

**ANALISIS PEMECAHAN BEBAN PENYULANG PINUS
TERHADAP SUSUT TEKNIS JARINGAN DENGAN SIMULASI
ETAP 19.0.1 DI PT PLN (PERSERO) ULP DOLOK SANGGUL**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**Laporan ini disusun untuk memenuhi Salah Satu Syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh:

DIMAS SIHNO PUTRO

30602200136

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

**ANALISIS OF LOAD SOLVING OF PINE FEEDER TOWARDS
TECHNICAL SHRINKAGE OF NETWORK WITH ETAP 19.0.1
SIMULATION AT PT PLN (PERSERO) ULP DOLOK
SANGGUL**

**Proposed to complete the requirement to obtain a Bachelor's
Degree (S1) at Departement of Electrical Engineering, Faculty of
Industrial Technology, Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh:

DIMAS SIHNO PUTRO

30602200136

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN BIMBINGAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PEMECAHAN BEBAN
PENYULANG PINUS TERHADAP SUSUT TEKNIS JARINGAN DENGAN
SIMULASI ETAP 19.0.1 DI PT PLN (PERSERO) ULP DOLOK SANGGUL”

ini disusun oleh:

Nama : Dimas Sihno Putro

NIM : 30602200136

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Jumat

Tanggal : 08 Agustus 2025

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

NIDN : 0607018501

Disetujui,

Pembimbing

A blue ink signature of Ir. Ida Widiastuti, M.T. is written over a large, faint watermark of the UNISSULA logo.

Ir. Ida Widiastuti, M.T.

NIDN : 0005036501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PEMECAHAN BEBAN
PENYULANG PINUS TERHADAP SUSUT TEKNIS JARINGAN DENGAN
SIMULASI ETAP 19.0.1 DI PT PLN (PERSERO) ULP DOLOK SANGGUL”

Telah dipertahankan didepan Dosen Penguji Tugas Akhir pada:

Hari : Jumat

Tanggal : 22 Agustus 2025

Penguji I

Prof. Dr. Ir. Sri Artini Dwi Prasetyowati, M.Si

NIDN : 0620026501

Penguji II

Ir. Ida Widiastuti, M.T.

NIDN : 0005036501

Ketua Penguji

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T., IPM.

NIDN : 0628086501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dimas Sihno Putro

NIM : 30602200136

Judul Tugas Akhir : **ANALISIS PEMECAHAN BEBAN PENYULANG
PINUS TERHADAP SUSUT TEKNIS JARINGAN
DENGAN SIMULASI ETAP 19.0.1 DI PT PLN
(PERSERO) ULP DOLOK SANGGUL**

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 08 Juli 2025

Yang Menyatakan



Dimas Sihno Putro

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dimas Sihno Putro

NIM : 30602200136

Judul Tugas Akhir : **ANALISIS PEMECAHAN BEBAN PENYULANG
PINUS TERHADAP SUSUT TEKNIS JARINGAN
DENGAN SIMULASI ETAP 19.0.1 DI PT PLN
(PERSERO) ULP DOLOK SANGGUL**

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 08 Juli 2025

Yang Menyatakan


Dimas Sihno Putro

HALAMAN PERSEMBAHAN

Pertama,

Tugas Akhir ini akan saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang saya cintai Bapak Sukatno dan Ibu Sriyanti yang sudah membesarkan saya, serta istri yang saya sayangi Afif Risma Luthfianti yang telah memberikan dukungan dan doa kepada saya dalam menyelesaikan studi saya hingga saat ini.

Kedua,

Untuk Dosen pembimbing dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran dan pengarahannya.

Ketiga,

Untuk teman-teman PLN mahasiswa/i Unisulla seperjuangan tugas akhir.



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Tuhan yang Maha Pengasih atas segala limpahan kasih, karunia, dan kehendak-Nya sehingga Tugas Akhir Skripsi dengan judul Analisis Pemecahan Beban Penyulang Pinus Terhadap Susut Teknis Jaringan dengan Simulasi ETAP 19.0.1 Di PT PLN (Persero) ULP Dolok Sanggul di Kecamatan Dolok Sanggul Kabupaten Humbang Hasundutan, dapat diselesaikan dengan baik. Selesaiannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak yang telah membantu dalam pembuatan karya ini, ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang
3. Ibu Ir. Ida Widiastuti, M.T. Selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan
4. Bapak. Selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan
5. Seluruh dosen pengajar dan Staff di Universitas Islam Sultan Agung Semarang
6. Kedua Orang tua dan istri tercinta yang telah banyak memberikan dukungan dan doa dalam penyelesaian Tugas Akhir
7. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya pembuatan tugas akhir maupun dalam penyusunan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini walaupun telah berusaha semaksimal mungkin, tentunya masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki, oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan demi perbaikan dan penyempurnaan karya ini. Akhir kata, semoga karya ini bermanfaat

Semarang, 08 Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN BIMBINGAN..... i

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI..... ii

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN..... iii

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH iv

HALAMAN PERSEMBAHAN v

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI..... vii

DAFTAR GAMBAR..... ix

DAFTAR TABEL..... x

ABSTRAK..... xi

ABSTRACT xii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Rumusan Masalah..... 2

