

**LAPORAN PENELITIAN**  
**PENGEMBANGAN IPTEK**  
**DANA PNBP TAHUN ANGGARAN 2012**



**ANALISIS ALIRAN DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK 150 kV**  
**GORONTALO MENGGUNAKAN METODE NEWTON RHAPSON**

**Ervan Hasan Harun, ST.,MT**  
**Taufiq Ismail Yusuf, ST.,M.Si**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO**

**Oktober 2012**

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis aliran daya pada Sistem Tenaga Listrik 150 kV Gorontalo dalam kondisi normal. Permasalahan penelitian ini dibatasi pada penentuan tegangan, arus, daya aktif dan daya reaktif pada berbagai titik/bus dan saluran.

Metode pendekatan aliran daya yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode Newton-Rhapson dengan faktor ketelitian 0,0001 melalui simulasi dengan bantuan *software* ETAP 4.0 (*Electrical Transient Analyzer Program*). Simulasi dilakukan pada tiga skenario pembebanan yakni: 1) beban 46%; 2) beban 60%; dan 3) beban 90%. Ketiga skenario disimulasi pada dua kondisi operasi sistem yakni saat sistem Gorontalo *isolated* dan saat sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem Minahasa.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa bus dengan kondisi tegangan normal untuk ketiga skenario saat *isolated* rata-rata 37,5%. Terjadi peningkatan jumlah bus dengan kondisi tegangan normal yakni rata-rata 66,67% ketika sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem Minahasa. Untuk kondisi beban skenario 2 dan skenario 3, pembangkit yang ada pada sistem Gorontalo sudah tidak mampu lagi menangani beban. Dari hasil simulasi, daya aktif yang harus dibangkitkan oleh unit pembangkit sudah melebihi daya mampu dan kapasitas terpasang.

Kata Kunci: aliran daya, Newton-Rhapson, ETAP

## Lembar Identitas dan Pengesahan

1. Judul : Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik 150 kV Gorontalo Menggunakan Metode Newton Rhapsion
2. Ketua Tim Pengusul
  - a. Nama Lengkap : Ervan Hasan Harun, ST.,MT
  - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
  - c. NIP : 19741125 200112 1 002
  - d. Jabatan struktural : Ketua Jurusan Teknik Elektro
  - e. Jabatan Fungsional : Lektor
  - f. Fakultas / Jurusan : Teknik / Elektro
  - g. Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian Universitas Negeri Gorontalo
  - h. Alamat : Jl. Jend.Sudirman No.6 Kota Gorontalo.
  - i. Telpon/fax : 08124484858
  - j. Alamat rumah : Perumahan Graha Nirwana, Jl. HubuloKel. Kayu Bulan, Kec.Limboto Kab. GorontaloPropinsi Gorontalo
  - k. Telpon/fax/email : 081340079282 / - / sultan\_ayatullah@yahoo.co.id
3. Jangka waktu penelitian : 6 (enam) bulan
4. Pembiayaan  
Jumlah biaya : Rp. 8.510.000,00(*delapan juta lima ratus sepuluh ribu rupiah*)

Gorontalo , 01 Oktober 2012

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Rawiyah Husnan, MT  
NIP. 196404271994032001

Ketua Peneliti

Ervan Hasan Harun, ST.,MT  
NIP. 197411252001121002

Menyetujui :

Ketua Lembaga Penelitian



Dr. Puayane Lihawa, M.Si  
NIP. 196912091993032001

## **KATA PENGANTAR**

Analisis aliran daya dibutuhkan untuk mengetahui kondisi operasi sistem tenaga listrik dalam keadaan mantap, yang bertujuan untuk menentukan magnitudo tegangan, sudut tegangan, aliran daya aktif dan daya reaktif pada saluran, serta rugi-rugi transmisi yang muncul dalam sistem tenaga.

Pembangunan saluran transmisi 150 kV yang menghubungkan 4 (empat) lokasi Gardu Induk di wilayah kerja PLN Cabang Gorontalo baru mulai beroperasi sejak awal tahun 2012. Sebagai sebuah sistem yang baru, diperlukan analisis untuk mengetahui bagaimana kondisi sistem tenaga listrik Gorontalo pada saat ini sehingga dengan demikian dapat diperkirakan kondisi sistem Gorontalo di masa yang akan datang seiring meningkatnya permintaan beban oleh masyarakat pengguna energi listrik.

Penelitian dengan judul “Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik 150 kV Gorontalo Menggunakan Metode Newton Rhapson”, yang dibiayai dengan dana PNBPN tahun anggaran 2012 diharapkan dapat dijadikan pedoman dalam perencanaan, pengoperasian sistem, penjadwalan ekonomis sistem pembangkit, dan juga dibutuhkan dalam banyak analisis seperti stabilitas transien dan studi kontingensi.

Dengan selesainya penelitian ini, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu sejak tahap seminar usulan penelitian baik ditingkat Jurusan maupun di Lemlit, pengumpulan data, analisis data, sampai laporan penelitian ini selesai disusun. Terima kasih juga kami ucapkan atas semua saran dan perbaikan untuk kesempurnaan laporan penelitian ini.

Gorontalo, 01 Oktober 2012

Tim Peneliti

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
Lembar Identitas dan Pengesahan.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB IPENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	2
1.4 Perumusan Masalah .....	3
1.5 Tujuan Penelitian .....	3
1.6 Manfaat Penelitian .....	3
BAB I IKERANGKA TEORI .....	4
2.1 Studi Aliran Daya .....	4
2.2 Analisis Aliran Daya.....	7
2.3 Metode Newton-Rhapson .....	10
2.4 Prosedur penyelesaian Aliran Daya dengan Metode Newton-Rhapson.....	13
2.5 Penyelesaian Aliran Daya menggunakan ETAP 4.0.....	14
BAB II METODOLOGI PENELITIAN .....	15
3.1 Metode Penelitian .....	15
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	15
3.3. Desain Penelitian .....	15
3.3.1. Data yang dibutuhkan .....	15
3.3.2. Teknik Pengumpulan Data.....	16
3.3.3. Teknik Analisis Data.....	16
3.3.4. Prosedur Simulasi Aliran Daya menggunakan ETAP 4.0 .....	18

3.4. Bagan Alir Penelitian .....	25
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>26</b>
4.1 Sistem Tenaga Listrik Gorontalo .....	26
4.1.1. Pusat Tenaga Listrik .....	26
4.1.2. Jaringan Transmisi .....	28
4.1.3. Gardu Induk .....	29
4.1.4. Kebutuhan Energi Listrik Gorontalo.....	31
4.2. Persyaratan analisis, skenario, batasan, dan asumsi yang digunakan.....	35
4.3. Hasil Simulasi Aliran Daya.....	36
4.3.1. Unjuk kerja metode <i>Newton-Rhapson</i> .....	36
4.3.2. Sistem Gorontalo <i>Isolated</i> dari sistem Minahasa.....	37
4.3.2.1. Tegangan di setiap bus saat sistem isolated .....	37
4.3.2.2. Daya aktif yang dibangkitkan saat sistem isolated .....	39
4.3.2.3. Daya aktif, daya reaktif, dan arus saat sistem isolated.....	40
4.3.3. Sistem Gorontalo <i>Interkoneksi</i> dengan Sistem Minahasa.....	41
4.3.3.1. Tegangan di setiap bus saat sistem interkoneksi.....	41
4.3.3.2. Daya aktif yang dibangkitkan saat sistem interkoneksi .....	43
4.3.3.3. Daya aktif, daya reaktif, dan arus saat sistem interkoneksi .....	44
4.4. Keterbatasan Studi .....	46
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>47</b>
5.1. Simpulan .....	47
5.2. Saran .....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>48</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>49</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Daya Terpasang dan daya mampu .....	26
Tabel 4.2. Spesifikasi Teknis Generator pada Sistem Tenaga Listrik Gorontalo .	27
Tabel 4.3. Spesifikasi Teknis Transformator setiap pembangkit .....	28
Tabel 4.4 Jumlah dan tipe tower transmisi .....	28
Tabel 4.5 Impedans jaringan transmisi .....	29
Tabel 4.6. Data transformator di Gardu Induk.....	31
Tabel 4.7. Kebutuhan Energi Listrik di Gorontalo .....	31
Tabel 4.8. Beban Puncak Sistem Gorontalo tanggal 13 Pebruari 2012 .....	33
Tabel 4.9. Kontribusi setiap pembangkit terhadap beban sistem .....	34
Tabel 4.10. Beban Tersambung pada Gardu Induk.....	35
Tabel 4.11. Tegangan di setiap bus pada sistem Gorontalo saat isolated .....	37
Tabel 4.12. Daya aktif (MW) yang dibangkitkan generator saat isolated .....	39
Tabel 4.13. Aliran Daya setiap saluran skenario 1 saat isolated.....	40
Tabel 4.14. Aliran Daya setiap saluran skenario 2 saat isolated.....	40
Tabel 4.15. Aliran Daya setiap saluran skenario 3 saat isolated.....	41
Tabel 4.16. Tegangan di setiap bus pada sistem Gorontalo saat interkoneksi.....	41
Tabel 4.17. Daya aktif (MW) yang dibangkitkan generator saat interkoneksi .....	43
Tabel 4.18. Aliran Daya setiap saluran skenario 1 saat interkoneksi.....	44
Tabel 4.19. Aliran Daya setiap saluran skenario 2 saat interkoneksi.....	45
Tabel 4.20. Aliran Daya setiap saluran skenario 3 saat interkoneksi.....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Model bus Sistem Tenaga Listrik.....	9
Gambar 3.1. Kotak dialog pertama .....	18
Gambar 3.2. Kotak dialog Create New Project File.....	19
Gambar 3.3. Kotak Dialog User Information .....	19
Gambar 3.4. Kotak Dialog Utama Program ETAP .....	20
Gambar 3.5. One Line Diagram Gorontalo.....	20
Gambar 3.6. Data Static Load pada bus beban .....	21
Gambar 3.7. Data bus generator.....	22
Gambar 3.8. Data konfigurasi jaringan .....	22
Gambar 3.9. Data impedans jaringan .....	23
Gambar 3.10. Kotak dialog Winding Transformer Editor .....	24
Gambar 3.11. Kotak dialog Load Flow Study Case.....	24
Gambar 3.12. Bagan Alir Penelitian .....	25
Gambar 4.1. Menara transmisi 150 kV Gorontalo.....	29
Gambar 4.2. Diagram satu garis sistem tenaga listrik Gorontalo .....	30
Gambar 4.3. Pelanggan listrik berdasarkan jenis tarif .....	32
Gambar 4.4. Kontribusi beban setiap jenis tarif .....	33
Gambar 4.5. Tegangan Bus 20 kV saat sistem isolated .....	37
Gambar 4.6. Tegangan Bus 150 kV saat sistem isolated .....	38
Gambar 4.7. Tegangan Bus 20 kV saat sistem interkoneksi.....	42
Gambar 4.8. Tegangan Bus 150 kV saat sistem interkoneksi.....	42



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Biodata Ketua Peneliti .....	49
Lampiran 2. Biodata Anggota Peneliti.....	52
Lampiran 3. Hasil Simulasi Aliran Daya Menggunakan ETAP 4.0 .....	55

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kecenderungan sistem tenaga listrik saat ini adalah terbentuknya sistem interkoneksi antara satu pusat pembangkit dengan pembangkit lainnya dengan tujuan untuk meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik, yang selalu dituntut untuk dapat menyediakan dan menyalurkan energi listrik secara terus menerus kepada konsumen dalam jumlah dan mutu yang baik. Namun kenyataannya, seringkali energi listrik yang diterima tidak sesuai dengan yang diharapkan sehingga dapat menimbulkan rugi-rugidan juga dapat menyebabkan kerusakan padaperalatan-peralatan listrik yang ada. Untuk tujuan itu, sistem tenaga listrik haruslah direncanakan dan dioperasikan dengan baik.

Analisis aliran daya dibutuhkan untuk menentukan kondisi operasi sistem tenaga dalam keadaan mantap, melalui pemecahan persamaan aliran daya pada jaringan. Tujuan utama studi aliran daya adalah untuk menentukan magnitudo tegangan, sudut tegangan, aliran daya aktif dan dayareaktif pada saluran, serta rugi-rugi transmisi yang muncul dalam sistem tenaga. Hasil studi aliran daya dapat dijadikan pedoman dalam perencanaan, pengoperasian sistem, penjadwalan ekonomis sistem pembangkit, dan juga dibutuhkan dalam banyak analisis seperti stabilitas transien dan studi kontingensi.

Sistem tenaga listrik Gorontalo merupakan sistem interkoneksi dengan sistem Minahasa yang terdiri atas berbagai pusat tenaga listrik yang terhubung melalui saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV. Sistem tenaga listrik Gorontalo merupakan bagian dari daerah kerja PLN Wilayah SULUTTENGGO yang mengemban tugas dan tanggungjawab dalam memberikan pelayanan kebutuhan listrik kepada masyarakat Gorontalo dan sekitarnya. Sebagai sebuah perusahaan jasa, PLN Gorontalo dituntut untuk dapat menyediakan dan menyalurkan energi listrik yang andal dalam jumlah dan mutu yang baik kepada konsumen.

Dalam rangka memenuhi pelayanan yang baik kepada konsumen, diperlukan sebuah pedoman dalam pengoperasian sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, sebagai sistem tenaga listrik yang baru selesai dibangun, maka diperlukan sebuah studi tentang aliran daya pada sistem tenaga listrik 150 kV Gorontalo yang diharapkan menjadi pedoman dalam pengoperasian, perencanaan pengembangan sistem, dan juga sebagai dasar untuk studi lainnya seperti koordinasi relay proteksi, analisis transien, maupun studi stabilitas dan keandalan sistem.

## **1.2. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang sudah dikemukakan, teridentifikasi bahwa Sistem Tenaga Listrik Gorontalo sudah terinterkoneski dengan Sistem Minahasa Sulawesi Utara melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV. Permasalahan dalam sistem interkoneksi adalah, bagaimana aliran daya pada sistem, berapa besar tegangan pada setiap bus untuk kondisi operasi normal, dan berapa besar daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada setiap cabang. Untuk mengetahui besaran-besaran itu, diperlukan studi aliran daya sehingga dapat diketahui kondisi sistem pada saat ini. Hasil studi akan dijadikan pedoman dalam pengoperasian dan pengembangan sistem di masa yang akan datang.

## **1.3. Pembatasan Masalah**

1. Analisis aliran daya hanya akan dibatasi pada kondisi sistem beroperasi normal, tanpa ada gangguan yang menyebabkan hilangnya sinkronisasi sistem. Metode yang digunakan adalah Newton-Raphson yang sudah terintegrasi dalam program ETAP 4.0
2. Sistem tenaga listrik yang menjadi lokasi penelitian adalah sistem Tenaga Listrik Gorontalo yang terinterkoneksi dengan Sistem Minahasa Sulawesi Utara.

#### **1.4. Perumusan Masalah**

Masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penerapan metode Newton-Rhapson dalam menyelesaikan analisis aliran daya pada sistem tenaga listrik.
2. Bagaimana kondisi tegangan, arus, daya aktif dan daya reaktif pada sistem tenaga listrik 150 kV Gorontalo pada kondisi operasi normal.

#### **1.5. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan masalah yang diangkat, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menerapkan metode Newton-Rhapson dalam menyelesaikan analisis aliran daya pada sistem tenaga listrik.
2. Untuk mengetahui kondisi tegangan, arus, daya aktif dan daya reaktif pada sistem tenaga listrik 150 kV Gorontalo pada kondisi operasi normal.

#### **1.6. Manfaat Penelitian**

Sebagai sistem tenaga listrik yang baru selesai dibangun, sistem tenaga listrik 150 kV Gorontalo sangat membutuhkan informasi yang dapat dijadikan sebagai pedoman dalam pengoperasian, pengendalian, maupun pengembangan sistem. Salah satu informasi yang dibutuhkan adalah bagaimana aliran daya yang terjadi pada sistem untuk kondisi normal saat ini. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat:

1. Memberikan gambaran mengenai kondisi tegangan, arus, daya aktif dan daya reaktif pada sistem tenaga listrik Gorontalo
2. Menjadi pedoman bagi PLN maupun pemerintah dalam menyusun perencanaan ketenagalistrikan di Gorontalo.

## **BAB II**

### **KERANGKA TEORI**

#### **2.1. Studi Aliran Daya**

Studi aliran daya (*load flow*) digunakan untuk menentukan tegangan, arus, daya aktif atau daya reaktif di berbagai macam titik/bus pada jaringan listrik dalam kondisi operasi normal (Stevenson, 1994). Selain dipergunakan untuk perencanaan pengembangan sistem listrik pada masa mendatang, juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan yang sudah ada (*existing*) (Gupta, 1998).

Tujuan studi aliran daya adalah untuk mengetahui besar vektor tegangan pada tiap bus dan besar aliran daya pada tiap cabang suatu jaringan untuk suatu kondisi beban tertentu dalam kondisi normal. Hasil perhitungan dapat digunakan untuk menelaah berbagai persoalan yang berhubungan dengan jaringan tersebut, yaitu meliputi hal-hal yang berhubungan dengan operasi jaringan yaitu:(Saadat, 1999)

- a. Pengaturan tegangan (*voltage regulation*), perbaikan faktor daya (*power factor*) jaringan, kapasitas kawat penghantar, termasuk rugi-rugi daya.
- b. Perluasan atau pengembangan jaringan, yaitu menentukan lokasi yang tepat untuk penambahan bus beban baru dan unit pembangkitan atau gardu induk baru.
- c. Perencanaan jaringan, yaitu kondisi jaringan yang diinginkan pada masa mendatang untuk melayani pertumbuhan beban karena kenaikan terhadap kebutuhan tenaga listrik.

Amirulah dkk (2008) telah melakukan penelitian menggunakan Jaringan Saraf Tiruan *Counterpropagation* termodifikasi untuk studi aliran daya pada kondisi kontengensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini lebih efektif

dalam menentukan magnitudo dan sudut tegangan bus , dengan erorr pelatihan sudah memenuhi syarat yakni di bawah SEE sebesar 5%

Penyelesaian analisis aliran daya menggunakan metode Gauss-Seidel dengan bantuan program MATLAB memberikan hasil yang cepat dan akurat (I Putu Suka Asra, 2004), tetapi metode Gauss-Seidel hanya cocok untuk sistem tenaga listrik yang memiliki sedikit bus.

Wilhelmina (2008) melakukan penelitian mengenai aliran daya pada sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi menggunakan program ETAP (*Electrical Analyzer Program*). Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah bagaimana aliran daya pada sistem yang dipasang kapasitor bank dengan sistem tanpa kapasitor bank.

Berbagai macam metode penyelesaian aliran daya sudah diterapkan dalam banyak penelitian, salah satu metode yang mulai populer untuk digunakan dalam analisis dan penyelesaian masalah sistem tenaga listrik adalah metode Algoritma Genetika. Kelebihan penggunaan metode Algoritma Genetika ini adalah dalam mendapatkan penyelesaian yang optimal untuk suatu permasalahan dari sekumpulan kemungkinan penyelesaian. (Emmy Hosea, dkk , 2005)

Selanjutnya, Emmy Hosea, dkk (2005) melakukan penelitian untuk membandingkan analisis aliran daya menggunakan metode Algoritma Genetika dengan metode Newton-Raphson. Hasil penelitian diperoleh bahwa, metode iterasi *Newton-Raphson* maupun metode Algoritma Genetika dapat digunakan untuk menentukan nilai parameter Bus dalam perhitungan aliran daya. Tetapi dilihat dari proses komputasi, metode *Newton-Raphson* dapat menyelesaikan perhitungan dengan waktu komputasi yang lebih cepat dibandingkan dengan waktu komputasi pada metode Algoritma Genetika untuk mencapai kriteria berhenti yang sama.

