

**ANALISA ALIRAN DAYA SISTEM KELISTRIKAN GORONTALO
TERHADAP MASUKNYA PELANGGAN INDUSTRI
TEGANGAN TINGGI 150 KV**

OLEH:

**ILHAM ISMAIL
T21 21 002**

SKRIPSI



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA ALIRAN DAYA SISTEM KELISTRIKAN GORONTALO
TERHADAP MASUKNYA PELANGGAN INDUSTRI
TEGANGAN TINGGI 150 KV**

OLEH

**ILHAM ISMAIL
T21 21 002**

SKRIPSI

Telah disetujui dan siap untuk diseminarkan

Gorontalo, Juni 2023

Pembimbing I

Pembimbing II

Frengki Eka Putra Surusa,ST.,MT.
NIDN : 0906018504

Steven Humena,ST.
NIDN : 0907118903

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA ALIRAN DAYA SISTEM KELISTRIKAN GORONTALO
TERHADAP MASUKNYA PELANGGAN INDUSTRI
TEGANGAN TINGGI 150 KV**

OLEH
ILHAM ISMAIL
NIM: T21.21.002

Diperiksa Oleh Panitia Ujian Strata Satu (S1)
Universitas Ichsan Gorontalo

1. Pembimbing I : Frengki Eka Putra Surusa,ST.,MT.
2. Pembimbing II : Steven Humena,ST.,MT.
3. Penguji I : Amelya Indah Pratiwi,ST.,MT.
4. Penguji II : Muh. Asri,ST.,MT.
5. Penguji II : Sjahrir Botutihe,ST.,MM.

Gorontalo, Juni 2023

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi

Amelya Indah Pratiwi,ST.,MT.
NIDN : 0907028701

Frengki Eka Putra Surusa,ST.,M.T
NIDN : 090618504

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ilham Ismail

NIM : T2121002

Judul Skripsi : ANALISIS ALIRAN DAYA SISTEM KELISTRIKAN
GORONTALO TERHADAP MASUKNYA PELANGGAN
INDUSTRI TEGANGAN TINGGI 150 KV

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulis (Skripsi) ini adalah asli gagasan, rumusan dan penelitian yang dilakukan oleh saya sendiri dengan arahan dari para pembimbing. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah dipublikasikan sebelumnya oleh orang lain kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan atau sumbernya dengan jelas serta dicantumkan di dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi ini.

Gorontalo, Juni 2023
Yang Membuat Pernyataan

(ILHAM ISMAIL)
NIM : T2121002

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah kami panjatkan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan kemudahan kepada kami sehingga dapat menyelesaikan penulisan Skripsi yang berjudul “ Analisa Aliran Daya Sistem Kelistrikan Gorontalo Terhadap Masuknya Pelanggan Industri Tegangan Tinggi 150 kV” dengan baik dan tepat waktu.

Penulisan Skripsi ini dalam rangka hasil dari penelitian yang dilaksanakan oleh penulis sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi strata satu di Fakultas Teknik Elektro Universitas Ichsan Gorontalo.

Saat penulisan Skripsi ini penulis mendapat banyak masukan dan bimbingan dari berbagai pihak sehingga Skripsi ini dapat kami selesaikan dengan baik, untuk itu kami tidak lupa untuk mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Muhammad Ichsan Gaffar, SE., M.Ak, selaku Ketua Yayasan Pengembangan Ilmu Pengetahuan Teknologi (YPIPT) Ichsan Gorontalo.
2. Bapak DR. Abdul Gaffar Latjokke, M.Si, selaku Rektor Universitas Ichsan Gorontalo.
3. Ibu Amelya Indah Pratiwi, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Unisan Gorontalo.
4. Bapak Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Unisan Gorontalo sekaligus Pembimbing I.
5. Bapak Steven Humena, ST.,MT selaku pembimbing II

6. Bapak dan Ibu Dosen Universitas Ichsan Gorontalo, Pegawai Staf Administrasi Fakultas Teknik Universitas Ichsan Gorontalo Khususnya Jurusan Teknik Elektro
7. Semua rekan-rekan mahasiswa Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Elektro Universitas Ichsan Gorontalo, yang telah memberikan semangat, dukungan dan motivasi kepada penulis

Dalam penulisan tugas Skripsi ini penulis benar-benar menyadari akan adanya kekurangan dan jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis berharap adanya kritik dan saran yang bersifat membangun agar dapat dijadikan penyempurna proposal ini, dan terakhir penulis berharap sekiranya skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Gorontalo, Juni 2023

Penulis

ABSTRACT

ILHAM ISMAIL. T2121002. *ANALYSIS OF POWER FLOW IN GORONTALO'S ELECTRICAL SYSTEM FOR 150 KV HIGH VOLTAGE INDUSTRY CUSTOMERS ENTRY*

Currently, in Pohuwato Regency, Popayato District, a wood pellet industry factory has been built by PT. Biomass Jaya Abadi (BJA). To meet electricity needs, electrical energy is taken from the PLN electricity supply through a 150 kV high-voltage electricity network and a special substation (GI) is made to serve its electrical energy needs. So it is said to be a high voltage customer. As a result of the entry of these high voltage customers, it will affect the configuration of the existing electrical system. The purpose of this study was to determine the value of voltage, load flow and power losses after the entry of 150 kV high voltage industrial customers. The method used in this study is the Newton Rhapson method with the help of ETAP 19.01 software. From the simulation results with the inclusion of PT. The BJA can improve the voltage profile on each bus of the 150 kV Gorontalo electrical system and 20 kV outgoing. Loss of power loss after the entry of PT. BJA can provide very small comparison percentages. So that it can provide better system capabilities.



Keywords: Voltage Profile, Power Losses and PT. BJA

ABSTRAK

ILHAM ISMAIL. T2121002. ANALISIS ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKANN GORONTALO TERHADAP MASUKNYA PELANGGAN INDUSTRI TEGANGAN TINGGI 150 KV

Saat ini di Kabupaten Pohuwato Kecamatan Popayato telah dibangun pabrik industri wood pellet atau pellet kayu oleh PT. Biomass Jaya Abadi (BJA). Untuk memenuhi kebutuhan listrik, energi listrik diambil dari pasokan listrik PLN melalui jaringan listrik tegangan tinggi 150 kV dan dibuat satu Gardu Induk (GI) khusus untuk melayani kebutuhan energi listriknya. Sehingga dikatakan sebagai pelanggan tegangan tinggi. Akibat masuknya pelanggan tegangan tinggi ini, maka akan mempengaruhi konfigurasi system kelistrikan yang sudah ada. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besar nilai tegangan, aliran beban dan rugi-rugi daya setelah masuknya pelanggan industri tegangan tinggi 150 kV. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Newton Rapsion dengan bantuan software ETAP 19.01. Dari hasil simulasi dengan masuknya beban industri PT. BJA tersebut dapat memperbaiki profil tegangan pada setiap bus system kelistrikan Gorontalo 150 kV dan outgoing 20 kV. Rugi rugi daya setelah masuknya beban PT. BJA dapat memberikan persentase perbandingan sangat kecil. Sehingga dapat memberikan kemampuan system lebih baik.



Kata Kunci : Profil Tegangan, Rugi-rugi Daya dan PT.BJA

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	4
1.3 Tujuan penelitian	4
1.4 Batasan masalah.....	4
1.5 Manfaat penelitian	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSATAKA	6
2.1 <i>Literature Review</i>	6
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik	8
2.2.2 Aliran Daya.....	11
2.2.3 Klasifikasi Sistem Aliran Daya.....	14
2.2.4 Konsep Dasar Aliran Daya	19
2.2.5 Persamaan Aliran Daya.....	25
2.2.6 Metode Perhitungan Analisa Aliran Daya	28
2.2.7 Drop tegangan.....	30
2.2.8 Sistem Kestabilan Tenaga Listrik	30

2.2.9	ETAP Power Station 12.6	31
BAB III		33
METODOLOGI PENELITIAN.....		33
3.1	Kerangka Konsep Penelitian	33
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.3	Alur Penelitian	35
3.3.1	Studi literatur	35
3.3.2	Pengumpulan Data	35
3.3.3	Proses Pengolahan Data	36
3.3.4	Analisa Hasil	36
3.4	<i>Single Line Diagram</i> Gorontalo	37
3.5	Data Transformator Gardu Induk	37
3.6	Daya mampu dan Daya Terpasang Pembangkit Di Gorontalo	38
3.7	Data Saluran Transmisi	38
3.8	Data Beban	39
3.9	<i>Flow Chart</i>	41
BAB IV		42
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		42
4.1	Sistem Kelistrikan Gorontalo	42
4.2	Analisis Data Sistem Kelistrikan Gorontalo	43
4.2.1	Analisis Data Pembangkit Listrik	43
4.2.2	Analisa Data Saluran	43
4.2.3	Analisa Data Beban	44
4.3	Simulasi dan Pembahasan	45
4.3.1	Hasil simulasi Tegangan Sebelum Masuknya Beban Industri GI BJA.....	45
4.3.2	Hasil Simulasi Aliran Beban Sebelum Masuknya Beban Industri GI BJA 46	
4.3.3	Rugi-rugi Daya Sebelum Masuknya Beban Industri GI BJA	47
4.3.4	Simulasi Tegangan Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA	48
4.3.5	Hasil Simulasi Aliran Beban Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA.	50
4.3.6	Rugi-rugi Daya Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA	50

4.3.7	Perbandingan Simulasi Aliran Daya Sebelum dan Setelah Interkoneksi GI	
BJA	51	

BAB V	57
PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Penelitian	35
Tabel 3.2 Data Transformator Daya.....	38
Tabel 3.3 Daya Terpasang dan Daya kirim.....	38
Tabel 3.4 Data Saluran Transmisi.....	39
Tabel 3.5 Data Beban Gorontalo.....	40
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Tegangan Sebelum Masuknya Beban GI BJA	45
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Aliran Beban Sebelum Masuknya Beban Industri GI BJA.....	47
Tabel 4.3 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Total Sebelum Masuknya Beban Industri GI BJA	47
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Tegangan Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA ..	49
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Aliran Beban Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA	50
Tabel 4.6 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA.....	51
Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Simulasi Tegangan Sebelum dan Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA.....	51
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Simulasi Aliran Beban Sebelum dan Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA	53
Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Sebelum dan Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar Sistem Tenaga Listrik.....	9
Gambar 2.2 Pendistribusian Energi.....	11
Gambar 2.3 Segitiga Daya	19
Gambar 2.4 Bentuk kompleks dari besaran tegangan dan arus listrik	22
Gambar 2.5 Diagram fasor antara tegangan dan arus	23
Gambar 2.6 Ilustrasi Metode Newton Raphson	29
Gambar 2.7 Diagram Alir Newton Raphson.....	29
Gambar 3.1 Kerangka Konsep	34
Gambar 3.2 Single Line Diagram Gorontalo 150 kV	37
Gambar 3.3 Flow Chart.....	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perencanaan sistem tenaga listrik terdiri atas tiga komponen utama yaitu: sistem pembangkitan, sistem transmisi dan distribusi, dan beban. Suplay daya listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit harus sesuai dengan kebutuhan konsumen. Akan tetapi kenyataannya kebutuhan daya listrik yang diterima oleh konsumen setiap waktu berbeda dan sistem pembangkitan harus dapat melayani permintaan beban yang setiap saat selalu berubah-ubah. Sistem tenaga listrik juga tidak terlepas dari beberapa gangguan seperti hubung singkat, penghantar putus, lepasnya beban dan pembangkit dari sistem, dan juga masuknya pembangkit baru ke dalam sistem. Kesemuanya itu membutuhkan respon ataupun tanggapan dari suatu penyuplai daya dalam hal ini adalah sistem pembangkitan (John J. Grainger and William D. Stevenson, 1994).

Sistem tenaga listrik didalam menjaga keseimbangannya setelah terjadi gangguan disebut dengan stabilitas. Sistem stabilitas tenaga listrik umumnya terdiri dari keadaan tunak (*steady state stability*) dan dinamik (*transient stability*). Permasalahan stabilitas menjadi peran penting didalam pengoperasian sistem tenaga listrik modern. Karenanya diperlukan perencanaan dan operasi sistem tenaga listrik dengan baik. Bagaimana merancang sistem pembangkitan, transmisi dan distribusi tentunya harus disesuaikan dengan kebutuhan akan energi listrik dimasa mendatang (John J. Grainger and William D. Stevenson, 1994).

Sistem tenaga listrik di Gorontalo meliputi satu kesatuan dengan Minahasa dan sistem Kotamobagu yang dinamai dengan sistem interkoneksi Sulawesi Bagian Utara (Sulbagut). Sistem Kelistrikan Gorontalo mempunyai 7 (Tujuh) Gardu Induk (GI) yaitu GI Buroko (BK), GI Isimu (IS), GI Anggrek (AG), GI Botupingge (BP), GI Tilamuta (TL), GI Gorontalo Baru (GB) dan GI Marisa (MR) yang saling terhubung dengan sistem jaringan transmisi tegangan tinggi 150 kV.