1.3. Tujuan Penelitian..... 3

1.4. Manfaat Penelitian..... 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 4

2.1. Kajian Pustaka..... 4

2.2. Landasan Teori 5

2.2.1. Teori Dasar Listrik..... 5

2.2.2. Sistem Distribusi 13

2.2.3. Jatuh Tegangan pada Jaringan..... 17

2.2.4. ETAP..... 18

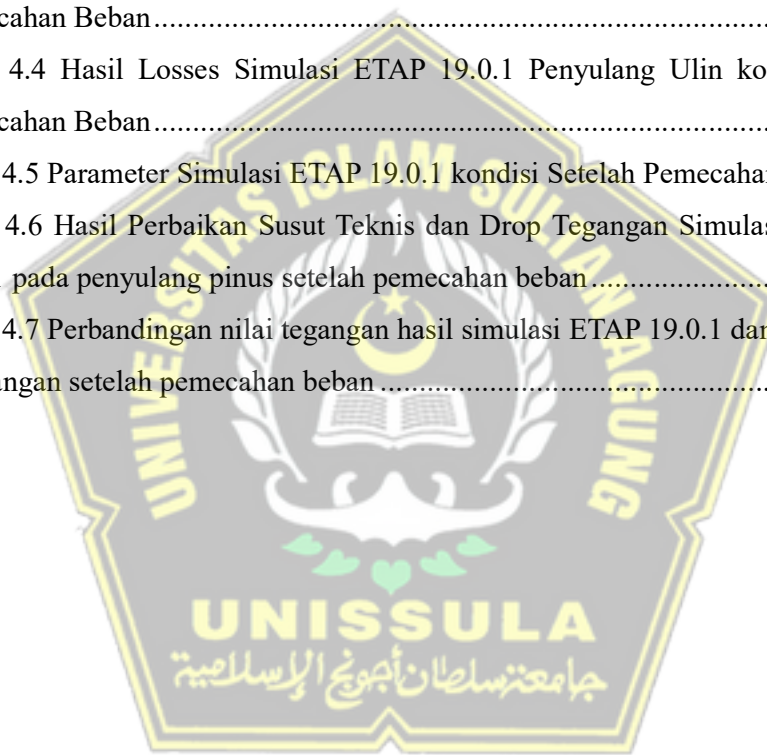
2.2.5. Rugi Daya Pada Distribusi Listrik.....	22
2.2.5. Perbaikan susut daya listrik.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1. Lokasi Penelitian	26
3.2. Single Line Diagram Kelistrikan PLN ULP Dolok Sanggul	26
3.3. Pendekatan Penelitian.....	27
3.4. Data Penelitian	27
3.5. Proses Penelitian.....	28
3.6. Alur Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Penyulang Sebelum Dilakukan Pemecahan Beban	31
4.2. Kondisi Penyulang Sesudah Pemecahan Beban.....	33
4.3. Susut Teknis & Saving kWh	36
4.4. Jatuh Tegangan	37
4.5. Pengukuran Tegangan di jaringan	41
BAB V KESIMPULAN.....	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Simbol Resistor.....	7
Gambar 2.2 Simbol Resistor.....	7
Gambar 2.3. Simbol Induktor	8
Gambar 2.4 Rangkaian Seri.....	9
Gambar 2.5 Rangkaian Paralel	9
Gambar 2.6 Rangkaian Campuran.....	10
Gambar 2.7 Segitiga Daya.....	11
Gambar 2.8 Konfigurasi radial	13
Gambar 2.9 Konfigurasi Tie line	14
Gambar 2.10. Konfigurasi jaringan loop.....	15
Gambar 2.11 Konfigurasi spindle	16
Gambar 2.12 Konfigurasi cluster.....	16
Gambar 2.13 Elemen standar ANSI.....	21
Gambar 2.14. Simbol Generator di ETAP.....	21
Gambar 2.15 Simbol Transformator di ETAP	21
Gambar 2.16 Simbol Pemutus Rangkaian di ETAP	22
Gambar 2.17 Simbol Beban Statis di ETAP.....	22
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	26
Gambar 3.2 Single Line Diagram Kelistrikan PLN ULP Dolok Sanggul	27
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 4.1 Single Line Diagram Sebelum pemecahan beban	31
Gambar 4.2 Single Line Diagram setelah pemecahan beban.....	33
Gambar 4.3 Grafik susut daya saat sebelum dan setelah pemecahan beban.....	36
Gambar 4.4 Hasil Simulasi 19.0.1 Tegangan Ujung kondisi sebelum pemecahan	37
Gambar 4.5 Hasil Simulasi 19.0.1 Tegangan Ujung kondisi sesudah pemecahan	38
Gambar 4.6 Grafik Nilai Jatuh Tegangan kondisi sebelum dan setelah pemecahan beban.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jumlah Trafo per Kapasitas Daya.....	28
Tabel 4.1 Hasil Losses Simulasi ETAP 19.0.1 Penyulang Pinus kondisi Sebelum Pemecahan Beban.....	32
Tabel 4.2 Parameter Simulasi ETAP 19.0.1 kondisi Sebelum Pemecahan Beban	33
Tabel 4.3 Hasil Losses Simulasi ETAP 19.0.1 Penyulang Pinus kondisi setelah Pemecahan Beban.....	34
Tabel 4.4 Hasil Losses Simulasi ETAP 19.0.1 Penyulang Ulin kondisi setelah Pemecahan Beban.....	35
Tabel 4.5 Parameter Simulasi ETAP 19.0.1 kondisi Setelah Pemecahan Beban...	35
Tabel 4.6 Hasil Perbaikan Susut Teknis dan Drop Tegangan Simulasi dari ETAP 19.0.1 pada penyulang pinus setelah pemecahan beban.....	41
Tabel 4.7 Perbandingan nilai tegangan hasil simulasi ETAP 19.0.1 dan pengukuran dilapangan setelah pemecahan beban	41



ABSTRAK

Penyulang Pinus adalah penyulang yang melayani pelanggan PT PLN (Persero) ULP Dolok Sanggul memiliki beban 86 A dan panjang penyulang yang terlampaui panjang yaitu sebesar $\pm 420,71$ kms dan, maka dari itu dilakukan pemecahan beban penyulang dengan pembangunan SKTM ± 11 kms untuk memperpendek layanan penyulang dan dapat menurunkan susut daya teknis serta perbaikan tegangan ujung Jaringan Tegangan Menengah (JTM), dalam pelaksanaannya dilakukan analisa menggunakan pemodelan di aplikasi ETAP versi 19.0.1 dengan skema sebelum dan sesudah pemecahan beban. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebelum dilakukan pemecahan beban, susut daya teknis pada Penyulang Pinus sebesar 0,111 MW. Setelah dilakukan pemecahan beban, susut daya teknis menurun menjadi 0,093 MW, sehingga terjadi penurunan sebesar 0,018 MW. dan menghasilkan penghematan energi sebesar 432 kWh per hari, yang jika dikonversi ke dalam nilai ekonomi mencapai Rp604.800 per hari. Selain itu, pemecahan beban juga berdampak terhadap peningkatan tegangan pada JTM. Tegangan ujung meningkat dari 19,29 kV ke 19,41 kV di Desa Hauagong dan di Simarigung dari 19,97 kV ke 20,24 kV. Selisih tegangan antara simulasi dan pengukuran lapangan sangat kecil, yaitu 0,04 kV (0,19%) dan 0,01 kV (0,04%) sehingga simulasi dianggap representative