Metode Injeksi Arus (*Current Injections Method*) merupakan metode baru hasil pengembangan dari metode Newton-Raphson yang digunakan untuk menganalisa aliran daya. Metode Injeksi Arus memiliki struktur matriks Jacobian

yang diperbaharui pada setiap iterasi sehingga lebih cepat dalam melakukan analisis aliran daya.

Penelitian mengenai analisis aliran daya dengan metode injeksi arus sudah pernah dilakukan oleh Manuaba, dkk (2009) pada sistem distribusi 20 kV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, metode Injeksi Arus memerlukan waktu komputasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode Newton-Rhapson.

Waktu yang dibutuhkan dalam proses komputasi menggunakan metode Injeksi Arus yang lebih singkat dibandingkan dengan metode Newton-Rhapson dapat terjadi karena metode Injeksi Arus memiliki struktur matriks Jacobian yang identik dengan matriks admitansi bus dimana elemen diagonal matriks tersebut diperbaharui pada setiap iterasi, dan elemen matriks bukan diagonalnya konstan pada setiap iterasi.

Pada sistem distribusi, matriks bukan diagonal selalu konstan pada setiap iterasi, hal inilah yang menyebabkan metode injeksi arus lebih cepat dibandingkan dengan metode Newton Raphson. Oleh karena itu, metode Injeksi Arus lebih cocok digunakan untuk menganalisis aliran daya pada sistem distribusi, sedangkan metode Newton-Rhapson biasanya digunakan dalam menganalisis aliran daya pada sistem transmisi yang memiliki matriks jaringan yang lebih kompleks dibandingkan dengan sistem distribusi.

Sebuah penelitian mengenai aliran daya pada sistem terintegrasi AC-DC dilakukan oleh Khairudin (2009). Pemodelan komponen saluran transmisi DC yang terinegrasi dengan sistem AC menjadi isu utama dalam penelitian ini. Diagram alir, pengujian dan hasil dari metode pada penelitian ini menggunakan *IEEE test system*. Hasil penelitian Khairudin (2009) menunjukkan bahwa, penggunaan metode *sequential approach* yang berbasis pada metode *fast decouple*, memungkinkan untuk melakukan studi aliran daya pada sistem terintegrasi AC-DC tanpa harus melakukan modifikasi ulang terhadap algoritma studi aliran daya. Kelemahan dari penelitian ini adalah sistem yang diuji bukan sistem tenaga listrik yang *existing* melainkan *IEEE test system*, sehingga hasil yang

diberikan belum dapat menjamin unjuk kerja metode ini bila diterapkan pada sistem yang benar-benar ada.

Analisis aliran daya pada usulan penelitian ini, dilakukan melalui simulasi dengan bantuan program ETAP (*Electrical Analyzer Program*). Metode Newton-Rhapson menjadi alternatif pada simulasi ini dengan alasan bahwa metode Newton-Rhapson sudah digunakan secara luas dalam hampir setiap analisis pada sistem tenaga listrik.

Simulasi dan pengujian metode pada penelitian yang akan diusulkan ini, dilakukan pada sistem yang *existing* yakni Sistem Tenaga Listrik 150 kV Gorontalo yang baru selesai dibangun dan masih dalam tahap pengujian untuk dapat berinterkoneksi dengan sistem tenaga listrik Sulawesi Utara.

## **2.2. Analisis Aliran Daya**

Menurut Saadat (1999), dalam analisis aliran daya terdapat empat buah besaran pada masing-masing bus jaringan yang ditinjau dan memegang peranan yaitu:

- a. Daya aktif P (*active power*).
- b. Daya reaktif Q (*reactive power*).
- c. Harga skalar tegangan  $|V|$  (*magnitude*).
- d. Sudut fase tegangan  $\theta$  (*angle*).

Dua di antara empat besaran yang terdapat pada tiap bus tersebut sudah diketahui, sedangkan dua besaran lainnya merupakan yang akan dihitung melalui proses iterasi. (Kundur, 1993)

Selanjutnya menurut Saadat (1999), Momoh (2001), dan Powel (2005), dalam menyelesaikan analisis aliran daya, bus-bus dibagi dalam 3 (tiga) klasifikasi sebagai berikut:

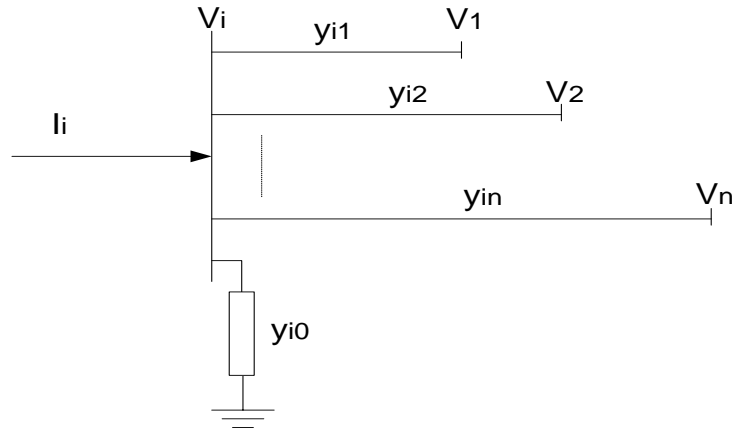


1. Bus berayun (*swing bus*, yang sering juga disebut *floating bus*, *slack bus* atau atau bus referensi, dipilih di antara bus generator atau penyedia daya yang mempunyai kapasitas tertinggi di antara yang terpasang dalam jaringan yang ditinjau. Bus ini mempunyai besar tegangan dan nilai sudut fasa tertentu, biasanya diberikan nilai  $1,06+j0,00$  pu. Bus berayun ini harus mampu membangkitkan daya aktif dan daya reaktif yang dibutuhkan untuk melayani bus beban dan mengimbangi rugi daya pada saluran.
2. Bus kontrol tegangan (*voltage controlled*) atau bus generator, yaitu bus yang mempunyai nilai tegangan dan daya reaktif tertentu. Tegangan pada bus ini dapat dikendalikan dengan mengatur daya reaktif yang disuplai atau diserap bus. Daya reaktif ini dispesifikasi dalam jangkauan batas minimum dan maksimum tertentu. Daya aktif dapat diatur untuk menjaga tegangan tertentu kecuali bila batas daya reaktif yang dispesifikasikan terlampaui. Jika batas ini terlampaui, maka daya reaktif ditetapkan pada batas tersebut dan tegangan akan diberikan pada nilai yang diperlukan untuk menyelesaikan persamaan aliran daya.
3. Bus beban (*load bus*), yaitu bus yang mempunyai nilai daya aktif dan daya reaktif tertentu yang diperoleh berdasarkan pengukuran pada saat tertentu. Nilai tegangan bus beban harus dicari melalui proses iterasi sampai tercapai nilai tertentu yang konvergen dengan toleransi ketelitian yang diinginkan.

Menurut Kundur (1993) selain ketiga klasifikasi tersebut, pada sistem tenaga listrik yang lebih maju, terdapat bus khusus; yakni *device bus*. Bus seperti ini dapat dijumpai pada sistem tenaga listrik yang memiliki peralatan konverter tegangan tinggi DC (*HVDC Converters*) dan terintegrasi dengan sistem AC.

*Slack bus* berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya real P dan daya reaktif Q termasuk rugi-rugi daya pada saluran transmisi, karena rugi-rugi daya ini baru dapat diketahui setelah penyelesaian akhir diperoleh.

Dengan mempertimbangkan jenis bus dari jaringan sistem tenaga seperti pada Gambar 1, saluran transmisi dapat digambarkan dengan model  $\pi$  ekivalen dengan impedans telah diubah menjadi admitans per unit pada *base* MVA.



Gambar 2.1. Model bus Sistem Tenaga Listrik

Aplikasi Hukum Kirchoff tentang arus diberikan dalam:

$$\begin{aligned}
 I_i &= y_{i0} + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\
 I_i &= (y_{i0} + y_{i1} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \\
 I_i &= V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Daya aktif pada bus i adalah:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \tag{2.2}$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \tag{2.3}$$

subtitusikan persamaan (3) ke persamaan (1) menghasilkan:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \tag{2.4}$$

Berdasarkan hubungan yang diberikan dalam persamaan (2.4), perhitungan masalah aliran daya dalam sistem tenaga harus diselesaikan dengan teknik iterasi.

### 2.3. Metode Newton-Rhapson

Teknik yang paling umum digunakan dalam menyelesaikan persamaan aljabar non linear secara iterasi adalah Metode Gauss-Seidel, Metode Newton-Rhapson, dan Metode Quasi-Newton.

Metode Newton-Rhapson memiliki kecepatan konvergen kuadratik, oleh karena itu metode Newton-Rhapson merupakan metode matematis yang lebih unggul dibandingkan dengan metode Gauss-Seidel. Untuk sistem tenaga listrik yang besar, metode Newton-Rhapson sangat efisien dan praktis dalam menyelesaikan analisis aliran daya. Jumlah iterasi yang diperlukan untuk memperoleh penyelesaian tidak bergantung pada ukuran sistem, tetapi diperlukan banyak fungsi evaluasi pada setiap iterasi.

Untuk sistem tenaga yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, arus yang masuk ke bus diberikan oleh persamaan (1). Persamaan ini dapat ditulis ulang dalam bentuk matriks admitans bus sebagai berikut:

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

pada persamaan (2.5),  $j$  termasuk bus  $i$ . Dalam bentuk polar ditulis sebagai berikut:

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

Daya kompleks pada bus  $i$  adalah:

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

Substitusi persamaan (2.6) ke dalam persamaan (2.7)

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.8)$$

Dengan memisahkan bagian riil dan imajiner diperoleh:

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

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

Persamaan (2.9) dan (2.10) merupakan satu set persamaan aljabar nonlinier variabel bebas, besarnya tegangan per unit, dan sudut fase dalam radian.

Terdapat dua persamaan untuk setiap bus beban, yang diberikan oleh persamaan (2.9) dan (2.10), dan satu persamaan untuk setiap bus kontrol tegangan, yang diberikan oleh persamaan (2.9).

Linearisasi persamaan (2.9) dan (2.10) menggunakan deret Taylor dengan mengabaikan semua orde tinggikan didapatkan satu set persamaan linear sebagai berikut:

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

Pada persamaan di atas, bus 1 diasumsikan sebagai slack bus. Matriks Jacobian memberikan hubungan linierisasi antara perubahan kecil dari sudut tegangan  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan besarnya tegangan  $\Delta |V_i^{(k)}|$  dengan perubahan kecil dalam daya nyata dan reaktif  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$ . Elemen matriks Jacobian adalah turunan parsial dari persamaan (2.9) dan (2.10), dan dievaluasi pada  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V_i^{(k)}|$ . Dalam bentuk yang singkat, dapat ditulis sebagai

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Padabus kontrol tegangan, besaran tegangan diketahui. Karena itu, jika terdapat  $m$  bus dari sistem adalah bus kontrol tegangan, maka akan ada  $m$  persamaan menyangkut  $\Delta Q$  dan  $\Delta V$  dan kolom yang bersesuaian dari matriks Jacobian dieliminasi. Dengan demikian, ada  $n-1$  kekekangan daya nyata dan  $n-1-m$  kekekangan daya reaktif, dan matriks Jacobian akan mempunyai orde  $(2n-2-m) \times (2n-2-n)$ .  $J_1$  adalah matrix dengan orde  $(n-1) \times (n-1)$ ,  $J_2$  adalah matriks

dengan orde  $(n-1) \times (n-1-m)$ ,  $J_3$  adalah matriks dengan orde  $(n-1) \times (n-1)$ , dan  $J_4$  adalah matriks dengan orde  $(n-1) \times (n-1-m)$ .

Elemen diagonal dan elemen bukan diagonal dari  $J_1$  dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.12)$$

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

Elemen diagonal dan elemen bukan diagonal dari  $J_2$  dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.15)$$

Elemen diagonal dan elemen bukan diagonal dari  $J_3$  dihitung dengan persamaan berikut:

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

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

Elemen diagonal dan elemen bukan diagonal dari  $J_4$  dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.19)$$

Notasi  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  adalah selisih antara nilai dijadwalkan dan nilai yang dihitung, dan dikenal sebagai selisih daya, yang dihitung dengan persamaan:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{jdwl} - P_i^{(k)} \quad (2.20)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{jdwl} - Q_i^{(k)} \quad (2.21)$$

Nilai estimasi yang baru untuk tegangan bus diberikan dalam persamaan berikut:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.22)$$

$$\left| V_i^{(k+1)} \right| = \left| V_i^{(k)} \right| + \Delta \left| V_i^{(k)} \right| \quad (2.23)$$

#### 2.4. Prosedur penyelesaian Aliran Daya dengan Metode Newton-Rhapson

Berdasarkan persamaan-persamaan di atas dapat dibuat langkah-langkah penyelesaian aliran daya menggunakan metode Newton-Rhapson sebagai berikut:

1. Untuk bus beban, dimana  $P_i^{jdl}$  dan  $Q_i^{jdl}$  harus ditentukan, besarnya tegangan dan sudut fase ditetapkan sama dengan nilai pada slack bus atau 1,0 dan 0,0.  $\left| V_i^{(0)} \right| = 1,0$  dan  $\delta_i^{(0)} = 0,0$ . Untuk bus kontrol tegangan, dimana  $\left| V_i \right|$  dan  $P_i^{jdl}$  harus ditentukan, sudut fase ditetapkan sama dengan sudut bus slack atau  $\delta_i^{(0)} = 0,0$
2. Untuk bus beban,  $P_i^{(k)}$  dan  $Q_i^{(k)}$  dihitung dari persamaan (2.9) dan (2.10), dan untuk  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  dihitung dari (2.20 dan 2.21)
3. Untuk bus kontrol tegangan  $P_i^{(k)}$  dan  $\Delta P_i^{(k)}$  berturut-turut dihitung dengan persamaan (2.9) dan (2.20)
4. Elemen-elemen dari matriks Jacobian ( $J1$ ,  $J2$ ,  $J3$  dan  $J4$ ) dihitung dengan persamaan (2.12) sampai dengan (2,19)
5. Persamaan linear simultan (2.11) diselesaikan secara langsung dengan faktorisasi segitiga optimal dan eliminasi Gauss.
6. Besaran tegangan dan sudut fasa yang baru dihitung menggunakan persamaan (6.22) dan (2.23)
7. Proses ini dilanjutkan sampai nilai  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  kurang dari akurasi tertentu.

$$\left| \Delta P_i^{(k)} \right| \leq \epsilon \quad (2.24)$$

$$\left| \Delta Q_i^{(k)} \right| \leq \epsilon \quad (2.25)$$

## 2.5. Penyelesaian Aliran Daya menggunakan ETAP 4.0

Penggunaan komputer digital dalam menyelesaikan persoalan sistem tenaga listrik saat ini sudah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Berbagai macam perangkat lunak dikembangkan dan terus dievaluasi unjuk kerjanya.

Salah satu program yang digunakan dalam analisis sistem tenaga listrik yang menampilkan simulasi secara GUI (*Graphical User Interface*) adalah program ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) disamping program-program lain seperti EDSA dan Matlab. ETAP versi 4.0 merupakan salah satu produk OTI yang dikeluarkan pada tahun 2000. Suatu program yang khas dan sanggup menangani sistem lebih dari 2000 rel (bus), 2000 saluran, dan 500 buah transformator.

Analisis sistem tenaga listrik yang dapat disimulasikan menggunakan ETAP salah satunya adalah studi aliran daya, dan sudah tentunya program ini juga dapat digunakan untuk berbagai analisis dalam sistem tenaga listrik seperti, analisis transien, analisis hubung singkat, analisis harmonisa dan juga optimalisasi aliran daya.

Metode-metode analisis seperti Gauss-Seidel, Newton-Rhapson, dan Fast decoupled sudah diintegrasikan ke dalam program sehingga menjadikan ETAP sebagai salah satu program aplikasi yang efisien. Walaupun berbagai kemudahan yang diberikan oleh program ETAP seperti juga program aplikasi lainnya dalam sistem tenaga listrik, tetapi di dalam melakukan simulasi analisis tetap harus diperhatikan bahwa data-data sistem yang digunakan dalam simulasi harus valid dan mampu merepresentasikan sistem yang sebenarnya.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1. Metode Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif, yakni untuk menentukan berapa besar tegangan, arus, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada sistem tenaga listrik Gorontalo. Adapun metode yang digunakan dalam menganalisis besaran-besaran itu adalah metode *Newton-Rhapson* yang terintegrasi di dalam program ETAP versi 4.0.

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

Pelaksanaan penelitian berlangsung selama 6 (enam) bulan, yakni dari April 2012 s/d September 2012. Lokasi penelitian pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Sistem Tenaga Listrik Gorontalo yang merupakan wilayah kerja PT. PLN (Persero) Wilayah VII SULUTTENGGO Cabang Gorontalo.

### **3.3. Desain Penelitian**

#### **3.3.1. Data yang dibutuhkan**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang ada pada sistem tenaga listrik 150 kV Gorontalo. Sumber data adalah: PT. PLN (Persero) Wilayah SULUTTENGGO Cabang Gorontalo. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam analisis aliran daya adalah sebagai berikut:

- Diagram satu garis (*one line diagram*) sistem tenaga listrik 150 kV Gorontalo, yakni peta jaringan/jalur layanan sistem.
- Generator yang tersambung dengan sistem 150 kV, data yang dibutuhkan adalah : rating tegangan (kV), kapasitas daya terpasang dalam (MW) dan daya mampu dari masing-masing pembangkit dalam satuan MW.



- Transformator disetiap Gardu Induk, data yang dibutuhkan adalah: rating tegangan/rasio tegangan (kV), rating daya (MVA), nilai impedans (Z,dan X/R)
- Jenis dan panjang penghantar yang digunakan, data yang dibutuhkan adalah impedans saluran (R, X, dan Y)
- Bus, data yang dibutuhkan adalah: rating kV, %V, *angle*, dan LDF
- Beban, yakni beban yang dilayani oleh sistem tenaga listrik Gorontalo.

### **3.3.2. Teknik Pengumpulan Data**

Semua data yang digunakan dalam penelitian ini, yakni data: diagram satu garis, generator, transformator, penghantar, dan bus merupakan data primer yang diperoleh melalui pengambilan data di 4 (empat) lokasi Gardu Induk yang ada pada sistem tenaga listrik 150 kV Gorontalo.

Adapun Gardu Induk yang akan menjadi lokasi pengambilan data dan alokasi waktu yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. Gardu Induk Isimu, di Kabupaten Gorontalo
2. Gardu Induk Boroko, di Kabupaten Bolmong Utara
3. Gardu Induk Marisa, di Kabupaten Pohuwato
4. Gardu Induk Botupingge, di Kabupaten Bone Bolango

### **3.3.3. Teknik Analisis Data**

Data-data yang didapatkan dari lapangan masih berupa data mentah. Sebelum dilakukan simulasi, data-data tersebut masih melalui tahap perhitungan-perhitungan manual untuk mendapatkan nilai parameter sistem yang akan menjadi input pada simulasi.

Selanjutnya dilakukan simulasi mengenai aliran daya pada sistem tenaga listrik Gorontalo menggunakan program ETAP 4.0. Metode Newton-Rhapson yang terintegrasi pada program simulasi ETAP 4.0 digunakan dalam perhitungan iterasi aliran daya.

Adapun data-data yang menjadi input pada simulasi aliran daya menggunakan ETAP 4.0 adalah sebagai berikut:

1. Nama Busbar

Untuk mengidentifikasi bus yang terinterkoneksi

2. Tipe Busbar

- a. Bus referensi/slack/swing bus

Dalam penelitian ini, bus referensi adalah sistem Minahasa yang terinterkoneksi dengan sistem Gorontalo melalui Gardu Induk Boroko.

