

***ANALISA ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN
GARDU INDUK (GI) ANGGREK AKIBAT ADANYA
PENAMBAHAN PENYULANG BARU***

OLEH:

***MARCELLO EKAPUTRA LOPULALAN
T21 21 021***

SKRIPSI



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

HALAMAN PERSETUJUAN

***ANALISA ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN
GARDU INDUK (GI) ANGGREK AKIBAT ADANYA
PENAMBAHAN PENYULANG BARU***

OLEH

***MARCELLO EKAPUTRA LOPULALAN
NIM: T21.21.021***

SKRIPSI

Telah disetujui dan siap untuk diseminarkan

Gorontalo, Juni 2023

Pembimbing I

Pembimbing II

***Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT.*
*NIDN: 090618504***

***Steven Humena, ST., MT.*
*NIDN: 0906018701***

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN GARDU INDUK (GI) ANGGREK AKIBAT ADANYA PENAMBAHAN PENYULANG BARU

OLEH
MARCELLO EKAPUTRA LOPULALAN
NIM: T21.21.021

*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: 0907028702

Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT.
NIDN: 090618504

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Marcello Ekaputra Lopulalan

NIM : T2121021

*Judul Skripsi : ANALISIS ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN GARDU
INDUK (GI) ANGGREK AKIBAT ADANYA PENAMBAHAN BEBAN
PENYULANG BARU*

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*

(MARCELLO EKAPUTRA LOPULALAN)
NIM : T2121021

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan kemudahan kepada kami sehingga dapat menyelesaikan penulisan Skripsi yang berjudul “Analisis Aliran Daya pada Sistem Kelistrikan Gardu Induk Anggrek Akibat Penambahan Beban penyulang Baru” 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. Bapak Amru Siola, 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 selaku 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, Mei 2023

Marcello Ekaputra Lopulalan

ABSTRACT

MARCELLO EKAPUTRA LOPULALAN. T2121021. ANALYSIS OF POWER FLOW IN THE ELECTRICITY SYSTEM OF ANGGREK SUBSTATIONS (GI) DUE TO THE ADDITION OF NEW IMPROVEMENTS

The Kwandang Customer Service Unit (ULP) plans to immediately add new feeders to meet the demand for electrical energy and the electrification ratio in the North Gorontalo Regency area. The addition of this new feeder will supply electricity to the Ponelo and Dudepo islands. As a result of adding this new feeder it will affect the pattern of power flow to the existing electrical system. The purpose of this study was to determine the value of voltage, load flow and power losses after the introduction of a new feeder at the Orchid Substation. The method used in this study is the Newton Raphson method with the help of ETAP 19.01 software. From the simulation results with the addition of a new feeder it has an impact on the existing system in the form of a decrease in the voltage profile and an increase in power losses. Even though the voltage drop and increase in power losses are not significant, the electrical system at Orchid Substation still provides a better system performance.



Keywords: *Voltage Profile, Power Losses and GI*

ABSTRAK

MARCELLO EKAPUTRA LOPULALAN. T2121021. ANALISIS ALIRAN DAYAPADA SISTEM KELISTRIKANN GARDU INDUK (GI) ANGGREK AKIBATADANAYA PENAMBAHAN PENYULAN BARU

Unit Layanan Pelanggan (ULP) Kwandang berencana untuk dapat segera melakukan penambahan penyulang baru guna permintaan akan energi listrik dan rasio elektrofikasidiwilayah Kabupaten Gorontalo Utara. Penambahan penyulang baru ini akan mensupplay energi listrik ke daerah Pulau Ponelo dan pulau Dudepo. Akibat dari penambahan penyulang baru ini akan memberikan pengaruh pola aliran daya terhadapsystem kelistrikan yang sudah ada. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besar nilai tegangan, aliran beban dan rugi-rugi daya setelah masuknya penyulang baru pada Gardu Induk Anggrek. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Newton Rhapson dengan bantuan software ETAP 19.01. Dari hasil simulasi dengan adanya penambahan penyulang baru memberikan dampak terhadap system yang sudah ada berupa penurunan profil tegangan dan kenaikan pada rugi rugi daya. Walaupun penurunan tegangan dan kenaikan rugi-rugi daya tidak secara signifikan namun system kelistrikan pada GI Anggrek masih memberikan performance system lebih baik.

Kata Kunci : Profil Tegangan, Rugi-rugi Daya dan GI Anggrek

DAFTAR ISI

<i>HALAMAN JUDUL</i>	<i>I</i>
<i>HALAMAN PENGESAHAN.....</i>	<i>II</i>
<i>KATA PENGANTAR.....</i>	<i>III</i>
<i>DAFTAR ISI V</i>	
<i>BAB I PENDAHULUAN</i>	
<i>1.1 Latar Belakang</i>	<i>1</i>
<i>1.2 Rumusan Masalah.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3 Tujuan Penelitian.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4 Batasan Masalah</i>	<i>4</i>
<i>1.5 Manfaat Penelitian</i>	<i>5</i>
<i>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</i>	
<i>2.1 Literature Review.....</i>	<i>6</i>
<i>2.2 Dasar Teori.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.1 Rekonfigurasi Jaringan.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.2 Sistem Tenaga Listrik.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.2.1 Pembangkit</i>	<i>11</i>
<i>2.2.2.2 Gardu Induk.....</i>	<i>11</i>
<i>2.2.2.3 Jaringan Transmisi</i>	<i>11</i>
<i>2.2.2.4 Gardu Hubung</i>	<i>12</i>
<i>2.2.2.5 Jaringan Distribusi Primer.....</i>	<i>12</i>
<i>2.2.2.6 Transformator Distribusi.....</i>	<i>12</i>

2.2.2.7 Jaringan Distribusi Sekunder	13
2.2.2.8 Konsumen.....	13
2.2.3 Jaringan Distribusi.....	13
2.2.4 Transformator Daya	15
2.2.5 Jatuh Tegangan.....	18
2.2.6 Impedansi Saluran	19
2.2.6.1 Resistansi Penghantar	20
2.2.6.2 Reaktansi Penghantar.....	21
2.2.7 Studi Aliran Daya	22
2.2.7.1 Metode Analisa Aliran Daya	23
2.2.7.2 Metode Newton-Raphson.....	24
2.2.8 Susut Energi.....	27
2.2.8.1 Susut Teknis	28
2.2.8.2 Susut Non Teknis.....	28
2.2.9 Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik.....	28
2.2.10 Standar Tegangan.....	31
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Kerangka Konsep Penellitian	35
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
3.3 Tahapan Alur Penelitian.....	37
3.3.1 Studi Literatur.....	37
3.3.2 Pengumpulan Data	37
3.3.3 Proses Pengolahan Data	37

<i>3.3.4 Simulasi Aliran Daya</i>	38
<i>3.3.5 Analisa Hasil Simulasi</i>	39
<i>3.3.6 Skenario Simulasi</i>	39
<i>3.8 Flow Chart Penelitian</i>	44
<i>DAFTAR PUSTAKA</i>	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sistem kelistrikan di Indonesia saat ini telah mengarah pada peningkatan efisien dalam penyaluran energi listrik oleh karena listrik telah menjadi kebutuhan listrik bagi masyarakat. Peningkatan pemakaian energi yang dibarengi oleh peningkatan ekonomi suatu daerah, sehingga diharapkan kepada penyedia listrik agar dalam sistem penyaluran menjadi efisien dan handal. Permintaan konsumen akan energi listrik dari tahun ke tahun yang semakin meningkat, salah satu contohnya disektor industri (Putra, 2016).

Sistem distribusi listrik harus sistematis agar memperoleh pelayanan yang optimal. Untuk mengatasi peningkatan kebutuhan akan energi listrik dibutuhkan sistem distribusi yang esensial. Tujuan pengembangan sistem distribusi yang harus memenuhi beberapa kriteria teknis dan ekonomis. Sistem distribusi harus mampu memberikan gambaran besarnya beban pada lokasi geografis tertentu, sehingga dapat ditentukan dengan baik letak dan kapasitas gardu-gardu distribusi yang akan melayani areal beban tersebut dengan mempertimbangkan minimisasi susut energi dan investasi konstruksi, tanpa mengurangi kriteria teknis yang diperlukan (RH, 2016).

Sistem energi listrik yang berperan langsung menyalurkan energi listrik ke konsumen. Sistem penyalurannya dimulai dari pusat-pusat listrik dalam hal ini adalah sistem pembangkitan energi listrik. Setelah dari pembangkit energi listrik dikirim melalui jaringan tegangan tinggi yang kemudian didistribusikan ke jaringan tegangan

menengah. Setelah itu di disalurkan lagi melalui saluran tegangan rendah sampai pada sambung rumah dan berakhir pada alat pembatas dan pengukuran (APP) yang ada pada konsumen (Nelwan et al., 2015).

Sistem kelistrikan di Gorontalo saat ini belum memiliki pusat-pusat listrik dalam hal ini pembangkit listrik skala besar. Supplay energi listrik pada daerah Gorontalo khususnya wilayah Kabupaten Gorontalo Utara adalah melalui jaringan distribusi 20 kV. Terdapat 1 (satu) Pusat beban Gardu Induk (GI) di Wilayah kerja ULP Kwandang yakni GI Anggrek. Setelah dari GI Anggrek tersebut energi listrik disalurkan melalui penyulang jaringan tegangan menengah 20 kV di wilayah Kabupaten Gorontalo Utara dan sebagian wilayah Kabupaten Gorontalo yang kemudian disalurkan ke jaringan tegangan rendah dan konsumen. Seiring dengan bertambahnya permintaan akan energi listrik di daerah Gorontalo khususnya wilayah Gorontalo Utara maka sistem kelistrikan haruslah direncanakan dengan baik dan handal.

Sesuai data beban dari PLN ULP Kwandang bahwa Beban pada daerah Gorontalo Utara terbesar terdapat pada wilayah Sumalata-Tolinggula yang merupakan area industry di Kabupaten Gorontalo Utara. Mengingat perkembangan ekonomi di daerah tersebut sangat tinggi, sehingga permintaan akan energi listrik juga meningkat. Selain itu sistem penyaluran yang panjang dan jauh dari pusat pembangkit. Sehingga dituntut agar dapat memberikan pelayanan kontinuitas akan energi listrik yang baik dan handal.

Unit Layanan Pelanggan (ULP) Kwandang berencana untuk dapat segera melakukan penambahan penyulang baru pada Gardu Induk (GI) Anggrek guna

*mengantisipasi permintaan akan energi listrik. Sehingga dibutuhkan penambahan penyulang baru. Akibat dari penambahan jaringan baru tersebut akan memberikan pengaruh pada pola aliran daya sistem kelistrikan di system kelistrikan pada wilayah Kabupaten Gorontalo Utara khususnya jalur Sumalata-Tolinggula terhadap tegangan dan rugi-rugi daya system. Berdasarkan permasalahan di atas maka penulis mengangkat judul penellitian ini yaitu : “**Analisis Aliran Daya Pada Sistem Kelistrikan Gardu Induk (GI) Anggrek Akibat Adanaya Penambahan Penyulang Baru**”.*

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah adalah:

- a. Bagaimana kondisi tegangan dan rugi rugi daya pada system Gardu Induk Anggrek sebelum penambahan penyulang baru.*
- b. Bagaimana kondisi tegangan dan rugi rugi daya pada system Gardu Induk Anggrek setelah penambahan penyulang baru.*

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penilitian adalah :

- a. Mengetahui kondisi tegangan dan rugi-rugi daya terhadap penyulang pada Gardu Induk Anggrek sebelum penambahan penyulang baru .*
- b. Mengetahui kondisi tegangan dan rugi-rugi daya terhadap penyulang pada Gardu Induk Anggrek setelah penambahan penyulang baru.*

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah adalah:

- a. Analisis sistem kelistrikan dilakukan sebelum dan setelah adanya penambahan penyulang baru 20 kV GI Anggrek.*
- b. Simulasi Aliran Daya Menggunakan bantuan software ETAP 19.0*
- c. Metode yang digunakan adalah metode Newton-Raphson.*
- d. Data beban yang di gunakan adalah data beban puncak malam.*
- e. Tidak membahas system proteksinya*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian diharapkan sebagai bahan evaluasi terhadap perencanaan dan pengembangan sistem dimasa yang akan datang apabila terdapat penambahan beban penyulang dan rekonfigurasi jaringan sistem distribusi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa kajian dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini, sehingga dapat dijadikan referensi. Kajian-kajian penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Bayu Pradana Putra Purba dkk yaitu Analisa Perhitungan Susut Teknis Dengan Pendekatan Kurva Beban Pada Jaringan Distribusi PT. PLN (PERSERO) Rayon Medan Kota. Metode yang digunakan dalam menganalisa penelitian ini dengan cara mengumpulkan data, data tersebut didapatkan dengan mengambil data pada PT. PLN (PERSERO) Rayon Medan Kota. Data yang dikumpulkan adalah data pada Gardu Induk Glugur TD II. Setelah itu mencari daya input ke penyulang JTM, lalu menghitung susut teknis JTM, selanjutnya mencari daya input ke trafo distribusi sekaligus menghitung susut teknis trafo dan menghitung susut total (Purba & Warman, 2014).