Sistem pembangkitan di Gorontalo yang beroperasi saat ini adalah: Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Karang berkapasitas daya 2 x 50 MW; Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Maleo berkapasitas 4 x 25 MW dan PLTU Anggrek berkapasitas 2 x 25 MW. Ke tiga pembangkit ini terhubung secara langsung ke sistem interkoneksi 150 kV Sulbagut. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Taludaa berkapasitas daya 5,3 MW; PLTMH Mongango berkapasitas daya 1,2 MW; Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas daya 12 MWp; dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) berkapasitas daya 7,1 MW terhubung ke sistem jaringan distribusi 20 kV. Dengan kata lain pembangkit yang berada di Gorontalo tidak hanya menyuplai daya untuk wilayah Gorontalo saja tetapi juga menyuplai kebutuhan daya untuk wilayah Bolaangmongondow Selatan dan Bolaangmongondow Utara. Total keseluruhan daya yang terpasang pada pembangkit yang beroperasi saat ini adalah sebesar 160,6 MW (PLN, 2021).

Saat ini suplay daya listrik dari pembangkit yang beroperasi untuk melayani beban konsumen yaitu sebesar 118,4 MW, sehingga mengalami defisit daya sebesar dan sering terjadi pemadaman secara bergilir. Hal ini dikarenakan ada beberapa

pembangkit yang perlu diadakan pemeliharaan mesin dan faktor sumber energi dari pembangkit yang tersebar seperti PLTMH dan PLTS (PLN, 2019). Sedangkan beban puncak saat ini pada sistem tenaga listrik di Gorontalo sudah mencapai yaitu sebesar 120,64 MW (PLN, 2021).

Saat ini di Kabupaten Pohuwato Kecamatan Popayato Desa Trikora telah dibangun Pabrik Industri Wood Pelet atau pelet kayu oleh perusahaan PT. Biomass Jaya Abadi (BJA). PT. BJA tersebut merupakan satu kesatuan mitra usaha dengan PT. Inti Global Laksana (IGL) dan PT. Banyan Tumbuh Lestari (BTL). PT BJA untuk memenuhi kebutuhan listrik, energi listrik diambil dari pasokan listrik PLN melalui jaringan listrik tegangan tinggi dan dibuat satu Gardu Induk khusus untuk melayani kebutuhan energi listriknya. PT. BJA masuk dalam pengguna tenaga listrik sebagai pelanggan tegangan tinggi. Masuknya beban tegangan tinggi akan mempengaruhi konfigurasi dari sistem kelistrikan yang sudah ada.

Dengan adanya penambahan beban tegangan tinggi melalui Gardu Induk sistem 150 kV oleh PT BJA tersebut, sistem akan mengalami perubahan aliran daya dari sebelumnya, disamping itu juga akan berdampak pada pengoperasian sistem. Akibatnya adalah desain konfigurasi awal dari sistem jaringan kelistrikan yang awalnya baik dan mampu melayani beban dengan baik, menjadi tidak sesuai lagi dengan keadaan pembebanan saat ini. Untuk itu, evaluasi terhadap sistem kelistrikan perlu dilakukan agar dapat memperbaharui data sistem, sehingga data yang didapat bisa digunakan untuk pengoperasian sistem dan sebagai perancangan untuk pengembangan sistem kelistrikan kedepannya. Untuk mengetahui pengaruh yang akan terjadi pada sistem maka sistem perlu dianalisis.

Untuk itu, analisis sistem yang harus dilakukan adalah analisis aliran daya berupa tegangan, aliran daya, dan rugi rugi daya system sebelum dan sesudah adanya penambahan beban baru masuk ke sistem transmisi 150 kV. Berdasarkan alasan tersebut, maka penulis tertarik mengambil judul penelitian “**Analisa Aliran Daya Sistem Kelistrikan Gorontalo Terhadap Masuknya Pelanggan Industri Tegangan Tinggi 150 kV**”.

1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah adalah:

1. Berapa besar nilai rugi-rugi daya pada system kelistrikan Gorontalo setelah masuknya pelanggan tegangan tinggi.
2. Berapa besar nilai tegangan pada system kelistrikan Gorontalo setelah masuknya pelanggan tegangan tinggi.

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian adalah:

1. Mengetahui besar nilai rugi-rugi daya pada system kelistrikan Gorontalo setelah masuknya pelanggan tegangan tinggi.
2. Mengetahui besar nilai tegangan daya pada system kelistrikan Gorontalo setelah masuknya pelanggan tegangan tinggi

1.4 Batasan masalah

Batasan-batasan masalah :

1. Hanya membahas bagaimana aliran daya dengan masuknya pelanggan tegangan tinggi pada system kelistrikan Gorontalo 150 kV.

2. Pelanggan tegangan tinggi yaitu PT. BJA memiliki Gardu Induk sendiri.
3. Simulasi sistem menggunakan bantuan software ETAP 12.6.
4. Metode yang dilakukan dalam simulasi aliran daya adalah Metode Newton Rhapson
5. Tidak membahas tentang sistem proteksi.

1.5 Manfaat penelitian

Dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi pada pengembangan sistem ketika ada penambahan beban baru pada system tenaga listrik 150 kV.

BAB II

TINJAUAN PUSATAKA

2.1 Literature Review

Menurut Steven dalam penelitiannya menerangkan bahwa pengaruh peningkatan beban terhadap system kelistrikan pada jaringan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV memberikan dampak terhadap profil tegangan pada setiap bus dan rugi rugi daya pada saluran baik itu rugi rugi daya aktif dan rugi rugi daya reaktif. Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan software PSAT yang terintegrasi dengan program MATLAB. (Steven H, Frengki S, Taufik L, Yusrianto M, 2020).

Menurut Agus dalam penelitiannya menerangkan bahwa masalah yang terjadi pada saluran transmisi maupun distribusi terdapat rugi rugi daya yang disebabkan oleh beberapa factor. Rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi perlu diperhatikan karena bisa menyebabkan hilangnya daya yang cukup besar. Terjadinya rugi rugi daya pada saluran transmisi ini menunjukkan bahwa tidak semua daya yang dikirimkan oleh gardu induk diterima seluruhnya oleh gardu induk. (Agus S, Anggit P, 2021).

Menurut Yan Budi dalam penelitiannya menerangkan bahwa perhitungan load flow sangat diperlukan untuk menyediakan sumber energi yang diperlukan dalam suatu area, dengan memperhitungkan losses yang terjadi dengan cara mencari nilai tegangan arus dan daya pada tiap tiap atau bus. Beban pada system tenaga listrik dianalisis berdasarkan perlengkapan yang terpasang dalam aliran daya setiap bus. Dari proses yang dilakukan didapatkan nilai losses jaringan 0,23% dari total daya

yang dibangkitkan. Hal ini menunjukkan system distribusi di GI termasuk dalam kategori baik, karena masuk dalam Batasan nilai losses maksimum sebesar plus minus 10% (Yan Budi Haryono, 2017).

Meningkatnya energi listrik diikuti pula dengan kenaikan kebutuhan pasokanya. Hal ini perlu adanya penambahan pembangkit baru. Dengan adanya pertumbuhan penduduk yang memerlukan listrik, dapat memberikan dampak terhadap kenaikan akan pasokan energi listrik. Pembangunan pembangkit harus melihat jenis dan tempatnya dan harus berdasarkan perhitungan teknik dan ekonomis. (Frengki, Suyono, Wijono 2016).

Penelitian ini dilakukan oleh muslimin DKK, drop tegangan dapat terjadi ketika adanya peningkatan daya reaktif yang akan berdampak besar terhadap susut energi. Dengan mengurangi susut energi yang terjadi, maka dapat memperbaiki profil tegangan. Semakin kecil susut energi semakin baik profil tegangan pada suatu sistem tersebut (Muslimin, Suyono, & Hasanah, 2013).

Dampak dari masuknya pembangkit yang tersebar tidak akan terlalu berpengaruh besar pada system distribusi listrik akan tetapi akan berpengaruh besar pada system transmisi dan juga kestabilan system secara keseluruhan. (Reza, Schavemaker, Slootweg, Kling, & Van Der Sluis, 2004)

Menurut Adib dalam penelitiannya menerangkan bahwa studi aliran daya dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai aliran daya atau tegangan pada suatu jaringan system tenaga listrik. Kondisi keseluruhan dari suatu system apakah masih memenuhi batas batas yang telah ditentukan serta mengetahui besar losses yang ada. Perhitungan aliran daya saat ini telah banyak menggunakan aplikasi

computer yang tujuannya adalah mempermudah dan mendapat hasil yang lebih akurat. Persentase pembebanan dibawah 50% setiap bus masih relative aman. Persentase rugi-rugi daya kurang dari 5% untuk daya aktif dan 10 % untuk daya reaktif masih relative kecil. Nilai drop tegangan maksimum (kritis) 5% masih dibawah persyaratan yang ditetapkan dari tegangan nominalnya. Sedangkan batas untuk tegangan marginal adala 3 % dari tegangan nominalnya (Adib Gustian Nigara, 2015).

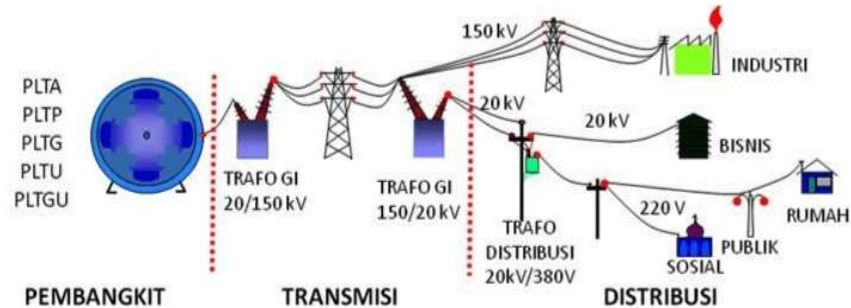
Adanya peningkatan beban tanpa memperhatikan supplay daya dalam hal ini adalah sistem pembangkit tenaga listrik yang ada di Gorontalo dapat memberikan perubahan aliran daya pada system kelistrikan Gorontalo pada system isolated tanpa interkoneksi dengan sistem minahasa (Ervan Hasan Harun, ST.,MT dan Taufiq Ismail Yusuf, ST., 2012).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem pembangkitan, transmisi dan distribusi merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik (Gautam, Mishra, & Bisht, 2015).

Energi listrik dihasilkan dari pusat listrik akan di transmisikan ke trafo *step up* pada sistem pembangkitan, kemudian disalurkan melalui saluran transmisi ke Gardu Induk. Dalam Gardu Induk terdapat trafo *step down* untuk menyalurkan listrik ke saluran distribusi dan didistribusikan ke konsumen pelanggan. Skema penyaluran sistem tenaga listrik dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Gambar Sistem Tenaga Listrik

Dari Gambar 2.1 terlihat bahwa sistem distribusi terdapat trafo *step down* lagi untuk disalurkan ke sistem tegangan rendah yaitu pelanggan rumah perumahan, perkantoran dan toko (Cahyanto, 2008).

2.2.1.1 Pembangkit

Pembangkit listrik merupakan suatu system pembangkitan tenaga listrik yang dapat memproduksi energi listrik untuk disalurkan kepada masyarakat. Proses system pembangkitan energi listrik memerlukan suatu sumber untuk digunakan sebagai tenaga pembangkitnya, energi alam yang berasal dari fosil seperti batu bara untuk tenaga uap dan tenaga gas, minyak bumi untuk bahan bakar tenaga diesel (PLTD), panas bumi (PLTP) yang dihasilkan dari proses pengeboran pada sumber titik panas yang ada didalam bumi dan energi alam yang berupa bahan galian seperti tenaga nuklir (PLTN).

2.2.1.2 Transmisi

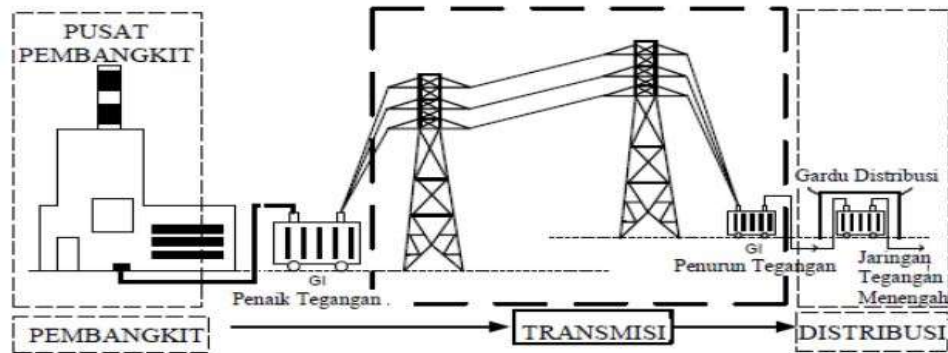
Jaringan transmisi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang sangat berperan penting, jaringan transmisi sangat dekat dengan pembangkit-pembangkit yang besar, dan bertugas sebagai penghubung antara gardu induk (GI) yang satu dengan yang lainnya. Untuk menyalurkan energi listrik, tegangan transmisi yang beroperasi adalah Tegangan Tinggi (70 kV sampai dengan 150 kV) dan Tegangan Ekstra Tinggi (275 kV sampai dengan 500 kV) melalui saluran udara atau penghantar tanpa isolasi. Pada sistem transmisi juga terdiri dari Gardu Induk yang berperan untuk memasok energi listrik di daerah-daerah tertentu dengan jumlah konsumen yang banyak.