- b. Bus beban

- c. Bus generator

3. Rating tegangan busbar dalam satuan kV

4. Data penghantar pada saluran transmisi 150 kV

- a. Panjang penghantar dalam satuan km

- b. Impedans penghantar dalam satuan ohm/km

5. Daya semu, yakni beban yang tersambung atau dilayani pada bus beban dalam satuan MVA

6. Daya aktif dalam MW yang dibangkitkan pada setiap bus Generator

7. Dasar MVA yakni 100 MVA, dan kV dasar adalah 150 kV

8. Faktor daya/*power factor*/ $\cos \phi$  ditentukan untuk:

- a. Pembangkit 0.8

- b. beban = 0.95.

9. Pengaturan tegangan bus ditentukan untuk 2 kondisi dari tegangan sistem 150 kV yakni

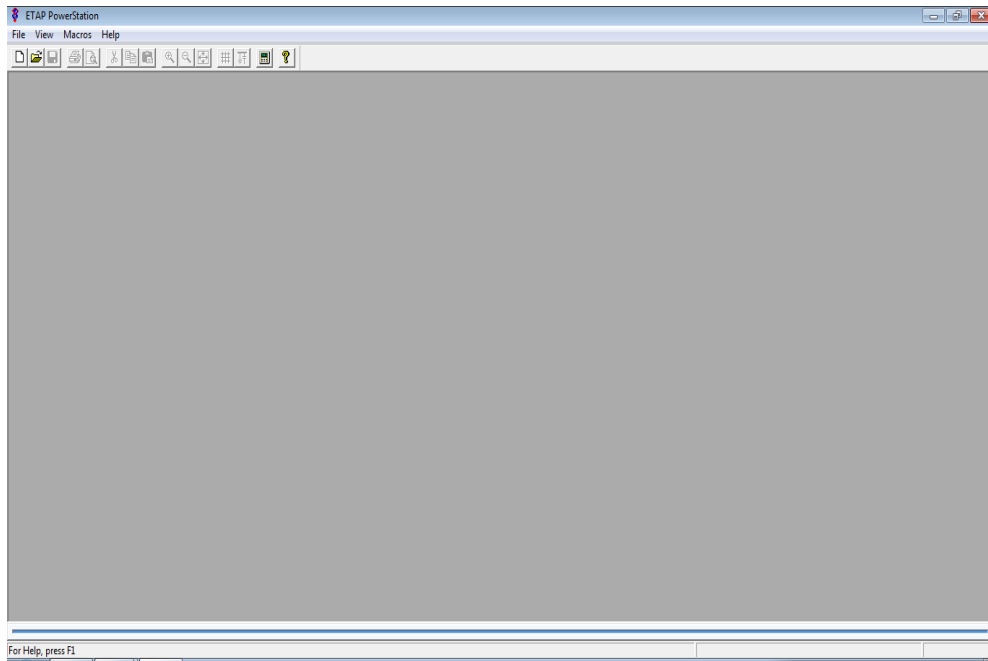
- a. Kondisi kritis, penurunan tegangan 5% menjadi 95% dan kenaikan tegangan 5% menjadi 105%

- b. Kondisi marginal, penurunan tegangan 2% menjadi 98% dan kenaikan tegangan 2% menjadi 102%

### 3.3.4. Prosedur Simulasi Aliran Daya menggunakan ETAP 4.0

#### 1. Menjalankan Program ETAP

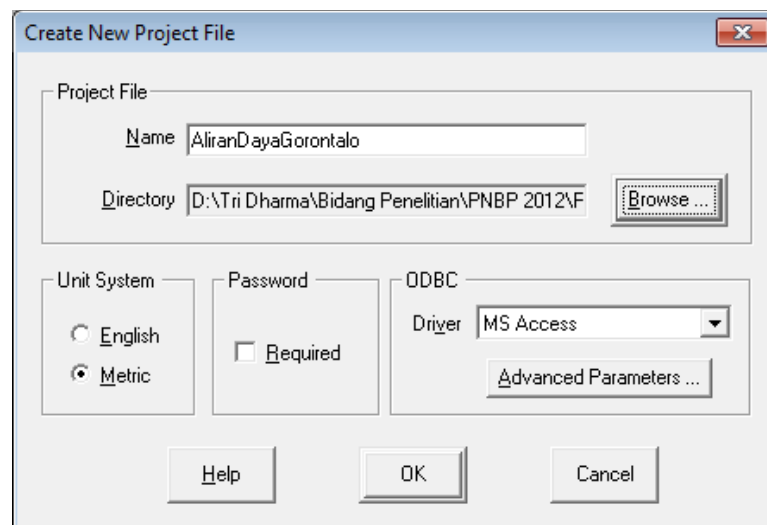
Program ETAP 4.0 dapat digunakan setelah diinstall kedalam komputer. Program dijalankan dengan cara mengklik program ETAP. Setelah program dijalankan maka akan tampak kotak dialog (*dialog box*) seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Kotak dialog pertama

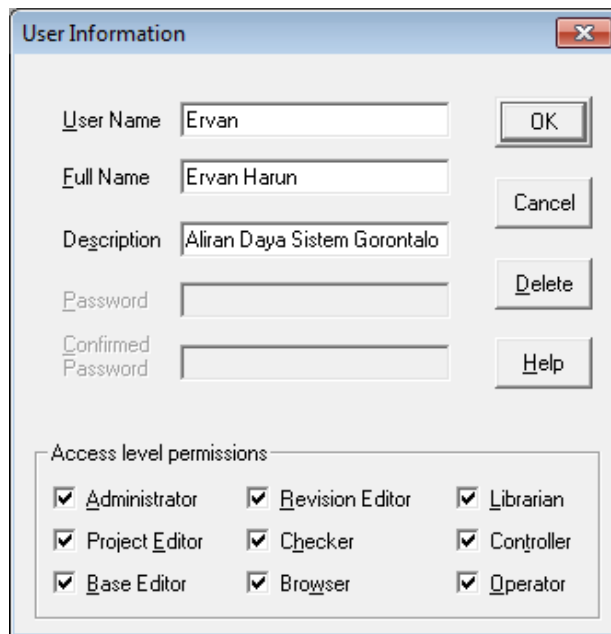
#### 2. Membuat studi kasus

Klik *file* → *new project* akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar 3.2.



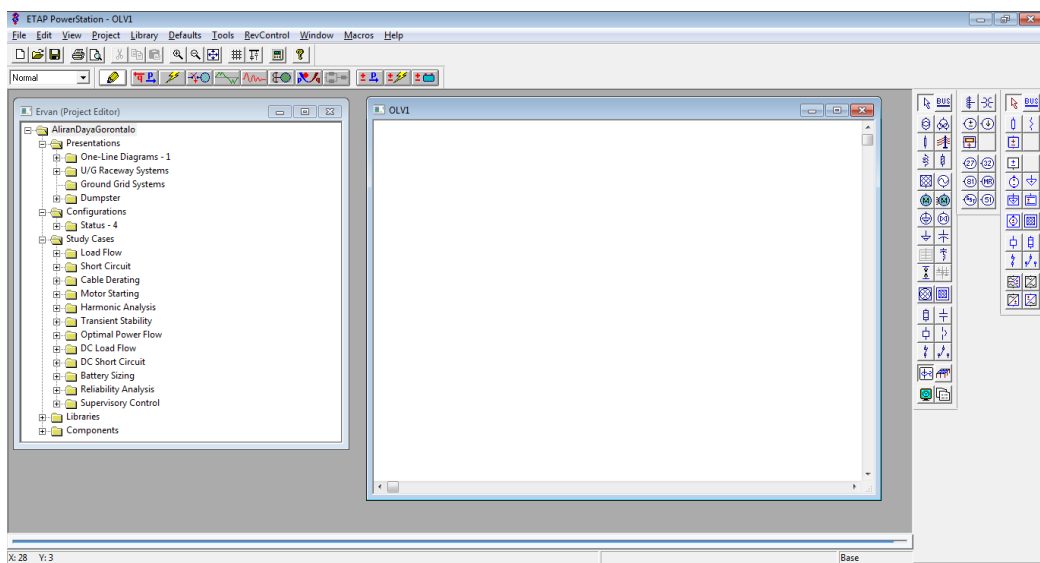
Gambar 3.2. Kotak dialog *Create New Project File*

Setelah itu tulis *name project*, dan pilih *unit system* dan *required password* sesuai dengan kebutuhan. Kemudian klik OK, dan akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Kotak Dialog *User Information*

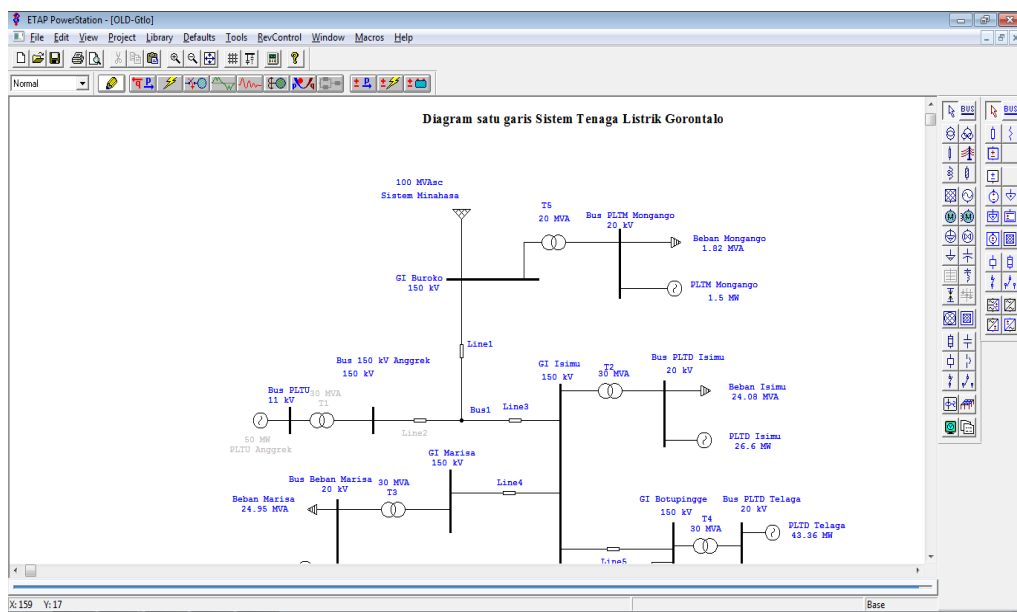
Masukan *user name*; *full name*; *description*; *password* (kalau mau menggunakan *password*) kemudian klik OK selanjutnya akan tampil kotak dialog seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Kotak Dialog Utama Program ETAP

### 3. Membuat *One Line Diagram*

Pada Gambar 3.4. terdapat jendela (*windows*) untuk menggambar *one-line diagram* menggunakan template yang terdapat pada *toolbar* di sebelah kanan dengan cara *klik and drag*. *one-line diagram* disimpan dengan nama OLD-Gtlo. Hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5. berikut ini.



Gambar3.5. *One Line Diagram* Gorontalo

### 4. Memasukkan data studi kasus

#### [a] Nama Busbar

Untuk mengidentifikasi bus yang terinterkoneksi

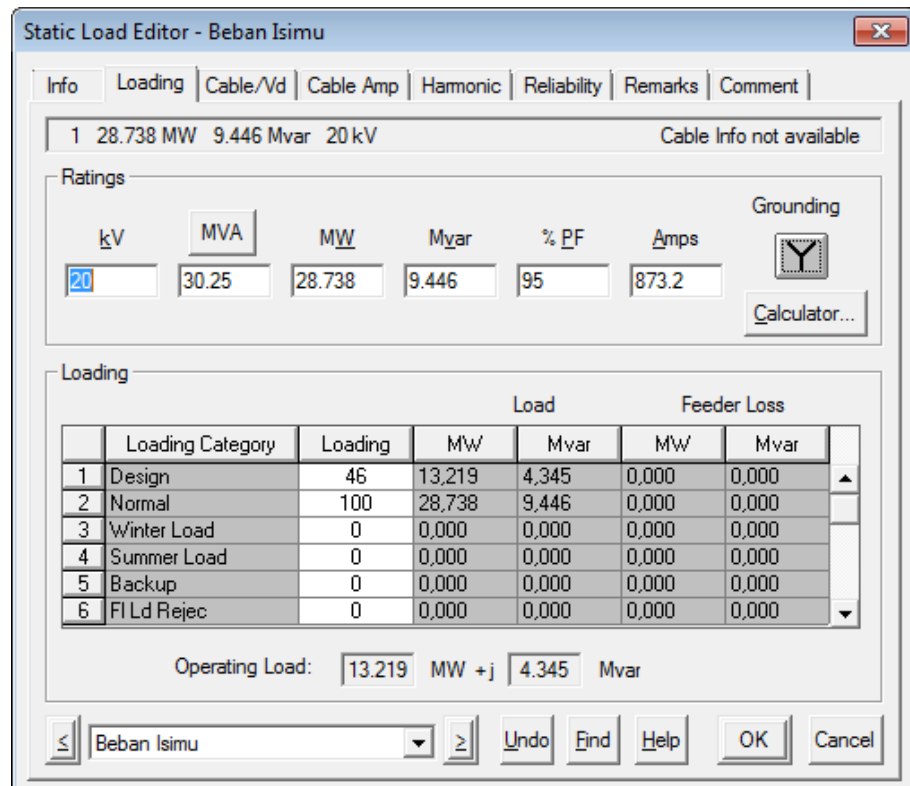
#### [b] Tipe Busbar

- Bus referensi/slack/swing bus

Dalam penelitian ini, bus referensi adalah sistem Minahasa yang terinterkoneksi dengan sistem Gorontalo melalui Gardu Induk Boroko.

- Bus beban

Pada bus beban, data yang dimasukkan adalah daya semu, yakni beban yang tersambung atau dilayani pada bus beban dalam satuan MVA, % *power faktor*, rating kV, dan faktor pembebanan. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6.



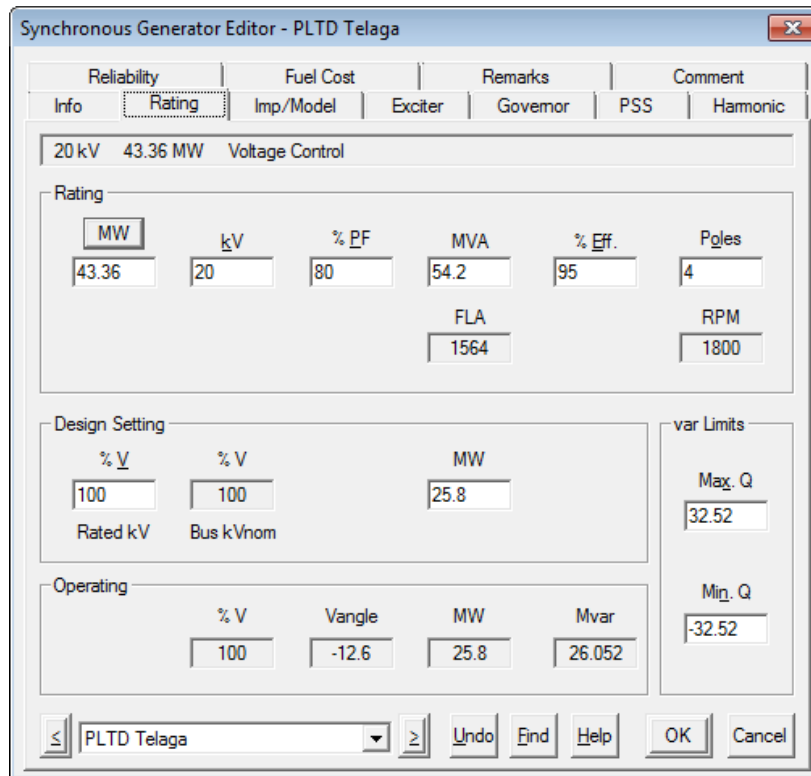
Gambar 3.6. Data *Static Load* pada bus beban

- Bus generator

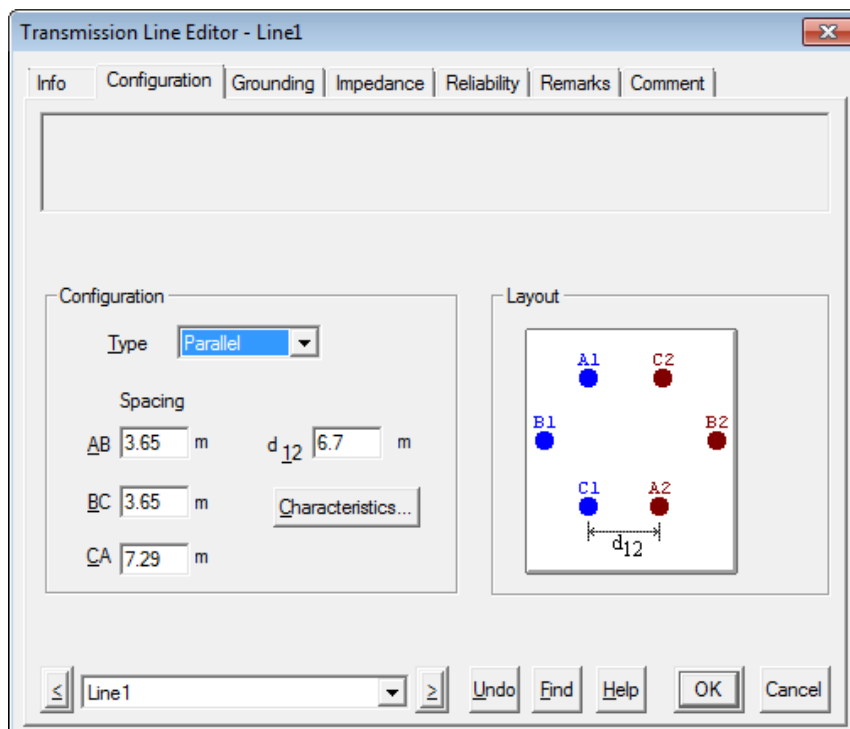
Pada bus generator data yang harus dimasukkan adalah daya aktif dalam MW yang dibangkitkan pada setiap bus Generator. Rating kV, % PF, Effisiensi Generator, Desain setting daya (MW) ini mengacu pada daya mampu pembangkit, dan *var limits* yaitu nilai maksimum dan minimum Q. Gambar 3.7.

[c] Data Jaringan Transmisi

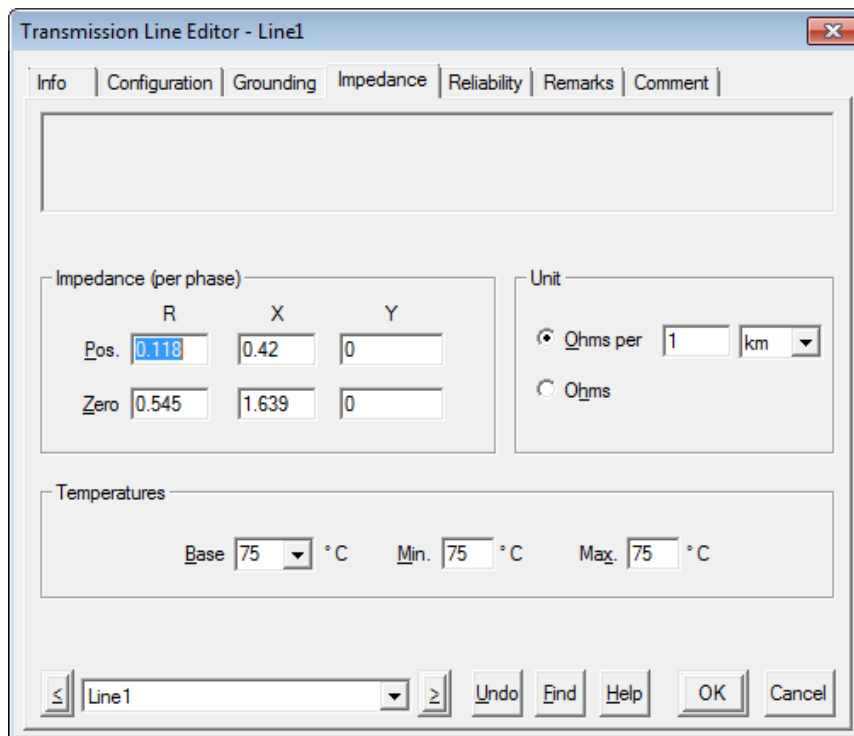
Pada jaringan transmisi data yang harus dimasukkan adalah: panjang jaringan, konfigurasi jaringan (Gambar 3.8), dan data impedans jaringan: R, X, dan Y(Gambar 3.9) baik urutan positif maupun urutan nol.