Kartoni S dkk telah melakukan penelitian yang berjudul Analisa Rekonfigurasi Pembebanan Untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Distribusi 20 kV. Lokasi yang dipilih untuk penelitian ini adalah penyulang bangau sakti rayon Panam Pekanbaru. Analisa dalam penelitian ini dengan melakukan pengumpulan data dari PLN kemudian disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6. Metode yang digunakan adalah pemodelan sistem tenaga listrik sesuai dengan one line diagram dengan software ETAP 12.6, lalu memasukkan data trafo, bus, status switch (pemutus yang di pakai), parameter saluran (panjang saluran, jenis penghantar). Kemudian

melakukan simulasi aliran daya, dari simulasi bisa dilakukan analisa tentang losses pada feeder dan menghitung presentase losses dan drop tegangan. Setelah di analisa dilakukan rekonfigurasi dan dianalisa kembali sampai mendapatkan hasil yang diinginkan (Kartoni S & Ervianto, 2016)

Hari Prasetyo dalam penelitian tentang rekonfigurasi jaringan distribusi 20 kV menjelaskan Susut tegangan dan daya yang terjadi pada dasarnya disebabkan oleh beberapa faktor seperti : panjang jaringan, penampang kabel yang digunakan, arus beban yang mengalir, dan sebagainya. Dengan meningkatnya permintaan energi listrik (Pertumbuhan kebutuhan tenaga listrik di daerah Purwokerto mencapai 8,35% per tahun) jaringan listrik mengalami perluasan dan menjadi lebih kompleks. Bertambahnya beban juga akan menaikkan susut tegangan dan daya pada jaringan jika tidak direncanakan atau diantisipasi dengan baik. selain karena saluran menjadi lebih panjang, arus beban yang mengalir menjadi lebih besar (Hari Prasetyo, 2011)

Erhanelli dan Ade Rizki dalam penelitiannya tentang pengaruh penambahan jaringan terhadap drop tegangan pada SUTM 20 kV menjelaskan bahwa pada Feeder Kersik Tuo mempunyai jenis jaringan radial murni. Dimana pada jenis jaringan ini transformator distribusi yang terhubung dengan sebuah feeder tegangan menengah yang keluar dari pembangkit tidak memiliki alternatif suplai sehingga jika gangguan terjadi sulit untuk mengantisipasinya. Feeder kersik tuo mempunyai saluran sepanjang (96,8 kms) dalam mengalirkan listrik terhadap konsumen dan akan dilakukan lagi penambahan jaringan distribusi sepanjang (10,2 kms). Sehingga dengan saluran yang panjang tentu akan terjadi drop tegangan karena dipengaruhi oleh impedansi saluran. Selain itu gangguan luar juga dapat mempengaruhi tegangan

yang diterima oleh pelanggan. Pada saat ini tegangan yang ada pada ujung jaringan adalah sebesar ± 17 kV. Beban puncak pada feeder kersik tuo terjadi pada jam 18:00 sampai dengan 22:00. Pada saat selain beban puncak tegangan pada ujung feeder kersik tuo menjadi 18 kV, hal ini disebabkan karena pemakaian energi listrik yang berkurang pada konsumen (Erhaneli, 2013).

Umar pada penelitiannya tentang analisa rugi daya akibat penambahan penyulang baru pada Gardu Induk (GI) menjelaskan bahwa kebutuhan energi listrik terus meningkat, hal ini bisa menjadi masalah serius jika PLN tidak membuat perencanaan yang baik. Peningkatan efisiensi harus selalu menjadi perhatian. Perencanaan pembuatan penyulang baru dari GI yang berbeda untuk mensuplai permintaan tambahan kebutuhan listrik industri merupakan langkah mengefisienkan penyaluran energi listrik atau mengurangi rugi daya listrik PLN. Tujuan penelitian ini menganalisa perhitungan rugi daya akibat perubahan jaringan/penambahan penyulang sehingga dapat diketahui efisiensi yang bisa diperoleh. Metode analisis dilakukan dengan menggunakan software ETAP 12.6 untuk mengetahui kontribusi penyulang baru terhadap rugi-rugi daya. Analisis simulasi terhadap perencanaan penyulang baru didapatkan hasil rugi-rugi daya aktif dari semula 306 kW dan rugi-rugi daya reaktif 986 kVar menjadi 231 kW dan 786 kVar (Umar, 2017).

Aditya A. Nugroho dalam penelitiannya tentang analisa pengaruh penambahan penyulang untuk mengatasi jatuh tegangan dan rugi daya menjelaskan bahwa Permasalahan yang sering terjadi yakni arus beban penyulang akan menyuplai melebihi arus standar dari SPLN yaitu setengah dari 480 A. Arus yang melebihi standar tersebut merupakan salah satu faktor terjadinya jatuh tegangan yakni tegangan pada pangkal

jaringan mengalami penurunan hingga ke ujung jaringan dan juga rugi daya, dimana daya yang dikirim pada jaringan distribusi tidak semuanya sampai pada pelanggan. Penyulang SRN 03 memiliki nilai arus yang terukur pada salah satu fasanya 285A dengan panjang jaringan 22,08 km. Penambahan penyulang baru MSR 13 dilakukan untuk memecah beban SRN 03. Analisa nilai jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan dilakukan dengan menggunakan perhitungan manual dan simulasi software ETAP 12.6.0. Perhitungan manual yang diperoleh pada penyulang SRN 03 yaitu nilai tegangan terima akibat jatuh tegangan 18,49 kV dan rugi daya 328,42 kW, setelah dilakukan pemecahan beban oleh penyulang MSR 13 nilai tegangan terima akibat jatuh tegangan menjadi 19,471 kV dan rugi daya menjadi 68,282 kW. Hasil simulasi ETAP 12.6.0 pada penyulang SRN 03 yaitu nilai tegangan terima akibat jatuh tegangan 18,39 kV dan rugi daya 344 kW, setelah dilakukan pemecahan beban oleh penyulang MSR 13 nilai tegangan terima akibat jatuh tegangan menjadi 19,439 kV dan rugi daya menjadi 66,8 kW (Aditya A. Nugraha, 2020).

Abrar Tanjung dalam penelitiannya tentang rekonfigurasi sistem distribusi 20 kV Gardu Induk Teluk Lembu dan PLTMG Langgam Power menjelaskan bahwa Feeder Cemara untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sepanjang jalan lintas timur kabupaten pelalawan sudah cukup tinggi. Sehingga menyebabkan rugi daya (power losses) dan jatuh tegangan (voltage drop) cukup tinggi. Akibatnya kualitas pelayanan listrik menjadi rendah. Untuk mengurangi beban pada Feeder Cemara, maka akan dilakukan Rekonfigurasi dari Feeder Cemara Gardu Induk teluk lembu ke Feeder Langgam PLTMG langgam Power. Berdasarkan hasil analisa pembahasan dan perhitungan menggunakan Program ETAP 7.5 tegangan terendah pada saluran Feeder Cemara terdapat pada trafo TR.1064 sebesar 16,27 kV sedangkan tegangan

terendah pada Feeder Langgam pada trafo SP.26 sebesar 19,87 kV dengan rugi daya total sebesar 731,04 kW. Setelah dilakukan rekonfigurasi, maka rekonfigurasi 2 maka tegangan terendah Feeder Cemara terdapat pada trafo TR.1102 sebesar 18,70 kV, pada saluran Feeder Langgam yaitu pada trafo SP.26 sebesar 19,05 kV dan pada saluran Feeder Pasir putih pada trafo ST.262 sebesar 18,78 kV dengan rugi daya total sebesar 410,65 kW. Penghematan rugi daya total diperoleh sebesar 320,39 kW (Abrar T, 2014).

Wahyu Belfias Eka Putra Daya dalam penelitiannya tentang Analisa Pecah Beban penyulang KB5 untuk perbaikan tegangan dan susut bahwa Permasalahan yang di hadapi PLN saat ini adalah tingginya angka susut tegangan yang melebihi standar. pembagian beban pada suatu penyulang dengan membangun penyulang baru merupakan salah satu solusi menaikkan tegangan, sedangkan untuk menentukan lokasi pemecahan beban tersebut dapat di gunakan aplikasi ETAP dengan memasukan parameter - parameter yang di perlukan seperti resistansi saluran, panjang saluran dan beban penyulang dan setiap gardu, pada simulasi aplikasi ETAP dengan data Eksisting, tegangan ujung pada penyulang KB5 adalah 17 kV hal tersebut tidak sesuai dengan setandar PLN minimal 5% dari 20 kV yaitu 19 kV, maka dari itu di perlukan pembangunan penyulang untuk pemecah beban penyulang KB5 tersebut untuk rencana pembangunan dibuat 3 kondisi agar didapat kenaikan tegangan paling baik, pada kondisi pertama akan di bangun jaringan sampai desa Perlang tegangan yang di dapat adalah pada KB5 yaitu 19,0 kV dan tegangan pada KB6 yaitu 19,4 kV , kondisi kedua di bangun penyulang sampai desa Lubuk tegangan pada KB 5 yaitu sebesar 19,3 kV dan tegangan pada KB6 yaitu 19,1 kV, pada kondisi ketiga dibangun

jaringan sampai desa Kulur tegangan pada KB5 yaitu 18,8 kV sedangkan tegangan pada KB6 yaitu 19,7 kV, maka kesimpulannya adalah kondisi pertama adalah kondisi paling baik untuk rencana pembangunan penyulang pecah beban.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Rekonfigurasi jaringan

Rekonfigurasi jaringan (network reconfiguration) merupakan suatu usaha merubah bentuk konfigurasi jaringan distribusi dengan mengoperasikan pensakelaran terkontrol jarak jauh (switching remotely controlled) pada jaringan distribusi tanpa menimbulkan akibat yang beresiko pada operasi dan bentuk sistem jaringan distribusi secara keseluruhan (Fayyadl, Sukmadi, & Winardi, n.d.). Rekonfigurasi jaringan juga dapat dilakukan dengan menambahkan jaringan-jaringan baru, menyisipkan trafo distribusi pada jaringan distribusi, dapat pula dilakukan dengan memindahkan beban-beban penyulang ke penyulang yang berdekatan dengan cara mengubah status dari LBS (load breaking switch) dan mengubah letak posisi dari LBS.

2.2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang dimulai dari gardu induk yang memiliki daya listrik besar (bulk power source) lalu dikirimkan langsung ke konsumen, tetapi tegangannya diturunkan terlebih dahulu oleh trafo distribusi menjadi tegangan 20 kV (Hakim, 2012). Adapun sistem distribusi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pembangkit

Pembangkit berfungsi untuk membangkitkan energi listrik yang akan disalurkan ke konsumen. Pembangkit dapat menghasilkan energi listrik memerlukan suatu sumber yang menjadi tenaga untuk pembangkit. Sumber

tersebut berasal dari alam, seperti fosil-fosil berupa batu bara yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), matahari untuk pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), air untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA), gas untuk pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) minyak bumi untuk pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), panas bumi untuk pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP), dan masih banyak lagi.

2. Gardu Induk

Gardu induk adalah salah satu unit pada sistem distribusi yang menerima energi listrik lalu kemudian di salurkan ke sistem transmisi. Pada gardu induk tegangan yang dihasilkan pembangkit dinaikan menjadi 70 kV-500 kV.