Kata Kunci : Pemecahan Beban, Susut Daya Teknis, Tegangan Ujung

ABSTRACT

The Pinus Feeder is a feeder that serves customers of PT PLN (Persero) ULP Dolok Sanggul which has a load of 86 A and a feeder length that is too long, namely ± 420.71 kms and, therefore, the feeder load is broken down by building a ± 11 kms SKTM to shorten the feeder service and can reduce technical power losses and improve the voltage at the end of the Medium Voltage Network (JTM), in its implementation an analysis is carried out using modeling in the ETAP application version 19.0.1 with a scheme before and after load breaking. The simulation results show that before the load breaking, the technical power loss at the Pinus Feeder is 0.111 MW. After the load breaking, the technical power loss decreases to 0.093 MW, resulting in a decrease of 0.018 MW. and results in energy savings of 432 kWh per day, which if converted into economic value reaches Rp604,800 per day. In addition, load breaking also has an impact on increasing the voltage at the JTM. The tip voltage increased from 19.29 kV to 19.41 kV in Hauagong Village and from 19.97 kV to 20.24 kV in Simarigung. The voltage difference between the simulation and field measurements was very small, namely 0.04 kV (0.19%) and 0.01 kV (0.04%), so the simulation is considered representative.

Keywords: Load Breaking, Technical Power Loss, End Voltage

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT PLN (Persero) sebagai perusahaan yang bergerak di sektor kelistrikan di Indonesia memiliki tanggung jawab besar untuk memastikan tersedianya pasokan listrik yang andal, efisien, serta merata hingga ke seluruh pelosok negeri. Listrik sendiri telah menjadi kebutuhan pokok masyarakat modern, tidak hanya digunakan dalam rumah tangga untuk penerangan dan peralatan elektronik, tetapi juga sebagai penunjang utama dalam aktivitas ekonomi, industri, pendidikan, serta pelayanan publik. Oleh sebab itu, kualitas penyaluran energi listrik sangat menentukan keberlangsungan pembangunan dan kesejahteraan masyarakat.

Dalam sistem kelistrikan, salah satu komponen penting yang menjadi penghubung antara pembangkit dan konsumen adalah jaringan distribusi listrik. Jaringan ini berfungsi sebagai jalur utama untuk menyalurkan energi dari pusat pembangkit menuju ke pengguna akhir. Namun demikian, dalam praktik operasionalnya, jaringan distribusi kerap menghadapi berbagai permasalahan teknis yang dapat memengaruhi efisiensi penyaluran energi. Beberapa masalah yang sering terjadi di antaranya adalah ketidakstabilan tegangan, penurunan keandalan jaringan, serta meningkatnya angka susut daya. Kondisi tersebut tidak hanya berdampak pada konsumen berupa kualitas layanan listrik yang kurang optimal, tetapi juga memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi operasional perusahaan penyedia listrik itu sendiri.

Pada lingkup Unit Layanan Pelanggan (ULP) Dolok Sanggul, PT PLN (Persero) menggunakan penyulang Pinus sebagai salah satu jaringan distribusi untuk melayani kebutuhan listrik masyarakat. Akan tetapi, penyulang tersebut memiliki panjang jalur yang relatif besar, yaitu mencapai $\pm 420,71$ km. Panjang jaringan yang terlalu besar menyebabkan efektivitas penyaluran daya menjadi rendah. Hal ini dibuktikan dengan besarnya nilai susut teknis yang tercatat mencapai 0,111 MW pada jaringan tersebut. Tingginya angka susut daya ini jelas

memberikan tantangan tersendiri, baik dalam aspek teknis maupun dalam upaya menjaga efisiensi operasional. Beberapa cara yang dapat dilakukan sebagai upaya penurunan susut teknis jaringan antara lain memperbaiki/ pengaturan tegangan system, memperbesar ukuran penghantar, pemecahan beban penyulang/ manajemen beban penyulang, dan penyeimbangan beban. Untuk perbaikan yang dilakukan pada penyulang pinus yaitu pemecahan beban penyulang dengan membangun jaringan penyulang baru sebagai penyulang penampung sebagian beban dari penyulang pinus karena mengingat panjangnya jaringan layanan penyulang yang besar, Sehingga tujuan pemecahan beban untuk membuat jalur yang lebih pendek dan beban menjadi lebih kecil merata, sehingga dapat mengurangi banyak tingkat susut daya dan energy sekaligus meningkatkan keandalan sistem jaringan.

Akan tetapi, pengaplikasian strategi semacam ini perlu analisis lebih lanjut guna mengetahui tingkat efektivitasnya. Maka, dilakukanlah penelitian ini untuk menganalisis nilai perbaikan dan dampak pemecahan beban penyulang pinus terhadap susut teknis jaringan dengan menggunakan simulasi aplikasi ETAP 19.0.1. Kemudian, penelitian ini juga dapat menjadi pertimbangan yang baik dalam pola operasi untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas layanan listrik di wilayah ULP Dolok Sanggul.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijabarkan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa besar penurunan susut daya teknis sesudah dilakukan pemecahan beban berdasarkan simulasi ETAP 19.0.1 pada Penyulang Pinus?
2. Berapa saving (kwh & rupiah) dari penurunan susut daya teknis tersebut?
3. Berapa kenaikan tegangan ujung akibat pemecahan beban berdasarkan simulasi ETAP 19.0.1 pada Penyulang Pinus ?
4. Berapa selisih tegangan ujung hasil simulasi ETAP 19.0.1 dengan tegangan TM pengukuran dilapangan?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui penurunan susut teknis sesudah dilakukan pemecahan beban berdasarkan simulasi ETAP 19.0.1 pada Penyulang Pinus
2. Mengetahui saving (kwh & rupiah) dari penurunan susut teknis akibat dari pemecahan beban pada penyulang Pinus.
3. Mengetahui nilai kenaikan tegangan ujung akibat pemecahan beban berdasarkan simulasi ETAP 19.0.1 pada Penyulang Pinus.
4. Mengetahui perbandingan tegangan ujung hasil simulasi ETAP 19.0.1 dengan tegangan TM pengukuran dilapangan.