Gambar 3.7. Data bus generator



Gambar 3.8. Data konfigurasi jaringan



Gambar 3.9. Data impedans jaringan

[d] Data Transformator

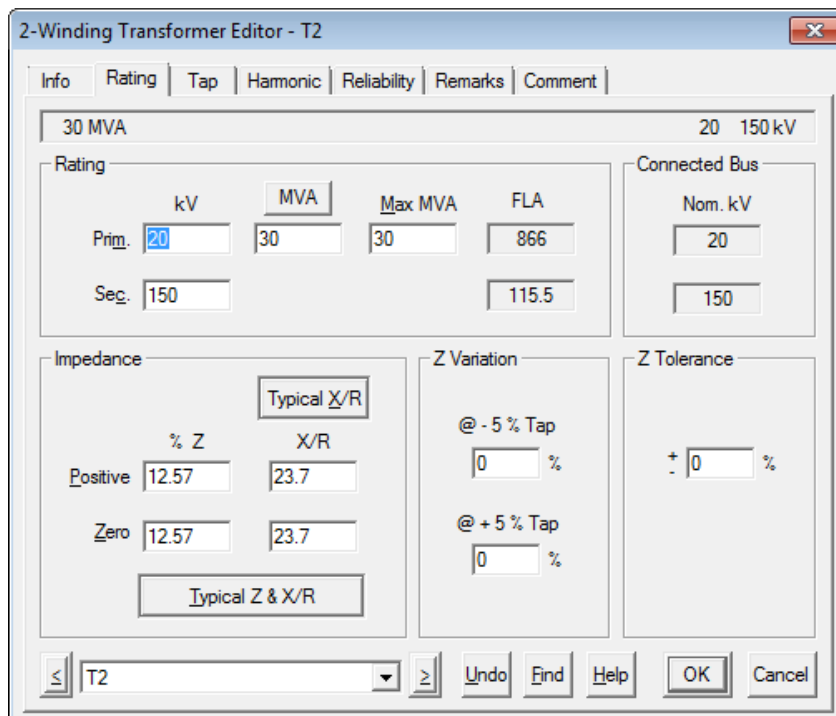
Data yang perlu dimasukkan pada kotak dialog transformator adalah: rating daya trafo, impedans baik urutan positif maupun urutan nol, rating kV, hubungan belitan transformator. Kotak dialog tranformator ditunjukkan pada Gambar 3.10.

[e] Studi Kasus Aliran Daya

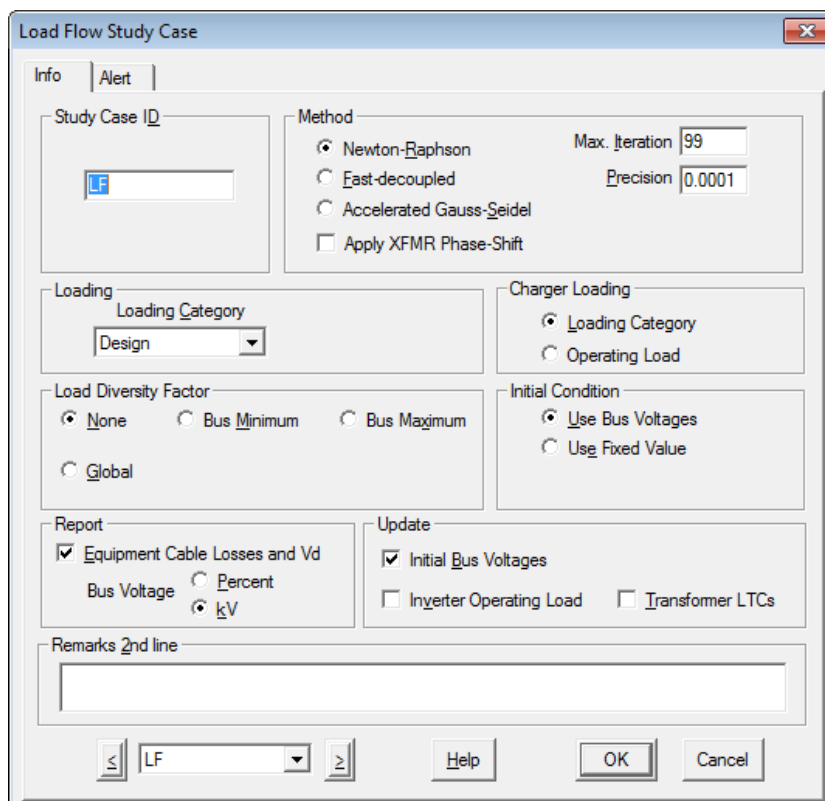
Setelah semua data sistem dimasukkan, maka langkah terakhir adalah memasukkan data setingan studi kasus. Data yang harus dimasukkan ke dalam kotak dialog adalah: Studi Kasus ID, Metode yang digunakan (dalam penelitian ini dipilih metode Newto-Rhapson), maksimum iterasi (99 iterasi), ketelitian (0,0001), kategori pembebanan (dipilih design), *bus voltage* (dalam kV), dan *initial condition* (digunakan tegangan bus).

Untuk jelasnya, kotak dialog studi kasus aliran daya ditunjukkan pada Gambar 3.11.





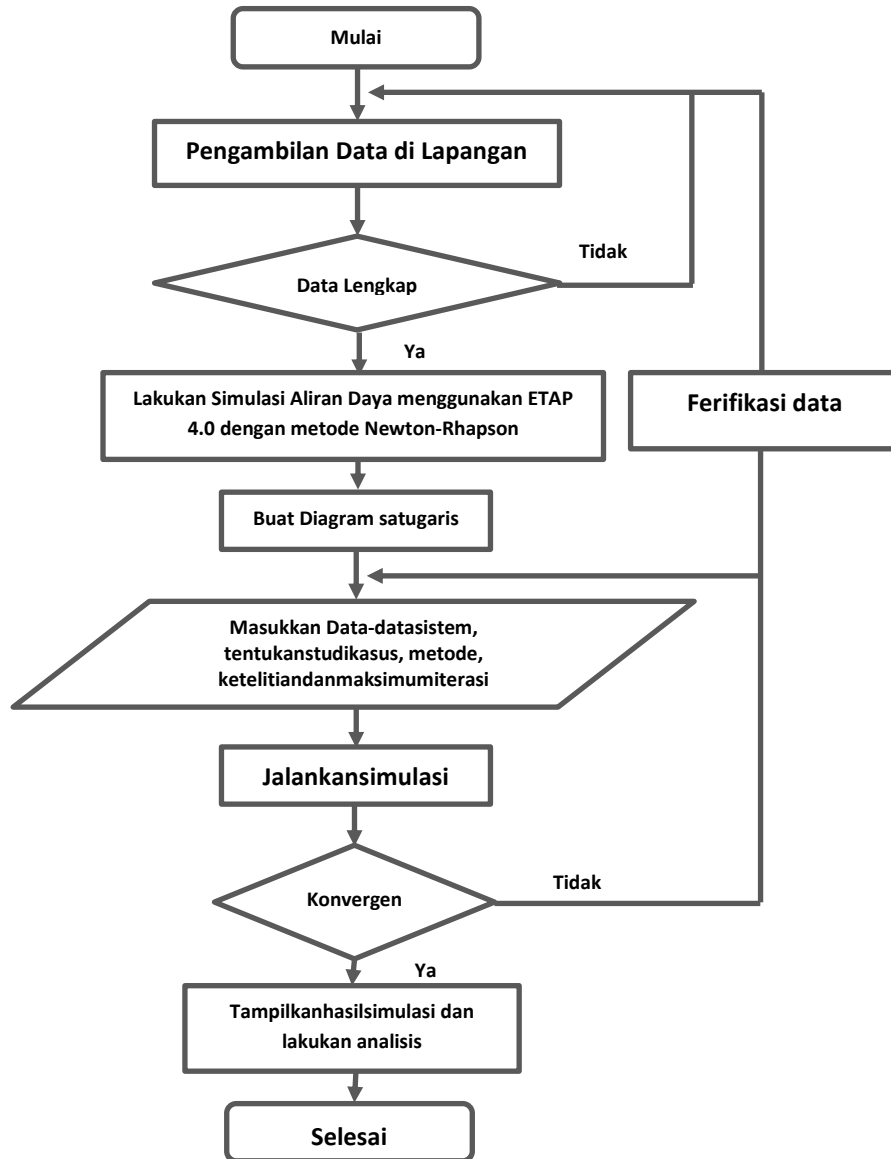
Gambar 3.10. Kotak dialog *Winding Transformer Editor*



Gambar 3.11. Kotak dialog *Load Flow Study Case*

### 3.4. Bagan Alir Penelitian

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini diberikan dalam Gambar 3.12 sebagai berikut:



Gambar 3.12. Bagan Alir Penelitian

## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Sistem Tenaga Listrik Gorontalo

#### 4.1.1. Pusat Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik Gorontalo pada awalnya merupakan sistem tenaga listrik yang masih sederhana, karena energi listrik setelah dibangkitkan oleh generator langsung didistribusikan ke konsumen melalui jaringan distribusi 20 kV tanpa perantara saluran transmisi.

Saat ini sistem tenaga listrik Gorontalo sudah terinterkoneksi dengan sistem Minahasa (Sulawesi Utara) melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV. Sistem tenaga listrik Gorontalo dipasok dari beberapa pusat tenaga listrik yang tersebar di propinsi Gorontalo, yang didominasi oleh Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Kapasitas terpasang dan daya mampu dari setiap pusat tenaga listrik pada sistem tenaga listrik Gorontalo diberikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Daya Terpasang dan daya mampu

No	Lokasi	Daya Terpasang		Daya Mampu	
		(MW)	MW		%
1	GI Botupingge				
	PLTD Telaga	23,50	14,80		63
	PLTD Sewa Telaga	19,86	11,00		55
	Total 1	43,36	25,80		60
2	GI Marisa				
	PLTD Marisa	3,49	2,00		57
	PLTD Tilamuta	1,65	0,42		25
	PLTD Sewa Marisa	3,20	2,00		63
	PLTD Sewa Paguat	10,00	10,00		100
	PLTD Lemito	1,57	0,60		38
	Total 2	19,91	15,02		75
3	GI Isimu				
	PLTD Sewa Isimu	26,60	14,00		53
	Total 3	26,60	14,00		53
4	GI Boroko				
	PLTM Mongago	1,50	1,00		67
	Total 4	1,50	1,00		67
	Total Sistem	91,37	55,82		61

Selain PLTD terdapat Pusat Listrik Tenaga Mikrohydro (PLTM) Mongango yang berlokasi di kecamatan Atinggola Kabupaten Gorontalo Utara, dan saat ini tengah dibangun Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) di dua lokasi yakni: PLTU Anggrek dengan kapasitas 2 x 25 MW dan PLTU Molotabu dengan kapasitas 2 x 12 MW yang direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2013. Data teknis generator yang sudah beroperasi pada setiap pembangkit diberikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Spesifikasi Teknis Generator pada Sistem Tenaga Listrik Gorontalo

No	Nama Pembangkit	Merk Generator	Tipe	Daya (KVA)	PF	Teg (KV)	Arus (A)	Frek (Hz)	Putaran (Rpm)	Reaktansi (%)			Jumlah (unit)
										X'd	X2	X0	
1	PLTD Telaga	Siemens, MAK AK	IFC78093HA63Z	3180	0,8	6,3	291	50	600	23	14	2,9	5
2	PLTD Telaga	Pindad. MAK AC	IFC18043HC63Z	3500	0,8	6,3	320	50	600	26,4	16,9	3	4
3	PLTD Telaga	Daihatsu	GFV556187	625	0,8	6	57,3	50	750	16,6	15,4	0,9	2
4	PLTD Telaga	Caterpillar	SR4B3516B	2250	0,8	0,4	324	50	600	36,4	18,1	3,8	2
5	PLTD Sewa 1	Caterpillar	SR4B3516B	2000	0,8	0,4	288	50	1500	33,4	16,6	3,5	5
6	PLTD Sewa 2	Caterpillar	SR4B3516XQ	2000	0,8	0,4	150	50	1500	33,4	16,6	3,5	3
7	PLTD Sewa 3	Caterpillar	SR4B3516B	1500	0,8	0,4	516	50	1500	26,8	16,5	3,5	5
8	PLTD MFO	MAK Guangzhou	6M4530	2526	0,8	10,5	144	50	600	34,4	17,1	3,6	6
9	PLTD Sewa 4	Caterpillar	3516B	2000	0,8	0,4	2886	50	1500	33,4	16,6	3,5	5
10	PLTD Sewa 5	Caterpillar	3516B	2000	0,8	0,4	2886	50	1500	33,4	16,6	3,5	5
11	PLTD Sewa 7	FG. Wilson	P1500P3	1500	0,8	0,4	2165	50	1500	24,4	16,5	3,5	2
12	PLTD Sewa 7	Mitsubishi		2020	0,8	0,38	3070	50	1500	36,4	18,1	3,8	9
13	PLTD Marisa	Pindad. MAK AC	IFCL6326HC637	1312,5	0,8	8,3	175,2	50	1000	28,8	17,5	3,7	2
14	PLTD Sewa 6	Stamford	X100170841	1000	0,8	0,38	1519	50	1500	14,9	12,5	9	4
15	PLTD Lemito	Stamford	MX341	312,5	0,8	0,38	475	50	1500	13,3	8,9	0,4	1
16	PLTD Tilamuta	Mitsubishi	GFV3455B4Z	3125	0,8	6,3	26,6	50	750	23	14	2,9	2
17	PLTD Tilamuta	Komatsu	EGS8503	700	0,8	0,38	1170	50	1500	17	15,3	0,5	2

Untuk menaikkan tegangan generator, maka pada setiap pembangkit terdapat transformator step up dengan spesifikasi teknis dari setiap trafo daya diberikan dalam Tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4.3. Spesifikasi Teknis Transformator setiap pembangkit

No	Nama Pembangkit	Merk Trafo	Digunakan oleh Generator	Daya (kVA)	PF	Tegangan (kV)	Frek (Hz)	Impedans (%)	Jumlah (unit)
1	PLTD TELAGA	Unindo	MAK AK	3180	0,8	6,3/20	50	7	5
2	PLTD TELAGA	Unindo	MAK AC	3500	0,8	6,3/20	50	7	4
3	PLTD TELAGA	starlite unindo	Daihatsu	1600	0,8	6,3/20	50	6	1
4	PLTD TELAGA	Transformer	BUMD	2250	0,8	0,4/20	50	6,8	2
5	PLTD Sewa 1	Trafindo	Caterpillar	2000	0,8	0,4/20	50	6	5
6	PLTD Sewa 2	Trafindo	Caterpillar	2000	0,8	0,4/20	50	6	2
7	PLTD Sewa 2	Centrado	Caterpillar	3000	0,8	0,4/20	50	7	1
8	PLTD Sewa 3	Trafindo	Caterpillar	2000	0,8	0,4/20	50	6	5
9	PLTD Sewa MFO	Trafindo	MAK Guangzhou	8000	0,8	0,4/20	50	8,5	2
10	PLTD Sewa 4	Trafindo	Sewa 4	2000	0,8	0,4/20	50	6	5
11	PLTD Sewa 5	Trafindo	Sewa 5	2000	0,8	0,4/20	50	6	5
12	PLTD Sewa 7	Unindo	FG. Wilson	3000	0,8	0,4/20	50	7,14	1
13	PLTD Sewa 7	Unindo	Mitsubishi	3000	0,8	0,4/20	50	7,25	1
14	PLTD Sewa 7	Unindo	Mitsubishi	3000	0,8	0,4/20	50	7,2	1
15	PLTD Sewa 7	Unindo	Mitsubishi	3000	0,8	0,4/20	50	7,23	1
16	PLTD Sewa 7	Unindo	Mitsubishi	3000	0,8	0,4/20	50	7,31	1
17	PLTD Sewa 7	Unindo	Mitsubishi	3000	0,8	0,4/20	50	7,41	1
18	PLTD Marisa	Unindo	Pindad	2000	0,8	6,3/20	50	6	2
19	PLTD Sewa 6	Starlite	Stamford	1250	0,8	0,4/20	50	5,5	4
20	PLTD Lemito	Starlite	Stamford	400	0,8	0,4/20	50	4	1
21	PLTD Tilamuta	Unindo	Mitsubishi	1000	0,8	6,3/20	50	5	1
22	PLTD Tilamuta	Unindo	Komatsu	630	0,8	0,4/20	50	4	1

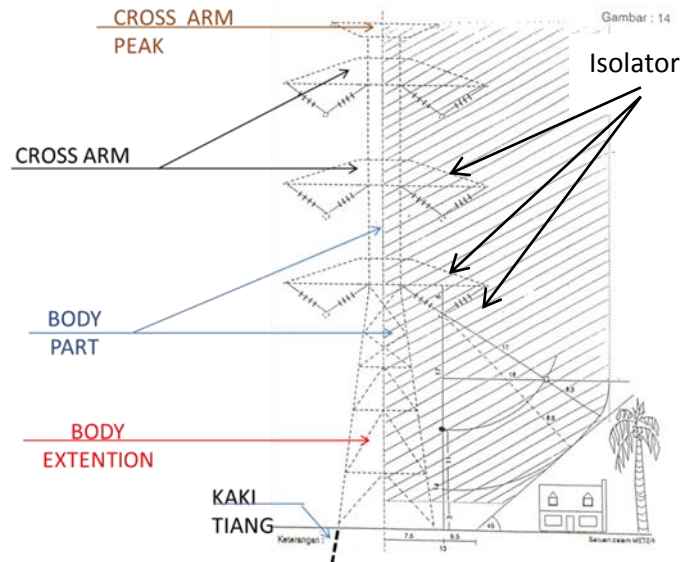
#### 4.1.2. Jaringan Transmisi

Sistem transmisi tenaga listrik Gorontalo merupakan sistem tiga fasa saluran ganda (*double circuit*) dengan tegangan kerja 150 kV. Konstruksi saluran adalah saluran udara tegangan tinggi yang ditopang oleh menara transmisi. Dalam Tabel 4.4 berikut ini diberikan jumlah dan tipe menara (*tower*) transmisi yang ada pada sistem tenaga listrik Gorontalo.