3. Jaringan Transmisi

transmisi adalah jaringan yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik yang diterima dari gardu induk dan di teruskan ke jaringan distribusi. Sebelum di teruskan ke jaringan distribusi tegangan dari jaringan transmisi di turunkan terlebih dahulu oleh trafo step down. Jaringan transmisi juga digunakan untuk menghubungkan pembangkit dengan gardu induk dan gardu induk yang satu dengan gardu induk yang lainnya. Jaringan transmisi memiliki dua tegangan yaitu tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi. Jaringan transmisi tegangan tinggi memiliki tegangan 70 kV sampai 150 kV, sedangkan ekstra tinggi memiliki tegangan 275 kV sampai 500 kV. Energi listrik pada jaringan transmisi di salurkan melalui saluran udara dan saluran bawah laut.

4. Gardu Hubung

Gardu hubung berfungsi untuk menerima energi listrik yang dikirimkan oleh jaringan transmisi kemudian disalurkan ke jaringan tegangan menengah (penyulang primer). Sebelum disalurkan ke jaringan distribusi, tegangan (70 kV sampai 500 kV) pada jaringan transmisi diturunkan oleh gardu hubung menjadi tegangan 20 kV

5. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan ini berfungsi untuk menerima energi listrik yang dikirimkan oleh gardu hubung dan disalurkan ke jaringan tegangan rendah atau dikirim langsung ke konsumen. Jaringan ini memiliki tegangan 20 kV.

6. Transformator Distribusi

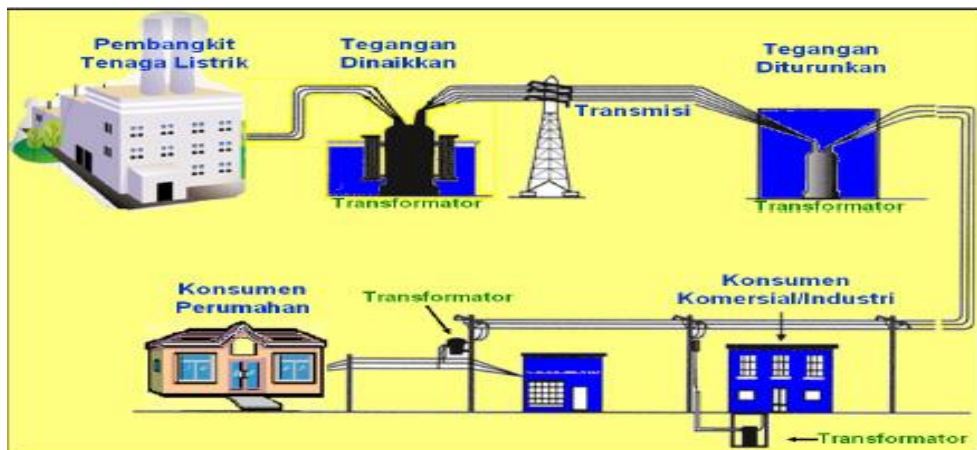
Transformator distribusi adalah transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 380V/220V kemudian disalurkan ke jaringan tegangan rendah.

7. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan ini memiliki tegangan sebesar 380V/220V yang kemudian disalurkan pada konsumen

8. Konsumen

Konsumen adalah pengguna energi listrik. Daya listrik yang digunakan oleh konsumen tergantung dengan kWh meter yang digunakan.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

2.3 Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan sistem energi listrik yang berperan langsung untuk menyalurkan energi listrik ke konsumen. Berdasarkan tegangannya jaringan distribusi terbagi menjadi dua yaitu jaringan distribusi tegangan menengah (JTM) atau disebut dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi tegangan rendah (JTR) atau distribusi sekunder.

- a. Jaringan tegangan distribusi primer pada umumnya memiliki tegangan 20 kV. Energi listrik pada jaringan ini disalurkan menggunakan saluran kabel tegangan menengah (SKTM) dan saluran udara tegangan menengah (SUTM).
- b. Jaringan tegangan distribusi sekunder pada umumnya memiliki tegangan 220 V sampai 380 V. Untuk saluran distribusi sekunder bisa berupa saluran kabel tegangan rendah (SKTR) dan saluran udara tegangan rendah (SUTR).

Berikut ini komponen-komponen utama yang berperan penting dalam jaringan distribusi yaitu :

1. Tiang

Tiang adalah salah satu komponen pada jaringan distribusi. Tiang berfungsi untuk penyangga penghantar/konduktor pada saluran udara. Biasanya tiang yang digunakan pada jaringan distribusi yaitu tiang besi dan tiang beton.

2. Isolator

Isolator merupakan peralatan listrik yang mengisolasi penghantar/konduktor.

3. Penghantar/Konduktor

Penghantar adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk menghantarkan/menyalurkan listrik ke konsumen.

4. Fuse Cut Out (FCO)

Fuse Cut Out adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk memutuskan rangkaian listrik yang berbeban pada jaringan distribusi. FCO bekerja dengan cara meleburkan bagian dari komponennya (Fuse Link) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya.

5. Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk menaik dan menurunkan tegangan. Pada jaringan distribusi transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi atau ekstra tinggi (70 kV – 500 kV) ke tegangan menengah (20 kV), dari tegangan menengah (20 kV), ke tegangan rendah (380 V/220 V).

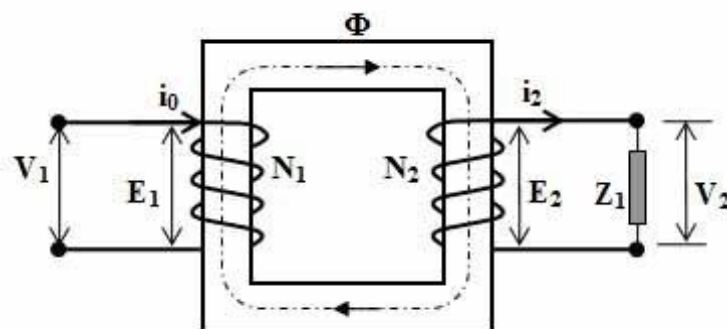
2.4 Transformator Daya

Transformator daya (trafo daya) merupakan alat listrik yang termasuk kedalam klasifikasi mesin listrik static yang berfungsi menaikkan tenaga listrik atau daya

listrik dari pembangkit ke gardu induk (Bahri, Gianto, & Arsyad, 1986). Pengoperasian trafo pada umumnya, trafo-trafo tenaga ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan/proteksi. Contohnya transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV, dan transformator 70/20 kV di tanahkan dengan tahanan di sisi netral 20 kV nya. Transformator yang telah diproduksi terlebih dahulu melalui pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan.

Dalam menyalurkan daya transformator menggunakan prinsip hukum induksi faraday dan hukum lorentz, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan menjadi magnet. Apabila magnet tersebut dikelilingi oleh belitan maka pada kedua ujung belitan akan terjadi beda potensial.

Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga inti besi akan mengalir flux magnetic dan flux magnetik ini akan menginduksi belitan sekunder, sehingga pada ujung belitan sekunder ini akan terdapat beda potensial. (Safala, 2016)



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Transformator

Berikut ini rumus tegangan transformator yaitu

$$E_1 = 44,4 \times N_1 \times F_1 \times \Phi_{\max} \times 10^{-8} \quad (2.1)$$

Maka untuk transformator rumus tersebut sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E_1 &= 44,4 \times N_1 \times F_1 \times \Phi_{\max} \times 10^{-8} \\ E_2 &= 44,4 \times N_2 \times F_2 \times \Phi_{\max} \times 10^{-8} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Karena $f_1 = f_2$

Dimana :

E_1 = tegangan primer (volt)

E_2 = tegangan sekunder (volt)

f_1 = frekuensi primer (Hz)

f_2 = frekuensi sekunder (Hz)

maka :

$$E_1 : E_2 = N_1 : N_2 \quad (2.3)$$

$$E_1 \times E_2 = N_1 \times N_2 \quad (2.4)$$

$$E_2 = (N_2 / N_1) \times E_1 \quad (2.5)$$

Dimana :

E_1 = tegangan primer (volt)

E_2 = tegangan sekunder (volt)

N_1 = belitan primer

N_2 = belitan sekunder

VA primer = VA sekunder

$$I_1 \times E_1 = I_2 \times E_2 \quad (2.6)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} \text{ maka } I_1 = I_2 \frac{E_2}{E_1} \quad (2.7)$$

Dimana :

I_1 = Arus primer (ampere)

I_2 = Arus sekunder (ampere)

E_1 = Tegangan primer (volt)

E_2 = Tegangan sekunder (volt)

Rumus umum menjadi :

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2.8)$$

Maka :

$$E_1 = \frac{E_2 \times N_1}{N_2} \quad (2.9)$$

Pada transformator di haruskan tegangan keluarannya adalah konstan sedangkan tegangan yang masuk ke transformator selalu berubah-ubah. Dengan demikian ketika tegangan masuk ke transformator (E_1) mengalami penurunan, agar tegangan keluaran transformator (E_2) konstan maka perlu di tambahkan belitan (N_1) maupun sebaliknya.

2.5 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan adalah besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang. Untuk mengetahui besar tegangan pada sisi beban maka dihitung terlebih dahulu besar jatuh tegangan yang terjadi di sepanjang saluran sebelum masuk ke beban. Jatuh tegangan ini dapat di tentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\Delta V = V_s - V_r \quad (2.10)$$

Dimana:

ΔV = Jatuh tegangan

V_s = Tegangan kirim

V_r = Tegangan terima

Karena pada penghantar terdapat resistansi maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga jatuh tegangan (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (sending end) dan tegangan pada ujung penerima (receiving end) tenaga listrik. Tegangan jatuh relatif dinamakan regulasi tegangan (V_R) dan dapat dijabarkan dengan rumus (Hariyadi, 2017) :

$$V\% = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \quad (2.11)$$

Dimana :

$V\%$ = jatuh tegangan dalam %

V_s = Tegangan kirim

V_r = Tegangan terima

Menghitung jatuh tegangan dalam persen menggunakan rumus sebagai berikut:

Perhitungan jatuh tegangan 3 fasa

$$(\Delta V) = \sqrt{3} \times I \times L(R \times \cos \varphi + X \times \sin \varphi) \quad (2.12)$$

Perhitungan jatuh tegangan 1 fasa

$$(\Delta V) = I \times L(R \times \cos \varphi + X \times \sin \varphi) \quad (2.13)$$

Dimana :

I	= Arus beban (A)
R	= Tahanan rangkaian (ohm)
X	= Reaktansi rangkaian (ohm)
L	= Panjang penghantar (Km)

2.6 Impedansi Saluran

Impedansi merupakan parameter utama suatu saluran transmisi atau distribusi. Impedansi (Z) terdiri dari Resistansi (R) dan Reaktansi (X). Penjumlahan antara resistansi dan reaktansi disebut dengan impedansi. Impedansi pada saluran transmisi atau distribusi perlu diketahui untuk melakukan analisa sistem, baik untuk analisa aliran daya, hubung singkat, proteksi, dan kestabilan sistem maupun kontrol sistem. Salam mencari nilai resistansi dan reaktansi (induktif dan kapasitif) ditentukan oleh jarak antar saluran dan jumlah serat kawat penghantarnya. Biasanya reaktansi kapasitif dapat diabaikan untuk sistem bertegangan rendah dan menengah, karena nilainya relatif kecil dibandingkan dengan reaktansi induktif.

$$Z = R + jX \quad (2.14)$$

Dimana :

$$Z = \text{Impedansi saluran (ohm)}$$

$$R = \text{Tahanan Saluran (ohm)}$$

$$jX = \text{Reaktansi (ohm)}$$

1. Resistansi Penghantar

Tembaga dan aluminum merupakan material yang biasa digunakan sebagai konduktor. Untuk saluran transmisi dan distribusi banyak digunakan aluminum. Berikut jenis-jenis konduktor aluminum (Sudirham, 2012).

- *Aluminum: AAL (all aluminum conductor)*
- *Aloy aluminum: AAAL (all aluminum alloy conductor)*
- *Aluminum dengan penguatan kawat baja: ACSR (aluminum conductor steel reinforced)*

Data mengenai ukuran, konstruksi, resistansi [Ω per km], radius [cm], GMR [cm] (Geometric Mean Radius), serta kemampuan mengalirkan arus [A], dapat kita peroleh dari standar/spesifikasi peralatan.