2.2.1.3 Distribusi

Setelah tegangan diturunkan, energi listrik kemudian disalurkan kembali ke konsumen dengan tegangan operasi sebesar 380/220 V melalui trafo distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan 20 kV. Kemudian dengan sistem tegangan tersebut. Sistem saluran distribusi terdiri dari 2 macam, yaitu:

- Saluran Tegangan Menengah (STM)
- Saluran Tegangan Rendah (STR),

Sistem tegangan distribusi di Indonesia menggunakan 1 fasa 220 volt dan 3 fasa 380 volt. Sistem pendistribusian energi listrik dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Pendistribusian Energi

Dari Gambar 2.2 terlihat bahwa listrik yang di hasilkan sistem pembangkitan energi listrik dengan tegangan 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh Gardu Induk di pembangkit dengan transformator *step up* menjadi 70 kV, 150 kV, 275 kV, hingga 500 kV). Dari saluran transmisi, tegangan di turunkan trafo *step down* pada Gardu Induk, dan penyaluran energi listrik dilakukan melalui saluran distribusi.

2.2.2 Aliran Daya

Daya listrik akan selalu menuju ke beban, sehingga disebut aliran daya atau aliran beban. Studi tentang aliran daya listrik sangatlah penting karena sebagai perencanaan perluasan sistem tenaga listrik dan dalam menentukan operasi terbaik untuk sistem tenaga listrik (Dhimas, 2014 : 15)

Analisis aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, faktor daya yang terdapat pada setiap simpul atau bus suatu sistem tenaga listrik. Perhitungan tersebut dilakukan pada kondisi normal, baik yang sedang berjalan saat ini maupun yang diharapkan akan berkembang di masa

mendatang. Dengan analisis aliran daya listrik dapat diketahui efek-efek interkoneksi dengan sistem tenaga lain, beban yang baru, sistem pembangkit yang baru, dan saluran yang baru, (Prabowo, 2007 dalam Dhimas, 2014 :16)

Menurut Ir. Sulasno, 1993 dalam Sigit (2015 : 12), kegunaan studi analisis aliran daya ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui tegangan pada setiap simpul yang ada
2. Untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan
3. Untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan system yang baru
4. Pada hubung singkat, stabilitas dan pembebanan ekonomis

Aliran daya listrik adalah suatu pembahasan studi dalam sistem tenaga listrik untuk mengetahui parameter-parameter seperti besarnya *losses* (rugi rugi daya, tegangan, dan arus), kemampuan alokasi daya yang dibutuhkan serta memenuhi perkembangan beban merupakan salah satu tujuan dari diadakannya analisis aliran daya.

Aliran daya juga dapat menganalisis keadaan suatu sistem (dalam hal ini sistem kelistrikan industri) pada keadaan *steady state* (kondisi yang mantap). Besaran yang dihasilkan dari perhitungan studi aliran daya adalah daya nyata (*real power*), daya reaktif (*reactif power*), besaran tegangan (*magnitude*), dan sudut beban (*phase angle*) tegangan pada setiap bus.

Untuk melakukan perhitungan aliran daya, diperlukan data-data untuk menganalisisnya. Referensi data yang diperlukan antara lain (Prabowo, 2007 dalam Dhimas, 2014 : 16) :

1. Data Saluran. Data yang diperoleh dari diagram satu garis (single line diagram)
2. Data Bus. Data bus yang diperlukan adalah besaran daya, tegangan, arus, sudut fasa, daya aktif dan daya reaktif
3. Data spesifikasi. Data yang didapat dari rating rating setiap komponen, type komponen, merek komponen, frekuensi, dan data asli dari setiap komponen.

Pada umumnya, perhitungan aliran daya diasumsikan sistem dalam keadaan seimbang. Data dan informasi yang didapatkan berguna dalam merencanakan perluasan sistem tenaga listrik dan dalam menentukan operasi terbaik untuk sistem jaringan kelistrikan. Perencanaan sistem aliran daya listrik industri meliputi beban terpasang dan beban operasi pada industry tersebut. Sehingga dapat diperhitungkan besarnya daya pada transformator yang dibutuhkan, jadi dengan perencanaan yang baik dan matang maka aliran daya listrik pada sistem tersebut dapat sesuai dengan kebutuhan pemakaian energi listrik, serta mengurangi terjadinya *losses*. Menentukan perencanaan operasi terbaik dari sistem aliran daya listrik meliputi pengontrolan alokasi daya reaktif yang optimal.

Studi aliran daya membutuhkan parameter-parameter dengan besaran yang dalam keadaan tetap (stabil). Beban yang berupa mesin-mesin yang tidak berputar, kecil pengaruhnya terhadap arus saluran pada waktu terjadinya gangguan, oleh karena itu biasanya diabaikan. Tetapi beban yang berupa motor serempak selalu dimasukkan dalam perhitungan aliran daya listrik. Berdasarkan beban yang bekerja dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu; beban statis (*static load*) dan beban campuran antara beban motor dan beban statis (*lumped load*).

2.2.3 Klasifikasi Sistem Aliran Daya

Menurut Sigit (2015:40) dalam penelitiannya, klasifikasi system aliran daya dibagi dalam beberapa bagian antara lain :

1. Representasi Transformator

Transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan primer 20 kV (dari PLN) menjadi tegangan sekunder 380/220 V. Transformator merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Komponen ini dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya melalui suatu gandingan magnet yang berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet (Zuhal, 1998 : 43).

Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan pemilihan tegangan yang sesuai dan ekonomis unntuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

- a. Transformator daya
- b. Transformator distribusi
- c. Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan)

Transformator direpresentasikan sebagai resisten R dan reaktansi bocor X , karena R dan X akan mempunyai nilai persatuan yang sama baik pada sisi tegangan rendah maupun sisi tegangan tinggi pada transformator.

2. Representasi Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Walau generator dan motor punya banyak kesamaan, tapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprok atau turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimampatkan, atau apa pun sumber energi mekanik yang lain.

Generator dalam dunia industri biasanya digunakan sebagai sumber energi cadangan (pembangkit listrik pabrik) jika terjadi pemadaman dari PLN sehingga proses produksi tetap berjalan. Tidak hanya sebagai sumber energi cadangan, dalam industri yang berskala besar pembangkitan listrik melalui generator menjadi pilihan sumber listrik utama dalam pabrik sehingga dapat menghemat biaya konsumsi listrik.

3. Representasi Bus (Busbar)

Busbar adalah suatu penghantar dengan impedansi rendah dimana beberapa sirkuit listrik dapat dihubungkan secara terpisah dengan setiap

keluaran tertuju ke dasar kerangka dengan tiga busbar fasa dan satu fasa netral.

Busbar pada dasarnya merupakan ril penghubung dua atau lebih rangkaian listrik. Karena itu busbar dapat disebut ril penghubung rangkaian. Semua generator atau sumber listrik dalam pusat tenaga listrik disalurkan melalui bus atau ke ril pusat listrik (Dhimas , 2014 : 11). Dalam sistem tenaga listrik terdapat jenis-jenis bus yaitu :

a. Bus beban (load bus)

Setiap bus yang tidak memiliki generator disebut dengan *load bus*. Pada bus ini daya aktif dan daya reaktif diketahui sehingga sering disebut bus PQ. Daya aktif dan daya reaktif yang disuplay ke dalam sistem tenaga listrik adalah mempunyai nilai positif, sementara daya aktif dan daya reaktif yang dikonsumsi bernilai negatif.

b. Bus Generator (Generator Bus)

Bus generator dapat disebut juga dengan *voltage controlled bus* karena tegangan pada bus selalu dibuat konstan. Setiap bus generator memiliki daya Mega Watt yang dapat diatur melalui *prime mover* (penggerak mula dan besaran tegangan yang dapat diatur melalui arus eksitasi generator sehingga bus ini sering juga disebut PV bus. Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah P dan Q.

c. Bus Berayun (Swing Bus atau Slack Bus)

Suatu sistem tenaga biasanya didesain untuk memiliki bus ini yang dijadikan sebagai referensi. Adapun besaran yang dapat diketahui dari

bus ini adalah tegangan dan sudut beban. Sedangkan besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah daya aktif dan daya reaktif.

d. Bus Tunggal (Single Bus)

Bus tunggal adalah susunan bus yang paling sederhana dan paling murah. Keandalan serta fleksibilitas operasinya sangat terbatas . apabila ada kerusakan pada bus ini maka seluruh pusat listrik harus dipadamkan untuk dapat melakukan perbaikan. Oleh sebab itu bus tunggal sebaiknya hanya digunakan pada pusat listrik yang tidak terlalu vital peranannya dalam sistem jaringan kelistrikan.

e. Bus Ganda

Multiple bus adalah suatu bus yang terdiri dari dua, tiga atau empat bus dalam saluran.

f. Bus Gelang (Ring Bus)

Ring bus hanya memerlukan ruangan yang kecil dan baik untuk pemutusan sebagai bagian dari pelayanan dan pemeriksaan pemutus beban. Sistem ini jarang dipakai karena mempunyai kelemahan dari segi operasi yakni bus ini tidak begitu leluasa seperti sistem dua bus. Lagi pula rangkaian kontrol dan pengamannya menjadi lebih kompleks dan kapasitas arus dari alat-alat yang terpasang seri harus lebih besar.

4. Representasi Kapasitor Bank

Kapasitor bank berfungsi sebagai salah satu alternatif dalam peralatan listrik terhadap koreksi faktor daya (*power factor*). Kapasitor akan memberikan daya reaktif lebih tinggi jika bekerja pada tegangan yang lebih

tinggi. Namun walau bekerja pada tegangan yang lebih tinggi dari pada tegangan jaringan standar, kapasitor akan bekerja secara efektif dan tahan lama.

5. Representasi Beban

Jenis beban terbagi menjadi dua jenis yaitu :

a. Static load

Beban statis dalam pemakaiannya selalu stabil dan tidak membutuhkan daya yang besar saat awalan atau mulai mengoperasikannya. contoh dari beban statis adalah beban penerangan atau lampu.

b. Dinamic Load

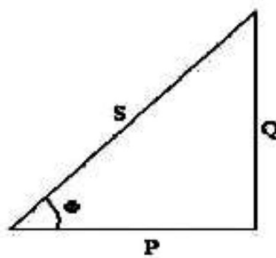
Dinamic load adalah beban yang membutuhkan daya yang besar dalam pengoperasiannya. Biasanya beban ini merupakan beban motor (induksi, sinkron, atau serempak). Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (AC) yang paling banyak digunakan.

6. Representasi Sistem Proteksi

Representasi sistem proteksi adalah sebagai pengaman baik untuk mengamankan peralatan listrik maupun pengguna peralatan listrik (manusia). Sistem pengaman diharapkan dapat mencegah masalahmasalah yang disebabkan akibat hubungsingkat (*short circuit*) dan kelebihan beban (*over load*) dalam aliran daya listrik.

2.2.4 Konsep Dasar Aliran Daya

Dalam persamaan maupun perhitungan daya, hal pokok yang harus dipahami adalah dengan memahami konsep segitiga daya. Berikut ini akan dijelaskan tentang segitiga daya menggunakan gambar disertai penjelasan dan perhitungannya (Stevenson, 1990 dalam Dhimas, 2014 : 17).



Gambar 2.3 Segitiga Daya

Keterangan :

P = Daya Aktif

Q = Daya Reaktif

S = Daya Semu

$\cos \phi$ = Faktor Daya

Dalam sistem tenaga listrik dikenal tiga jenis daya, yaitu **daya aktif** atau *real power* (P), **daya reaktif** atau *reactive power* (Q), dan **daya nyata** atau *apparent power* (S).

Menurut Sigit (2015 : 19), daya aktif (P) adalah daya listrik yang dibangkitkan di sisi keluaran generator, kemudian dimanfaatkan oleh konsumen, dapat dikonversi ke bentuk energi lainnya seperti energi gerak pada motor, bisa juga menjadi energi panas pada *heater*; ataupun dapat diubah ke bentuk energi listrik

lainnya. Perlu diingat bahwa daya ini memiliki satuan watt (W), kilowatt (kW) atau tenaga kuda (HP).

Sedangkan daya reaktif (Q) adalah suatu besaran yang digunakan untuk menggambarkan adanya fluktuasi daya pada saluran transmisi dan distribusi akibat dibangkitkannya medan/daya magnetik atau beban yang bersifat induktif (seperti : motor listrik, trafo, dan las listrik). Walaupun namanya adalah daya, namun daya reaktif ini tidak nyata dan tidak bisa dimanfaatkan. Daya ini memiliki satuan volt-ampere-reaktif (VAR) atau kilovar (kVAR).

Daya semu (S) merupakan jumlah daya total yang terdiri dari daya aktif (P) dan daya reaktif (Q).