Tabel 4.4 Jumlah dan tipe tower transmisi

No	Rute Saluran	Jumlah Tipe Tower (set)				
		AA	BB	CC	DD	Jumlah
1	GI Isimu – GI Marisa	246	101	51	3	401
2	GI Isimu – GI botupingge	87	28	44	4	163
3	GI Isimu – GI Boroko	136	48	44	4	232
4	GI Isimu – Anggrek	13	22	4	4	43
Total		482	199	143	15	839

Adapun menara saluran transmisi sistem tenaga listrik Gorontalo ditunjukkan dalam Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1. Menara transmisi 150 kV Gorontalo

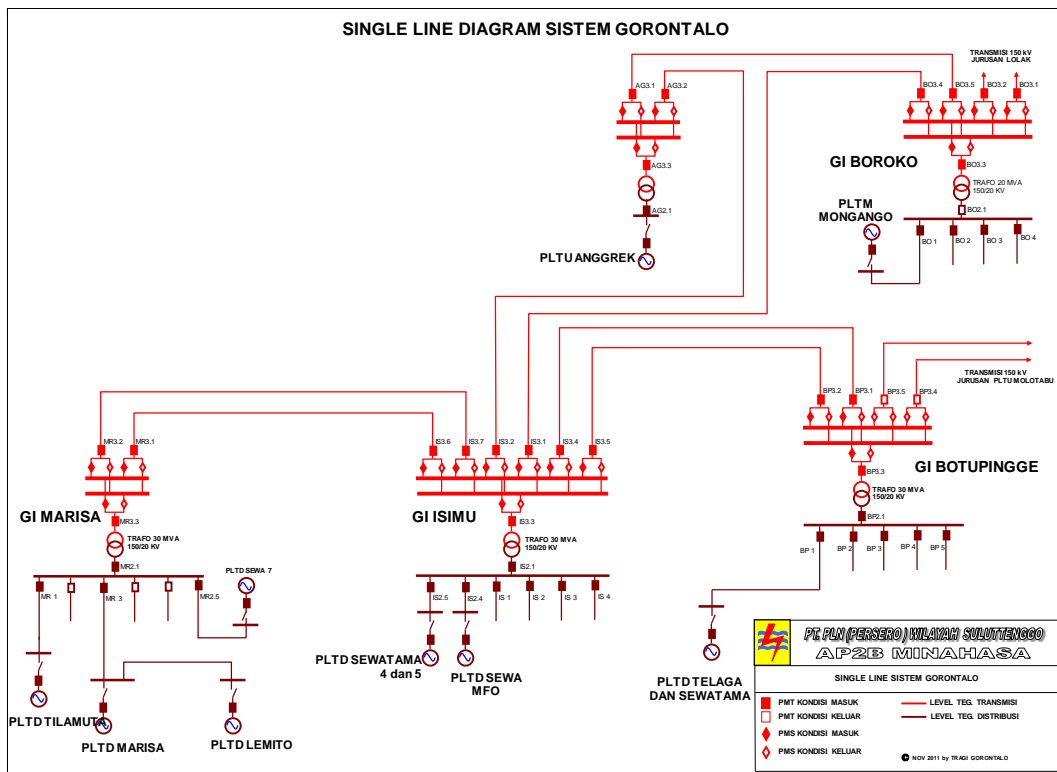
Penghantar (*conductor*) yang digunakan pada saluran transmisi sistem tenaga listrik Gorontalo adalah ACSR 240/40 dengan luas penampang 282,50 mm<sup>2</sup>. Data impedans jaringan transmisi selengkapnya diberikan dalam Tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Impedans jaringan transmisi

No	Rute Saluran	Panjang Saluran (km)	Impedans (ohm/km)	
			urutan positif	urutan nol
1	GI Isimu - GI Marisa	111,6	0,118 + j 0,42	0,545 + j 1,639
2	GI Isimu - GI Botupingge	36,97	0,118 + j 0,42	0,545 + j 1,639
3	GI Isimu - GI Boroko	74,03	0,118 + j 0,42	0,545 + j 1,639
4	GI Isimu - Anggrek	13,3	0,118 + j 0,42	0,545 + j 1,639

#### 4.1.3. Gardu Induk

Sistem tenaga listrik Gorontalo memiliki 4 (empat) buah Gardu Induk (GI) yakni: GI Isimu, GI Marisa, GI Botupingge, dan GI Boroko yang saling terinterkoneksi melalui jaringan transmisi 150 kV. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.2. Digram satu garis Sistem Tenaga Listrik Gorontalo.



Gambar 4.2. Diagram satu garis sistem tenaga listrik Gorontalo

Pusat-pusat tenaga listrik yang terhubung pada masing-masing gardu induk adalah sebagai berikut:

1. Gardu Induk Isimu : PLTD Sewatama IV, PLTD Sewatama V, dan PLTD Sewa MFO
2. Gardu Induk Botupingge : PLTD Telaga, PLTD Sewatama I, PLTD Sewatama II, dan PLTD Sewatama III
3. Gardu Induk Marisa : PLTD Tilmuta, PLTD Marisa, PLTD Lemito, PLTD Sewatama VI. Dan PLTD Sewatama VII
4. Gardu Induk Boroko : PLTM Mongango

Pada setiap Gardu Induk terdapat trafo daya yang berfungsi menaikkan tegangan dari 20 kV ke 150 kV. Data teknis dari trafo daya diberikan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Data transformator di Gardu Induk

No.	Gardu Induk	Type	Rated Power (MVA)	Rated Current (A)	Rated Voltage (kV)	Short circuit impedance (%)
1	Isimu	3 phasa	30	115,5/866	20/150	12,620
2	Marisa	3 phasa	30	115/866	20/150	12,611
3	Botupingge	3 phasa	30	115/866	20/150	12,567
4	Boroko	3 phasa	20		20/150	12,567

#### 4.1.4. Kebutuhan Energi Listrik Gorontalo

Sejak Provinsi Gorontalo terbentuk dari hasil pemekaran wilayah Sulawesi Utara, sesuai dengan Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2000 tanggal 22 Desember 2000 tentang Pembentukan Provinsi Gorontalo, maka sangat terasa adanya peningkatan perekonomian daerah. Peningkatan perekonomian secara tidak langsung memacu aktivitas di semua sektor penggerak ekonomi, seperti sektor pertanian, kelautan, pertambangan dan energi, kehutanan dan perkebunan, serta perindustrian dan perdagangan, yang mengakibatkan meningkatnya kebutuhan energi. Tabel 4.7. memberikan gambaran kebutuhan Energi Listrik Gorontalo sampai dari tahun 2010 dan proyeksi kebutuhan energi sampai dengan tahun 2015.

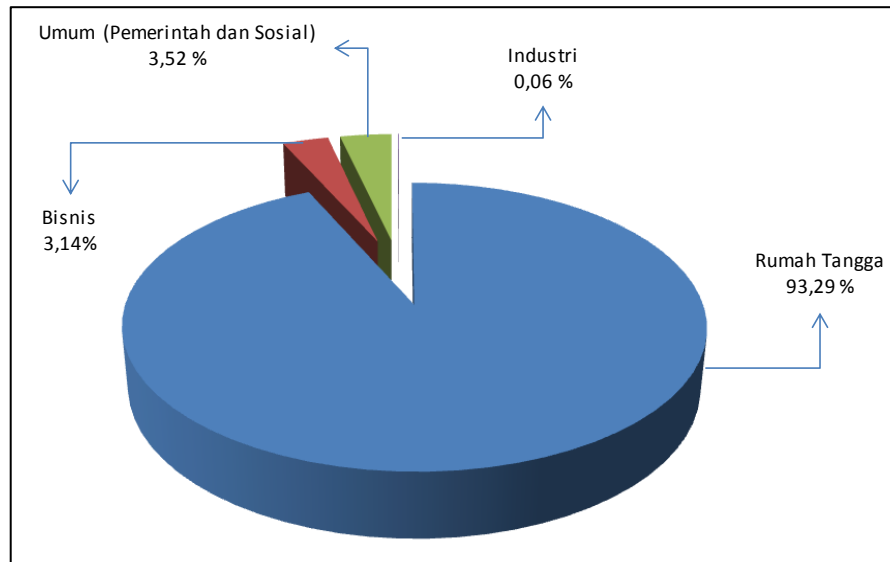
Tabel 4.7. Kebutuhan Energi Listrik di Gorontalo

Calender Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Total Population (1000)	1.038,6	1.050,5	1.073,7	1.085,0	1.096,1	1.107,1
Growth Rate (%)	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0
Growth of Total GDP (%)	6,4	6,5	6,7	6,7	6,7	7,2
Electrification Ratio (%)	67,3	72,8	77,5	80,0	82,5	85,0
Energy Sales (GWh)	208,7	225,4	264,2	285,7	309,1	335,5
Growth Rate (%)	10,6	8,1	8,3	8,2	8,2	8,6
- Residential	131,2	142,3	168,1	182,8	198,9	217,4
- Comercial	34,2	37,5	44,9	48,8	53,0	57,6
- Public	31,5	33,5	38,0	40,5	43,1	46,0
- Industrial	11,8	12,1	13,2	13,6	14,1	14,5
Power Contracted (MVA)	107,1	112,6	123,9	129,4	134,9	140,2
- Residential	70,0	72,9	78,6	81,5	84,4	87,2
- Comercial	14,5	15,5	17,4	18,4	19,4	20,3



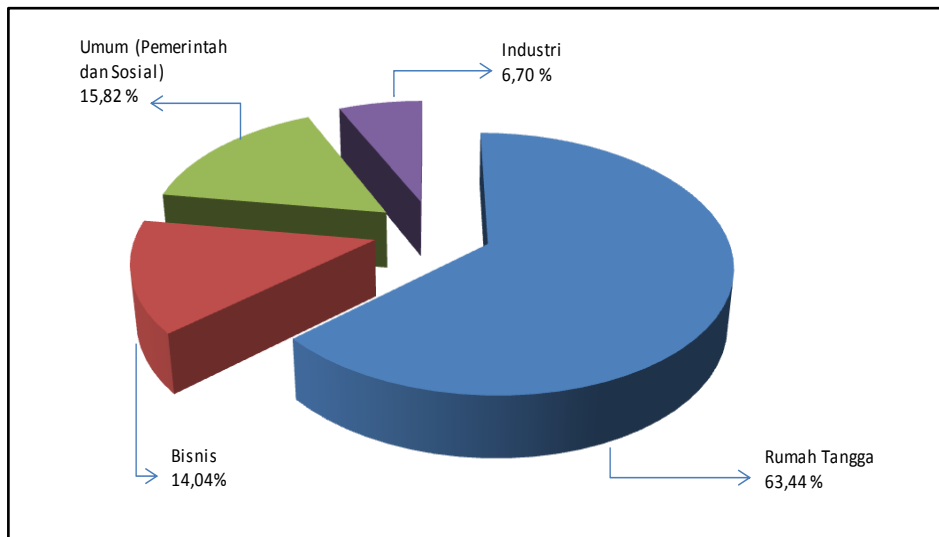
- Public	16,2	17,3	19,6	20,8	21,9	23,1
- Industrial	6,4	6,9	8,3	8,7	9,2	9,6
<b>Number of Costumer</b>	<b>113.627</b>	<b>126.193</b>	<b>143.081</b>	<b>152.312</b>	<b>162.083</b>	<b>172.470</b>
- Residential	105.123	117.336	133.477	142.310	151.667	161.623
- Comercial	3.991	4.150	4.486	4.664	4.849	5.041
- Public	4.428	4.621	5.031	5.250	5.478	5.716
- Industrial	85	86	87	88	89	90
<b>Total Production (GWh)</b>	<b>231,5</b>	<b>250,0</b>	<b>292,4</b>	<b>316,0</b>	<b>341,5</b>	<b>370,4</b>
<b>Peak Load (MW)</b>	<b>47</b>	<b>51</b>	<b>59</b>	<b>64</b>	<b>68</b>	<b>74</b>

Berdasarkan Tabel 4.7. terlihat bahwa pelanggan listrik pada sistem tenaga listrik Gorontalo masih didominasi oleh pelanggan rumah tangga (93,29%), selanjutnya berturut-turut adalah: umum (Pemerintah dan Sosial, 3,52%),bisnis (3,14%),dan industri (0,06%).



Gambar 4.3. Pelanggan listrik berdasarkan jenis tarif

Jumlah pelanggan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.3. memberikan kontribusi beban kepada sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. berikut ini:



Gambar 4.4. Kontribusi beban setiap jenis tarif

Pada Tabel 4.8. diberikan gambaran beban puncak sistem tenaga listrik Gorontalo pada kondisi isolated, yakni terlepas dari sistem Minahasa yang terjadi pada tanggal 13 Pebruari 2012.

Tabel 4.8. Beban Puncak Sistem Gorontalo tanggal 13 Pebruari 2012

Jam	PLTM	PLTD											Total Beban		
	Mongango	Telaga	Tilamuta	Marisa	Lemito	Sewa I Telaga	Sewa II Telaga	Sewa III Telaga	Sewa IV Isimu	Sewa V Isimu	Sewa MFO Isimu	Sewa VI Marisa	Sewa VII Paguat	Mesin	Feeder
	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
17:00	1,00	5,50	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	40,40	37,60
17:30	1,00	5,50	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	40,40	39,09
18:00	1,00	14,50	0,00	0,00	0,00	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	51,40	43,99
18:30	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	50,96
19:00	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	52,62
19:30	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	52,86
20:00	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	52,28
20:30	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	51,60
21:00	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	50,99
21:30	1,00	13,50	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	48,40	47,93
Tertinggi	1,00	14,50	0,30	2,00	0,18	5,00	2,00	4,50	6,00	5,00	2,20	2,00	9,20	53,88	52,86

Setiap pembangkit yang terhubung dengan Gardu Induk pada sistem tenaga listrik Gorontalo akan memberikan kontribusinya dalam melayani beban puncak seperti pada Tabel 4.8.

Adapun kontribusi masing-masing pembangkit terhadap beban total sistem dalam persen diberikan dalam Tabel 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.9. Kontribusi setiap pembangkit terhadap beban sistem

No	Lokasi	Beban Puncak dilayani	Kontribusi terhadap beban puncak sistem
		(MW)	(%)
1	GI Botupingge		
	PLTD Telaga	14,50	26,91
	Sewa I	5,00	9,28
	Sewa II	2,00	3,71
	Sewa III	4,50	8,35
	Total 1	26,00	48,26
2	GI Isimu		
	PLTD Sewa IV Isimu	6,00	11,14
	PLTD Sewa V Isimu	5,00	9,28
	PLTD Sewa MFO	2,20	4,08
	Total 2	13,20	24,50
3	GI Marisa		
	PLTD Marisa	2,00	3,71
	PLTD Tilamuta	0,30	0,56
	PLTD Sewa VI Marisa	2,00	3,71
	PLTD Sewa VII Paguat	9,20	17,07
	PLTD Lemito	0,18	0,33
	Total 3	13,68	25,39
4	GI Boroko		
	PLTM Mongago	1,00	1,86
	Total 4	1,00	1,86
	Total Beban Sistem	53,88	100,00

Beban yang tersambung pada setiap gardu induk dapat dihitung dengan asumsi bahwa kontribusi setiap pembangkit dalam melayani beban sistem seperti yang ada dalam Tabel 4.9. Jika total beban tersambung untuk tahun 2012 adalah 123,9 MVA seperti yang diberikan dalam Tabel 5.7. dan dengan faktor daya (*power factor*) pada sisi beban adalah 95% maka akan didapatkan beban tersambung pada setiap Gardu Induk (dalam MVA) seperti yang diberikan dalam Tabel 4.10. sebagai berikut:

Tabel 4.10. Beban Tersambung pada Gardu Induk

No	Lokasi	Beban Tersambung	Beban dilayani		Beban off
		MVA	MVA	%	MVA
1	GI Botupingge	60,06	27,89	46	32,17
2	GI Isimu	30,23	13,89	46	16,33
3	GI Boroko	2,29	1,05	46	1,24
4	GI Marisa	31,32	14,40	46	16,92
	Total Beban Sistem	123,90	57,24	46	66,66

#### 4.2. Persyaratan analisis, skenario, batasan, dan asumsi yang digunakan

Berdasarkan data-data sistem dilakukan simulasi aliran daya dengan metode Newton-Rhapson menggunakan program ETAP 4.0. Simulasi dilakukan dengan skenario (*design*) sebagai berikut:

##### a. Skenario 1

- Daya terpasang dan daya mampu pembangkit mengikuti data yang diberikan dalam Tabel 4.1.
- Beban yang tersambung pada Gardu Induk seperti pada Tabel 4.10
- Beban puncak sistem adalah kondisi beban puncak tanggal 13 Pebruari 2012, yakni kondisi pembebanan 46% dari beban tersambung.

##### b. Skenario 2

- Daya terpasang dan daya mampu pembangkit mengikuti data yang diberikan dalam Tabel 4.1.
- Beban yang tersambung pada Gardu Induk seperti pada Tabel 4.10
- Terjadi peningkatan beban dari 46% menjadi 60% dari beban tersambung, tanpa peningkatan daya mampu dari pembangkit.

##### c. Skenario 3

- Daya terpasang dan daya mampu pembangkit mengikuti data yang diberikan dalam Tabel 4.1.
- Beban yang tersambung pada Gardu Induk seperti pada Tabel 4.10
- Terjadi peningkatan beban dari 60% menjadi 90% dari beban tersambung, tanpa peningkatan daya mampu dari pembangkit.

Ketiga skenario disimulasi dalam 2 (dua) pola operasi sistem, yakni pada saat sistem Gorontalo *isolated*, dan sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem tenaga listrik Minahasa. Asumsi dan batasan yang digunakan dalam simulasi sebagai berikut:

- Ketelitian yang digunakan dalam simulasi aliran daya adalah 0.000001, dengan metode analisis menggunakan metode Newton-Rhapson
- Impedans dari saluran dan transformator dari sisi tegangan rendah 20 kV diabaikan
- Studi aliran daya dilakukan pada kondisi sistem tanpa gangguan

### **4.3. Hasil Simulasi Aliran Daya**

#### **4.3.1. Unjuk kerja metode *Newton-Rhapson***

Berdasarkan data-data sistem dilakukan simulasi aliran daya dengan metode *Newton-Rhapson* menggunakan program ETAP 4.0. Simulasi dilakukan pada ketiga skenario dengan kondisi operasi saat sistem Gorontalo *isolated* dan *interkoneksi* dengan sistem Minahasa Sulawesi Utara.

Hasil simulasi menggunakan metode *Newton-Rhapson* menunjukkan bahwa simulasi atau proses komputasi konvergen pada iterasi ke-2 untuk kondisi operasi saat sistem Gorontalo *isolated* dari sistem Minahasa, sedangkan untuk kondisi operasi sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem Minahasa, proses komputasi konvergen pada iterasi ke-1. (*hasil simulasi dapat dilihat pada lampiran*).

Proses komputasi yang sangat cepat ini dapat terjadi karena sistem tenaga listrik yang menjadi objek penelitian tergolong pada sistem yang kecil yakni hanya terdiri atas 8 (delapan) bus atau rel. Demikian pula jika sebuah sistem tenaga listrik *interkoneksi* dengan sistem tenaga listrik yang lain, maka proses komputasi akan berlangsung lebih cepat dibandingkan jika sistem itu beroperasi *isolated*. Hal ini dapat dipahami karena ketika sebuah sistem tenaga listrik *interkoneksi* dengan sistem lain, maka permasalahan pemenuhan beban dengan total pembangkitan akan lebih mudah teratasi, sehingga beban komputasi akan menjadi lebih ringan.