Tiap konduktor memberi perlawanan atau tahanan terhadap mengalirnya arus listrik dan hal ini dinamakan resistansi. Resistansi atau tahanan dari suatu konduktor (kawat penghantar) adalah penyebab terpenting dari rugi daya (power losses) pada saluran transmisi, resistansi yang dimaksud adalah resistansi efektif yaitu perbandingan rugi daya pada penghantar dengan arus pangkat dua (Tanjung, 2012).

Relasi resistansi untuk arus searah adalah

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.15)$$

dengan l panjang konduktor [m], A luas penampang konduktor [m^2], dan ρ adalah resistivitas bahan.

2. Reaktansi Penghantar

Konduktor yang dialiri oleh arus listrik dikelilingi oleh garis-garis magnetik yang berbentuk lingkaran-lingkaran konsentrik. Arus bolak-balik medan yang berada disekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan akan selalu berubah-ubah dan akan mengait konduktor itu sendiri maupun dengan

konduktor-konduktor lainnya yang terletak berdekatan. Dengan adanya kaitan-kaitan fluks tersebut maka saluran akan memiliki sifat induktansi. Reaktansi pada saluran transmisi atau distribusi terdiri dari reaktansi induktif (jX) dan reaktansi kapasitif ($-jX$). Namun pada saluran distribusi, reaktansi kapasitif sangat kecil, sehingga biasanya diabaikan.

Tabel 2.1 Impedansi Saluran

<i>Luas Penampang (mm²)</i>	<i>Jari² (mm)</i>	<i>Urat (buah)</i>	<i>GMR (mm)</i>	<i>KHA penghantar AAAC</i>	<i>Impedansi urutan positif (Ohm / km)</i>	<i>Impedansi urutan Nol (Ohm / km)</i>
16	2,2563	7	1,6380	105	2,0161 + j 0,4036	2,1641 + j 1,6911
25	2,8203	7	2,0475	135	1,2903 + j 0,3895	1,4384 + j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	170	0,9217 + j 0,3790	1,0697 + j 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	210	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	255	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	320	0,3096 + j 0,3449	0,4876 + j 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	365	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6324
150	6,9084	19	5,2365	425	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	490	0,1744 + j 0,3239	0,3224 + j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	585	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6034

Sumber: (SPLN 64:1985, 1985)

Besarnya reaktansi induktif (X) diformulasikan sebagai berikut (RH, 2016) :

$$X = 2\pi fL \quad (2.16)$$

Dimana :

$f = \text{Frekuensi (Hz)}$

$L = \text{Induktansi (Henry)}$

$X = \text{Reaktansi Induktif (ohm)}$

2.7 Studi Aliran Daya

Aliran daya merupakan studi dasar dalam menganalisa suatu sistem tenaga listrik, baik untuk perencanaan maupun operasi. Pada dasarnya sasaran utama dari semua analisa aliran daya adalah untuk menentukan besar dan sudut fasa tegangan pada setiap bus, dengan diketahuinya tegangan maka daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dapat di hitung. Jika P dan Q pada dua buah bus diketahui maka aliran daya saluran penghubung dan rugi-rugi daya saluran penghubung dapat diketahui. Tujuan aliran daya adalah untuk mengetahui besar vektor tegangan pada setiap bus dan besar aliran daya pada setiap cabang suatu jaringan untuk suatu kondisi tertentu dalam kondisi normal. Aliran daya dapat di hitung dengan menggunakan persamaan aplikasi hukum arus kirchoff yaitu (Ir. Marada Sitompul, n.d.) :

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0}v_i + y_{i1}(v_i + v_1) + y_{i2}(V_i - v_2) + \dots + y_{in}(v_i - v_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})v_i - y_{i1}v_1 - y_{i2}v_2 - \dots - y_{in}v_n \end{aligned} \quad (2.17)$$

Atau:

$$I_i v_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} v_j, j \neq i \quad (2.18)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus i adalah

$$P_i + jQ_i = V_i \cdot I_i^* \quad (2.19)$$

Atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.20)$$

Dari persamaan 2.19 dan 2.20 diperoleh:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.21)$$

Dari persamaan aliran daya di atas merupakan persamaan matematis yang harus diselesaikan dengan teknik iterasi.

1. Metode analisa aliran daya

Sebelum tahun 1929, semua perhitungan aliran daya dilakukan dengan tangan. Pada tahun 1929, *network calculators* (dari *westing house*) atau *network analyzers* (dari *General Electric*) digunakan untuk perhitungan aliran daya. Namun demikian, metode digital pertama yang sukses dikembangkan adalah oleh ward dan hale pada tahun 1956. Metode iteratif yang digunakan pada awalnya didasarkan pada matriks-Y dari Gauss-Seidel. Kekurangan dari metoda Gauss-Seidel memicu dikembangkannya metoda Newton-Raphson. Metoda ini awalnya dikembangkan oleh van Nesh dan Griffin dan kemudian dikembangkan lagi oleh peneliti-peneliti lain seperti tinney dan stott. Metoda ini didasarkan pada algoritma Newton-Raphson untuk penyelesaian persamaan kuadratik simultan dari jaringan daya. Oleh karena itu, masalah aliran daya 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 (Ardi Travolta, Dr. Ir. Rudy Gianto, 2006) dan (Steven Humena, Frengki E.P Surusa, 2018).

2. Metode Newton-Raphson

Metode Newton-Raphson adalah metode yang di ciptakan oleh Isaac Newton dan Joseph Raphson. Metode Newton-Raphson merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan aljabar nonlinier simultan dibandingkan dengan metode Gauss-Seidel. Metode ini pertama yang populer digunakan dalam perhitungan load flow. Metode Newton-Raphson memiliki karakteristik konvergensi yang lebih cepat, waktu yang lebih cepat, dan iterasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode Gauss-Seidel.

Newton-Raphson salah satu metode yang digunakan untuk menganalisa aliran daya. Langkah pertama dalam menyelesaikan persamaan aliran daya yaitu membentuk matrik admitansi bus (Y bus). Rumus menghitung admitansi bus ditunjukkan pada persamaan berikut (Manuel, 2016):

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \quad (2.22)$$

Dimana:

y_{ij} : admitansi saluran dari bus i ke bus j

z_{ij} : impedansi saluran dari bus i ke bus j

r_{ij} : resistansi saluran dari bus i ke bus j

jx_{ij} : reaktansi saluran dari bus i ke bus j

Setelah menghitung admitansi bus, nilai admitansi di konversikan ke model rectangular pada persamaan (2.24) selanjutnya membuat persamaan arus yang ditunjukkan pada persamaan (2.23) :

$$I_i = \sum_{j=1}^n V_j \cdot Y_{ij} \quad (2.23)$$

$$Y_{ij} = G_{ij} + B_{ij} \quad (2.24)$$

Dimana :

I_{ij} : Arus yang mengalir dari bus i

G_{ij} : Tegangan di bus i

B_{ij} : admitansi saluran antara bus i dan bus j

Seperti pada persamaan (2.24), yaitu bentuk rectangular dari admitansi, pada persamaan (2.25) merupakan bentuk rectangular dari tegangan.

$$V_i = e_i + jf_i \quad (2.25)$$

Dimana:

V_i : tegangan pada bus i

$(e_i + jf_i)$: Komponen rectangular tegangan

Setelah didapatkan persamaan (2.23) dan (2.25), selanjutnya dimasukan ke persamaan aliran daya. Persamaan (2.26) adalah persamaan aliran daya.

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.26)$$

$$S_i = V_i \sum_{j=1}^n (V_j \cdot Y_{ij})^* \quad (2.27)$$

$$P_i + jQ_i = (e_i + jf_i) \sum_{j=1}^n (G_{ij} - jB_{ij})(e_j - jf_j) \quad (2.28)$$

Persamaan (2.27) dan (2.28) merupakan hasil substitusi persamaan (12) dan (14) ke persamaan (2.26) pada perhitungan daya.

Dimana:

S_i : Kapasitas pada bus i

P_i : Daya aktif pada bus i

jQ_i : Daya reaktif pada bus i

$(G_{ij} - j.B_{ij})$: Komponen rectangular pada admitansi saluran

Setelah menghitung persamaan aliran daya pada persamaan (17), dilakukan hasil pemecahan persamaan (17) ke dalam 2 persamaan yaitu persamaan daya aktif dan daya reaktif.

Daya aktif ditunjukkan pada persamaan (2.29) dan persamaan (2.30) :

$$P_i^{rect} = e_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) + f_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \quad (2.29)$$

$$Q_i^{rect} = f_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) - e_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \quad (2.30)$$

Dimana:

P_i^{rect} : Daya aktif pada bus i dengan komponen rectangular

Q_i^{rect} : Daya reaktif pada bus i dengan komponen rectangular.

2.8 Susut Energi

Susut energi dapat dinyatakan dengan selisih energi antara energi beli dan energi jual. Energi jual adalah energi yang dikonsumsi oleh pelanggan secara tercatat. Sedangkan energi beli adalah energi yang disuplay P3B (Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban). Kondisi ideal adalah energi beli sama dengan energi jual (energi yang sebenarnya digunakan oleh konsumen yang teradministrasi dengan

benar) ditambah susut energi teknis akibat jaringan distribusi tersebut di lewati arus.

Persamaan susut jaringan distribusi dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{Susut (dist)} = \text{Susut (trafo)} + \text{Susut (JTM)} + \text{Susut (JTR+SR)} \quad (2.31)$$

Atau dalam bentuk energi :

$$\text{Susut Energi (Dist)} = \frac{E_{in(Dist)} - E_{out(Dist)}}{E_{in(Dist)}} \times 100\% \quad (2.32)$$

Susut energi berdasarkan sifatnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu susut teknis dan susut non teknis.

1. Susut Teknis

Susut teknis adalah energi yang hilang pada saluran akibat adanya penyaluran energi ke konsumen. Susut teknis terjadi biasanya diakibatkan oleh panjang jaringan semakin lama semakin bertambah, sehingga mengakibatkan energi listrik yang diterima oleh konsumen tidak sama lagi dengan energi yang telah disalurkan oleh peralatan listrik. Susut teknis dapat di hitung dengan rumus :

$$\text{Susut teknis} = I_k^2 \cdot r_k \cdot t \quad (2.33)$$

Dimana :

I_k^2 = Arus mengalir dikomponen jarigan distribusi

r_k = Resistansi komponen

t = periode waktu pengamatan

2. Susut Non Teknis

Susut energi non teknis merupakan selisih energi dari energi beli dikurangi energi jual. Susut non teknis disebabkan oleh masalah administrasi dalam

pencatatan meter/pengukuran sisitem billing. Disamping adanya pelanggaran penggunaan energi listrik (pencurian energi listrik) oleh pelanggan liar (Daniel Dalam, 2013).

2.9 Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik

1. Tegangan pengenalan pada sistem

Berdasarkan SPLN T6.001: 2013 PT. PLN (Persero) menetapkan standard tegangan untuk sistem tenaga listrik sebagai berikut

a. Tegangan Rendah

Pada tegangan rendah tegangan sistem yang berlaku antara 100 V sampai dengan 1000 v

b. Tegangan Menengah

Tegangan pada sistem tegangan menengah adalah di atas dari 1000 V sampai degang 35. 000 V

c. Tegangan Tinggi

Tegangan tinggi memiliki standard tegangan sistem di atas 35. 000 V sampai dengan 245. 000 V

d. Tegangan Ekstra tinggi

Tegangan Ekstra tinggi memiliki tegangan sistem diatas 245. 000V

e. Tegangan tertinggi dan terendah suatu sistem

1. Tegangan tertinggi suatu sistem

Tegangan ini adalah tegangan tertinggi yang terjadi dalam keadaan kerja normal pada setiap saat dan distiap titik pada sistem itu.

Hal ini tidak mencakup transien tegangan, misalnya karena variasi switsing sistem dan variasi tegangan temporer.