Konsep dasar aliran daya listrik sangat penting untuk membantu perhitungan dalam analisis aliran daya listrik. Dalam suatu analisis system tenaga listrik khususnya pada analisis aliran daya selalu mengacu pada konsep-konsep dasar aliran daya sebagai berikut :

1. Daya listrik pada rangkaian satu fasa

Daya yang diserap oleh suatu beban pada setiap saat sama dengan jatuh tegangan (*voltage drop*) pada beban tersebut dalam volt dikalikan dengan arus yang mengalir lewat beban dalam ampere, jika terminal-terminal beban digambarkan sebagai a dan n serta jika tegangan dan arus dinyatakan dengan (Stevenson, 1990 : 14),

$$V_{an} = V_{\max} \cos \omega t \text{ dan } I_{an} = I_{\max} \cos (\omega t - \theta)$$

θ = positif (+), untuk arus lagging

θ = negatif (-), untuk arus leading

Maka daya sesaat (S) :

$$S = V_{\max} I_{\max} \cos \omega t \cos (\omega t - \theta)$$

$$S = V \times I$$

$$= \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \cos \theta (1 + \cos 2\omega t) + \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \sin \theta \sin 2\omega t$$

Atau,

$$S = |V||I| \cos \theta (1 + \cos 2\omega t) + |V||I| \sin \theta \sin 2\omega t$$

$|V|$ dan $|I|$ adalah harga efektif dari tegangan dan arus

$|V||I| \cos \theta (1 + \sin \omega t)$ selalu positif, dengan harga rata-rata :

$$P = |V| |I|$$

$|V||I| \sin \theta \sin 2\omega t$ mempunyai harga positif dan negatif dengan harga rata-rata nol

$$Q = |V| |I| \sin \theta$$

Keterangan :

P : disebut daya nyata atau aktif (Watt)

Cos : disebut faktor kerja

Q : disebut daya reaktif

“positif” untuk beban induktif

“negatif” untuk beban kapasitif

2. Daya listrik pada rangkaian tiga fasa

Daya yang diberikan oleh generator tiga fasa atau yang diserap oleh beban tiga fasa adalah jumlah daya dari tiap-tiap fasa. Pada system tiga fasa seimbang berlaku rumus-rumus (Sigit, 2015 : 15) :

$$P = 3V_p I_p \cos \theta_p$$

$$Q = 3V_p I_p \sin \theta_p$$

Keterangan :

θ_p : sudut antara arus fasa (lagging) dan tegangan fasa

Hubungan yang terjadi pada rangkaian sistem tiga fasa umumnya ada dua hubungan yaitu hubungan bintang (Y) dan segitiga (Δ).

Hubungan bintang (Y) :

$$V_p = \frac{V_1}{\sqrt{3}}; I_p = I_1$$

Hubungan segitiga (Δ) :

$$V_p = V_1; I_p = \frac{I_1}{\sqrt{3}}$$

Kemudian dimasukkan ke persamaan di atas menjadi :

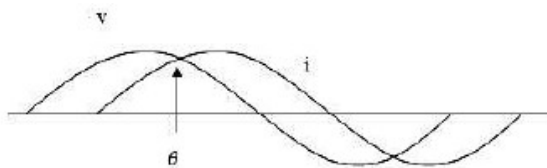
$$P = \sqrt{3} V_1 I_1 \cos \theta_p$$

$$Q = \sqrt{3} V_1 I_1 \sin \theta_p$$

Sehingga :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} V_1 I_1$$

3. Bentuk kompleks dari besaran tegangan dan arus listrik



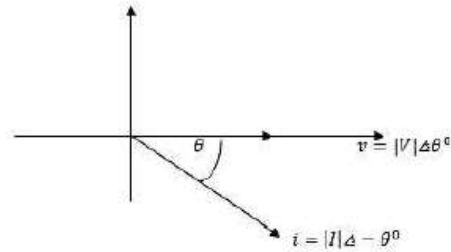
Gambar 2.4 Bentuk kompleks dari besaran tegangan dan arus listrik

V dan I mempunyai bentuk gelombang yang sama (sinus) dengan frekuensi yang sama pula. Tetapi yang membedakan hanya magnitude

(harge efektif) dan satu fasanya. Dalam bentuk kompleks besaran dari arus dan tegangan adalah :

$$v = |V| \angle \theta^{\circ} \text{ (digunakan sebagai referensi)}$$

$$i = |I| \angle -\theta^{\circ} \text{ (lagging)}$$



Gambar 2.5 Diagram fasor antara tegangan dan arus

4. Faktor Daya

Daya rata-rata bukan lagi fungsi rms (*root mean square*) dari arus dan tegangan saja, tetapi ada unsur perbedaan sudut phasa arus dan tegangan dari persamaan sephasa dan $\phi = 0^{\circ}$, menurut Zuhail, 1998 dalam Dhimas (2014 : 31), maka persamaan daya menjadi :

$$P = V.I \cos \phi$$

Untuk :

$$\phi = 60^{\circ} ; \text{ maka } P = V.I \cos (60^{\circ}) = 0,3 V.I$$

$$\phi = 90^{\circ} ; \text{ maka } P = V.I \cos (90^{\circ}) = 0$$

Keterangan :

P = daya aktif (watt)

V_r = tegangan (Volt)

I_m = arus maksimal (Ampere)

$\cos \phi$ = faktor daya

Karena tidak ada sudut fasa antara arus dengan tegangan pada tahanan, maka sudut $\varphi = 0^\circ$. Sehingga :

$$P = V.I$$

Tegangan dikalikan dengan arus disebut daya semu. Daya rata rata dibagi daya semu disebut dengan faktor daya. Untuk arus dan tegangan sinusoid, faktor daya dapat dihitung (Dhimas, 2014 : 18) :

$$\text{Faktor daya} = \frac{P}{V.I} = \frac{V.I.\cos\varphi}{V.I} = \cos\varphi$$

φ adalah sudut faktor daya, sudut ini menentukan kondisi terdahulu atau tertinggal tegangan terhadap arus. Bila sebuah beban diberikan tegangan, impedansi dari beban tersebut maka dapat menentukan besar arus dan sudut phasa yang mengalir pada beban tersebut. Faktor daya merupakan petunjuk yang menyatakan sifat suatu beban.

Perbandingan antara daya aktif (P) dan daya nyata (S) inilah yang dikenal dengan istilah faktor daya atau *power factor* (PF). Apabila dilihat pada segitiga daya, perbandingan daya aktif (P) dan daya nyata (S) merupakan nilai $\cos \varphi$. Oleh karena hal ini, istilah faktor daya juga sering dikenal dengan sebutan nilai $\cos \varphi$.

Beban yang sering digunakan pada konsumen pada instansi pendidikan kebanyakan bersifat induktif. Peningkatan beban yang bersifat induktif ini pada sistem tenaga listrik dapat menurunkan nilai faktor daya dalam proses pengiriman daya. Penurunan faktor daya ini dapat menimbulkan berbagai kerugian, antara lain (Sigit, 2015 : 18) :

- a. Memperbesar kebutuhan kVA

- b. Penurunan efisiensi penyaluran daya
- c. Meperbesar rugi-rugi panas kawat dan peralatan
- d. Mutu listrik menjadi rendah karena adanya drop tegangan

5. Losses (Rugi Daya)

Konduktor pada bagian penyaluran energi listrik mempunyai resistansi terhadap arus listrik, jadi ketika sistem beroperasi pada bagian penyaluran ini akan terjadi rugi daya yang berubah menjadi energi panas. Rugi daya pada gardu induk relatif kecil, sehingga rugi daya dalam sistem tenaga listrik dapat dianggap terdiri dari rugi daya pada jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Jika energi listrik disalurkan melalui jaringan arus bolak-balik tiga fasa, maka rugi daya pada jaringan tersebut adalah (Bonggas L. Tobing, 2003 : 2) :

$$\Delta P_1 = 3 \cdot I^2 \cdot R \text{ (watt)}$$

Keterangan :

I = arus konduktor (Ampere)

R = resistansi konduktor (ohm)

2.2.5 Persamaan Aliran Daya

Aliran daya listrik akan selalu mengalir ke beban, sehingga aliran daya disebut juga aliran beban. Beban-beban tersebut direpresentasikan sebagai impedansi tetap (Z), daya yang tetap (P), tegangan (V), dan arus yang tetap (I). Pada dasarnya beban dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu beban statis (*static load*) dan beban dinamis (*dynamic load*).

Besarnya aliran daya yang diserap oleh saluran transmisi beserta rugiruginnya dapat diketahui dengan menghitung lebih dahulu besaran (*magnitude*) tegangan dan sudut fasornya pada setiap simpul saluran. Menurut Sigit (2015 : 25) dalam penelitiannya, pada setiap simpul saluran terdapat empat parameter, yaitu :

1. Daya nyata (P) dengan satuan megawatt (MW)
2. Daya reaktif (Q) dengan satuan megavolt ampere reaktif (MVAR)
3. Besaran tegangan (V) dengan satuan kilovolt (kV)
4. Sudut fasa tegangan (ϕ) dengan satuan radian

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

Dari keempat parameter, untuk mendapatkan penyelesaian aliran daya pada setiap simpul perlu diketahui dua buah parameternya, tergantung pada parameter parameter yang diketahui maka setiap simpul pada system diklasifikasikan dalam tiga kategori (Sigit, 2015 : 26) :

1. Simpul Beban (PQ)

Parameter parameter yang diketahui adalah P dan Q, parameter yang tidak diketahui adalah V dan ϕ

2. Simpul Kontrol (bus generator)

Parameter-parameter yang diketahui adalah P dan V, dimana pada simpul ini mempunyai kendala untuk daya semu (Q) yang melalui simpul, bila kendala ini dalam perhitungan integrasinya tak dapat dipenuhi maka

simpul ini akan berganti menjadi simpul beban. Sebaliknya bila daya memenuhi kendala maka akan dihitung sebagai simpul kontrol kembali. Parameter-parameter yang tidak diketahui adalah ϕ dan Q .

3. Simpul Ayun (Swing Bus atau slack bus)

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

Besaran daya pada setiap bus dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Ti} - S_{Li}$$

Keterangan :

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

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

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

Dalam bentuk kompleks

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

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

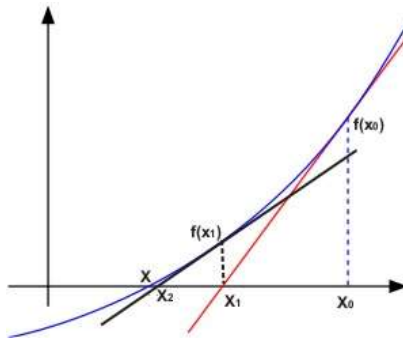
$$S_{Ti} = V_i \cdot I_i$$

2.2.6 Metode Perhitungan Analisa Aliran Daya

Metode yang digunakan dalam analisis aliran daya adalah metode gauss-seidel, newton-raphson, dan fast-decoupled. Metoda iteratif yang digunakan pada awalnya didasarkan pada matriks-Y dari metoda Gauss-Seidel. Metode Newton Raphson dikembangkan berdasarkan kekurangan dari metoda Gauss-Seidel. Metode ini didasarkan pada algoritma Newton-Raphson untuk penyelesaian persamaan kuadratik simultan. Permasalahan tersebut yang tidak dapat diselesaikan dengan metoda Gauss-Seidel (misalnya sistem dengan impedansi negatif) dapat diselesaikan secara mudah dengan metoda newton raphson. Metoda ini didasarkan pada fakta bahwa pada setiap jaringan daya yang beroperasi pada keadaan mantap, kopling antara $P-\theta$ (daya aktif dan sudut tegangan bus) dan $Q-V$ (daya reaktif dan besar tegangan bus) adalah cukup lemah (Dr. Ir. Rudy Gianto, 2014).

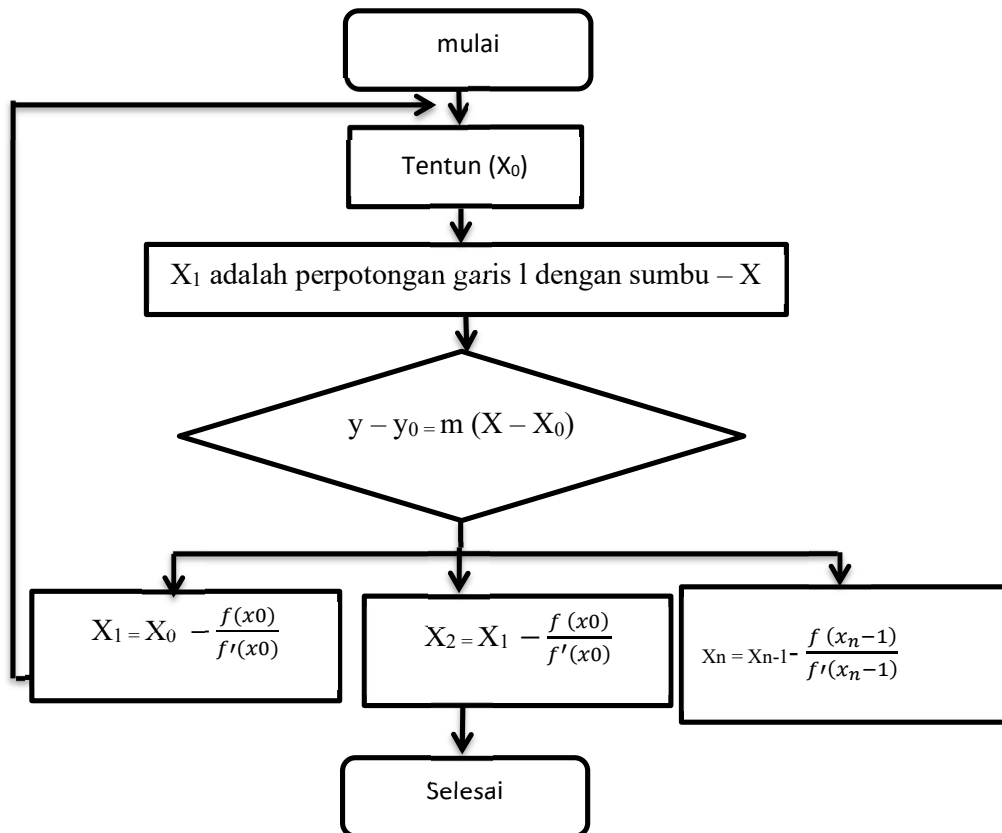
2.2.6.1 Metode Newton-Rahpson

Besar iterasi yang digunakan oleh metode Newton-Raphson yang menggunakan admitansi rel praktis tidak tergantung seberapa banyak relnya tersebut. Perhitungan matriks jacobian membutuhkan waktu lama dalam setiap iterasi adalah lebih panjang. Keuntungan dalam pemakaian komputer untuk melakukan penyelesaian menyebabkan bahwa metode ini lebih banyak dipilih untuk semua sistem (Stevenson Jr., 1996). Ilustrasi dan diagram alir metode newton raphson dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Ilustrasi Metode *Newton Raphson*

a) Diagram alir newton raphson



Gambar 2.7 Diagram Alir *Newton Raphson*

2.2.7 Drop tegangan

Drop tegangan adalah hilangnya tegangan pada saluran. *Drop* tegangan pada umumnya berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar.