### 4.3.2. Sistem Gorontalo *Isolated* dari sistem Minahasa

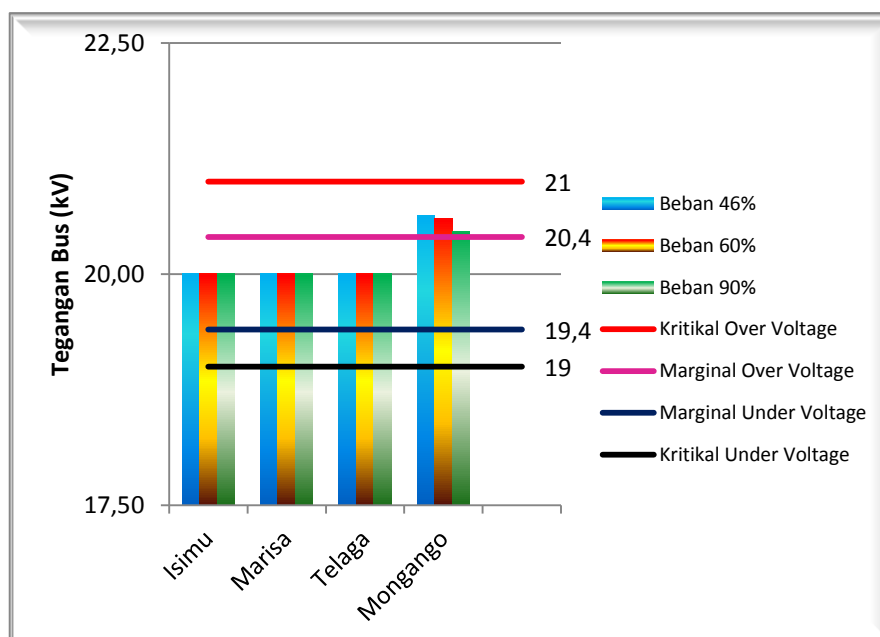
#### 4.3.2.1. Tegangan di setiap bus saat sistem *isolated*

Tegangan di setiap bus saat Sistem Gorontalo *isolated* dari sistem Minahasa dengan kondisi pembebanan dan pembangkitan sesuai skenario 1, skenario 2, dan skenario 3 didapatkan hasil simulasi sebagai berikut:

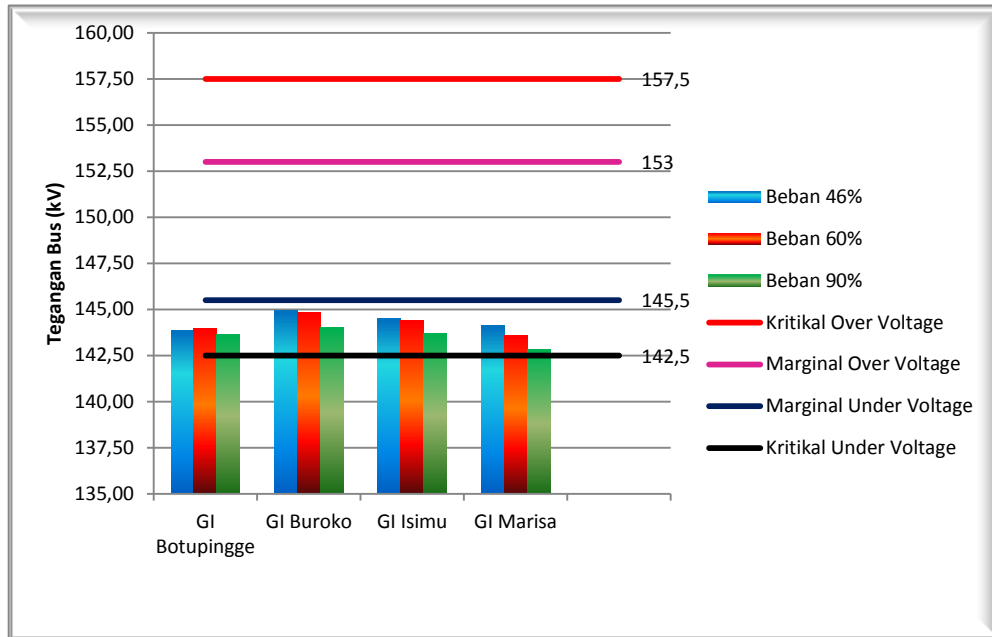
Tabel 4.11. Tegangan di setiap bus pada sistem Gorontalo saat *isolated*

Nama Bus	Rating (kV)	kV			% Magnetude		
		Skenario			Skenario		
		1	2	3	1	2	3
Isimu	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Marisa	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Telaga	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Mongango	20,00	20,63	20,60	20,46	103,17	103,02	102,29
GI Botupingge	150,00	143,85	143,97	143,61	95,90	95,98	95,74
GI Buroko	150,00	144,94	144,84	144,03	96,63	96,56	96,02
GI Isimu	150,00	144,48	144,41	143,71	96,32	96,28	95,81
GI Marisa	150,00	144,12	143,57	142,81	96,08	95,71	95,20

Dari tabel 4.11. dapat diketahui kondisi tegangan pada setiap bus berdasarkan batas-batas marginal dan kritikal baik untuk *over voltage* maupun *under voltage* seperti ditunjukkan pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.



Gambar 4.5. Tegangan Bus 20 kV saat sistem *isolated*



Gambar 4.6. Tegangan Bus 150 kV saat sistem *isolated*

Hasil simulasi aliran daya menunjukkan bahwa, pada saat sistem Gorontalo *isolated* dari sistem Minahasa, terdapat 5 bus/rel atau sebesar 62,5% dari total bus yang bekerja dengan tegangan sistem yang tidak normal, yakni sebagai berikut:

- Skenario 1: bus yang bekerja normal sebanyak 37,5% yakni bus Isimu, bus Marisa, dan bus Telaga, *marginal over voltage* sejumlah 12,5% yakni bus Mongango, dan *marginal under voltage* sebanyak 50%, yakni bus GI Isimu, GI Marisa, GI Botupingge, dan GI Buroko
- Skenario 2: bus yang bekerja normal sebanyak 37,5% yakni bus Isimu, bus Marisa, dan bus Telaga, *marginal over voltage* sejumlah 12,5% yakni bus Mongango, dan *marginal under voltage* sebanyak 50%, yakni bus GI Isimu, GI Marisa, GI Botupingge, dan GI Buroko
- Skenario 3: bus yang bekerja normal sebanyak 37,5% yakni bus Isimu, bus Marisa, dan bus Telaga, *marginal over voltage* sejumlah 12,5% yakni bus Mongango, *marginal under voltage* sejumlah 37,5% yakni bus GI Botupingge, GI Buroko, dan GI Isimu, sedangkan kondisi *critical under voltage* sebanyak 12,5% yakni bus Marisa.

#### 4.3.2.2. Daya aktif yang dibangkitkan saat sistem *isolated*

Daya aktif yang dibangkitkan oleh generator pada setiap Bus ID untuk ketiga skenario diberikan dalam tabel 4.12.

Tabel 4.12. Daya aktif (MW) yang dibangkitkan generator saat *isolated*

Bus ID	Daya Aktif Generator (MW)		Daya Dibangkitkan (MW)		
	Terpasang	Daya Mampu	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
GI Botupingge	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GI Buroko	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GI Isimu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GI Marisa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Isimu	26,60	14,00	14,00	14,00	14,00
Marisa	19,91	15,02	15,02	15,02	15,02
Mongango	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Telaga	43,36	25,80	24,20	40,70	76,37
Total	91,37	55,82	54,22	70,72	106,39

Berdasarkan tabel 4.12, terlihat bahwa pada kondisi pembebanan sesuai skenario 1 daya yang harus dibangkitkan sebesar 54,22 MW atau pada kondisi ini, sistem Gorontalo masih memiliki cadangan daya sebesar 1,6 MW dari daya mampu sistem yang sebesar 55,82 MW.

Daya yang harus dibangkitkan pada skenario 2 adalah sebesar 70,72 MW hal ini sudah melebihi daya mampu dari generator, walaupun masih di bawah kapasitas yang terpasang yakni sebesar 91,37 MW. Oleh karena itu, untuk mengatasi kondisi ini maka daya mampu pembangkit yang ada pada sistem tenaga listrik Gorontalo harus ditingkatkan.

Sedangkan untuk kondisi pembebanan sesuai skenario 3, generator yang ada pada sistem Gorontalo sudah tidak mampu lagi melayani beban sistem. Daya yang harus dibangkitkan pada kondisi ini adalah 106,39 MW sedangkan daya mampu dan kapasitas terpasang dari pembangkit yang dimiliki oleh sistem Gorontalo berturut-turut adalah 55,82 MW dan 91,37 MW. Untuk mengantisipasi keadaan ini, maka sistem Gorontalo harus menambah jumlah unit pembangkit atau melakukan *interkoneksi* dengan sistem tenaga listrik yang lain.



#### 4.3.2.3. Daya aktif, daya reaktif, dan arus saat sistem *isolated*

Daya aktif, daya reaktif, dan arus yang mengalir di setiap saluran berdasarkan hasil simulasi aliran daya saat sistem Gorontalo *isolated* dari sistem Minahasadiberikan dalam tabel 4.13 s/d tabel 4.15.

Tabel 4.13. Aliran Daya setiap saluran skenario 1 saat *isolated*

Saluran		Aliran Daya		
Dari bus	ke bus	daya aktif (MW)	daya reaktif (MVAR)	Arus (Ampere)
GI Botupingge	GI Isimu	-2,02	-7,49	31
GI Botupingge	Telaga	2,02	7,49	31
GI Buroko	GI Isimu	-0,07	-2,25	8
GI Buroko	Mongango	0,07	2,25	8
GI Isimu	GI Buroko	0,07	-6,58	26
GI Isimu	GI Botupingge	2,02	3,13	14
GI Isimu	GI Marisa	-1,32	-5,17	21
GI Isimu	Isimu	-0,78	8,61	34
GI Marisa	GI Isimu	1,32	-8,07	32
GI Marisa	Marisa	-1,32	8,07	32
Isimu	GI Isimu	0,79	-8,27	239
Marisa	GI Marisa	1,33	-7,77	227
Mongango	GI Buroko	-0,07	-2,23	62
Telaga	GI Botupingge	-2,01	-7,22	216

Tabel 4.14. Aliran Daya setiap saluran skenario 2 saat *isolated*

Saluran		Aliran Daya		
Dari bus	ke bus	daya aktif (MW)	daya reaktif (MVAR)	Arus (Ampere)
GI Botupingge	GI Isimu	6,50	-8,14	41
GI Botupingge	Telaga	-6,50	8,14	41
GI Buroko	GI Isimu	-0,39	-2,36	9
GI Buroko	Mongango	0,39	2,36	9
GI Isimu	GI Buroko	0,39	-6,46	25
GI Isimu	GI Botupingge	-6,49	3,82	30
GI Isimu	GI Marisa	2,85	-5,71	25
GI Isimu	Isimu	3,25	8,35	35
GI Marisa	GI Isimu	-2,84	-7,48	32
GI Marisa	Marisa	2,84	7,48	32
Isimu	GI Isimu	-3,23	-7,99	248
Marisa	GI Marisa	-2,83	-7,19	223

Mongango	GI Buroko	-0,39	-2,33	66
Telaga	GI Botupingge	6,52	-7,65	290

Tabel 4.15. Aliran Daya setiap saluran skenario 3 saat *isolated*

Saluran		Aliran Daya		
Dari bus	ke bus	daya aktif (MW)	daya reaktif (MVAR)	Arus (Ampere)
GI Botupingge	GI Isimu	24,96	-9,78	107
GI Botupingge	Telaga	-24,90	9,78	107
GI Buroko	GI Isimu	-1,05	-2,59	11
GI Buroko	Mongango	1,05	2,59	11
GI Isimu	GI Buroko	1,05	-6,14	25
GI Isimu	GI Botupingge	-24,82	5,95	102
GI Isimu	GI Marisa	11,88	-6,98	55
GI Isimu	Isimu	11,88	7,17	55
GI Marisa	GI Isimu	-11,79	-5,76	53
GI Marisa	Marisa	11,79	5,76	53
Isimu	GI Isimu	-11,85	-6,29	387
Marisa	GI Marisa	-11,76	-4,96	368
Mongango	GI Buroko	-1,05	-2,55	77
Telaga	GI Botupingge	25,10	-6,50	748

### 4.3.3. Sistem Gorontalo *Interkoneksi* dengan Sistem Minahasa

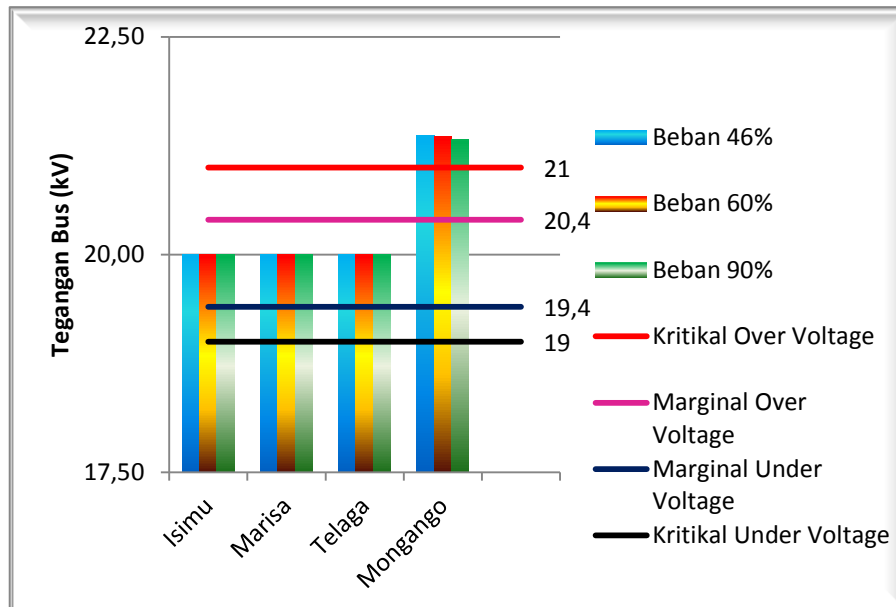
#### 4.3.3.1. Tegangan di setiap bus saat sistem *interkoneksi*

Tegangan di setiap bus saat Sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem Minahasa didapatkan hasil simulasi sebagai berikut:

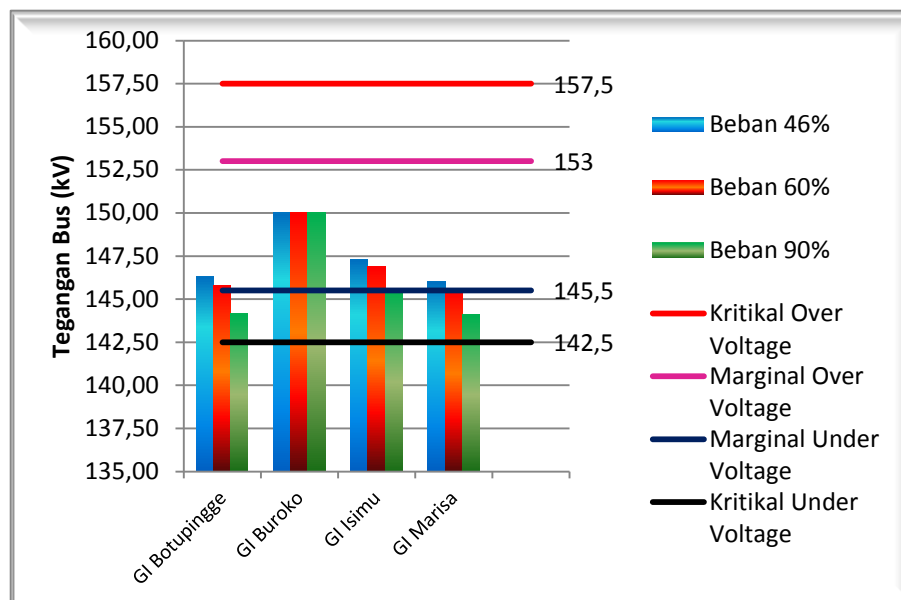
Tabel 4.16. Tegangan di setiap bus pada sistem Gorontalo saat *interkoneksi*

Nama Bus	Rating (kV)	kV			% Magnetude		
		Skenario			Skenario		
		1	2	3	1	2	3
Isimu	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Marisa	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Telaga	20,00	20,00	20,00	20,00	100,00	100,00	100,00
Mongango	20,00	21,37	21,35	21,32	106,83	106,76	106,61
GI Botupingge	150,00	146,32	145,77	144,13	97,54	97,18	96,09
GI Buroko	150,00	150,00	150,00	150,00	100,00	100,00	100,00
GI Isimu	150,00	147,31	146,90	145,61	98,21	97,93	97,07
GI Marisa	150,00	146,03	145,54	144,10	97,35	97,02	96,07

Dari tabel 4.16. dapat diketahui kondisi tegangan pada setiap bus berdasarkan batas-batas marginal dan kritikal baik untuk *over voltage* maupun *under voltage* seperti ditunjukkan pada gambar 4.7 dan gambar 4.8.



Gambar 4.7. Tegangan Bus 20 kV saat sistem *interkoneksi*



Gambar 4.8. Tegangan Bus 150 kV saat sistem *interkoneksi*

Hasil simulasi saat sistem interkoneksi memberikan kondisi tegangan sebagai berikut:

- a) Skenario 1: bus yang bekerja normal sejumlah 87,5%, *under voltage* 0%, dan *criticalover voltage* 12,5%.
- b) Skenario 2: bus yang bekerja normal 62,5%, *marginalunder voltage* 25%, dan *criticalover voltage* 12,5%.
- c) Skenario 3: bus yang bekerja normal 50%, *marginalunder voltage* 37,5%, dan *criticalover voltage* 12,5%.

Jika dibandingkan dengan kondisi tegangan setiap bus saat sistem Gorontalo *isolated* dari sistem Minahasa, terlihat bahwa ada perbaikan kondisi tegangan, hal ini ditunjukkan oleh meningkatnya jumlah bus yang bekerja dengan tegangan normal ketika sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem Minahasa. Namun dengan meningkatnya permintaan tenaga listrik oleh konsumen, tetap diperlukan usaha-usaha antisipasi misalnya melalui kampanye hemat listrik, penambahan unit pembangkit atau memperbaiki daya mampu pembangkit, perbaikan efisiensi sistem baik transmisi maupun distribusi, dan juga usaha-usaha dalam rangka menemukan dan memanfaatkan sumber energi baru dan terbarukan.

#### 4.3.3.2. Daya aktif yang dibangkitkan saat sistem *interkoneksi*

Daya aktif yang dibangkitkan oleh generator pada setiap Bus ID untuk ketiga skenario diberikan dalam tabel 4.17.

Tabel 4.17. Daya aktif (MW) yang dibangkitkan generator saat *interkoneksi*

Bus ID	Daya Aktif Generator (MW)		Daya Dibangkitkan (MW)		
	Terpasang	Daya Mampu	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
GI Botupingge	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GI Buroko	0,00	0,00	-1,40	15,18	51,78
GI Isimu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GI Marisa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Isimu	26,60	14,00	14,00	14,00	14,00
Marisa	19,91	15,02	15,02	15,02	15,02
Mongango	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Telaga	43,36	25,80	25,80	25,80	25,80
Total	91,37	55,82	54,42	71,00	107,60

Berdasarkan tabel 4.17. terlihat bahwa, setiap unit pembangkit yang terdapat pada sistem Gorontalo untuk ketiga skenario beroperasi sesuai daya mampu dari masing-masing unit pembangkit. Adapun kelebihan pembangkitan seperti pada skenario 1, disalurkan ke sistem Minahasa, atau dalam hal ini sistem Gorontalo mengirim daya listrik ke sistem Minahasa sebesar 1,4 MW. Sedangkan kekurangan daya seperti yang terjadi pada skenario 2 dan skenario 3, dipenuhi dari sistem Minahasa, atau dalam hal ini sistem Gorontalo menerima daya sebesar 15,18 MW (skenario 2) dan 51,78 MW (skenario 3) dari sistem Minahasa.

#### 4.3.3.3. Daya aktif, daya reaktif, dan arus saat sistem *interkoneksi*

Daya aktif (MW), daya reaktif (MVAR), dan arus (Ampere) yang mengalir di setiap saluran (dari bus ke bus) berdasarkan hasil simulasi aliran daya saat sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem Minahasa Sulawesi Utara diberikan dalam tabel 4.18 s/d tabel 4.20.