2. Tegangan terrendah suatu sistem

Tegangan ini adalah tegangan yang terjadi pada kondisi operasi normal disetiap saat dan disetiap pada sistem itu hal ini tidak mencakup transien tegangan, misalnya karena variasi switsing sistem dan variasi tegangan temporer.

f. Terminal pasok

Titik hubung antara sistem listrik distribusi pemasok listrik tegangan sistem listrik konsumen

g. Tegangan pasok

Tegangan fase ke fase atau fase ke netral pada terminal pasok

h. Julat tegangan pasok

Julat tegangan ini berada pada terminal pasok.

i. Tegangan pemanfaatan

Tegangan ini berada pada tegangan fase ke fase, fase ke netral pada kotak kontak atau terminal perlengkapan

j. Julat tegangan pemanfaatan

Julat tegangan ini berada pada kotak kontak atau ada pada terminal perlengkapan

k. Tegangan pengenalan (perlengkapan)

Tegangan yang ditetapkan umumnya oleh pabrikan, untuk kondisi operasi yang ditentukan dalam suatu komponen, gawai atau

perlengkapan. Tegangan tertinggi pada perlengkapan hanya ditunjukkan untuk tegangan sistem nominal yang lebih tinggi dan 1.000 V. Hal itu dapat dimengerti terutama untuk tegangan sistem nominal tertentu. Dalam operasi normal, untuk perlengkapan yang mempunyai kaitan dengan karakteristik peka tegangan tidak dapat dijamin sampai dengan tegangan tertinggi. Seperti susut kapasitor, arus magnetisasi transformator dan sebagainya. Pada kasus tersebut, rekomendasi yang relevan harus menentukan batas untuk dapat menjamin operasi normal perlengkapan. Hal itu dapat dimengerti karena perlengkapan yang digunakan dalam sistem yang mempunyai tegangan nominal tidak melebihi 1.000 V, sebaiknya hanya ditentukan dengan acuan tegangan sistem nominal yang berlaku untuk operasi dan untuk insulasi. Pada tegangan perlengkapan perlu memperhatikan standar perlengkapan (misalnya IEC 60335-1 dan IEC 60071) istilah “julat tegangan” mempunyai pengertian yang berbeda.

2.10. Standard Tegangan

Dibawah ini menunjukkan tabel nilai tegangan sistem 3 fase-tiga empat-kawat dan sistem fase tunggal tiga-kawat termasuk rangkaian fase-tunggal (perluasan, pelayanan dan sebagainya) yang dihubungkan ke sistem tersebut. Nilai yang lebih rendah dalam kolom adalah tegangan ke netral dan nilai yang lebih tinggi adalah tegangan antar fase. Jika hanya satu nilai yang ditunjukkan, maka nilai tersebut mengacu pada sistem tiga kawat dan menunjukkan tegangan antar fase (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2013). Seperti terlihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Sistem Yang Diterapkan Pada Sistem Distribusi Tegangan Rendah

<i>Sistem fase-tiga empat-kawat</i>	<i>Sistem fase-tunggal tiga-kawat</i>
<i>Tegangan nominal (V)</i>	<i>Tegangan nominal (V)</i>
<i>230 / 400</i>	<i>2 x 230</i>
	<i>Sistem fase-tunggal tiga kawat tidak dikembangkan.</i>

Dengan memperhatikan julat tegangan pasok, pada kondisi pelayanan normal direkomendasikan bahwa tegangan pada terminal pasok perbedaannya tidak boleh lebih besar $\pm 10\%$ dari tegangan nominal sistem. Untuk jatuh tegangan pemanfaatan, selain variasi tegangan pada terminal pasok, jatuh tegangan mungkin terjadi pada instalasi konsumen. Untuk instalasi tegangan rendah, turun tegangan ini dibatasi sampai dengan 5% (4% IEC) yang berarti turun tegangannya dari 220/380 menjadi 219/389, oleh karena itu julat tegangan pemanfaatan adalah + 10 %, - 15 %, yang artinya julat (batasan) tegangan pemanfaatannya dari 220/380 menjadi + 222/382 dan – 223/28, seperti terlihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sistem Fase Tiga Yang Bertegangan Nominal Antara 1 kV Sampai Dengan 35kV dan Perlengkapan Terkait.

<i>Tegangan tertinggi untuk perlengkapan (kV)</i>	<i>Tegangan nominal sistem (kV)</i>	<i>Pemanfaat</i>
<i>7,2</i>	<i>6</i>	<i>Pembangkit</i>
<i>12</i>	<i>11</i>	<i>Pembangkit</i>
<i>24</i>	<i>20</i>	<i>Distribusi & pembangkit</i>
<i>Sistem fase-tiga tiga-kawat kecuali dinyatakan lain. Nilai yang ditunjukkan adalah tegangan antar fase Tegangan tertinggi dan tegangan terendah perbedaannya tidak boleh lebih besar $\pm 10\%$ dari tegangan nominal sistem</i>		

- 1) Nilai ini tidak digunakan untuk sistem distribusi umum.
- 2) Tidak dikembangkan lagi.
- 3) Untuk sistem fase tiga empat kawat

CATATAN 1: Rasio antara dua tegangan nominal yang berdekatan pada satu sistem sebaiknya tidak kurang dari dua.

CATATAN 2: Dalam sistem normal, tegangan tertinggi dan terendah perbedaannya tidak lebih $\pm 10\%$ dari tegangan nominal sistem, seperti terlihat pada Tabel 2.4, Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

Tabel 2.4 Sistem Fase Tiga Yang Bertegangan Nominal Diatas 35 kV

Sampai Dengan 230 kV dan Perlengkapan Terkait

<i>Tegangan tertinggi untuk perlengkapan (kV)</i>	<i>Tegangan nominal sistem (kV)</i>
72,5	66
170	150
<i>Nilai tersebut di atas adalah nilai tegangan antar fase</i>	

Tabel 2.5 Sistem Fase Tiga Yang Bertegangan Tertinggi

Untuk Perlengkapan Melebihi 245 kV

<i>Tegangan tertinggi untuk perlengkapan (kV)</i>	<i>Tegangan nominal sistem (kV)</i>
300	275
550	500
<i>Nilai tersebut di atas adalah nilai tegangan antar fase</i>	

Tabel 2.6 Perlengkapan Yang Mempunyai Tegangan Sampai Dengan 220 V a.s

Atau Sampai Dengan 400 V a.b

<i>A.S</i>		<i>A.B</i>	
<i>Nilai nominal</i>		<i>Nilai nominal</i>	
<i>Lebih disukai (V)</i>	<i>Pemanfaat</i>	<i>Lebih disukai (V)</i>	<i>Pemanfaat</i>
<i>12</i>	<i>Telekom, SCADA,</i>	<i>230/400</i>	<i>Rumah, Kantor, Gardu, Pusat Listrik</i>
<i>24</i>	<i>Radio, GH & KIT</i>		
<i>48</i>	<i>Telekom, SCADA,</i>		
<i>110</i>	<i>Radio, GH & KIT</i>		
<i>220</i>	<i>Telekom, SCADA,</i>		
	<i>Radio, TP, SCADA</i>		
	<i>Kontrol GI & KIT</i>		
	<i>Kontrol GI & KIT</i>		

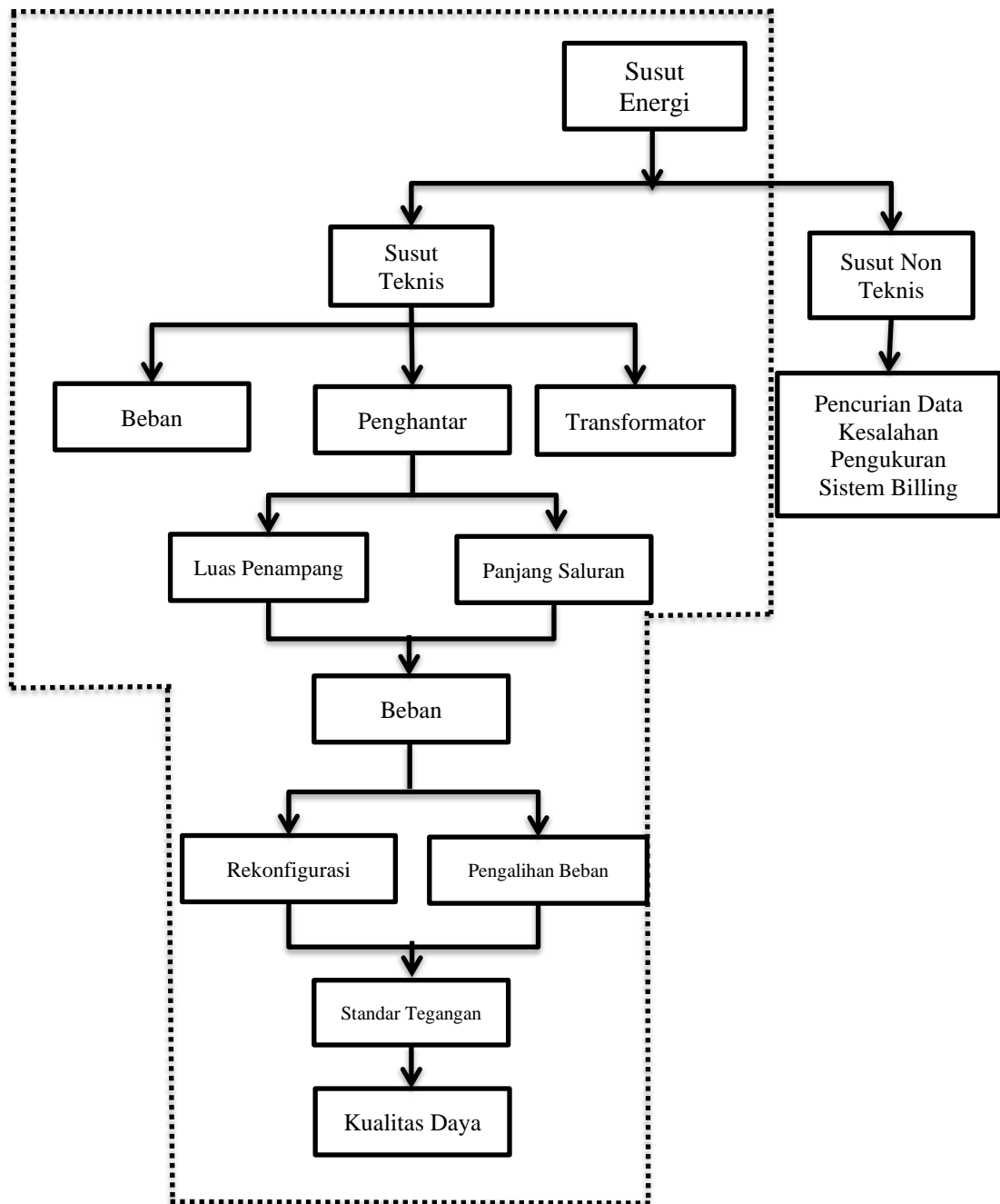
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan penyulang pada system kelistrikan Gardu Induk (GI) Anggrek. Pada Gambar (3.1) di perlihatkan kerangka konsep penelitian yang menjelaskan tentang profil tegangan dan rugi-rugi daya teknis setelah penambahan penyulang baru. Drop tegangan dan Rugi-rugi daya teknis merupakan salah satu sifat dari susut energi.

Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan rekonfigurasi, rekonfigurasi adalah salah satu cara menambah atau merubah jaringan agar dapat meminimalisir drop tegangan dan susut energi yang di akibatkan oleh padatnya beban pada jaringan. Selain melakukan rekonfigurasi permasalahan ini dapat di lakukan dengan pengalihan manuver beban, pengalihan manuver beban merupakan cara dengan memindahkan beban dari jaringan yang bermasalah ke jaringan lain atau ke jaringan yang baru ditambahkan. Setelah melakukan ke dua cara tersebut maka akan di lihat standar tegangannya, jika standar tegangannya sudah memenuhi standar kelayakan maka akan menghasilkan kualitas daya yang di tetapkan.



Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian

3.2 Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini berlokasi di wilayah kelistrikan ULP Kwandang dan lokasi yang akan dilakukan penambahan penyulang baru adalah pada Gardu Induk (GI) Anggrek 20 kV. Rencananya kedepan bahwa tidak ada lagi beban penyulang yang mengalami

drop tegangan. Waktu penelitian dilaksanakan selama 2 bulan terhitung dari bulan April 2023 sampai dengan Juni 2023.

3.3 Tahapan Alur Penelitian

3.3.1 Study Literatur

Study literatur ini dilakukan untuk pembelajaran terhadap referensi, jurnal serta teori-teori dasar yang berhubungan objek yang diteliti terhadap penelitian-penelitian sebelumnya.