1.4. Manfaat Penelitian

Adanya penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi penting bagi penyedia layanan listrik untuk meningkatkan penjualan kwh sistem distribusi di wilayah Dolok Sanggul.
2. Mendukung optimalisasi pengelolaan penyulang dengan strategi pemecahan beban untuk mengurangi susut jaringan.
3. Menjadi referensi dan analisa dalam pengambilan keputusan terkait pengembangan infrastruktur distribusi di ULP Dolok Sanggul.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang juga menganalisis pemecahan beban. Di antaranya yakni penelitian oleh Wahyu Belfias dkk dengan topik pemecahan beban penyulang di Rayon Koba yang berorientasi pada perbaikan tegangan dan susut. Pada penelitian tersebut penulis menggunakan aplikasi ETAP sebagai penentu lokasi pemecahan beban. Penulis menyimpulkan bahwa pada kasus di lokasi penelitian harus dilakukan pecah beban untuk menaikkan tegangan pada ujung penyulang. Hal ini disebabkan dalam kondisi sebelum pecah beban tegangan ujung pada penyulang KB 5 sebesar 17,9 kV yang dinilai belum memenuhi standar nilai dari PLN. Sedangkan dari PLN sendiri memiliki standar dengan nilai maksimal 5% lebih besar dari 20kV yakni 21 kV dan minimal 5% lebih kecil dari 20 kV yaitu 19 kV. Dari hasil tersebut, maka diperlukan pemecahan beban untuk dapat memenuhi standar PLN. Kemudian ditemukan bahwa keandalan pada penyulang KB6 dikatakan bisa semakin membaik apabila penyulang tidak dibangun terlalu panjang. Hal tersebut merupakan pilihan yang tepat untuk perbaikan dengan pembangunan penyulang dan juga memperbaiki tegangan penyulang KB5 menjadi 19,0 kV serta KB6 menjadi 19,4 kV (Wahyu Belfias, 2017).

Penelitian selanjutnya yakni oleh Abdul Aziz dkk dengan analisis pemecah beban penyulang untuk menurunkan jatuh tegangan. Penelitian yang dilakukan pada 2024 tersebut mengambil lokasi di Palembang dengan mengamati Gardu Induk Kenten sebagai objek penelitian. Dari penelitian tersebut dihasilkan simpulan bahwa pemecahan beban dengan memperpendek penyulang dilakukan sebagai upaya untuk memperkecil jatuh tegangan. Hal tersebut dianalisis dengan perhitungan penghantar semakin pendek maka nilai resistansi dan reaktansi penghantar menjadi turun nilainya, maka jatuh tegangan yang terjadi pada penghantar akan semakin kecil (Abdul Azis, 2024).

Penelitian yang bisa dijadikan sebagai contoh penerapan metode yang sama yakni penelitian oleh Irnanda Priyadi dkk tahun 2023. Penelitian tersebut menganalisis pengaruh hasil dari penambahan penyulang dan pemisahan beban terhadap susut daya dengan metode *Simple Branch Exchange*. Dapat dipahami bahwa penambahan *Express Feeder* dan pemecahan beban dapat menurunkan susut ULP Lima Puluh dari 1.955 kW turun hingga 470.5 kW dan susut energi dari 5.864.112 kWh menjadi 1.522.764 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan penyulang di ULP Lima Puluh dapat menekan angka susut daya dan energi dengan menggunakan metode *simple branch exchange* (Irnanda Priyadi, 2021)

Dari beberapa penelitian yang memiliki kesamaan, terdapat perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian lain. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini lebih menitikberatkan pada pengaruh pemecahan beban terhadap susut beban serta keandalan dan energi tak tersalurkan akibat gangguan. Sedangkan dari penelitian serupa yang berorientasi pada pemecahan beban lebih berfokus hanya pengaruh pemecahan beban yang menunjukkan bahwa pemecahan beban baik digunakan untuk menekan susut jaringan.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Teori Dasar Listrik

Bahan listrik

1. Konduktor adalah suatu bahan yang dapat menghantarkan listrik atau bahan yang ikatan electron-elektronnya terhadap inti atom sangat lemah dan dapat dikatakan mempunyai banyak muatan electron bebasnya.
2. Isolator adalah suatu bahan yang tidak dapat/ sulit menghantarkan listrik atau bahan dimana ikatan electron-elektron terhadap inti atomnya kuat sekali dan apabila diberi energy dari luar sulit untuk melepaskan ikatannya.

Listrik AC (Alternating Current)

Listrik AC adalah Arus listrik yang arah alirannya berubah-ubah secara periodik terhadap waktu dan mempunyai dua arah gelombang atau lebih di kenal dengan sebutan arus bolak-balik yang tidak memiliki sisi negatif, dan hanya mempunyai ground (bumi). Arus AC biasa di gunakan untuk tegangan listrik PLN sebesar misalnya 220 Volt 50-60 Hz yang merupakan tegangan standard untuk Indonesia, beda halnya dengan standard Tegangan untuk Negara lainnya. Oleh karena itu belum tentu elektronika-elektronika yang ada di indonesia dapat dioperasikan di negara lain, seperti misalnya TV buatan indonesia untuk di konsumsi di Indonesia nah kali kita bawa ke negara lain belum tentu bisa dioperasikan, di karnakan beda untuk tegangan jala-jala listriknya.