Tabel 4.18. Aliran Daya setiap saluran skenario 1 saat *interkoneksi*

Aliran Daya				
Dari bus	ke bus	daya aktif (MW)	daya reaktif (MVAR)	Arus (Ampere)
GI Botupingge	GI Isimu	-0,43	-11,52	45
GI Botupingge	Telaga	0,43	11,52	45
GI Buroko	GI Isimu	-1,54	8,67	33
GI Buroko	Mongango	0,14	2,28	8
GI Isimu	GI Buroko	1,61	-17,75	69
GI Isimu	GI Botupingge	0,44	7,04	27
GI Isimu	GI Marisa	-1,30	-2,50	11
GI Isimu	Isimu	-0,76	13,21	51
GI Marisa	GI Isimu	1,31	-11,14	44
GI Marisa	Marisa	-1,31	11,14	44
Isimu	GI Isimu	0,79	-12,45	360
Marisa	GI Marisa	1,33	-10,58	307
Mongango	GI Buroko	-0,14	-2,25	60
Telaga	GI Botupingge	-0,40	-10,93	315

Tabel 4.19. Aliran Daya setiap saluran skenario 2 saat *interkoneksi*

Saluran		Aliran Daya		
Dari bus	ke bus	daya aktif (MW)	daya reaktif (MVAR)	Arus (Ampere)
GI Botupingge	GI Isimu	-8,41	-10,45	53
GI Botupingge	Telaga	8,41	10,45	53
GI Buroko	GI Isimu	14,70	6,18	61
GI Buroko	Mongango	0,49	2,39	9
GI Isimu	GI Buroko	-14,57	-15,01	82
GI Isimu	GI Botupingge	8,44	6,03	40
GI Isimu	GI Marisa	2,87	-3,39	17
GI Isimu	Isimu	3,26	12,37	50
GI Marisa	GI Isimu	-2,85	-10,16	41
GI Marisa	Marisa	2,85	10,16	41
Isimu	GI Isimu	-3,23	-11,66	349
Marisa	GI Marisa	-2,83	-9,67	290
Mongango	GI Buroko	-0,49	-2,36	65
Telaga	GI Botupingge	-8,38	-9,65	368

Tabel 4.20. Aliran Daya setiap saluran skenario 3 saat *interkoneksi*

Saluran		Aliran Daya		
Dari bus	ke bus	daya aktif (MW)	daya reaktif (MVAR)	Arus (Ampere)
GI Botupingge	GI Isimu	-25,60	-8,45	108
GI Botupingge	Telaga	25,60	8,45	108
GI Buroko	GI Isimu	50,55	3,90	195
GI Buroko	Mongango	1,23	2,65	11
GI Isimu	GI Buroko	-49,53	-9,49	199
GI Isimu	GI Botupingge	25,75	4,55	103
GI Isimu	GI Marisa	11,89	-5,25	51
GI Isimu	Isimu	11,89	10,19	62
GI Marisa	GI Isimu	-11,80	-7,78	56
GI Marisa	Marisa	11,80	7,78	56
Isimu	GI Isimu	-11,85	-9,10	431
Marisa	GI Marisa	-11,76	-6,87	393
Mongango	GI Buroko	-1,23	-2,61	77
Telaga	GI Botupingge	-25,46	-5,15	750

#### 4.4. Keterbatasan Studi

Analisis aliran daya menggunakan simulasi program ETAP versi 4.0 yang diterapkan pada penelitian ini belum memperhatikan bagaimana aliran daya ketika terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk kondisi sistem bilamana terjadi gangguan, misalnya gangguan hubung singkat, gangguan berupa keluarnya salah satu pembangkit atau lebih dari sistem, maupun gangguan berupa terlepasnya beban dari sistem secara mendadak.

Sistem Minahasa Sulawesi Utara dalam simulasi ketika *interkoneksi* dengan sistem Gorontalo, ditetapkan sebagai sebuah sistem (*swing/slack bus*) yang dianggap mampu menangani fluktuasi beban setiap saat, tetapi pada kenyataannya sistem Minahasa harus melayani beban di wilayah kerjanya dengan berbagai persoalan terkait dengan kemampuan unit-unit pembangkit dan karakteristik beban atau konsumen yang tersambung dengan sistem Minahasa. Untuk lebih mengetahui bagaimana kemampuan setiap unit pembangkit dalam melayani beban pada sistem *interkoneksi* Gorontalo dengan Minahasa, maka kedua sistem ini harus dipandang sebagai satu kesatuan sistem dengan menetapkan pembangkit yang memiliki kapasitas dan daya mampu yang paling besar sebagai *swing bus/slack bus*, dan menganalisis setiap *bus/rel* sehingga analisis atau simulasi yang dilakukan tidak terbatas hanya pada 8 (delapan) *bus/rel* yang ada pada sistem Gorontalo tetapi akan terdiri atas keseluruhan *bus/rel* yang ada baik pada sistem Gorontalo maupun sistem Minahasa.

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Simpulan**

1. Metode *Newton-Rhapson* yang digunakan dalam simulasi aliran daya pada penelitian ini memperlihatkan efisiensi dalam hal kecepatan proses komputasi dengan hanya 2 (dua) kali iterasi untuk kondisi *isolated* dan 1 (satu) kali iterasi untuk kondisi *interkoneksi*.
2. Jumlah bus dengan kondisi tegangan normal untuk ketiga skenario saat *isolated* rata-rata 37,5%. Terjadi peningkatan jumlah bus dengan kondisi tegangan normal yakni rata-rata 66,67% ketika sistem Gorontalo *interkoneksi* dengan sistem Minahasa.
3. Untuk kondisi beban skenario 2 dan skenario 3, pembangkit yang ada pada sistem Gorontalo sudah tidak mampu lagi menangani beban. Dari hasil simulasi, daya aktif yang harus dibangkitkan oleh unit pembangkit sudah melebihi daya mampu dan kapasitas terpasang. Oleh karena itu diperlukan penambahan unit pembangkit atau efisiensi sistem.

#### **5.2. Saran**

1. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk operasi sistem dalam kondisi gangguan dengan memperlakukan sistem Gorontalo dan sistem Minahasa sebagai satu kesatuan sistem.
2. Pada bus-bus yang mengalami *over voltage* maupun *under voltage* sebaiknya ditambahkan peralatan perbaikan tegangan baik itu *reaktor shunt* maupun *capasitor bank*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Amirullah., Ontoseno Penagnsang., Mauridhi Hery Purnomo., 2008., Studi Aliran Daya Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan *Counterpropagation* Termodifikasi. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI) 2008., Yogyakarta. (Diambil dari: <http://puslit.petra.ac.id> pada tanggal 28/02/2012 jam 10:52)
- Emmy Hosea., Yusak Tanoto., 2005., Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode *Newton-Raphson* (Diambil dari: <http://puslit.petra.ac.id> pada tanggal 28/02/2012 jam 10:55)
- Gupta., BR., 1998., *Power System Anaysis and Design.*, A.H. Wheeler & Co. Ltd., New Delhi.
- I Putu Suka Arsa., 2004., Penerapan Metode Gauss Seidel Untuk Meningkatkan Kualitas Perkuliahan Jaringan Distribusi Melalui Pembelajaran Berbasis Komputer (Matlab)., *Jurnal Pendidikan dan Pengajaran IKIP Negeri Singaraja*, No.3 Juli 2004 (Diambil dari: <http://www.undiksha.ac.id> pada tanggal 29/02/2012 jam 10:40)
- Khairudin., 2009., *Pemodelan Komponen HVDC Dan Analisa Aliran Daya Pada Sistem Terintegrasi AC-DC Dengan Metoda Sequential Approach.* (Diambil dari: <http://jurnal.ee.unila.ac.id/wp-content/uploads/2012/01/02-Khairuddin-Vol-4-No-1-Jan-2010.pdf> pada tanggal 28/02/2012 jam 09:25)
- Kundur, P., 1993., *Power System Stability and Control.*, McGraw-Hill, Inc., New York
- Manuaba, IBG., Kadek Amerta Yasa., 2009., *Analisa Aliran Daya Dengan Metode Injeksi Arus Pada Sistem Distribusi 20 kV.* (Diambil dari: [http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/manuaba\\_8\\_.pdf](http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/manuaba_8_.pdf) pada tanggal 28/02/2012 jam 10:35)
- Momoh., James A., 2001., *Electric Power System Applications of Optimization.*, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Powell, L., 2005, "Power System Load Flow Analysis", McGraw-Hill, USA
- Saadat, Hadi., 1999., *Power System Analysis.*, McGraw-Hill Book Co., Singapura.
- Stevenson, William D., Granger, John J., 1994., *Power System Analysis.*, McGraw-Hill International Edition., New York
- Wilhelmina S.Y.M Sawai., 2008., Studi Aliran Daya menggunakan ETAP., FT UI., (Diambil dari: <http://www.lontar.ui.ac.id> pada tanggal 25/02/2012 jam 9:35)

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Biodata Ketua Peneliti

#### A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap	Ervan Hasan Harun, ST.,MT
2.	Jenis Kelamin	Laki-laki
3.	Jabatan Fungsional	Lektor
4.	Jabatan struktural	-
5.	NIP	197411252001121002
6.	NIDN	0025117408
7.	Tempat dan tanggal lahir	Gorontalo, 25 November 1974
8.	Alamat Rumah	Perum Graha Nirwana, Jl. Hubulo, Kel. Kayu Bulan Kec. Limboto Kab. Gorontalo
9.	No Telp/Faks/HP	081340079282
10.	Alamat Kantor	Jl. Sudirman No. 6 Kota Gorontalo
11.	No. Telp/Faks	(0435) 821183
12.	Alamat e-mail	<a href="mailto:harunervan@gmail.com">harunervan@gmail.com</a>
13.	Lulusan yang telah dihasilkan	S-1= 0 orang    S-2 = 0 orang    S-3 = 0 rang
14.	Mata Kuliah yang diampu	1. Analisis Sistem Tenaga Listrik 2. Transmisi dan Gardu Induk 3. Stabilitas dan Keandalan 4. Dasar Konversi Energi 5. Metode Numerik

#### B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan Tinggi	Universitas Sam Ratulangi Manado	Universitas Gadjah Mada Yogyakarta	
Bidang Ilmu	Teknik Elektro (Sistem Tenaga Listrik)	Teknik Elektro (Sistem Tenaga Listrik)	
Tahun Masuk – Lulus	1993 – 1999	2004 - 2006	
Judul skripsi/thesis/disertasi	Studi tentang rugi-rugi Energi Elektrik pada Sistem Distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) Wilayah VII Cabang Gorontalo	Studi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik di PT. PLN (Persero) Wilayah VII SULUTTENGGO Sektor Minahasa	
Nama Pembimbing/Promotor	1. Ir. Sandy Pakaja, M.Sc 2. Ir. Dardjupri, M.Si	1. Dr. Ir. Sasongko Pramono Hadi, DEA 2. Ir. Soedjatmiko, M.Sc	

### C. Pengalaman Penelitian

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp.)
1.	2011	Pemetaan Sumber Daya Laboratorium Teknik Elektro UNG sebagai Analisis Kebutuhan Pengembangan Laboratorium yang Ideal	PNBP UNG	17,5
2.	2009	Pengembangan Ketenagalistrikan di Wilayah Propinsi Gorontalo	DIKTI	100
3.	2008	Prakiraan Besar Medan Listrik dan Medan Magnet Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV di Propinsi Gorontalo	PNBP UNG	3

### D. Pengalaman Pengabdian kepada Masyarakat

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp.)
1.	2009	Pelatihan Pembuatan Inverter Sebagai Modul tambahan Pada PLTS-SHS di Desa Batu Layar Kec. Bongomeme Kab. Bongomeme	DIKTI	7,5
2.	2007	Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) SHS dengan pemanfaatan Inverter sebagai pengubah tegangan DC menjadi AC melalui kegiatan Pelatihan pada masyarakat di Desa Olele Kec. Kabila Kab. Bone Bolango	DIKTI	1,5

### E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah dalam Jurnal

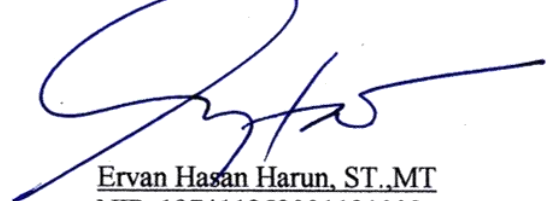
No	Judul Artikel Ilmiah	Volume/No/Tahun	Nama Jurnal
1.	Studi Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik Minahasa	Volume 4/No.1/ Juni 2006	Jurnal Teknik
2.	Pemanfaatan Sinar Matahari Sebagai Upaya Meningkatkan Efisiensi pada Sistem Siklus Kombinasi	Volume 7/ No.1/ Juni 2009	Jurnal Teknik
3.	Analisis Radiasi Gelombang Elektromagnetik SUTT 150 kV Menggunakan Metode <i>Geometric Mean Distance</i> (GMD) dan <i>Geometric Mean Radius</i> (GMR)	Volume 8/ No.2/ Desember 2010	Jurnal Teknik

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima resikoanya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam laporan Penelitian Pengembangan IPTEK dengan judul “Analisis Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik 150 kV Gorontalo Menggunakan Metode Newton-Rhapson”

Gorontalo, 01 Oktober 2012

Ketua Peneliti



Ervan Hasan Harun, ST.,MT  
NIP. 197411252001121002

## Lampiran 2. Biodata Anggota Peneliti

### A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap	Taufiq Ismail Yusuf, ST.,M.Si
2.	Jenis Kelamin	Laki-laki
3.	Jabatan Fungsional	Lektor
4.	Jabatan struktural	Pembantu Dekan Bidang Kemahasiswaan
5.	NIP	197401162000121001
6.	NIDN	0016017405
7.	Tempat dan tanggal lahir	Gorontalo, 16 Januari 1974
8.	Alamat Rumah	Jl. Jeruk Perum Civika, Blok A.14 Kel. Wumialo Kec. Kota Tengah. Gorontalo
9.	No Telp/Faks/HP	081340717555
10.	Alamat Kantor	Jl. Sudirman No. 6 Kota Gorontalo
11.	No. Telp/Faks	(0435) 821183
12.	Alamat e-mail	<a href="mailto:taufiqismailyusuf@yahoo.com">taufiqismailyusuf@yahoo.com</a>
13.	Lulusan yang telah dihasilkan	S-1= 0 orang    S-2 = 0 orang    S-3 = 0 rang
14.	Mata Kuliah yang diampu	1. Sistem Proteksi
		2. Metode Numerik (D3)
		3. Analisis Sistem Tenaga Listrik (D3)
		4.
		5.

### B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan Tinggi	Universitas Sam Ratulangi Manado	Universitas Sam Ratulangi Manado	
Bidang Ilmu	Teknik Elektro (Sistem Tenaga Listrik)	Ilmu Perencanaan Wilayah	
Tahun Masuk – Lulus	1993 – 1999	2002 – 2006	
Judul skripsi/thesis/disertasi	Studi Koordinasi Rele Proteksi Arus Lebih pada Wilayah Kerja PT. PLN Cabang Gorontalo	Pengaruh Bentor terhadap Perekonomian Propinsi Gorontalo	
Nama Pembimbing/Promotor	1. Ir. Sandy Pakaja, M.Sc 2. Ir. Dardjupri, M.Si	1. Prof. Dr. Jan Tatu 2. Dr. Wempi Uguy	

### C. Pengalaman Penelitian

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp.)
1.	2007	Studi Koordinasi Rele Arus (Over Current Relay) di Jaringan Distribusi Primer 20 KV di PT. PLN Persero Cab. Gorontalo	PNBP UNG	2
2.	2009	Pengembangan Ketenagalistrikan di Wilayah Provinsi Gorontalo	DIKTI	100

### D. Pengalaman Pengabdian kepada Masyarakat

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp.)
1.	2007	Pelatihan Pengoperasian dan Perawatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) kepada masyarakat di Ds. Batu Layar Kec. Bongomeme Kab. Gorontalo	PNBP UNG	1,5
2.	2009	Pelatihan Pembuatan Inverter Sebagai Modul tambahan Pada PLTS-SHS di Desa Batu Layar Kec. Bongomeme Kab. Bongomeme	DIKTI	7,5

### E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah dalam Jurnal

No	Judul Artikel Ilmiah	Volume/No/Tahun	Nama Jurnal
1.	Studi Analisis Gangguan Phasa-Phasa Pada Sistem Distribusi Pimer 20 KV di PT. PIn (Persero) Cabang Gorontalo	Voume 5/No.1/ Juni 2007	Jurnal Teknik
2.			

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima resikoanya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam Laporan Penelitian Pengembangan IPTEK dengan judul “Analisis Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik 150 kV Gorontalo Menggunakan Metode Newton-Rhapson”

Gorontalo, 01Oktober 2012

Anggota Peneliti



Taufiq Ismail Yusuf, ST.,M.Si  
NIP. 197401162000121001

Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: GorontaloIsolated2

**ETAP PowerStation**  
 4.0.0C

Study Case: Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Lampiran 3. Hasil Simulasi Aliran Daya Menggunakan ETAP 4.0**

**Electrical Transient Analyzer Program**

**ETAP PowerStation**

**Load Flow Analysis**

Loading Category: Skenario 1

Load Diversity Factor: None

	<u>Swing</u>	<u>Generator</u>	<u>Load</u>	<u>Total</u>										
Number of Buses:	1	3	4	8										
Number of Branches:	<u>XFMR2</u>	4	<u>XFMR3</u>	0	<u>Reactor</u>	0	<u>Line/Cable</u>	3	<u>Impedance</u>	0	<u>Tie PD</u>	0	<u>Total</u>	7

Method of Solution: Newton-Raphson Method

Maximum No. of Iteration: 99

Precision of Solution: 0.000100

System Frequency: 50.00

Unit System: Metric

Project Filename: GorontaloIsolated2

Output Filename: D:\Tri Dharma\Bidang Penelitian\Referensi\Aliran Daya\Power System Analisis\ETAP Files\Gorontalo\IsoSken1.If1

**BUS Input Data**

ID	Bus Type	Initial Voltage		Generator		Motor Load		Static Load		Mvar Limits		
		kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	Max.	Min.
GI Botupingge	Load	150.000	95.9	0.5								
GI Buroko	Load	150.000	96.6	0.4								
GI Isimu	Load	150.000	96.3	0.5								
GI Marisa	Load	150.000	96.1	0.7								
Isimu	Gen.	20.000	100.0	0.8	14.000			0.000	13.211	4.342	19.950	-19.950
Marisa	Gen.	20.000	100.0	1.2	15.020			0.000	13.687	4.499	9.900	-9.900
Mongango	Gen.	20.000	100.0	0.4	1.000			0.000	1.001	0.329	1.875	-1.875



Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: Gorontalolsolated2

**ETAP PowerStation**  
**4.0.0C**

Study Case:Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

Telaga Swing 20.000 100.0 0.0 26.202 8.760  
 Total Number of Buses: 8 30.020 0.000 0.000 0.000 54.100 17.930

**LINE / CABLE Input Data**

Line/Cable ID	Ohms or Mohs / 1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line)						
	Library	Size	Length(m)	#/Phase	T (°C)	R	X Y
BRK-ISM		74030.0	1		750.1180000.4200000.0000057		
ISM-BTP		36970.0	1		750.1180000.4200000.0000057		
ISM-MRS		111600.0	1		750.1180000.4200000.0000057		

Line / Cable resistances are listed at the specified temperatures.