Drop tegangan diakibatkan oleh resistansi pada penghantar dan arus, sehingga untuk menghitung besar *Drop* tegangan pada penghantar adalah dengan menggunakan persamaan (Hariyadi, 2017).

$$\Delta V = V_s - V_r$$

Dimana :

ΔV = *Drop* tegangan (Volt)

V_s = Tegangan kirim (Volt)

V_r = Tegangan terima (Volt)

(%) *Drop* tegangan:

$$\Delta V(\%) = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

Dimana :

$\Delta V(\%)$ = *Drop* tegangan dalam % (Volt)

V_s = Tegangan kirim (Volt)

V_r = Tegangan terima (Volt)

2.2.8 Sistem Kestabilan Tenaga Listrik

Stabilitas sistem adalah *Performance* sistem tenaga listrik agar dapat mempertahankan dan kembali pada posisi keadaan mantap, atau kembali pada keseimbangan yang baru untuk menghampiri keseimbangan yang lama (Gupta, 1998)(Kundur, 1994)(Gupta & Tripathi, 2014).

Beberapa jenis gangguan baik kecil maupun besar yang membuat sistem dalam kondisi tidak baik. Permasalahan stabilitas sangat berhubungan dengan kelakuan dari mesin-mesin sinkron setelah terjadi gangguan. Untuk memudahkan analisis masalah stabilitas dibagi kedalam 2 jenis yaitu; Kestabilan keadaan mantap (*steady state*) dan Kestabilan transien (*transient stability*). Perluasan dari steady state stability disebut dengan dynamic stability, yaitu stabilitas yang berhubungan dengan gangguan kecil yang berlangsung dalam waktu yang lama, dengan mencantumkan peralatan control otomatis. Stabilitas transien berhubungan dengan persoalan yang memberikan pengaruh besar pada kestabilan sistem, gangguan mendadak seperti hubung singkat, lepasnya beban dari sistem secara mendadak, atau masuknya beban kedalam sistem secara mendadak. Studi stabilitas transien dibutuhkan untuk menjamin atau memastikan bahwa sistem dapat bertahan menyusul terjadinya gangguan besar. Analisis masuknya pembangkit baru pada sistem sistem distribusi berupa pembangkit *renewable energy* telah banyak menjadi perhatian bagi para peneliti (Hadi Suyono, Muhammad Fauzan E.P., Hari Santoso, 2013).

2.2.9 ETAP Power Station 12.6

Software ETAP (Electrical Transient Analisis Program) Power Station 4.0 merupakan perangkat lunak yang mempunyai fungsi untuk melakukan analisis perhitungan studi kasus mengenai aliran daya, hubung singkat, stabilitas transien dan analisis perhitungan tenaga listrik lainnya.

Software tersebut yang mampu menangani sistem, seperti dengan menggunakan 2000 bus, 3000 saluran dan 500 transformator. Sehingga dalam perhitungan yang rumit akan menjadi mudah dengan perhitungan digital.

Urutan dalam perhitungan digital dalam penggunaan *software* ini antara lain adalah (Agung, 2009 dalam Dhimas, 2014 :26) :

1. Menggambar single line diagram
2. Memasukkan nomor dan identitas dari peralatan tersebut (generator, busbar, transformator, penghantar dan beban)
3. Memasukkan data beban, daya aktif, daya reaktif daya semu, arus, tegangan dan factor daya
4. Memasukkan besarnya nilai tegangan setiap bus
5. Memilih metode iterasi perhitungan aliran daya

Pada perhitungan aliran daya menggunakan ETAP Power Station akan dihitung tegangan bus, faktor daya, arus, dan aliran daya yang melalui system tenaga listrik. Program dapat menggunakan sumber tenaga ayun (*swing*), pengaturan tegangan dan tanpa pengaturam tegangan dengan banyak generator dan peralatan. Program ini dapat digunakan untuk jaringan loop maupun radial. Metode perhitungan yang berbeda dapat dipilih untuk memperoleh hasil perhitungan yang terbaik

BAB III

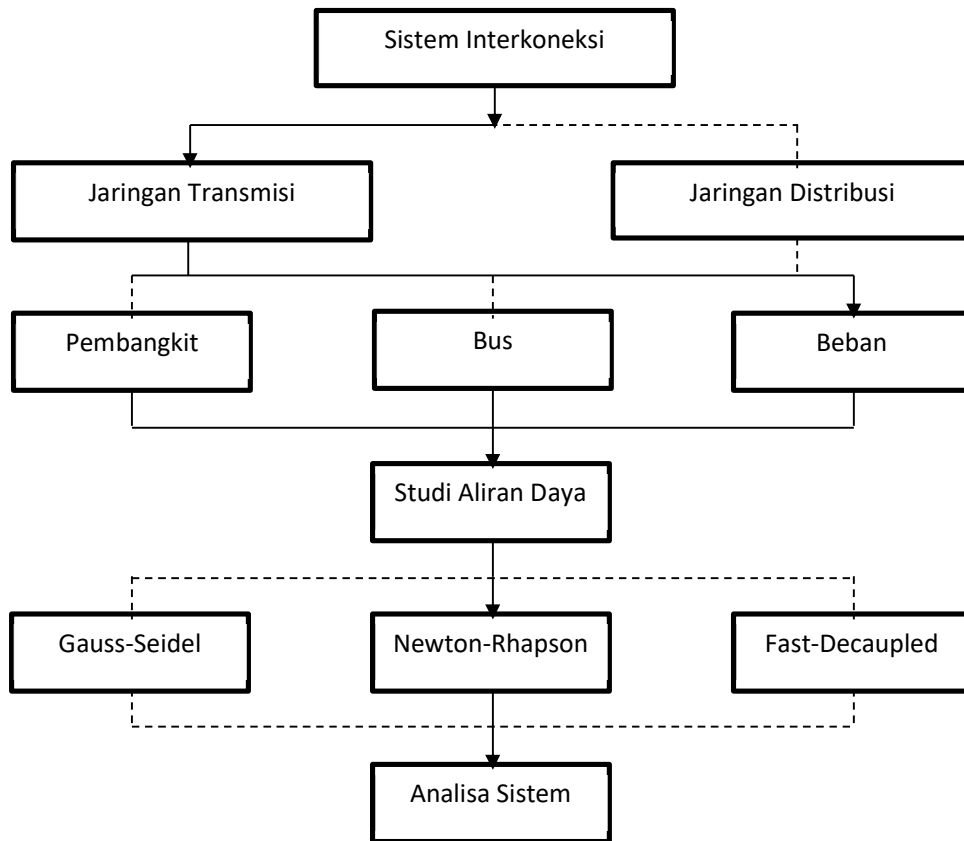
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep penelitian dalam bentuk diagram alir di perlihatkan pada Gambar 3.1. Diagram alir di jelaskan tentang perencanaan dari penelitian ini yaitu analisis sistem kelistrikan Gorontalo dengan adanya penambahan beban baru yaitu Pelanggan tegangan tinggi PT. BJA pada system transmisi 150 kV. Sistem tenaga listrik yang di analisis adalah sistem interkoneksi Gorontalo 150 kV, yang meliputi analisis aliran daya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui *performance* sistem setelah masuknya pelanggan tegangan tinggi.

Metode Gauss-Seidel, Newton Raphson dan Fast Decoupled adalah beberapa metode yang digunakan dalam menyelesaikan aliran daya. Metode Newton Raphson lebih praktis dan efisien dalam perhitungan komputasi aliran daya. Studi aliran daya ini dipakai untuk mengetahui pengaruh sistem sebelum dan setelah masuknya beban baru seperti nilai tegangan, aliran daya aktif (p), aliran daya reaktif (Q), dan rugi daya aktif (P_{loss}), dan rugi daya reaktif (Q_{loss}), sehingga diperoleh profil tegangan yang terbaik.

Studi pustaka, pengumpulan data, proses perhitungan, simulasi dan analisis dilakukan dalam memecahkan suatu masalah dalam penelitian ini. Analisis. Hasil analisis tersebut dibandingkan, sehingga diketahui aliran daya suatu sistem sebelum dan setelah masuknya beban baru. Kerangka konsepnya dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka Konsep

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan selama 6 bulan, terhitung mulai bulan Januari 2023 sampai dengan Juni 2023, Waktu penelitian dapat terlihat pada Tabel 3.1. lokasi penelitian berada di wilayah Gorontalo.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Uraian Penelitian	Periode tahapan					
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
1	Studi Literatur						
2	Pembuatan Proposal						
3	Seminar Proposal						
4	Mengumpulkan data						
5	Proses pengolahan data						
6	analisa hasil penelitian						
7	pembuatan laporan ujian skripsi						
8	Ujian Skripsi						

3.3 Alur Penelitian

3.3.1 Studi literatur

menggriview jurnal dari penelitian sebelumnya, buku yang berkaitan dengan penelitian dan berhubungan dengan profil tegangan, losses, dan aliran daya.

3.3.2 Pengumpulan Data

a. Data primer

Data primer berupa data sistem kelistrikan interkoneksi 150 kV dan 20 kV PT. PLN (Persro) Area Gorontalo yang di peroleh melalui pengambilan data di tujuh lokasi Gardu Induk (GI), yaitu GI Boroko, GI Anggrek, GI Isimu, GI Botupingge, GI Tilamuta, GI Gorontalo Baru dan GI Marisa.

b. Data sekunder

Dalam metode ini di lakukan pencarian sebanyak mungkin literature dari jurnal, buku, maupun dari internet. Data yang dibutuhkan adalah data sistem kelistrikan 150 kV dan 20 kV Gorontalo. Adapun data yang diambil dalam penelitian ini ialah :

1. *Single Line* sistem kelistrikan 150 kV Gorontalo dan penyulang 20 kV

2. Pembangkit yang ada di sistem kelistrikan Gorontalo.
3. Transformator daya pada GI
4. Data saluran
5. Beban kelistrikan

3.3.3 Proses Pengolahan Data

Data sistem yang diperoleh masih data awal dari lapangan. Untuk melakukan simulasi, data tersebut masih diolah. Setelah itu dilakukan penginputan data kedalam software berupa gambar simulasi. Selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya sistem kelistrikan dengan bantuan software ETAP 12.6 dengan menggunakan metode Newton Raphson.

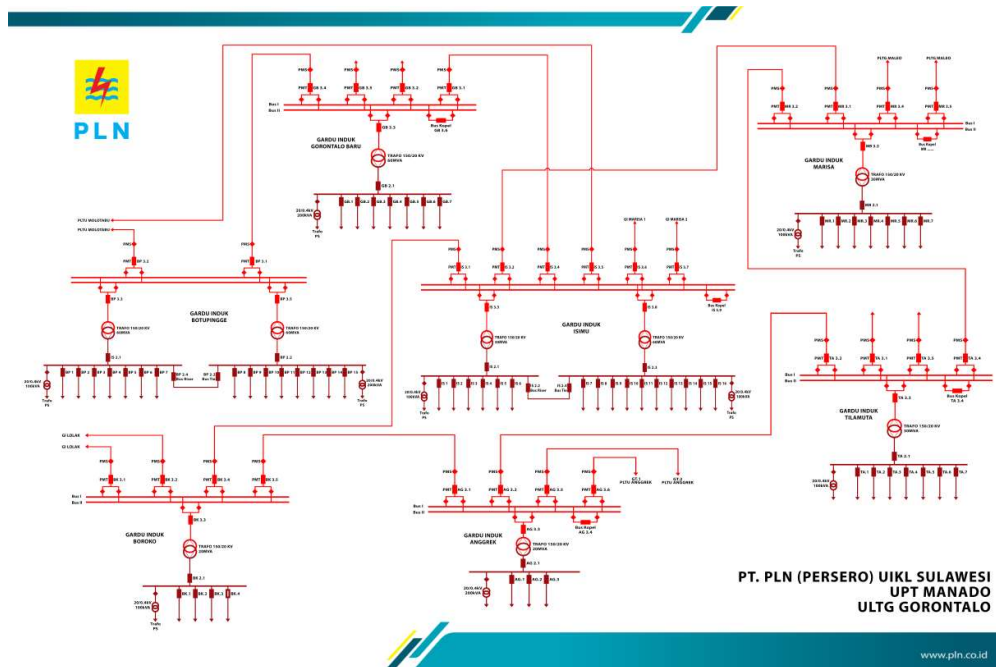
Data input pada simulasi adalah:

1. Nama Bus
2. Jenis Bus.
3. Tegangan Bus
4. Mesin pembangkit
5. Data Gardu induk
6. Data penghantar pada saluran transmisi dan distribusi
7. Faktor daya pada pembangkit 0,8 dan beban 0,85

3.3.4 Analisa Hasil

Tahap terakhir adalah melakukan analisa aliran daya sistem 150 kV Gorontalo sebelum dan setelah masuknya beban pelanggan tegangan tinggi melalui jaringan transmisi 150 kV Gorontalo ke system kelistrikan Gorontalo.