Elemen Komponen pada Listrik AC:

1. Resistor (R)

Elemen ini menerima energi dengan cara menyerap sehingga menimbulkan panas. Sering juga disebut dengan tahanan, hambatan, penghantar, atau resistansi dimana resistor mempunyai fungsi sebagai penghambat arus, pembagi arus, dan pembagi tegangan. Nilai resistor tergantung dari hambatan jenis bahan resistor itu sendiri (tergantung dari bahan pembuatnya), panjang dari resistor itu sendiri dan luas penampang dari resistor itu sendiri.

Secara matematis:

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots 2.1$$

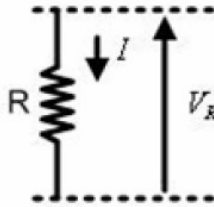
dimana :

ρ = hambatan jenis

L = panjang dari resistor

A = luas penampang

Satuan dari resistor: Ohm (Ω)



Gambar 2.1 Simbol Resistor

2. Kapasitor (C)

Sering juga disebut dengan kondensator atau kapasitansi. Mempunyai fungsi untuk membatasi arus DC yang mengalir pada kapasitor tersebut, dan dapat menyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Nilai suatu kapasitor tergantung dari nilai permitivitas bahan pembuat kapasitor, luas penampang dari kapasitor tersebut dan jarak antara dua keping penyusun dari kapasitor tersebut.

Secara matematis:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \dots\dots\dots 2.2$$

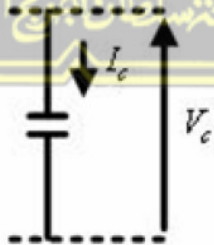
dimana :

ϵ = permitivitas bahan

A = luas penampang bahan

d = jarak dua keping

Satuan dari kapasitor : Farad (F)



Gambar 2.2 Simbol kapasitor

Komponen kapasitor menimbulkan beban kapastif pada rangkaian listrik membuat arus mendahului (leading) tegangan., nilai reaktansi kapasitif dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f} \dots\dots\dots 2.3$$

dimana :

X_C = reaktansi kapasitif (Ohm)

$\pi = 3,14$

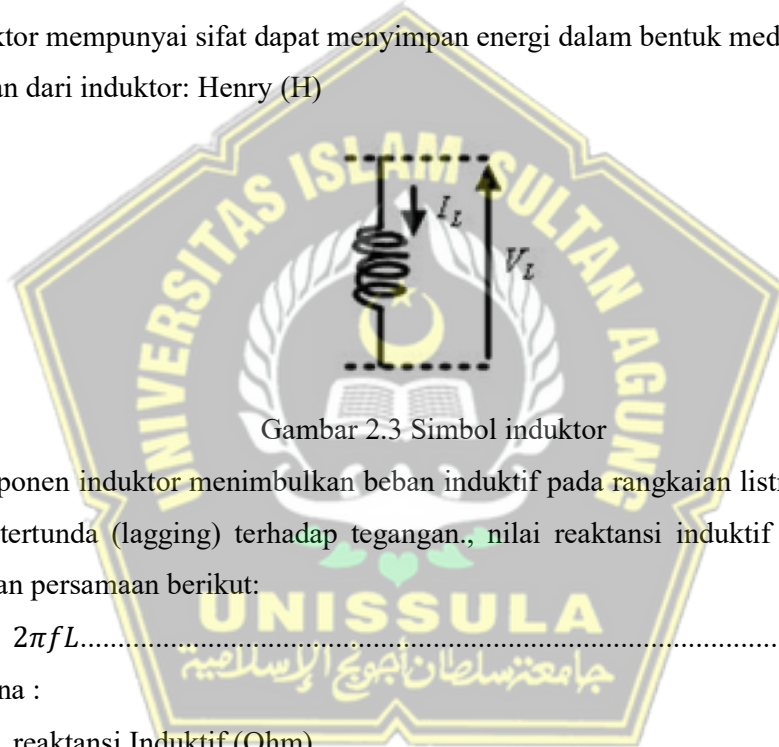
f = Frekuensi (Hz)

C = kapasitansi (F)

3. Induktor (L)

Seringkali disebut sebagai induktansi, lilitan, kumparan, atau belitan. Pada induktor mempunyai sifat dapat menyimpan energi dalam bentuk medan magnet.

Satuan dari induktor: Henry (H)



Gambar 2.3 Simbol induktor

Komponen induktor menimbulkan beban induktif pada rangkaian listrik membuat arus tertunda (lagging) terhadap tegangan., nilai reaktansi induktif dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$X_L = 2\pi fL \dots\dots\dots 2.4$$

dimana :

X_L = reaktansi Induktif (Ohm)

$\pi = 3,14$

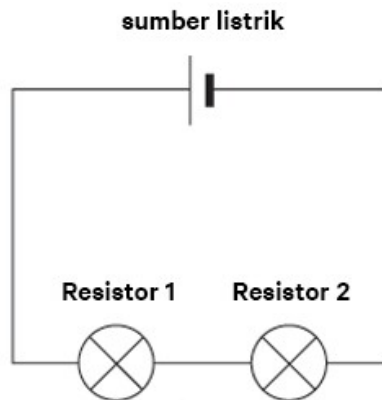
f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (H)

Jenis-Jenis Rangkaian Listrik

1. Rangkaian Seri

Rangkaian seri adalah rangkaian listrik yang hambatannya disusun secara berurutan dalam satu jalur, atau seperti gambar berikut:



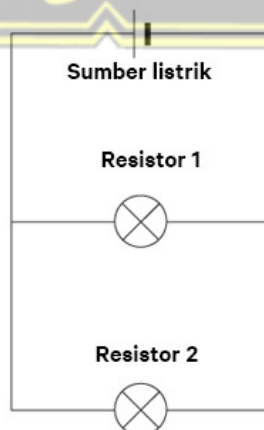
Gambar 2.4 Rangkaian Seri

Pada rangkaian seri kuat arus (I) akan mengalir dari sumber listrik yang ada dari satu hambatan ke hambatan lain melewati satu kabel saja. Arus listrik yang melewati hambatan 1 nilainya akan sama besar dengan arus yang melewati hambatan 2, sedangkan tegangan yang mengalir di hambatan 1 tidak sama dengan yang ada di hambatan 2 tetapi apabila seluruh tegangan yang ada di hambatan pada rangkaian itu dijumlahkan hasilnya akan sama dengan tegangan yang ada di sumber, sehingga hambatan totalnya dapat dicari dengan persamaan:

$$R_{Tot} = R_1 + R_2 + R_3 \dots \dots \dots 2.5$$

2. Rangkaian Paralel

Rangkaian paralel adalah rangkaian di mana komponen dipasang bercabang, sehingga arus bisa melewati lebih dari satu jalur