**2-WINDING TRANSFORMER Input Data**

Transformer ID	Rating				Z Variation			% Tap Setting Adjusted			Phase Shift		
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	% Z	X/R	+ 5%	- 5%	% Tol.	Prim.	Sec.	% Z	Type	Angle
Trafo BRK	20.000	20.000	150.000	9.500	18.6	0	0	0	0	0	9.5000	Std Pos.	Seq. 0.0
Trafo BTP	30.000	20.000	150.000	12.570	23.7	0	0	0	0	0	12.5700	Std Pos.	Seq. 0.0
Trafo ISM	30.000	20.000	150.000	12.570	23.7	0	0	0	0	0	12.5700	Std Pos.	Seq. 0.0
Trafo MRS	30.000	150.000	20.000	12.570	23.7	0	0	0	0	0	12.5700	Std Pos.	Seq. 0.0

**BRANCH CONNECTIONS**

CKT/Branch ID	Type	Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
		From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
Trafo BRK	2W XFMR	Mongango	GI Buroko	2.75	51.23	51.30	
Trafo BTP	2W XFMR	Telaga	GI Botupingge	1.91	45.21	45.25	
Trafo ISM	2W XFMR	Isimu	GI Isimu	1.91	45.21	45.25	
Trafo MRS	2W XFMR	GI Marisa	Marisa	1.91	45.21	45.25	
BRK-ISM	Line	GI Buroko	GI Isimu	3.88	13.82	14.359.4943476	
ISM-BTP	Line	GI Botupingge	GI Isimu	1.94	6.90	7.174.7414026	
ISM-MRS	Line	GI Isimu	GI Marisa	5.85	20.83	21.6414.3127003	

**LOAD FLOW REPORT**

Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: Gorontalolsolated2

**ETAP PowerStation**  
**4.0.0C**

Study Case: Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

Bus ID	Voltage			Generation				Motor Load				Static Load				Load Flow				XFMR				
	kV	kV	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	Amp	%PF	% Tap								
GI Botupingge	150.000	143.845	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
GI Buroko	150.000	144.943	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
																				GI Isimu	-0.07	-2.25	8	3.0
GI Isimu	150.000	144.479	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
																				Mongango	0.07	2.25	8	3.0
																				GI Buroko	0.07	-6.58	26	-1.0
GI Marisa	150.000	144.123	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
																				GI Botupingge	2.02	3.13	14	54.3
																				GI Marisa	-1.32	-5.17	21	24.7
																				Isimu	-0.78	8.61	34	-9.0
*				0.8	14.00	-3.93	0	0	13.21	4.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
																				GI Isimu	0.79	-8.27	239	-9.5
*				1.2	15.02	-3.27	0	0	13.69	4.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
				1.00	-1.88	0	0	1.07	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
*				0.0	24.20	1.54	0	0	26.20	8.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
				0.0	24.20	1.54	0	0	26.20	8.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

\* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)  
 #Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

**BUS LOADING Summary Report**

Bus ID	Bus kV	Bus Total Load				MVA	% PF	Amp	% Loading
		Rated Amp	MW	Mvar	MVA				
GI Botupingge	150.000		2.018	7.490	7.757	26.0	31.13		
GI Buroko	150.000		0.066	2.251	2.252	3.0	8.97		
GI Isimu	150.000		2.093	11.745	11.930	17.5	47.68		
GI Marisa	150.000		1.320	8.070	8.178	16.1	32.76		
Isimu	20.000		14.000	0.411	14.006	100.0	404.32		
Marisa	20.000		15.020	1.230	15.070	99.7	435.04		

Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: Gorontalolsolated2

**ETAP PowerStation**  
**4.0.0C**

Study Case:Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

Mongango	20.000	1.065	-1.525	1.860	-57.3	52.05
Telaga	20.000	26.202	8.760	27.628	94.8	797.54

**Alert Summary Report**

**% Alert Settings**

<u>Loading</u>	<u>Critical</u>	<u>Marginal</u>
<u>Bus Voltage</u>		
OverVoltage	105.0	102.0
UnderVoltage	95.0	97.0

<u>ID</u>	<u>Device Type</u>	<u>Marginal</u>	<u>Unit</u>	<u>Report</u>	<u>%Mag.</u>	<u>Condition</u>
GI Botupingge	Bus	150.000	kV	143.845	95.9	UnderVoltage
GI Buroko	Bus	150.000	kV	144.943	96.6	UnderVoltage
GI Isimu	Bus	150.000	kV	144.479	96.3	UnderVoltage
GI Marisa	Bus	150.000	kV	144.123	96.1	UnderVoltage
Mongango	Bus	20.000	kV	20.633	103.2	OverVoltage

**SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND**

	<u>MW</u>	<u>Mvar</u>	<u>MVA</u>	<u>% PF</u>	
Swing Bus(es):	24.196	1.544	24.245	99.80	Lagging
Generators:	30.020	-9.075	31.362	95.72	Leading
Total Demand:	54.216	-7.531	54.736	99.05	Leading
Total Motor Load:	0.000	0.000	0.000	100.00	Lagging
Total Static Load:	54.164	17.951			
Apparent Losses:	0.051	-25.482			
System Mismatch:	0.000	0.000			
Number of Iterations:	2				

Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: GorontaloIsolated2

**ETAP PowerStation**  
 4.0.0C

Study Case:Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Electrical Transient Analyzer Program**

**ETAP PowerStation**

**Load Flow Analysis**

Loading Category: Skenario 2

Load Diversity Factor: None

	<u>Swing</u>	<u>Generator</u>	<u>Load</u>	<u>Total</u>										
Number of Buses:	1	3	4	8										
Number of Branches:	<u>XFMR2</u>	4	<u>XFMR3</u>	0	<u>Reactor</u>	0	<u>Line/Cable</u>	3	<u>Impedance</u>	0	<u>Tie PD</u>	0	<u>Total</u>	7

Method of Solution: Newton-Raphson Method

Maximum No. of Iteration: 99

Precision of Solution: 0.000100

System Frequency: 50.00

Unit System: Metric

Project Filename: GorontaloIsolated2

Output Filename: D:\Tri Dharma\Bidang Penelitian\Referensi\Aliran Daya\Power System Analisis\ETAP Files\Gorontalo\IsoSken2.lf1

**BUS Input Data**

ID	Bus Type	Initial Voltage		Generator		Motor Load		Static Load		Mvar Limits		
		kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	Max.	Min.
GI Botupingge	Load	150.000	97.0	0.5								
GI Buroko	Load	150.000	97.8	0.5								
GI Isimu	Load	150.000	97.5	0.5								
GI Marisa	Load	150.000	97.2	0.8								
Isimu	Gen.	20.000	100.0	0.8	14.000			0.000	17.231	5.664	19.950	-19.950
Marisa	Gen.	20.000	100.0	-0.3	15.020			0.000	17.852	5.868	9.900	-9.900
Mongango	Gen.	20.000	100.0	0.9	1.000			0.000	1.305	0.429	1.875	-1.875
Telaga	Swing	20.000	100.0					0.0	34.177	11.426		

Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: Gorontalolsolated2

**ETAP PowerStation**  
**4.0.0C**

Study Case:Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

Total Number of Buses: 8 30.020 0.000 0.000 0.000 70.565 23.387

**LINE / CABLE Input Data**

Line/Cable ID	Library	Ohms or Mohs / 1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line)	Size	Length(m)#/Phase	T ( ° C)	R	X	Y
BRK-ISM			74030.0	1	750.1180000.4200000.0000057			
ISM-BTP			36970.0	1	750.1180000.4200000.0000057			
ISM-MRS			111600.0	1	750.1180000.4200000.0000057			

Line / Cable resistances are listed at the specified temperatures.

**2-WINDING TRANSFORMER Input Data**

Transformer ID	Rating			Z Variation				% Tap Setting Adjusted			Phase Shift		
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	% Z	X/R	+ 5%	- 5%	% Tol.	Prim.	Sec.	% Z	Type	Angle
Trafo BRK	20.000	20.000	150.000	9.500	18.6	0	0	0	0	0	9.5000	Std Pos.	Seq. 0.0
Trafo BTP	30.000	20.000	150.000	12.570	23.7	0	0	0	0	0	12.5700	Std Pos.	Seq. 0.0
Trafo ISM	30.000	20.000	150.000	12.570	23.7	0	0	0	0	0	12.5700	Std Pos.	Seq. 0.0
Trafo MRS	30.000	150.000	20.000	12.570	23.7	0	0	0	0	0	12.5700	Std Pos.	Seq. 0.0

**BRANCH CONNECTIONS**

CKT/Branch ID	Type	Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
		From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
Trafo BRK	2W XFMR	Mongango	GI Buroko	2.75	51.23	51.30	
Trafo BTP	2W XFMR	Telaga	GI Botupingge	1.91	45.21	45.25	
Trafo ISM	2W XFMR	Isimu	GI Isimu	1.91	45.21	45.25	
Trafo MRS	2W XFMR	GI Marisa	Marisa	1.91	45.21	45.25	
BRK-ISM	Line	GI Buroko	GI Isimu	3.88	13.82	14.359	4943476
ISM-BTP	Line	GI Botupingge	GI Isimu	1.94	6.90	7.174	7414026
ISM-MRS	Line	GI Isimu	GI Marisa	5.85	20.83	21.641	4.3127003

**LOAD FLOW REPORT**

Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: Gorontalolsolated2

**ETAP PowerStation**  
**4.0.0C**

Study Case:Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

Bus ID	Voltage			Generation		Motor Load		Static Load		ID	Load Flow			XFMR		
	kV	kV	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar		MW	Mvar	Amp	%PF	% Tap	
GI Botupingge	150.000	143.965	-1.8	0	0	0	0	0	0	GI Isimu	6.50	-8.14	41	-62.4		
										Telaga	-6.50	8.14	41	-62.4		
GI Buroko	150.000	144.833	-2.3	0	0	0	0	0	0	GI Isimu	-0.39	-2.36	9	16.2		
										Mongango	0.39	2.36	9	16.2		
GI Isimu	150.000	144.413	-2.2	0	0	0	0	0	0	GI Buroko	0.39	-6.46	25	-6.0		
										GI Botupingge	-6.49	3.82	30	-86.2		
										GI Marisa	2.85	-5.71	25	-44.6		
										Isimu	3.25	8.35	35	36.2		
GI Marisa	150.000	143.857	-2.5	0	0	0	0	0	0	GI Isimu	-2.84	-7.48	32	35.5		
										Marisa	2.84	7.48	32	35.5		
*	Isimu	20.000	20.000	-3.0	14.00	-2.33	0	0	17.23	5.66	GI Isimu	-3.23	-7.99	248	37.5	8.000
*	Marisa	20.000	20.000	-3.2	15.02	-1.32	0	0	17.85	5.87	GI Marisa	-2.83	-7.19	223	36.6	8.000
Mongango	20.000	20.603	-2.4	1.00	-1.88	0	0	1.39	0.46	GI Buroko	-0.39	-2.33	66	16.3	8.000	
*	Telaga	20.000	20.000	0.0	40.70	3.78	0	0	34.18	11.43	GI Botupingge	6.52	-7.65	290	-64.9	8.000

\* Indicates a voltage regulated bus ( voltage controlled or swing type machine connected to it)  
 #Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

**BUS LOADING Summary Report**

Bus ID	Bus kV	Bus Total Load					Amp % Loading	
		Rated Amp	MW	Mvar	MVA	% PF	Amp	% Loading
GI Botupingge	150.000		6.502	8.143	10.420	62.4	41.79	
GI Buroko	150.000		0.387	2.359	2.391	16.2	9.53	
GI Isimu	150.000		6.485	12.173	13.792	47.0	55.14	
GI Marisa	150.000		2.845	7.483	8.005	35.5	32.13	
Isimu	20.000		17.231	3.337	17.551	98.2	506.66	
Marisa	20.000		17.852	4.545	18.422	96.9	531.79	
Mongango	20.000		1.385	-1.420	1.984	-69.8	55.58	

Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: Gorontalolsolated2

**ETAP PowerStation**  
**4.0.0C**

Study Case:Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

Telaga                      20.000                      40.699    11.426    42.273    96.3    1220.31

**Alert Summary Report**  
**% Alert Settings**

Loading  
Marginal

Critical

Bus Voltage

OverVoltage    105.0                      102.0  
 UnderVoltage    95.0                      97.0

Marginal                      Report

ID	Device Type	Rating	Unit	Calculated	%Mag.	Condition
GI Botupingge	Bus	150.000	kV	143.965	96.0	UnderVoltage
GI Buroko	Bus	150.000	kV	144.833	96.6	UnderVoltage
GI Isimu	Bus	150.000	kV	144.413	96.3	UnderVoltage
GI Marisa	Bus	150.000	kV	143.857	95.9	UnderVoltage
Mongango	Bus	20.000	kV	20.603	103.0	OverVoltage

**SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND**

	MW	Mvar	MVA	% PF
Swing Bus(es):	40.699	3.777	40.874	99.57 Lagging
Generators:	30.020	-5.524	30.524	98.35 Leading
Total Demand:	70.719	-1.748	70.741	99.97 Leading
Total Motor Load:	0.000	0.000	0.000	100.00 Lagging
Total Static Load:	70.645	23.413		
Apparent Losses:	0.074	-25.161		
System Mismatch:	0.000	0.000		
Number of Iterations:	2			

Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: GorontaloIsolated2

**ETAP PowerStation**  
 4.0.0C

Study Case:Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

**Electrical Transient Analyzer Program**

**ETAP PowerStation**

**Load Flow Analysis**

Loading Category: Skenario 3

Load Diversity Factor:None

	<u>Swing</u>	<u>Generator</u>	<u>Load</u>	<u>Total</u>										
Number of Buses:	1	3	4	8										
Number of Branches:	<u>XFMR2</u>	4	<u>XFMR3</u>	0	<u>Reactor</u>	0	<u>Line/Cable</u>	3	<u>Impedance</u>	0	<u>Tie PD</u>	0	<u>Total</u>	7

Method of Solution: Newton-Raphson Method

Maximum No. of Iteration: 99

Precision of Solution: 0.000100

System Frequency: 50.00

Unit System: Metric

Project Filename: GorontaloIsolated2

Output Filename: D:\Tri Dharma\Bidang Penelitian\Referensi\Aliran Daya\Power System Analisis\ETAP Files\Gorontalo\IsoSken3.lf1

**BUS Input Data**

ID	Bus	Type	kV	Initial Voltage		Generator		Motor Load		Static Load		Mvar Limits	
				% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	Max.	Min.
GI Botupingge		Load	150.000	96.0	-1.8								
GI Buroko		Load	150.000	96.6	-2.3								
GI Isimu		Load	150.000	96.3	-2.2								
GI Marisa		Load	150.000	95.9	-2.5								
Isimu		Gen.	20.000	100.0	-3.0	14.000	0.000			25.847	8.495	19.950	-19.950
Marisa		Gen.	20.000	100.0	-3.2	15.020	0.000			26.779	8.802	9.900	-9.900
Mongango		Gen.	20.000	100.0	-2.4	1.000	0.000			1.958	0.644	1.875	-1.875
Telaga		Swing	20.000	100.0	0.0					51.265	17.139		



Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: Gorontalolisolated2

**ETAP PowerStation**  
 4.0.0C

Study Case:Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

Total Number of Buses: 8                      30.020    0.000    0.000    0.000 105.848    35.080

**LINE / CABLE Input Data**

Line/Cable ID	Ohms or Mohs / 1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line)						
	Library	Size	Length(m)#/Phase	T ( ° C)	R	X	Y
BRK-ISM		74030.0	1	750.1180000.4200000.0000057			
ISM-BTP		36970.0	1	750.1180000.4200000.0000057			
ISM-MRS		111600.0	1	750.1180000.4200000.0000057			

Line / Cable resistances are listed at the specified temperatures.

**2-WINDING TRANSFORMER Input Data**

Transformer ID	Rating				Z Variation			% Tap Setting Adjusted			Phase Shift		
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	% Z	X/R	+ 5%	- 5%	% Tol.	Prim.	Sec.	% Z	Type	Angle
Trafo BRK	20.000	20.000	150.000	9.500	18.6	0	0	0	0	0	9.5000	Std Pos. Seq.	0.0
Trafo BTP	30.000	20.000	150.000	12.570	23.7	0	0	0	0	0	12.5700	Std Pos. Seq.	0.0
Trafo ISM	30.000	20.000	150.000	12.570	23.7	0	0	0	0	0	12.5700	Std Pos. Seq.	0.0
Trafo MRS	30.000	150.000	20.000	12.570	23.7	0	0	0	0	0	12.5700	Std Pos. Seq.	0.0

**BRANCH CONNECTIONS**

CKT/Branch ID	Type	Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
		From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
Trafo BRK	2W XFMR	Mongango	GI Buroko	2.75	51.23	51.30	
Trafo BTP	2W XFMR	Telaga	GI Botupingge	1.91	45.21	45.25	
Trafo ISM	2W XFMR	Isimu	GI Isimu	1.91	45.21	45.25	
Trafo MRS	2W XFMR	GI Marisa	Marisa	1.91	45.21	45.25	
BRK-ISM	Line	GI Buroko	GI Isimu	3.88	13.82	14.359.4943476	
ISM-BTP	Line	GI Botupingge	GI Isimu	1.94	6.90	7.174.7414026	
ISM-MRS	Line	GI Isimu	GI Marisa	5.85	20.83	21.6414.3127003	

**LOAD FLOW REPORT**

Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: Gorontalolsolated2

**ETAP PowerStation**  
**4.0.0C**

Study Case:Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

Bus ID	Voltage			Generation		Motor Load		Static Load		ID	Load Flow			XFMR		
	kV	kV	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar		MW	Mvar	Amp	%PF	% Tap	
GI Botupingge	150.000	143.614	-6.9	0	0	0	0	0	0	GI Isimu	24.96	-9.78	107	-93.1		
										Telaga	-24.96	9.78	107	-93.1		
GI Buroko	150.000	144.030	-8.2	0	0	0	0	0	0	GI Isimu	-1.05	-2.59	11	37.6		
										Mongango	1.05	2.59	11	37.6		
GI Isimu	150.000	143.708	-8.1	0	0	0	0	0	0	GI Buroko	1.05	-6.14	25	-16.9		
										GI Botupingge	-24.82	5.95	102	-97.2		
										GI Marisa	11.88	-6.98	55	-86.2		
										Isimu	11.88	7.17	55	85.6		
GI Marisa	150.000	142.806	-9.6	0	0	0	0	0	0	GI Isimu	-11.79	-5.76	53	89.9		
										Marisa	11.79	5.76	53	89.9		
*	Isimu	20.000	20.000	-11.2	14.00	2.21	0	0	25.85	8.50	GI Isimu	-11.85	-6.29	387	88.3	8.000
*	Marisa	20.000	20.000	-12.8	15.02	3.84	0	0	26.78	8.80	GI Marisa	-11.76	-4.96	368	92.1	8.000
Mongango	20.000	20.458	-8.5	1.00	-1.88	0	0	2.05	0.67	GI Buroko	-1.05	-2.55	77	38.1	8.000	
*	Telaga	20.000	20.000	0.0	76.37	10.64	0	0	51.26	17.14	GI Botupingge	25.10	-6.50	748	-96.8	8.000

\* Indicates a voltage regulated bus ( voltage controlled or swing type machine connected to it)  
 #Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

**BUS LOADING Summary Report**

Bus ID	Bus kV	Bus Total Load					Amp % Loading	
		Rated Amp	MW	Mvar	MVA	% PF	Amp	% Loading
GI Botupingge	150.000		24.963	9.783	26.811	93.1	107.79	
GI Buroko	150.000		1.051	2.589	2.794	37.6	11.20	
GI Isimu	150.000		24.819	13.115	28.071	88.4	112.78	
GI Marisa	150.000		11.792	5.758	13.123	89.9	53.05	
Isimu	20.000		25.847	8.495	27.207	95.0	785.40	
Marisa	20.000		26.779	8.802	28.188	95.0	813.72	
Mongango	20.000		2.049	-1.202	2.375	-86.3	67.03	

Project: Studi Aliran Daya  
 Location: PLN Gorontalo  
 Contract: Teknik Elektro UNG  
 Engineer: Ervan Harun  
 Filename: Gorontalolsolated2

**ETAP PowerStation**  
**4.0.0C**

Study Case:Aliran Daya

Page: 1  
 Date: 14-09-2012  
 SN: KLGCONSULT  
 Revision: Base  
 Config.: Normal

Telaga                      20.000                      76.366   17.139   78.266   97.6   2259.34

**Alert Summary Report**  
**% Alert Settings**

**Bus Voltage**

OverVoltage            105.0                      102.0  
 UnderVoltage        95.0                        97.0

**Marginal Report**

ID	Device Type	Rating	Unit	Calculated	%Mag.	Condition
GI Botupingge	Bus	150.000	kV	143.614	95.7	UnderVoltage
GI Buroko	Bus	150.000	kV	144.030	96.0	UnderVoltage
GI Isimu	Bus	150.000	kV	143.708	95.8	UnderVoltage
GI Marisa	Bus	150.000	kV	142.806	95.2	UnderVoltage
Mongango	Bus	20.000	kV	20.458	102.3	OverVoltage

**SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND**

	MW	Mvar	MVA	% PF
Swing Bus(es):	76.366	10.639	77.104	99.04 Lagging
Generators:	30.020	4.170	30.308	99.05 Lagging
Total Demand:	106.386	14.808	107.412	99.05 Lagging
Total Motor Load:	0.000	0.000	0.000	100.00 Lagging
Total Static Load:	105.939	35.110		
Apparent Losses:	0.447	-20.301		
System Mismatch:	0.000	0.000		
Number of Iterations:	2			