3.4 *Single Line Diagram Gorontalo*



Gambar 3.2 *Single Line Diagram Gorontalo 150 kV*

Pada Gambar 3.2. Gorontalo memiliki 5 (lima) Gardu Induk (GI) yang terdiri dari GI Boroko, GI Anggrek, GI Isimu, GI Botupinggi dan GI Marisa, yang saling terhubung dengan transmisi 150 kV. Lokasi diinjeksinya PLTS Isimu yaitu pada Gardu Induk Isimu melalui jaringan distribusi 20 kV dan dengan kapasitas trafo GI Isimu sebesar 60 MVA.

3.5 *Data Transformator Gardu Induk*

Masing masing GI mempunyai transformator daya yang berfungsi menurunkan tegangan dari 150 kV ke 20 kV yang melayani sistem kelistrikan Gorontalo dengan kapasitas daya transformator seperti pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Data Transformator Daya

No	Gardu Induk	Daya Trafo Terpasang (MVA)	Rating Tegangan (kV)
1	Boroko	20	150/20
2	Anggrek	20	150/20
3	Isimu	90	150/20
4	Botupingge	120	150/20
5	Gorontalo Baru	60	150/20
6	Tilamuta	30	150/20
7	Marisa	30	150/20
Total beban sistem		370	150/20

Sumber: PT. PLN (PERSERO)Area Gorontalo

3.6 Daya mampu dan Daya Terpasang Pembangkit Di Gorontalo

Daya mampu dan daya terpasang dari setiap pembangkit dapat dilihat pada

Tabel 3.3

Tabel 3.3 Daya Terpasang dan Daya kirim

NO	Pembangkit	Daya Terpasang	Daya Mampu
		MW	MW
1	PLTS Sumalata	2,00	1,6
2	PLTG Maleo	100	50
3	PLTU Molotabu	25	13
4	PLTD Telaga	23,5	5,8
5	PLTM Mongango	1,2	1
7	PLTM Taludaa	5,3	3,2

Sumber: PT. PLN (PERSERO)Area Gorontalo

3.7 Data Saluran Transmisi

Tegangan kerja sistem transmisi Gorontalo adalah 150 kV dengan saluran ganda (*double circuit*). Kontruksinya adalah Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) di topang tower transmisi. Penghantar (*konduktor*) yang digunakan adalah

konduktor jenis ACSR ukuran 240 mm dengan luas penampang 282,50 mm². Data impedans konduktor dapat dituangkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data Saluran Transmisi

NO	Dari-Ke	Panjang Saluran	Impedans (ohm/km)	
		(Km)	Urutan positif	Urutan nol
1	GI Isimu-GI Marisa	110.25	0.118+j0.420	0.545+j1.639
2	GI Isimu-GI Botupingge	36.28	0.118+j0.420	0.545+j1.639
3	GI Isimu-GI Boroko	72.92	0.118+j0.420	0.545+j1.639
4	GI Tilamuta – GI Anggrek	67.99	0.118+j0.420	0.545+j1.639
5	GI Marisa-PLTG Maleo	1.67	0.118+j0.420	0.545+j1.639
6	GI Boroko-GI Anggrek	59.54	0.118+j0.420	0.545+j1.639
7	GI Botupingge-PLTU Molotabu	41.09	0.118+j0.420	0.545+j1.639
8	GI Isimu – GI Tilamuta	49.84	0.118+j0.420	0.545+j1.639
9	GI Isimu – GI Gorontalo Baru	24.06	0.118+j0.420	0.545+j1.639
10	GI Isimu – PLTU Molotabu	43.15	0.118+j0.420	0.545+j1.639
11	GI Marisa – GI Tilamuta	61.01	0.118+j0.420	0.545+j1.639

Sumber: PT. PLN (PERSERO) Area Gorontalo

3.8 Data Beban

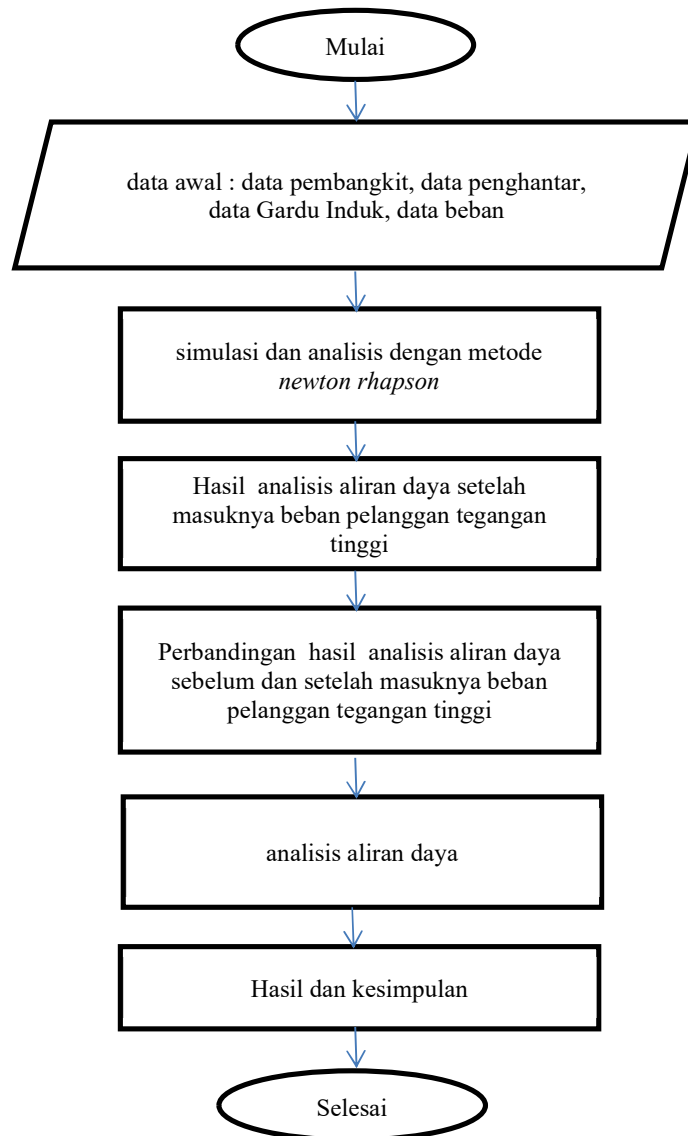
Data beban yang digunakan adalah data yang diambil pada tanggal 15 Desember 2019 pada masing masing GI. Data beban dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Data Beban Gorontalo

No	GI	Arus (A)	Daya Aktif (MW)	Out Going
1	Isimu	422	12,426	20 kV
2	Marisa	614	18.079	20 kV
3	Botupingge	1198	35,27	20 kV
4	Boroko	151	4,446	20 kV
5	Anggrek	264	7,773	20 kV
6	Tilamuta	206	6,066	20 kV
7	Gorontalo Baru	230	6,772	20 kV

Sumber: PT. PLN (PERSERO) Area Gorontalo

3.9 Flow Chart



Gambar 3.3 Flow Chart

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Kelistrikan Gorontalo

Sistem Kelistrikan di Gorontalo merupakan satu kesatuan interkoneksi dengan system kelistrikan Minahasa dan Kotamobagu melalui saluran transmisi 150 kV. Ada 7 (Tujuh) pusat beban Gardu Induk dan ada 3 (tiga) pusat listrik yang besar yang saling terinterkoneksi melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV. Disamping itu ada 3 (tiga) Pembangkit yang terhubung ke Gardu Hubung melalui saluran distribusi 20 kV dan ada 1 (satu) pembangkit yang terhubung langsung (*ekspres*) ke *out going* 20 kV Gardu Induk. Pada Tahun 2021 PT. PLN (Persero) UP3 Gorontalo telah masuk industry biomass dibangun di kabupaten Pohuwato dengan pelanggan Tegangan Tinggi 150 kV. Sehingga dibangun Gardu Induk di area industry biomass tersebut.

Beban industry biomass ini telah di interkoneksi langsung melalui saluran transmisi 150 kV dari Gardu Induk Biomass ke Gardu Induk Marisa. Masuknya beban industry biomass ini diharapkan dapat membantu kebutuhan energy dan juga dapat memperbaiki profil tegangan dengan memperhitungkan rugi-rugi daya. Sehingga perlu analisis aliran daya pada kondisi sebelum masuknya beban industry biomass dan sesudah masuknya beban industry biomass tersebut. Dalam analisis aliran daya perlu data system kelistrikan Gorontalo. Adapun data tersebut berupa data Pembangkit listrik, data transformator Gardu induk, beban pada masing-masing Gardu Induk dan data penghantar transmisi 150 kV.

4.2 Analisis Data Sistem Kelistrikan Gorontalo

Perolehan data dari lapangan untuk system kelistrikan Gorontalo masih berupa data mentah sehingga masih diperlukan pengolahan data sebagai input dalam simulasi. Untuk simulasi menggunakan bantuan software ETAP 19.0. Setelah itu dianalisis hasil simulasi tersebut

4.2.1 Analisis Data Pembangkit Listrik

Analisis daya pembangkit, dasar yang digunakan adalah data actual dengan membagi cos phi dengan daya aktif diperoleh daya semu. Cos phi yang digunakan adalah 0.85 berdasarkan kapasitas daya terpasang. Refrensi bus atau slack bus digunakan 100 MVAsc yang dijadikan sebagai acuan. Input pada simulasi digunakan persentase pembebanan 80 persen dari daya terpasang (MW). Untuk menentukan nilai parameter daya semu dapat dicari dengan :

$$S = \frac{P \text{ pembebanan}}{\cos p}$$

$$S = \frac{40}{0.85} = 47,06 \text{ MVA}$$

Untuk daya aktif pembebanan 80 persen dapat dihitung dengan:

$$P = 80\% \times \text{daya terpasang} = 80\% \times 50 = 40 \text{ MW}$$

Daya reaktif berdasarkan pembebanan pembangkit dapat dicari dengan menggunakan persamaan segitiga daya.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{47,06^2 - 40^2} = 24.09 \text{ MVAR}$$

4.2.2 Analisa Data Saluran

Data saluran yang digunakan adalah dengan memperhatikan Panjang saluran dan jenis kawat penghantar. Input data saluran dalam simulasi menggunakan data typical penghantar yang sudah ada dalam software ETAP. Contohnya untuk

menghitung resistansi (R) = 0.118 ohm/km dan reaktansi (X) = 0.420 ohm/km dengan jarak antar penghantar 36.28 km, maka resistansi dan reaktansi dapat dihitung:

$$R = r \times L = 0.118 \times 36.28 = 4.281 \text{ ohm}$$

$$X = x \times L = 0.420 \times 36.28 = 15.238 \text{ ohm}$$

Impedansi dasar dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$Z_{base} = \frac{kV^2}{S_{base}} = \frac{150^2}{96.900} = 232.1981 \text{ ohm}$$

4.2.3 Analisa Data Beban

Dalam menganalisis data beban kedalam bentuk daya aktif (MW) dan daya semu (MVA) maka data yang diperoleh dari lapangan berupa data beban amper dirubah kedalam bentuk daya aktif dan daya semu. Perhitungan parameter beban dalam bentuk beban daya aktif adalah beban daya semu (Smax) pada masing-masing GI. Contohnya untuk beban bus GI Isimu diketahui beban amper adalah 768 A, dengan cos phi untuk beban penyulang GI adalah 0,95 maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{MVA} = \frac{I \times V}{1000} = \frac{768 \times 20 \times \sqrt{3}}{1000} = 26,60 \text{ MVA}$$

$$P_{MW} = \frac{S \times \cos p}{1000} = \frac{25274,09}{1000} = 25,27 \text{ MW}$$

$$Q_{MVAR} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{26,60^2 - 25,27^2} = 8,307 \text{ MVA}$$

4.3 Simulasi dan Pembahasan

4.3.1 Hasil simulasi Tegangan Sebelum Masuknya Beban Industri GI BJA

Simulasi aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson, pertama-tama system dimodelkan sesuai dengan *single line* system Gorontalo 150 kV sebelum masuknya beban tegangan tinggi industry biomass (GI BJA). Setelah system dimodelkan, selanjutnya dilakukan penginputan data dari masing-masing parameter sesuai dengan hasil pengolahan data dan referensi system. Penginputan data hasil perhitungan parameter pembangkit, slack bus, transformator, penghantar dan beban kedalam software ETAP 19.0.