3.3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data yang diterima dari Unit Layanan Transmisi Gardu Induk ULTG Gorontalo yaitu pada Gardu Induk Anggrek dan Unit Layanan Pelanggan (ULP) Kwandang. Adapun data yang dibutuhkan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- 1. Diagram satu garis (one line diagram) sistem GI Anggrek, yakni peta jaringan/jalur layanan sistem.*
- 2. Generator yang tersambung dengan sistem GI Anggrek, data yang dibutuhkan adalah : rating tegangan (kV), kapasitas daya terpasang dalam (MW) dan daya mampu dari masing-masing pembangkit dalam satuan MW.*
- 3. Transformator daya di GI Anggrek*
- 4. penghantar yang digunakan*
- 5. Beban, yakni beban puncak malam sesaat.*

3.3.3 Proses Pengolahan 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 permodelan sistem dengan menggunakan bantuan software ETAP 19.0. Selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya pada sistem kelistrikan Gardu Induk (GI) Anggrek menggunakan metode Newton-Raphson.

3.3.4 Simulasi Aliran Daya

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

- 1. Nama Busbar*
- 2. Tipe Busbar (bus referensi, bus beban dan bus pembangkit)*
- 3. Rating tegangan busbar*
- 4. Data transformator daya pada GI Anggrek*
- 5. Data penghantar pada saluran distribusi*
- 6. Daya semu (beban yang tersambung pada bus beban satuan MVA)*
- 7. Daya aktif*
- 8. Faktor daya yakni pembangkit 0,85 dan beban 0,95*

Simulasi dilakukan untuk mengetahui nilai profil tegangan pada setiap bus, aliran beban dan rugi-rugi daya total pada sistem kelistrikan GI Anggrek sebelum dan sesudah adanya penambahan penyulang baru. Skenario simulasi adalah dengan menambahkan penyulang baru 20 kV ke GI Anggrek dengan memperhatikan standar tegangan jaringan yang di izinkan. Setelah dilakukan simulasi tersebut, dilakukan analisis hasil.

3.3.5 Analisa Hasil Simulasi

Analisa hasil simulasi berupa profil tegangan pada setiap bus, rugi rugi daya total sebelum dan setelah adanya penambahan penyulang baru pada system kelistrikan GI Anggrek 20 kV. Analisa hasil ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan profil tegangan dan rugi rugi daya total. Dilakukan perbandingan ini yaitu untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada bus penyulang 20 kV GI Anggrek berupa nilai tegangan dan rugi-rugi daya. Dalam analisis ini juga dilakukan evaluasi hasil aliran daya guna melihat apabila sudah memenuhi standart yang ditetapkan. Jika sudah memenuhi standart maka akan ditarik kesimpulan.

3.3.6 Skenario Simulasi

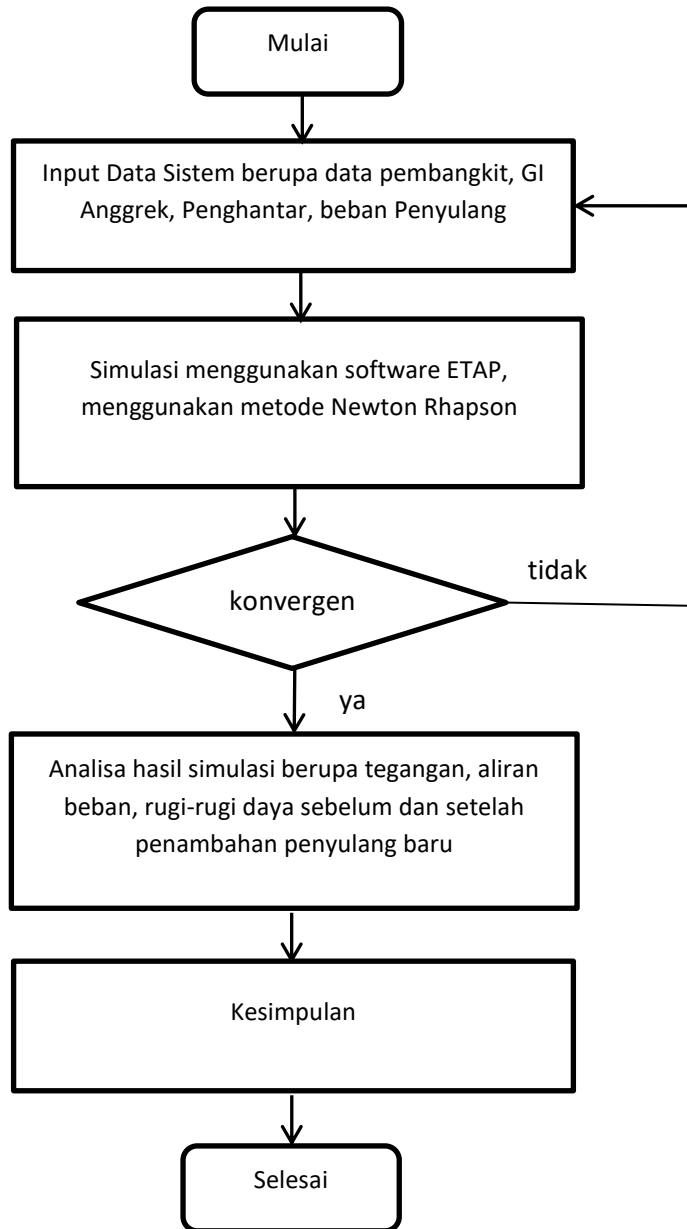
Simulasi aliran daya menggunakan bantuan software ETAP yang terintegrasi dan metode Newton-Raphson.

- 1. Skenario Pertama (sebelum penambahan)*
 - a) Daya terpasang berdasarkan daya mampu pembangkit*
 - b) Beban penyulang yang digunakan adalah data beban puncak malam pada bulan April 2023.*
- 2. Skenario kedua (setelah penambahan penyulang baru 20 kV AG 4 Ponelo)*
 - a) Daya terpasang berdasarkan daya mampu pembangkit*
 - b) Beban penyulang yang digunakan adalah data beban puncak malam pada bulan April*
 - c) Melakukan penambahan beban penyulang pada outgoing 20 kV GI Anggrek (rekonfigurasi jaringan)*

Kedua skenario tersebut disimulasikan dalam 1 (satu) pola operasi sistem, yakni pada saat sistem kelistrikan di wilayah kerja GI Anggrek dan ULP Kwandang yaitu penyulang 20 kV GI Anggrek pada kondisi beban puncak malam. Asumsi dan batasan yang digunakan dalam simulasi sebagai berikut:

- a) Ketelitian yang digunakan dalam simulasi aliran daya adalah 0.0001, dengan metode analisis menggunakan metode Newton-Rhapson*
- b) Studi aliran daya dilakukan pada kondisi sistem tanpa gangguan*
- c) Memindahkan beban pada penyulang yang baru.*

3.4 Flow Chart Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Kelistrikan Gorontalo

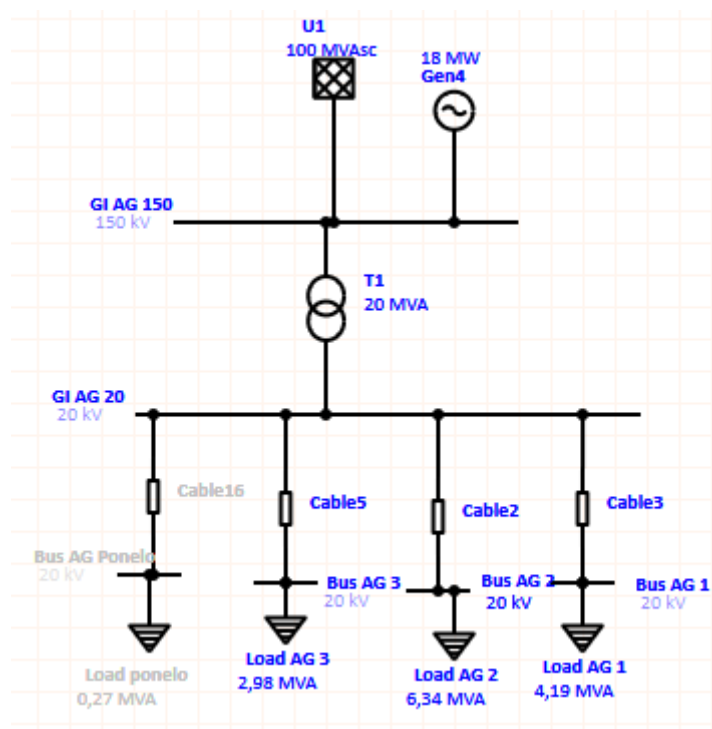
Sistem Kelistrikan di Gardu Induk (GI) Anggrek (AG) merupakan satu kesatuan interkoneksi dengan system kelistrikan Gorontalo melalui saluran transmisi 150 kV. Saat ini Ada 8 (Delapan) pusat beban Gardu Induk dan ada 3 (tiga) pusat listrik yang besar yang saling terinterkoneksi melalui Saluran Udara Tegangan 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 2023 ini pihak PT. PLN (Persero) UP3 Gorontalo telah melakukan perencanaan untuk rekonfigurasi jaringan distribusi 20 kV, dengan menambahkan 1 (satu) penyulang baru pada GI Anggrek (AG). Penambahan beban penyulang baru tersebut dilakukan dengan mengkover beban yang ada di pulau Ponelo melalui jaringan kabel bawah laut. Dengan adanya penambahan jaringan baru tersebut sistem aliran daya berubah, seperti tegangan jatuh dan rugi-rugi daya, sehingga proses operasi sistem yang ada pada GI Anggrek juga ikut berubah.

Penambahan beban penyulang baru ini diharapkan dapat membantu kebutuhan energy yang ada di wilayah Anggrek dan juga dapat memperbaiki profil tegangan dengan memperhitungkan rugi-rugi daya. Sehingga perlu analisis aliran daya pada kondisi saat ini dan sesudah adanya penambahan beban penyulang baru. Dalam analisis aliran daya perlu data system kelistrikan yang ada pada GI Anggrek. Adapun

data tersebut berupa data Pembangkit listrik, data transformator daya Gardu induk, beban pada masing-masing penyulang dan data jenis kawat Penghantar. Setelah mendapatkan data sistem selanjutnya menganalisis data system tersebut.

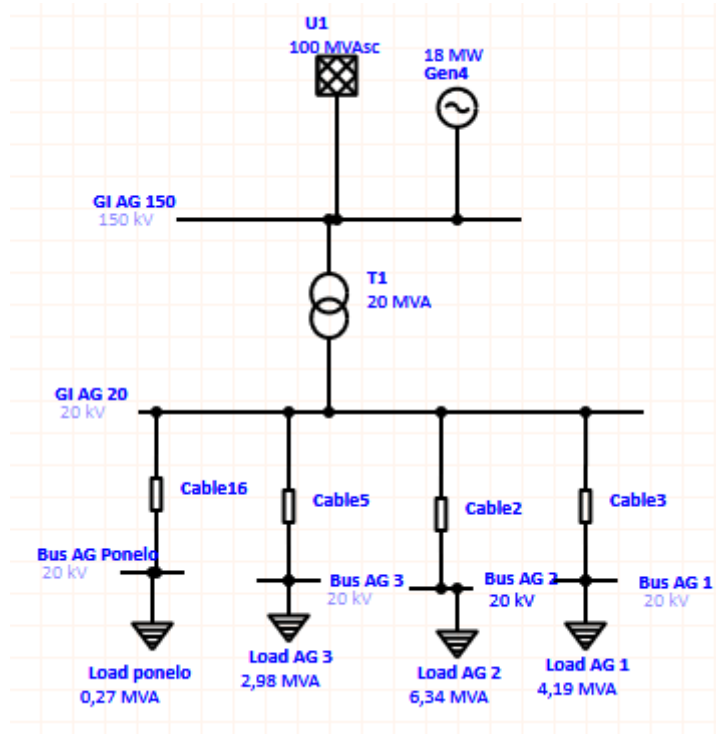
4.2 Gambar Permodelan Simulasi Sebelum dan Skenario Penambahan beban Penyulang Baru AG 4 Ponelo

a) Skema diagram system GI. Anggrek sebelum penambahan penyulang baru



Gambar (4.2) Simulasi Sebelum Penambahan Penyulang Baru GI Anggrek

*b) Skema diagram system GI. Anggrek setelah penambahan penyulang baru
AG 4 Ponelo*



Gambar (4.3) Simulasi Sesudah Penambahan Penyulang Baru GI Gobar

Setelah sistem dimodelkan dalam Gambar ETAP dilakukan penginputan data yang sudah diolah terlebih dahulu kedalam masing-masing blok diagram.