Gambar 2.5 Rangkaian Paralel

Pada rangkaian parallel kuat arus listrik yang diterima oleh hambatan 1 dan hambatan 2 tidak akan sama. Namun kuat arus sumber listriknya akan sama dengan jumlah dari seluruh kuat arus semua hambatan, di sisi lain tegangan yang ada pada hambatan 1 dan hambatan 2 akan bernilai sama besar, sehingga rumus hambatan total pada rangkaian parallel sebagai berikut:

$$\frac{1}{R_{Tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{...}} \dots\dots\dots 2.6$$

3. Rangkaian Campuran (Seri-Paralel)

Rangkaian campuran atau bisa disebut sebagai rangkaian seri-paralel adalah kombinasi dari rangkaian seri dan rangkaian parallel.



Gambar 2.6 Rangkaian Campuran

Dalam rangkaian campuran sebagian komponen dihubungkan secara seri dan sementara komponen lainnya dihubungkan secara paralel. Sehingga sifat-sifat dari kedua jenis rangkaian tersebut dapat digunakan dalam satu system tersebut.

Hukum Ohm

Hukum Ohm menyatakan bahwa besar kuat arus listrik yang mengalir melalui suatu penghantar akan berbanding lurus dengan beda potensial (tegangan) pada ujung-ujung penghantar tersebut, dan berbanding terbalik dengan hambatan penghantar tersebut, asalkan suhu penghantar tetap. Secara matematis:

$$V = I \times R \dots\dots\dots 2.7$$

dimana :

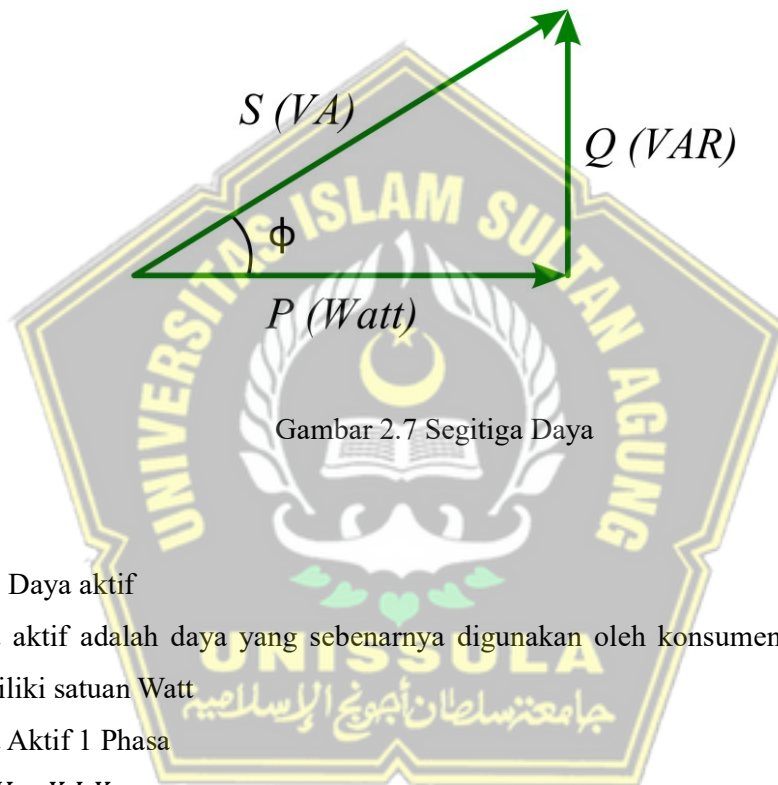
V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Resistansi/ Hambatan (Ohm)

Daya

Daya merupakan jumlah energi listrik tiap satuan waktu. Daya listrik dibagi menjadi tiga, yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu. Berikut adalah penjelasan dari ketiga daya tersebut. Ketiga daya ini digambarkan dengan segitiga daya.



Gambar 2.7 Segitiga Daya

1) Daya aktif

Daya aktif adalah daya yang sebenarnya digunakan oleh konsumen. Daya aktif memiliki satuan Watt

Daya Aktif 1 Phasa

$$P = V_{LN} \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots 2.8$$

Daya Aktif 3 Phasa

$$P = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots 2.9$$

dimana :

P = Daya aktif (Watt)

V_{LN} = Tegangan phasa to Netral (Volt)

V_{LL} = Tegangan phasa to phasa (Volt)

I = Arus (Ampere)

φ = Sudut Phase

2) Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet.

Daya aktif diberi simbol Q , sedangkan satuan daya reaktif adalah VAR (Volt Ampere Reactive)

Daya Reaktif 1 Phasa

$$Q = V_{LN} \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots 2.10$$

Daya Reaktif 3 Phasa

$$Q = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots 2.11$$

dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

V_{LN} = Tegangan phasa to Netral (Volt)

V_{LL} = Tegangan phasa to phasa (Volt)

I = Arus (Ampere)

φ = Sudut Phase beban

3) Daya Semu

Daya semu merupakan daya yang dibangkitkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik. Daya semu diberi simbol S dan memiliki satuan VA (Volt Ampere)

Daya Semu 1 Phasa

$$S = V_{LN} \times I \dots\dots\dots 2.12$$

Daya Semu 3 Phasa

$$S = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \dots\dots\dots 2.13$$

dimana :

S = Daya semu (VA)

V_{LN} = Tegangan phasa to Netral (Volt)

V_{LL} = Tegangan phasa to phasa (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.2.2. Sistem Distribusi

