujikan.

Demikian surat rekomendasi ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Gorontalo, 30 November 2021

Tim Verifikasi,



**Sunarto Taliki, M.Kom**  
NIDN. 0906058301

Tembusan :

1. Dekan
2. Ketua Program Studi
3. Pembimbing I dan Pembimbing II
4. Yang bersangkutan
5. Arsip

**BIODATA CALON WISUDAWAN  
UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO**

**Nama : Hafid Akbar Pangeran**

**NIM : T21.18.046**

**Jenis Kelamin : Laki-laki**

**Tempat Tgl Lahir : Dalapuli, 05 Mei 1989**

**Pekerjaan : PNS**

**Agama : Islam**

**Suku Bangsa : Gorontalo**

**Alamat : Desa Dalapuli Barat**

**Fakultas : Teknik**

**Program Studi : Elektro**

**Jenjang Pendidikan : S1**

**No. HP : 085256771664**

**IPK : -**

**Tanggal Yudisium : 11 Desember 2021**

**Ukuran Togam : M**

**Email : hafitakbarpangeran@gmail.com**

**Judul Skripsi : Analisis Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi 20 KV Pada  
Penyulang Boroko BK. 02 Gardu Induk (GI) Boroko**