4.3 Analisis Data Sistem Kelistrikan GI Anggrek

Perolehan data dari lapangan untuk system kelistrikan di GI Anggrek tersebut terlebih dahulu dalam bentuk MVA. Untuk analisis aliran daya berupa tegangan jatuh dan rugi-rugi daya menggunakan bantuan software ETAP 19.01.

4.3.1 Analisis Data Pembangkit Listrik

Daya pembangkit diperoleh berdasarkan beban yang ada pada transformator daya di GI Anggrek. Sedangkan bus referensi atau slack bus digunakan nilai 100 MVasc. Cos phi yang digunakan adalah 0.9 berdasarkan kapasitas transformator daya. Untuk menentukan nilai parameter daya aktif dapat dicari dengan :

$$P = S \times \cos \Phi$$

$$P = 20 \text{ MVA} \times 0,9 = 18 \text{ MW}$$

Untuk daya aktif pembebanan transformator daya adalah 80 persen dari daya aktif dapat dihitung dengan:

$$P = 80\% \times \text{daya terpasang} = 80\% \times 18 = 14,4 \text{ MW}$$

4.3.2 Analisa Data Saluran

Analisa data saluran sama seperti analisa data pembangkit, dengan memperhatikan dan menentukan MVA dasar serta impedansi dasar. MVA dasar yang digunakan adalah tegangan (kV) dikali dengan kuat arus penghantar (KHA). Contohnya untuk menghitung resistansi (R) = 0.2162 ohm/km dan reaktansi (X) = 0.3305 ohm/km dengan jarak antar penghantar 0,1 km, maka resistansi dan reaktansi dapat dihitung dengan mengalikan nilai resistansi (R) dan nilai reaktansi (X) dengan panjang saluran :

$$R = r \times L = 0.2162 \times 0,1 = 0,02162 \text{ ohm}$$

$$X = x \times L = 0.3305 \times 0,1 = 0,033 \text{ ohm}$$

Impedansi dasar dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$Z_{base} = \frac{kV^2}{S_{base}} = \frac{20^2}{8100} = 49,38 \text{ ohm}$$

4.3.3 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 di olah dengan cara mengkonversi kedalam bentuk daya aktif MW dan daya semu MVA. Perhitungan parameter beban dalam bentuk beban daya aktif adalah beban daya semu pada masing-masing beban penyulang out going 20 kV GI Anggrek. Contohnya untuk beban penyulang AG 1 diketahui beban amper adalah 121 A, dengan cos phi untuk beban penyulang GI Anggrek adalah 0,95 maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$S_{MVA} = \frac{I \times V}{1000} = \frac{121 \times 20 \times \sqrt{3}}{1000} = 4,19 \text{ MVA}$$

$$P_{MW} = \frac{S \times \cos \phi}{1000} = \frac{419156}{1000} = 3,98 \text{ MW}$$

$$Q_{MVAR} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{4,19^2 - 3,98^2} = 1,31 \text{ MVAR.}$$

4.4 Simulasi dan Pembahasan

4.4.1 Hasil simulasi untuk Tegangan Sebelum Penambahan Beban Penyulang Baru

Simulasi aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson, pertama-tama system dimodelkan sesuai dengan single line system GI Anggrek saat ini. Setelah system dimodelkan, selanjutnya dilakukan penginputan data dari masing-masing parameter sesuai dengan hasil dari pengolahan data dan referensi system. Penginputan data hasil perhitungan parameter Pembangkit, slack bus, transformator, penghantar dan beban kedalam software ETAP 19.01

Setelah penginputan data, selanjutnya dilakukan proses simulasi. Hasil dari simulasi tegangan pada kondisi sebelum penambahan beban penyulang yang baru

merupakan hasil tegangan pada bus Gardu Induk (GI) Anggrek di sisi outgoing 20 kV dan bus line Anggrek dengan menggunakan metode Newton-Rhapson. Setelah didapatkan hasilnya maka dilakukan analisis tegangan yang terdapat pada setiap bus beban, bus beban tersebut terdapat pada bus Gardu Induk (GI) Anggrek outgoing 20 kV dan bus line Anggrek 20 kV. Sehingga hasil simulasi tegangan pada kondisi sebelum penambahan beban penyulang yang baru dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Tegangan Kondisi Sebelum Penambahan Beban Penyulang Baru (AG 4 Ponelo)

Bus	Tegangan		
	%	Angle	Volt
<i>GI AG 150</i>	100	0,0	150
<i>GI AG 20</i>	97,161	-3,4	19,432
<i>BUS AG 1</i>	97,143	-3,4	19,429
<i>BUS AG 2</i>	97,134	-3,4	19,427
<i>BUS AG 3</i>	97,148	-3,4	19,430

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa hasil simulasi tegangan outgoing 20 kV GI Anggrek dan bus line Anggrek (AG) kondisi sebelum penambahan beban penyulang baru menggunakan metode Newton Rhapson yang tertinggi ada pada bus out going 20 kV GI Anggrek sebesar 97,161 % dengan tegangan real 19,432 kV dan tegangan terendah terdapat pada line Anggrek (AG) 2 yaitu 97,134 % dengan tegangan real 19,427 kV. Hal ini menandakan bahwa tegangan yang ada pada masing-masing bus GI Anggrek 20 kV masih dalam batas standar SPLN yaitu 105 % (+ 5 %) dan 90 % (– 10%).

4.4.2 Hasil Simulasi Aliran Beban Sebelum Penambahan Beban Penyulang Baru

Hasil simulasi aliran beban kondisi sebelum penambahan beban penyulang baru dengan menggunakan metode Newton-Rhapson dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Aliran Beban Kondisi Sebelum Penambahan Beban Penyulang Baru AG 4 Ponelo

Bus		Load Flow		
From	To	MW	MVAR	Ampere
GI AG 20	BUS AG 1	3,575	1,482	117,5
GI AG 20	BUS AG 2	5,684	1,869	117,8
GI AG 20	BUS AG 3	2,391	1,282	83,6
GI AG 150	GI AG 20	11,875	5,437	50,3

Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa hasil simulasi aliran beban pada kondisi sebelum penambahan penyulang baru menggunakan metode Newton-Rhapson terbesar terdapat pada saluran bus out going 20 kV GI Anggrek menuju line Anggrek AG 2 yaitu daya aktif sebesar 5,684 MW dan daya reaktif 1,869 MVar. Sedangkan aliran beban terendah terdapat pada saluran bus out going 20 kV GI Anggrek menuju line Anggrek AG 3 yaitu daya aktif sebesar 2,391 MW dan daya reaktif yaitu 1,282 MVar.

4.4.3 Rugi-rugi Daya Kondisi Sebelum Penambahan Beban Penyulang Baru

Hasil simulasi rugi-rugi daya total pada saluran penghantar dengan kondisi sebelum penambahan beban penyulang baru dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Total Sebelum Penamabahan Beban Penyulang Baru

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 kondisi sebelum penambahan beban penyulang baru menggunakan metode Newton-Rhapson untuk daya aktif sebesar 0,045 MW dengan persentase 0,38 % dan daya reaktif adalah 0,853 Mvar dengan persentase 15,69%. Persentase rugi-rugi daya aktif dan reaktif didapat dari hasil perbandingan total rugi-rugi daya dengan jumlah supply daya dari pembangkit.

4.4.4 Simulasi Tegangan Setelah Penambahan Beban Penyulang Baru

Dalam simulasi analisa aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson, system dimodelkan sesuai diagram satu garis system dengan merekonfigurasi jaringan distribusi. Rekonfigurasi jaringan dilakukan dengan menambahkan beban penyulang baru pada bus out going 20 kV Gardu Induk (GI) Agggrek dengan jaringan baru yaitu jaringan kabel bawah laut 240mm².

Setelah system dimodelkan, selanjutnya dilakukan penginputan data dari masing-masing parameter sesuai dengan hasil pengolahan data dan referensi system. Hasil simulasi tegangan setelah penambahan beban penyulang baru merupakan hasil tegangan pada bus Gardu Induk Anggrek di sisi 20 kV dan bus line Anggrek 20 kV. Hasil simulasi tegangan setelah penambahan beban penyulang baru dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Tegangan Setelah penambahan beban penyulang baru

Bus	Tegangan		
	%	Angle	Volt
GI AG 150	100	0,0	150
GI AG 20	97,108	-3,5	19,422
BUS AG 1	97,09	-3,5	19,418
BUS AG 2	97,081	-3,5	19,416
BUS AG 3	97,095	-3,5	19,419

BUS AG 4 Ponelo	97,108	-3,5	19,422
-----------------	--------	------	--------

Pada Tabel 4.4 terlihat bahwa simulasi tegangan outgoing 20 kV GI Anggrek dan bus line Anggrek (AG) kondisi sesudah penambahan beban penyulang baru menggunakan metode Newton Rhapson yang tertinggi ada pada bus out going 20 kV GI Anggrek dan bus line Anggrek (AG) 4 Ponelo, masing masing sebesar sebesar 97,108 % dengan tegangan real 19,422 kV dan tegangan terendah terdapat pada line Anggrek (AG) 2 yaitu 97,081 % dengan tegangan real 19,416 kV. Hal ini menandakan bahwa tegangan yang ada pada masing-masing bus GI Anggrek 20 kV masih dalam batas standar SPLN yaitu 105 % (+ 5 %) dan 90 % (– 10%).

4.4.5 Hasil Simulasi Aliran Beban Setelah Penambahan Beban Penyulang baru

Hasil simulasi aliran beban kondisi setelah penambahan beban penyulang baru dengan menggunakan metode Newton-Rhapson dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Aliran Beban Setelah Penamabahn Beban Penyulang Baru

Bus		Load Flow		
From	To	MW	MVAR	Ampere
GI AG 20	BUS AG 1	3,753	1,234	117,4
GI AG 20	BUS AG 2	5,678	1,867	177,7
GI AG 20	BUS AG 3	2,388	1,48	83,5
GI AG 20	BUS AG 4	0,242	0,08	7,6
GI AG 150	GI AG 20	12,105	5,545	51,2

Dari Tabel 4.5 terlihat bahwa hasil simulasi aliran beban pada kondisi sesudah penambahan penyulang baru menggunakan metode Newton-Rhapson terbesar terdapat pada saluran bus out going 20 kV GI Anggrek menuju line Anggrek AG 2 yaitu daya aktif sebesar 5,678 MW dan daya reaktif 1,867 MVar. Sedangkan aliran beban terendah terdapat pada saluran bus out going 20 kV GI Anggrek menuju

line Anggrek AG 4 yaitu daya aktif sebesar 0,242 MW dan daya reaktif yaitu 0,08 MVar.

4.4.6 Rugi-rugi Daya Setelah Penambahan Beban Penyulang Baru

Hasil simulasi rugi-rugi daya total setelah penambahan beban penyulang baru dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Total Setelah penambahan Beban Penyulang Baru AG 4 Penelo

ID	Daya Aktif MW	Daya Reaktif MVAR
<i>Total Demand</i>	12,105	5,545
<i>Total Load</i>	12,059	4,659
<i>Apparent Losses</i>	0,047	0,887
<i>Percent Losses (%)</i>	0,39%	16,00%

Dari Tabel 4.6 terlihat bahwa hasil simulasi rugi-rugi daya total kondisi sebelum penambahan beban penyulang baru menggunakan metode Newton-Rhapson untuk daya aktif sebesar 0,047 MW dengan persentase 0,39 % dan daya reaktif adalah 0,887 Mvar dengan persentase 16%. Persentase rugi-rugi daya aktif dan reaktif didapat dari hasil perbandingan total rugi-rugi daya dengan jumlah supplay daya dari pembangkit.