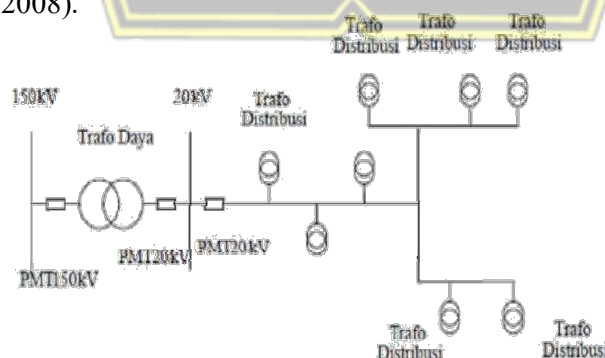
Dalam sistem tenaga listrik, salah satu komponen pentingnya adalah sistem distribusi yang berfungsi sebagai pemasok tenaga listrik kepada konsumen. Pendistribusian dapat menghasilkan tenaga listrik sebesar 11-22 kV yang dirubah tegangannya melalui gardu induk (GI) dengan transformator *step up* menjadi 70 kV, 150 kV, 220 kV atau 500 kV lalu ditransmisikan kepada konsumen melalui saluran sistem transmisi.

Terdapat dua bagian jaringan distribusi yaitu jaringan tegangan menengah (JTM) / primer dan jaringan tegangan rendah (JTR)/ sekunder. Jaringan primer berfungsi untuk mengalirkan energi listrik dari GI sub transmisi menuju gardu distribusi. Jaringan tersebut memakai tiga sampai empat kawat hantaran untuk tiga fasa. Sementara jaringan sekunder berfungsi untuk menyalurkan energy listrik dari gardu distribusi kepada pelanggan. Jaringan tersebut ada di antara trafo distribusi dan Alat Pembatas Pengukuran (APP) pelanggan dengan memakai hantaran udara telanjang/ kabel berisolasi dengan system tiga fasa empat kawat.

Jaringan sistem distribusi JTM (Primer 20 kV) diklasifikasikan 5 variasi terdiri dari jaringan hantaran penghubung (Tie Line), jaringan radial, jaringan spindel, jaringan lingkaran (loop), dan sistem gugus/ kluster (Suhadi, 2008).

1. Jaringan Radial

Jaringan radial adalah jaringan sistem distribusi paling simpel dan murah. Pada jaringan ini gardu distribusi dipasok beberapa penyulang secara radial (Suhadi, 2008).



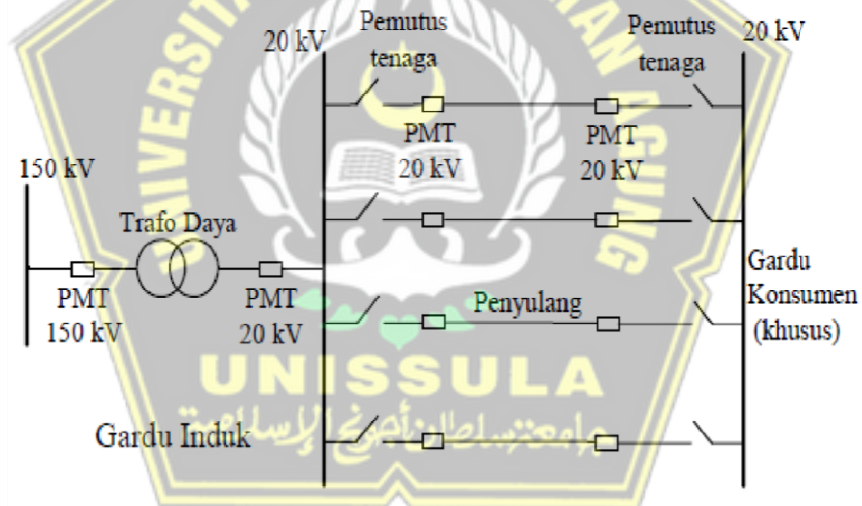
Gambar 2.8 konfigurasi radial

Sumber :(Suhadi, 2008)

Akan tetapi, mempunyai kekurangan pada system keandalan yang lebih rendah. Hal tersebut disebabkan karena penyulang supply nya satu untuk memasok gardu distribusi. Sehingga apabila penyulang utama terdapat gangguan ataupun pemeliharaan, maka seluruh gardu terdampak pemadaman. Selain itu, kurangnya kualitas tegangan di gardu distribusi pada posisi bagian paling ujung kurang baik. Karena mengalami jatuh tegangan dengan nilai terbesar factor dari letaknya di ujung saluran (Suhadi, 2008).

2. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi Hantaran Penghubung biasanya diperuntukkan bagi pelanggan penting yang kebutuhan listriknya tidak boleh terhenti, biasa dipakai di tempat umum seperti objek vital, bandara, dan lain sebagainya. (Suhadi, 2008)



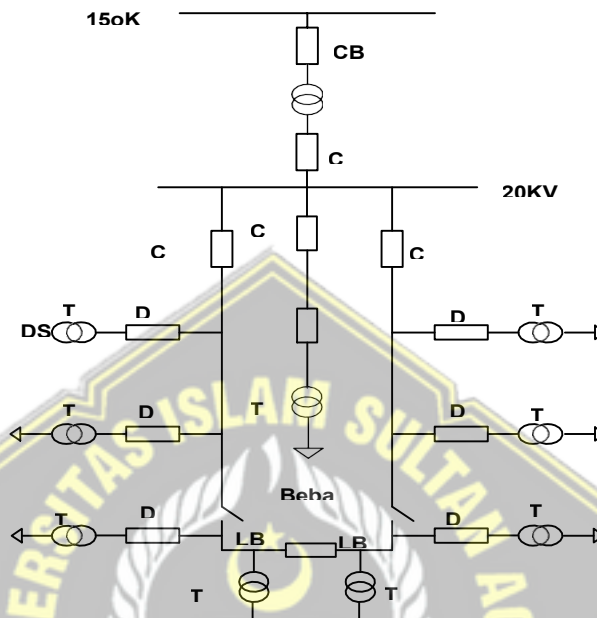
Gambar 2.9 konfigurasi Tie line

Sumber : (Suhadi, 2008)