Setelah penginputan data, selanjutnya dilakukan proses simulasi. Hasil dari simulasi tegangan sebelum masuknya beban industri GI BJA merupakan hasil tegangan pada setiap bus Gardu Induk di sisi 150 kV dan 20 kV dengan menggunakan metode Newton-Rhapson. Setelah didapatkan hasilnya maka dilakukan analisis tegangan yang terdapat pada setiap bus beban, bus beban tersebut terdapat pada masing-masing bus Gardu Induk (GI). Beban pada masing-masing GI terbaca pada bus tegangan 150 kV dan 20 kV. Sehingga hasil simulasi tegangan sebelum masuknya beban industry GI BJA dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Tegangan Sebelum Masuknya Beban GI BJA

Bus	Tegangan		
	%	Angle	Volt
GI BK 150	100	0,0	150
GI BK 20	98,838	-1,7	19,768
GI AG 150	98,197	-2,0	147,296
GI AG 20	95,428	-5,9	19,086
GI IS 150	97,047	-3,0	145,571
GI IS 20	95,809	-4,9	19,162
GI TA 150	97,695	-2,8	146,543
GI TA 20	96,186	-5,2	19,237

GI MR 150	98,515	-2,3	147,773
GI MR 20	94,223	-8,4	18,845
GI GB 150	95,881	-3,7	143,822
GI GB 20	93,72	-7,1	18,744
GI BP 150	95,476	-4,0	143,214
GI BP 20	93,715	-6,8	18,743

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa hasil simulasi tegangan 150 kV sebelum masuknya beban industri GI BJA dengan menggunakan metode Newton Rhapson yang tertinggi terdapat pada bus GI Marisa (MR) sebesar 98,515% atau 147,773 kV dan tegangan terendah terdapat pada GI Botupingge (BP) yaitu 95,476% atau 143,214 kV. Hasil simulasi tegangan 20 kV sebelum masuknya beban industri GI BJA dengan menggunakan metode Newton Rhapson yang tertinggi terdapat pada bus beban GI Tilamuta (TA) sebesar 96,186% atau 19,237 kV dan tegangan terendah terdapat pada GI Botupingge (BP) yaitu 93,715% atau 18,743 kV. Hal ini menandakan bahwa tegangan yang ada pada masing-masing bus GI baik itu bus 150 kV dan bus 20 kV masih dalam batas standar SPLN yaitu 105 % (+ 5 %) dan 90 % (− 10%).

4.3.2 Hasil Simulasi Aliran Beban Sebelum Masuknya Beban Industri GI BJA

Hasil simulasi aliran beban sebelum masuknya beban industri GI BJA dengan menggunakan metode Newton-Rhapson dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Aliran Beban Sebelum Masuknya Beban Industry GI BJA

Bus		Load Flow		
From	To	MW	MVAR	Ampere
GI BK 150	GI PLTU TK 150	29,543	-0,360	113,7
GI PLTU TK 150	GI AG 150	28,972	2,55	112,8
GI PLTU TK 150	GI IS 150	49,833	8,387	195,9
GI PLTU AG 150	GI AG 150	8,453	3,908	36,5
GI PLTG Maleo 150	GI MR 150	21,947	7,053	90
GI TA 150	GI IS 150	5,154	3,753	25,1
GI MR 150	GI TA 150	9,898	1,688	39,2
GI IS 150	GI GB 150	34,27	11,498	143,4
GI AG 150	GI IS 150	32,327	7,164	131,3
GI GB 150	GI BP 150	21,208	7,405	90,2

Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa hasil simulasi aliran beban sebelum masuknya beban industry GI BJA dengan menggunakan metode Newton-Rhapson terbesar terdapat pada bus GI Isimu (IS) 150 kV menuju GI Gorontalo Baru (GB) 150 kV yaitu daya aktif sebesar 34,27 MW dan daya reaktif sebesar 11,498 MVar. Sedangkan aliran beban terendah terdapat pada bus GI Talamuta (TA) 150 kV menuju GI Isimu (IS) 150 kV yaitu daya aktif sebesar 5,154 MW dan daya reaktif yaitu sebesar 1,688 MVar.

4.3.3 Rugi-rugi Daya Sebelum Masuknya Beban Industri GI BJA

Hasil simulasi rugi-rugi daya total sebelum masuknya beban industry GI BJA dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Total Sebelum Masuknya Beban Industri GI BJA

ID	Daya Aktif MW	Daya Reaktif MVAR
Total Demand	145,952	34,599
Total Load	143,139	47,048
Apparent Losses	2,813	-12,449

Percent Losses (%)	1,93%	-35,98%
--------------------	-------	---------

Dari Tabel 4.3 terlihat bahwa hasil simulasi rugi-rugi daya total sebelum masuknya beban industry GI BJA menggunakan metode Newton-Rhapson untuk daya aktif sebesar 2,813 MW dan untuk daya reaktif sebesar -12,449 MVar. Sedangkan perbandingan persentase rugi-rugi daya dengan pembangkitan total adalah untuk daya aktif sebesar 1,93 % dan daya reaktif sebesar -35,98%.

4.3.4 Simulasi Tegangan Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA

Dalam simulasi analisa aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson, system dimodelkan sesuai dengan diagram satu garis system Gorontalo 150 kV dengan masuknya beban industry GI BJA dari GI Marisa menuju Gardu Induk (GI) Biomass (BJA). Kawat penghantar yang digunakan adalah jenis kawat ACSR ukuran 240 mm² dengan panjang penghantar 81,613 km. Gambar permodelan single line sistem Gorontalo 150 setelah masuknya beban industry GI BJA dapat dilihat pada Gambar lampiran.

Setelah system dimodelkan, selanjutnya dilakukan penginputan data dari masing-masing parameter sesuai dengan hasil pengolahan data dan referensi system. Hasil simulasi tegangan sesudah masuknya beban industry GI BJA merupakan hasil tegangan pada setiap bus Gardu Induk di sisi 150 kV dan 20 kV. Hasil simulasi tegangan setelah masuknya beban industry GI BJA dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Tegangan Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA

Bus	Tegangan		
	%	Angle	Volt
GI BK 150	100	0,0	150
GI BK 20	98,838	-1,7	19,768
GI AG 150	98,316	-2,1	147,474
GI AG 20	95,542	-5,9	19,108
GI IS 150	97,238	-3,0	145,857
GI IS 20	95,998	-4,9	19,200
GI TA 150	98,03	-2,9	147,045
GI TA 20	96,517	-5,3	19,303
GI MR 150	99,025	-2,5	148,538
GI MR 20	94,711	-8,6	18,942
GI GB 150	96,071	-3,8	144,107
GI GB 20	93,905	-7,2	18,781
GI BP 150	95,665	-4,0	143,498
GI BP 20	93,9	-6,8	18,780
GI BJA 150	99,195	-2,7	148,793
GI BJA 20	98,442	-3,8	19,688

Pada Tabel 4.4 terlihat bahwa hasil simulasi tegangan 150 kV setelah masuknya beban industry GI BJA dengan menggunakan metode Newton Rhapsion yang tertinggi terdapat pada GI Biomass(BJA) sebesar 99,195% atau 148,792 kV dan tegangan terendah terdapat pada GI Botupingge (BP) yaitu 95,665% atau 143,498 kV. Hasil simulasi tegangan 20 kV setelah masuknya beban industry GI BJA dengan menggunakan metode Newton Rhapsion yang tertinggi terdapat pada GI Biomass(BJA) sebesar 98,442% atau 19,688 kV dan tegangan terendah terdapat pada GI Botupingge (BP) yaitu 93,9% atau 18,78 kV. Hal ini menandakan bahwa tegangan yang ada pada masing-masing bus GI masih dalam batas standar SPLN yaitu 105 % (+ 5 %) dan 90 % (– 10%).

4.3.5 Hasil Simulasi Aliran Beban Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA

Hasil simulasi aliran beban setelah masuknya beban industry GI BJA dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Aliran Beban Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA

Bus		Load Flow		
From	To	MW	MVAR	Ampere
GI BK 150	GI PLTU TK 150	29,668	-1,441	114,3
GI PLTU TK 150	GI AG 150	29,129	1,608	113,1
GI PLTU TK 150	GI IS 150	50,301	6,448	196,5
GI PLTU AG 150	GI AG 150	8,614	3,622	36,6
GI PLTG Maleo 150	GI MR 150	23,762	4,179	93,7
GI TA 150	GI IS 150	4,887	5,544	29
GI MR 150	GI TA 150	9,668	3,469	39,9
GI IS 150	GI GB 150	34,406	11,544	143,7
GI AG 150	GI IS 150	33,174	5,642	131,7
GI GB 150	GI BP 150	21,292	7,435	90,4
GI MR 150	GI BJA 150	1,92	-4,711	19,8

Dari Tabel 4.5 terlihat bahwa hasil simulasi aliran beban setelah masuknya beban industry GI BJA dengan menggunakan metode Newton-Rhapson terbesar terdapat pada bus GI Isimu (IS) 150 kV menuju GI Gorontalo Baru (GB) 150 kV yaitu daya aktif sebesar 34,406 MW dan daya reaktif sebesar 11,544 MVar. Sedangkan aliran beban terendah terdapat pada bus GI Marisa (MR) 150 kV menuju GI Biomass (BJA) 150 kV yaitu daya aktif sebesar 1,92 MW dan daya reaktif yaitu sebesar 3,469 MVar.

4.3.6 Rugi-rugi Daya Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA

Hasil simulasi rugi-rugi daya total setelah masuknya beban industry GI BJA dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA

ID	Daya Aktif MW	Daya Reaktif MVAR
Total Demand	150,539	25,574
Total Load	147,672	48,537
Apparent Losses	2,866	-22,963
Percent Losses (%)	1,90%	-89,79%

Dari Tabel 4.6 terlihat bahwa hasil simulasi rugi-rugi daya setelah masuknya beban industry GI BJA menggunakan metode Newton-Rhapson untuk daya aktif sebesar 2,866 MW dan untuk daya reaktif sebesar -22,963 MVar. Sedangkan perbandingan persentase rugi-rugi daya dengan pembangkitan total adalah untuk daya aktif sebesar 1,90 % dan daya reaktif sebesar -89,79%. Hasil simulasi aliran daya setelah masuknya beban industry GI BJA menggunakan metode Newton-Rhapson secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel Lampiran.

4.3.7 Perbandingan Simulasi Aliran Daya Sebelum dan Setelah Interkoneksi GI BJA

Perbandingan simulasi aliran daya dengan metode Newton Raphson sebelum dan setelah masuknya beban industry GI BJA untuk tegangan disetiap bus 150 kV dan 20 kV dapat dilihat pada Tabel 4.7, untuk aliran beban dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan rugi-rugi daya dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Simulasi Tegangan Sebelum dan Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA

Bus	Tegangan (Sebelum)			Tegangan (Setelah)		
	%	Angle	Volt	%	Angle	Volt
GI BK 150	100	0,0	150	100	0,0	150
GI BK 20	98,838	-1,7	19,768	98,838	-1,7	19,768
GI AG 150	98,197	-2,0	147,296	98,316	-2,1	147,474

GI AG 20	95,428	-5,9	19,086	95,542	-5,9	19,108
GI IS 150	97,047	-3,0	145,571	97,238	-3,0	145,857
GI IS 20	95,809	-4,9	19,162	95,998	-4,9	19,200
GI TA 150	97,695	-2,8	146,543	98,03	-2,9	147,045
GI TA 20	96,186	-5,2	19,237	96,517	-5,3	19,303
GI MR 150	98,515	-2,3	147,773	99,025	-2,5	148,538
GI MR 20	94,223	-8,4	18,845	94,711	-8,6	18,942
GI GB 150	95,881	-3,7	143,822	96,071	-3,8	144,107
GI GB 20	93,72	-7,1	18,744	93,905	-7,2	18,781
GI BP 150	95,476	-4,0	143,214	95,665	-4,0	143,498
GI BP 20	93,715	-6,8	18,743	93,9	-6,8	18,780
GI BJA 150	-			99,195	-2,7	148,793
GI BJA 20	-			98,442	-3,8	19,688

Pada Tabel 4.7 terlihat bahwa perbandingan hasil simulasi tegangan sebelum dan setelah masuknya beban industry GI BJA dengan menggunakan metode Newton Rhapson, yakni sebelum masuknya beban industry GI BJA tegangan yang berada pada bus GI Marisa (MR) 150 kV adalah sebesar 98,515% atau 147,773 kV. Setelah masuknya beban industry GI BJA maka tegangan yang ada pada bus GI Marisa (MR) 150 kV naik menjadi 99,025% atau 148,538 kV. Sama halnya dengan bus GI 150 lainnya yang terdapat kenaikan tegangan dari sebelum masuknya beban industry GI BJA dan setelah masuknya beban industry GI BJA.

Rata- rata kenaikan tegangan pada bus GI pada sisi 150 kV adalah sebesar 0,56 % atau 1,384 kV sedangkan pada sisi 20 kV adalah sebesar 0,25 % atau 0,05 kV. Dengan adanya masuknya beban industry GI BJA pada sistem kelistrikan Gorontalo dapat memberikan pengaruh terhadap profil tegangan. Pengaruhnya adalah berupa kenaikan tegangan pada setiap bus GI. Sehingga membuat tegangan pada setiap bus sistem kelistrikan di Gorontalo menjadi lebih baik dan masih dalam

batas-batas yang diizinkan menurut standar SPLN yaitu 105 % (+ 5 %) dan 90 % (– 10%).