4.4.7 Perbandingan Simulasi Aliran Daya pada Kondisi Sebelum dan Setelah Penambahan Beban Penyulang Baru

Perbandingan simulasi aliran daya dengan metode Newton Raphson pada kondisi sebelum dan setelah penambahan beban penyulang baru AG 4 Ponelo, untuk

hasil simulasi tegangan disetiap bus 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 pada kondisi sebelum dan setelah penambahan beban penyulang baru

Bus	Tegangan (Sebelum)			Tegangan (Setelah)		
	%	Angle	Volt	%	Angle	Volt
<i>GI AG 150</i>	100	0,0	150	100	0,0	150
<i>GI AG 20</i>	97,161	-3,4	19,432	97,108	-3,5	19,422
<i>BUS AG 1</i>	97,143	-3,4	19,429	97,09	-3,5	19,418
<i>BUS AG 2</i>	97,134	-3,4	19,427	97,081	-3,5	19,416
<i>BUS AG 3</i>	97,148	-3,4	19,430	97,095	-3,5	19,419
<i>BUS AG 4</i>	-			97,108	-3,5	19,422

Pada Tabel 4.7 terlihat bahwa perbandingan hasil simulasi tegangan pada kondisi sebelum dan setelah penambahan beban penyulang baru menggunakan metode Newton Rhapson, yakni dalam kondisi sebelum tegangan yang berada pada bus beban GI Anggrek out going 20 kV adalah sebesar 97,161 % atau 19,432 kV, setelah penambahan penyulang baru maka tegangan yang ada pada bus beban GI Anggrek out going 20 kV turun 0,053% menjadi 97,108 % atau 19,422 kV. Rata rata setiap tegangan pada bus line Anggrek (AG) mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 0,011 kV. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan beban penyulang yang ada di GI Anggrek out going 20 kV berupa arus yang mengalir pada penghantar cukup besar.

Disamping itu, dengan adanya penambahan beban penyulang baru pada GI Anggrek dapat memberikan pengaruh terhadap profil tegangan. Pengaruhnya adalah berupa penurunan tegangan baik pada setiap bus masing-masing penyulang di bus line Anggrek maupun bus outgoing 20 kV GI Anggrek. Keseluruhan tegangan pada setiap bus berdasarkan hasil simulasi terlihat baik dan masih dalam batas-batas yang

diizinkan menurut standar SPLN yaitu 105 % (+ 5 %) dan 90% (– 10%) walaupun terjadi penurunan tegangan setelah adanya penambahan beban penyulang baru, namun tidak memberikan pengaruh yang sangat signifikan.

Perbandingan hasil simulasi aliran beban sebelum dan setelah penambahan beban penyulang baru dengan metode Newton Raphson dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Simulasi Aliran Beban pada kondisi sebelum dan setelah penambahan beban penyulang baru

Bus		Load Flow (Sebelum)			Load Flow (Setelah)		
From	To	MW	MVAR	Ampere	MW	MVAR	Ampere
GI AG 20	BUS AG 1	3,575	1,482	117,5	3,753	1,234	117,4
GI AG 20	BUS AG 2	5,684	1,869	117,8	5,678	1,867	177,7
GI AG 20	BUS AG 3	2,391	1,282	83,6	2,388	1,48	83,5
GI AG 20	BUS AG 4				0,242	0,08	7,6
GI AG 150	GI AG 20	11,875	5,437	50,3	12,105	5,545	51,2

Dari Tabel 4.8 terlihat bahwa hasil perbandingan simulasi aliran beban pada kondisi sebelum dan setelah penambahan beban penyulang baru menggunakan metode Newton Rhapsion yakni aliran beban pada kondisi sebelum dari bus GI Anggrek outgoing 20 kV menuju Line Anggrek AG 2 untuk daya aktif adalah sebesar 5,684 MW dan untuk daya reaktif adalah 1,869 MVar. Setelah penambahan beban penyulang baru maka aliran beban dari GI Anggrek outgoing 20 kV menuju Line Anggrek AG 2 untuk daya aktif adalah sebesar 5,678 MW dan untuk daya reaktif adalah 1,867 MVar. Terlihat terjadi penurunan aliran beban untuk daya aktif dari GI Anggrek menuju Line Anggrek AG 2 dan untuk aliran beban daya reaktif mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena bertambahnya beban yang ada di penyulang baru GI Anggrek, sehingga memperlihatkan adanya ekspor import aliran beban daya aktif terhadap GI Anggrek out going 20 kV menuju bus Line Anggrek AG.

Perbandingan hasil simulasi rugi-rugi daya total pada kondisi sebelum dan setelah penambahan beban penyulang baru dengan menggunakan metode Newton Raphson dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil Simulasi Rugi-rugi Daya Total Kondisi sebelum dan Setelah penambahan beban penyulang baru

ID	Rugi rugi daya (Sebelum)		Rugi rugi daya (Sesudah)	
	Daya Aktif MW	Daya Reaktif MVAR	Daya Aktif MW	Daya Reaktif MVAR
<i>Total Demand</i>	11,875	5,437	12,105	5,545
<i>Total Load</i>	11,83	4,584	12,059	4,659
<i>Apparent Losses</i>	0,045	0,853	0,047	0,887
<i>Percent Losses (%)</i>	0,38%	15,69%	0,39%	16,00%

Dari Tabel 4.9 terlihat bahwa perbandingan hasil simulasi rugi-rugi daya total kondisi sebelum dan setelah penambahan beban penyulang baru dengan menggunakan metode Newton Rhapsion yakni kondisi sebelum untuk daya aktif sebesar 0,045 MW dan daya reaktif sebesar 0,853 MVar. Setelah penambahan beban penyulang baru rugi-rugi daya total untuk daya aktif naik 0,002 MW menjadi 0,047 MW sedangkan untuk daya reaktif naik 0,034 MVar menjadi 0,887 MVar. Hal ini dipengaruhi oleh penambahan jaringan kawat penghantar dan beban, sehingga rugi-rugi daya total menjadi naik. Namun kenaikan rugi rugi daya total tersebut masih bisa di minimalisir dengan mengatur system operasinya.

Sedangkan perbandingan persentase rugi-rugi daya total kondisi sebelum dan setelah penambahan beban penyulang baru pada kondisi sebelum untuk daya aktif adalah sebesar 0,38 % naik 0,01% menjadi 0,39%. Sedangkan untuk daya reaktif adalah 15,69 % naik 0,31% menjadi 16%. Perbandingan rugi-rugi daya sebelum dan

setelah penambahan beban penyulang baru terlihat bahwa dengan adanya penambahan beban penyulang baru ini memberikan pengaruh terhadap rugi rugi daya sistem kelistrikan di GI Anggrek. Namun masih memberikan performance sistem kelistrikan Gorontalo yang lebih baik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan:

1. *Adanya penambahan beban penyulang baru pada sistem kelistrikan di GI Anggrek dapat memberikan pengaruh pada tegangan masing bus di out going 20 kV GI Anggrek maupun di bus masing masing line Anggrek AG. Walaupun terjadi penurunan tegangan dan tidak terlalu signifikan, kondisi tegangan pada masing-masing bus masih dalam batas yang diizinkan oleh standar SPLN.*
2. *Rugi-rugi daya total setelah adanya penambahan beban penyulang memberikan pengaruh berupa kenaikan nilai rugi rugi daya untuk daya aktif sebesar 0,002 MW dengan persentase 0,01%. Sedangkan untuk daya reaktif sebesar 0,034 MVar dengan persentase 0,31%.*
3. *Dengan penambahan penyulang baru pada sistem kelistrikan di GI Anggrek, dapat memberikan penuruna profil tegangan dan rugi-rugi daya baik rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif menjadi naik, walaupun tidak secara signifikan, namun masih memberikan performance sistem lebih baik.*

5.2 Saran

Setelah melakukan anailis jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem kelistrikan GI Anggekr maka di peroleh hasil adanya perubahan aliran daya pada sistem kelistrikan Gorontalo khususnya area line Anggrek. 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

- Nelwan, M. N., Tuegeh, M., & Lisi, I. F. (2015). Penyusutan Energi Listrik Pada Penyulang SU2 Jaringan Distribusi Minahasa Utara. 67–76.*
- Putra, D. E. K. A. (2016). Analisa Pengaruh Penambahan Jaringan Baru Dari Gardu Induk Masaran Ke PT. Sinar Agungn Selalu Sukses Terhadap Susut Daya.*
- RH, N. S. (2016). Analisa Susut Daya Pada Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) 20 KV Penyulang Ekspress PT. PLN (Pesero) Area Gorontalo (Studi Kasus Pada Penyulang BP.07-LT.11).*
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2013). Tegangan standar. (391).*
- Bahri, S., Gianto, R., & Arsyad, M. I. (1986). Studi Pertambahan Beban Transformator Daya Pada Gardu Induk Parit Baru PT. PLN (Persero) Cabang Pontianak.*
- Daniel Dalam, H. (2013). Analisis Susut Energi Pada Sistem Jaringan Distribusi Di Pt. Pln Apj Yogyakarta Upj Wonosari Unit Semanu. Seminar Nasional Informatika Yogyakarta, 2013(semnasIF), 1979–2328.*
- Fayyadl, M., Sukmadi, I. T., & Winardi, I. B. (n.d.). REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI DAYA LISTRIK DENGAN METODE ALGORITMA GENETIKA.*
- Hakim, H. (2012). Studi susut energi pada saluran distribusi dengan variasi beban pelanggan bisnis skripsi. (1–74).*
- Hariyadi, S. (2017). ANALISIS RUGI-RUGI DAYA DAN JATUH TEGANGAN PADA SALURAN TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 KV PADA GARDU INDUK PALUR – MASARAN Disusun. (1–16).*
- Made Suartika, I. W. A. W. (2010). Rekonfigurasi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) Untuk Memperbaiki Drop Tegangan Di Daerah Banjar Tulangnyuh Klungkung. Rekonfigurasi Jaringan Tegangan Rendah ..., 9(2).*
- Putra, D. E. K. A. (2016). Analisa Pengaruh Penambahan Jaringan Baru Dari Gardu Induk Masaran Ke PT. Sinar Agungn Selalu Sukses Terhadap Susut Daya.*
- RH, N. S. (2016). Analisa Susut Daya Pada Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) 20 KV Penyulang Ekspress PT. PLN (Pesero) Area Gorontalo (Studi Kasus Pada Penyulang BP.07-LT.11).*
- Safala, M. F. (2016). Penstabilan Tegangan Sekunder Pada Transformator Daya 150/20 KV Akibat Jatuh Teganagn.*

- SPLN 64:1985. (1985). *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta.
- Steven Humena, Frengki E.P Surusa, H. A. (2018). *Dampak Masuknya PLTS Isimu 10 MW Terhadap Profil Tegangan Pada Sistem Kelistrikan 150 KV Gorontalo*. (September).
- Sudirham, S. (2012). *Analisis Sistem Tenaga*.
- 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>
- Hadi Suyono, Muhammad Fauzan E.P., Hari Santoso. (2013). *Analysis of Mini Hydro Power and Photovoltaic Injection Into The Grid System*. International Conference on Education, Technology, and Science NETS 2013, 208–212. Retrieved from [cholar.google.co.id/citations?user=gTv0iPMAAAAJ&hl=id#d=gs_md_cita-d&u=%2Fcitations%3Fview_op%3Dview_citation%26hl%3Did%26user%3DgTv0iPMAAAAJ%26citation_for_view%3DgTv0iPMAAAAJ%3A2osOgNQ5qMEC%26tzm%3D-480](http://scholar.google.co.id/citations?user=gTv0iPMAAAAJ&hl=id#d=gs_md_cita-d&u=%2Fcitations%3Fview_op%3Dview_citation%26hl%3Did%26user%3DgTv0iPMAAAAJ%26citation_for_view%3DgTv0iPMAAAAJ%3A2osOgNQ5qMEC%26tzm%3D-480)
- 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-Stability-and-Control.pdf>

Kundur, P., Paserba, J., Ajarapu, 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).

Suyono, H., & Zainuddin, M. (2015). Injection Impact of Photovoltaic Distributed Generations (PVDG) on Power Distribution System Stability. Applied Mechanics and Materials, 785(June 2016), 403–408. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.785.403>

Zainuddin, M. (2017). Pengaruh Masuknya PLTS on Grid Skala Besar Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi Daya. Prosiding

Seminar Nasional FORTEI, (October 2017), 131–136.

Zainuddin, M., Sarjiya, Handayani, T. P., Sunanda, W., & Surusa, F. E. P. (2018). Transient Stability Assessment of Large Scale Grid-Connected Photovoltaic on Transmission System. Proceedings - 2018 2nd International Conference on Green Energy and Applications, ICGEA 2018, (March), 113–118. <https://doi.org/10.1109/ICGEA.2018.8356270>