Sedangkan Perbandingan hasil simulasi aliran beban sebelum dan setelah masuknya beban industry GI BJA dengan metode Newton Raphson dan dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Simulasi Aliran Beban Sebelum dan Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA

Bus		Load Flow (Sebelum)		Load Flow (Setelah)	
From	To	MW	MVAR	MW	MVAR
GI BK 150	GI PLTU TK 150	29,543	-0,360	29,668	-1,441
GI PLTU TK 150	GI AG 150	28,972	2,55	29,129	1,608
GI PLTU TK 150	GI IS 150	49,833	8,387	50,301	6,448
GI PLTU AG 150	GI AG 150	8,453	3,908	8,614	3,622
GI PLTG Maleo 150	GI MR 150	21,947	7,053	23,762	4,179
GI TA 150	GI IS 150	5,154	3,753	4,887	5,544
GI MR 150	GI TA 150	9,898	1,688	9,668	3,469
GI IS 150	GI GB 150	34,27	11,498	34,406	11,544
GI AG 150	GI IS 150	32,327	7,164	33,174	5,642
GI GB 150	GI BP 150	21,208	7,405	21,292	7,435
GI MR 150	GI BJA 150	-		1,92	-4,711

Dari Tabel 4.8 terlihat bahwa hasil perbandingan simulasi aliran beban sebelum dan setelah masuknya beban industry GI BJA dengan menggunakan metode Newton Rhapsion yakni aliran beban sebelum masuknya beban industry GI BJA dari bus GI Isimu (IS) 150 kV menuju GI Gorontalo Baru (GB) 150 kV untuk daya aktif adalah sebesar 34,27 MW dan untuk daya reaktif adalah 11,494 MVar. Setelah masuknya beban industry GI BJA maka aliran beban dari GI Isimu menuju GI Gorontalo Baru untuk daya aktif adalah sebesar 34,406 MW dan untuk daya reaktif adalah 11,544 MVar. Terlihat terjadi kenaikan aliran beban untuk daya aktif

dari GI Isimu (IS) menuju GI Gorontalo Baru (GB) dan untuk aliran beban daya reaktif mengalami kenaikan. Hal tersebut terjadi hampir pada setiap aliran beban antar bus GI.

Sedangkan aliran beban dari GI Marisa (MR) 150 kV menuju GI Tilamuta (TA) 150 kV untuk daya aktif mengalami penurunan yaitu sebelum masuknya beban industry GI BJA adalah 9,898 MW dan setelah masuknya beban industry GI BJA menjadi 9,668 MW sedangkan daya reaktif mengalami kenaikan dari 1,688 MVar menjadi 3,469 MVar. Hal ini disebabkan karena GI Marisa (MR) 150 kV menerima supplay daya listrik langsung dari pembangkit listrik yaitu PLTG Paguat, dan dari GI Marisa (MR) disalurkan ke GI Tilamuta (TA). Setelah terhubung langsung dan mengirim daya listrik ke GI Tilamuta (TA). Sedangkan masuknya beban industry GI BJA menerima supplay daya listrik dari GI Marisa (MR) melalui jaringan udara transmisi 150 kV. Sehingga aliran beban dari GI Marisa (MR) sudah terbagi menjadi dua arah yaitu arah ke timur menuju ke GI Tilamuta dan arah ke barat menuju ke GI BJA.

Berbeda halnya dengan aliran beban terbesar sebelum dan setelah masuknya beban industry GI BJA yang mengalami kenaikan pada daya aktif dari GI Isimu menuju GI Gorontalo Baru. Hal ini disebabkan karena GI Isimu (IS) merupakan sentral atau pusat interkoneksi dari semua GI yang ada pada system kelistrikan 150 kV Gorontalo. Disamping itu GI Isimu (IS) menerima supplay langsung daya listrik dari pembangkit listrik PLTU Tanjung Karang (TK). Sehingga memperlihatkan adanya kenaikan aliran beban daya aktif terhadap GI Isimu (IS) menuju GI Gorontalo baru (GB).

Perbandingan hasil simulasi rugi-rugi daya sebelum dan setelah masuknya beban industry GI BJA dengan menggunakan metode Newton Raphson dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Sebelum dan Setelah Masuknya Beban Industri GI BJA

ID	Rugi rugi daya (Sebelum)		Rugi rugi daya (Sesudah)	
	Daya Aktif MW	Daya Reaktif MVAR	Daya Aktif MW	Daya Reaktif MVAR
Total Demand	145,952	34,599	150,539	25,574
Total Load	143,139	47,048	147,672	48,537
Apparent Losses	2,813	-12,449	2,866	-22,963
Percent Losses (%)	1,93%	-35,98%	1,90%	-89,79%

Dari Tabel 4.9 terlihat bahwa perbandingan hasil simulasi rugi-rugi daya total sebelum dan setelah masuknya beban industry GI BJA dengan menggunakan metode Newton Rhapsion yakni sebelum masuknya beban industry GI BJA untuk daya aktif sebesar 2,813 MW dan daya reaktif sebesar -12,449 MVar. Setelah masuknya beban industry GI BJA rugi-rugi daya untuk daya aktif adalah sebesar 2,866 MW dan untuk daya reaktif sebesar 12,193 MVar. Terjadi kenaikan rugi-rugi daya untuk daya aktif sebelum dan setelah masuknya beban industry GI BJA sebesar 0,053 MW dan daya reaktif mengalami penurunan sebesar 10,514 MVar.

Perbandingan persentase rugi-rugi daya sebelum masuk beban industry GI BJA dan setelah masuknya beban industry GI BJA untuk daya aktif mengalami penurunan adalah sebesar 0,02 % dan daya reaktif sebesar 53,81 %. Kenaikan rugi rugi daya aktif total ini dipengaruhi oleh penambahan jaringan udara transmisi 150 kV berupa panjang saluran yang menuju ke beban industry GI BJA tersebut yang mengakibatkan nilai impedansi kawat penghantar naik. Akan tetapi persentase

perbandingan rugi-rugi daya aktif maupun daya reaktif dengan supplay dari pembangkit listrik mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh supplai daya dari pembangkit ke beban lebih besar pada kondisi sebelum masuknya beban industry GI BJA bila dibandingkan setelah masuk beban industry GI BJA tersebut.

Dengan masuknya beban industry GI BJA ini memberikan pengaruh terhadap sistem kelistrikan 150 kV di Gorontalo pada rugi rugi daya total dengan memperlihatkan penurunan nilai persentase perbandingan rugi-rugi daya aktif maupun daya reaktif setelah masuknya beban industry GI BJA tersebut, sehingga memberikan performance sistem kelistrikan 150 kV Gorontalo lebih baik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis sistem tenaga listrik Gorontalo terhadap masuknya beban industry GI BJA, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Masuknya beban industry GI BJA pada sistem kelistrikan Gorontalo 150 kV maupun 20 kV yang dapat langsung memperbaiki profil tegangan pada setiap bus Gardu Induk.
2. Setelah masuknya beban industry GI BJA pada sistem tenaga listrik Gorontalo dapat memberikan persentase perbandingan rugi-rugi daya total sangat kecil. Sehingga memberikan performance sistem lebih baik

5.2 Saran

Setelah melakukan anailis aliran daya terhadap masuknya beban industry GI BJA di peroleh hasil adanya perubahan aliran daya pada sistem. Dengan hal ini akan mempengaruhi sistem stabilitas frekuensi, stabilitas tegangan dan kinerja sistem proteksi, sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut tentang studi kestabilan dan kinerja sistem proteksi pada sistem tenaga listrik Gorontalo.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyanto, R. D. (2008). Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Pupur Dan Studi Perbaikan Kualitas Tegangan Dan Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Pupur Dan. *Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia*. Retrieved from <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/123971-R030808.pdf>
- Dewantara, M., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Surakarta, U. M. (2018). Analisis rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kv dari gardu induk wonogiri sampai gardu induk wonosari. *TK Electrical Engineering. Electronics Nuclear Engineering*. Retrieved from <http://eprints.ums.ac.id/60172/>
- Dr. Ir. Rudy Gianto, M. (1999). *Bab ii studi pustaka 2.1*.
- Ervan Hasan Harun, ST., MT dan Taufiq Ismail Yusuf, ST., M. S. (2012). *Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik 150 kV Gorontalo Menggunakan Metode Newton Raphson*
- Frengki, suyono, W. (2016). Analisis Steady State dan Dinamik pada Perencanaan Pengembangan Pembangkit Sistem Gorontalo. *E-JAEI*, 9–14.
- Gautam, L. K., Mishra, M., & Bisht, T. (2015). a Methodology for Power Flow & Voltage Stability Analysis. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2(2), 321–326. Retrieved from www.irjet.net
- Gultom, T. T. (2015). Pemanfaatan Photovoltaic Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal Mudira Indure*, 1(3), 33–42.
- Gupta, S., & Tripathi, R. K. (2014). Two-area power system stability improvement using a robust controller-based CSC-STATCOM. *Acta Polytechnica Hungarica*, 11(7), 135–155. <https://doi.org/10.12700/aph.11.07.2014.07.9>
- Hariyadi, S. (2017). Analisa Rugi-rugi daya dan Jatuh Tegangan pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV pada Gardu Induk Salur-Masaran Disusun. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, (1–16). Retrieved from <https://docplayer.info/65922513-Analisis-rugi-rugi-daya-dan-jatuh-tegangan-pada-saluran-transmisi-tegangan-tinggi-150-kv-pada-gardu-induk-palur-masaran.html>
- John J. Grainger and William D. Stevenson, J. (1994). Power System Analysis. *Power System Analysis*. Retrieved from http://bank.engzenon.com/download/4f8aebfd-dd9c-4adb-a56c-58fb4ad0ed3b/Power_System_Analysis_John_Grainger_1st.pdf
- Kundur, P. (1994). *[Prabha Kundur] Power System Stability And Control.pdf*. Retrieved from <http://southern-alberta.ieee.ca/files/2016/03/Power-System->

- Kundur, P., Paserba, J., Ajjarapu, V., Andersson, G., Bose, A., Canizares, C., ... Vittal, V. (2004). Definition and classification of power system stability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(3), 1387–1401. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2004.825981>
- Leonard L. Grigsby. (2007). Electric Power Generation, Transmission, and Distribution. In *Power System Stability and Control*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-248291-5/50004-3>
- Muhammad Radil, Riad Syech, S. (2014). *Analisis Rugi-rugi Daya pada Saluran Transmisi Tegangan 150 kV dari Gardu Induk Koto Panjang ke Gardu Induk Garuda Sakti Pekan Baru*. 1(2), 193–198.
- Muslimin, M., Suyono, H., & Hasanah, R. (2013). Perbaikan Profil Tegangan Pada Feeder Harapan Baru Lima (H5) Area Samarinda Untuk Pengurangan Susut Energi. *Jurnal EECCIS*, 7(2), pp.131-136.
- Reza, M., Schavemaker, P. H., Slootweg, J. G., Kling, W. L., & Van Der Sluis, L. (2004). Impacts of distributed generation penetration levels on power systems transient stability. *2004 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2(2004), 2150–2155. <https://doi.org/10.1109/pes.2004.1373261>
- Rizki Tirta Nurgraha. (2014). Injeksi Jumlah Pembangkit Tersebar Publikasi Jurnal Skripsi. *Universitas Brawijaya Malang*.
- Stevenson Jr., W. D. (1996). Analisis Sistem Tenaga Listrik. In 4 (p. 191).
- Steven, H., Frengki, S., Yusrianto, M & Taufik, L. (2020). Analisa pengaruh peningkatan beban terhadap sistem ketenagalistrikan 150 kV Gorontalo berbasis power system analysis matrix laboratory. *Jurnal Teknik Unjani*, 19(1) Mei 2020, pp.10-17.
- Adib, G N. (2015). Analisa aliran daya sistem tenaga listrik pada bagian texturing di PT asia pasific fiber tbk kendal menggunakan software etap power station 4.0. *Tugas Akhir*, Repository Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- Agus, S & Anggit, P. (2021). Analisa rugi-rugi daya pada transmisi tegangan tinggi 150 kV di PLN Sungguminasa. *Tugas Akhir*, Repository Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Yan Budi Haryono. (2017). Simulasi dan Analisa Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik 20 kV Region Cilacap Menggunakan Metode Newton Rapsion. *Skripsi*, repository Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- PT. PLN (PERSERO) Area Gorontalo
- Agung, H. 2009. *Analisis Load Flow dalam Sistem Tenaga Listrik di PT. Sinar Sosro Ungaran*. Skripsi. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas

Negeri Semarang.

- Arikunto, Suharsimi. 2010. *Prosedur Penelitian*. Jakarta : PT Asdi Mahasatya.
- Dhimas, P. H. 2014. *Pemanfaatan Software ETAP Power Station 4.0.0 untuk Menganalisis Aliran Daya Listrik di Gardu Induk Ungaran 150 kV*. Skripsi. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- Ehendra's Blog. 2010. *Proteksi Pada Sistem Tenaga Listrik*. Online. Tersedia di <http://ehendra.wordpress.com/stl-01/> diakses [4-9-2014].
- Kadir, Abdul. 2006. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta : UI – Press.
- Prabowo, H. 2007. *Analisis Aliran Daya di Wilayah Kerja PT PLN (Persero) UPT Semarang*. Skripsi. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- Sigit, A. P. 2015. *Analisis Aliran Daya (Load Flow) dalam Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Software ETAP Power Station 4.0.0 di PT. Kota Jati Furnindo Jepara*. Skripsi. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Pendidikan*, Bandung : CV. Alfabeta.
- Sulasno. 1993. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Semarang : Satya Wacana.
- Stevenson, Jr. W. D. 1990. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta : Erlangga.
- Unggul, D. K. 2011. *Simulasi Aliran Daya pada Penyulang 2 Gardu Induk Rawalo dengan Menggunakan Software ETAP 7.0*. Jurnal. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Zuhal. 1998. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.