3. Jaringan Loop

Jaringan jenis ini masuk dalam jaringan primer yang terdiri dari dua jenis jaringan radial yang dipasang PMT pada kedua jaringannya. Jenis jaringan ini bekerja secara radial saat normal dan bisa dioperasikan saat terjadi gangguan, sehingga gangguan dapat terisolir. Penyaluran jenis ini lebih baik untuk

penyaluran tenaga listrik apabila dibandingkan dengan tipe radial. Namun kekurangannya, memerlukan biaya investasi yang lebih besar (Suhadi, 2008)

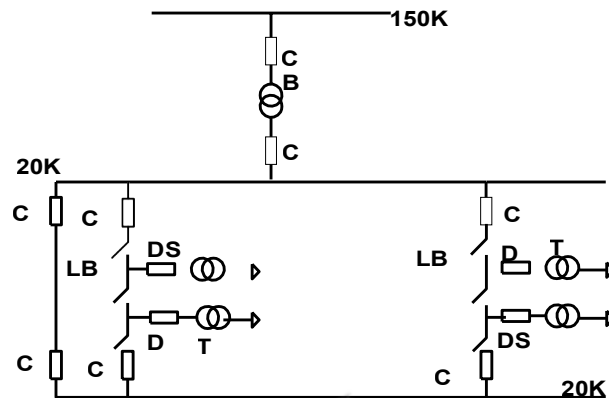


Gambar 2.10. konfigurasi jaringan loop

Sumber : (Suhadi, 2008)

4. Jaringan Spindel

Sistem jaringan spindle merupakan sistem jaringan perpaduan dari jaringan radial dan rangkaian terbuka (open loop) dengan letak titik beban yang berpadu alternatif penyulang. Sehingga jika salah satu penyulang terganggu, penyulang lain dapat segera menggantikan. Maka, keberlanjutan penyaluran energi terjamin. Gardu tengah yang berfungsi sebagai titik manufer pada bagian tengahnya dipasang saat terjadi gangguan jaringan (Bambang Winardi, Agung Warsito, and Meigy Restanaswari Kartika, 2015)

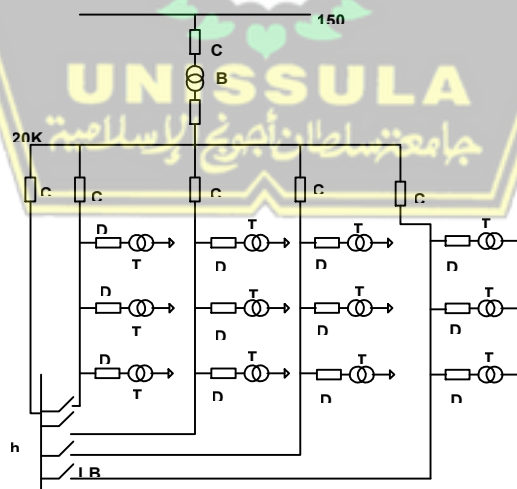


Gambar 2.11 konfigurasi spindel

Sumber : (Suhadi, 2008)

5. Sistem Cluster

Sama dengan spindle, sistem jaringan ini juga mempunyai kesamaan. Perbedaannya pada gardu hubung atau gardu *switching* sistem cluster tidak diperlukan, sehingga *express feeder* dapat dihubungkan ke tiap jaringan. Saat terjadi gangguan salah satu bagian jaringan, *Express feeder* digunakan sebagai titik manuver (Suhadi, 2008)



Gambar 2.12 Skema jaringan cluster

Sumber : (Suhadi, 2008)

2.2.3. Jatuh Tegangan pada Jaringan

Jatuh tegangan merupakan penurunan nilai tegangan pada satu penghantar antara tegangan kirim dengan tegangan terima. Besar jatuh tegangan berbanding terbalik dengan luas penampang dan berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban. Tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh V pada penghantar semakin besar jika arus I di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar R_l semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan.

Penyebab Jatuh Tegangan, yaitu

1. Besarnya arus melalui pengantar, semakin tinggi arus maka semakin besar jatuh tegangan.
2. Impedansi konduktor - semakin besar impedansi, semakin besar jatuh tegangan. Impedansi konduktor dipengaruhi oleh jenis material penghantar, ukuran penghantar dan panjang penghantar.

Besar jatuh tegangan dirumuskan sebagai berikut

$$\Delta V = V_S - V_R \dots\dots\dots 2.14$$

$$\Delta V (\%) = \frac{\Delta V}{V_S} \times 100\% \dots\dots\dots 2.15$$

dimana:

ΔV = Jatuh Tegangan (Volt)

V_S = Tegangan kirim pangkal Gardu Induk (Volt)

V_R = Tegangan diterima diujung jaringan (Volt)

Perhitungan jatuh tegangan dengan rumus pendekatan

Dalam perhitungan jatuh tegangan secara eksak dalam sebuah penyulang melibatkan bilangan kompleks seperti yang telah disebut diatas dan sejumlah cabang atau lateral yang melayani beban listrik, maka diperlukan perhitungan yang tidak sederhana dan cukup lama, karena harus memperhitungkan bilangan real dan imajiner. Sering secara praktis dilapangan diinginkan perhitungan yang sederhana dan cepat tanpa melibatkan bilangan imajiner, sehingga hasil perhitungan menjadi lebih mudah, perhitungan seperti ini disebut sebagai metode pendetakan perhitungan jatuh tegangan. Dibawah ini formula pendekatan yang umum digunakan untuk menghitung jatuh tegangan saluran daya listrik secara cepat dengan mengabaikan bilangan imajiner:

$$\begin{aligned}
 V_D &= (I\angle -\phi)(Z\angle\phi) \\
 &= (I \cos \phi - j I \sin \phi) (R + jX) \\
 &= (IR \cos \phi + j IX \cos \phi - j IR \sin \phi + IX \sin \phi) \\
 &= (IR \cos \phi + IX \sin \phi) \dots\dots\dots 2.16
 \end{aligned}$$

dimana:

I = Arus (Ampere)

R = Resistansi Saluran (Ohm)

X = Reaktansi Saluran (Ohm)

ϕ = Sudut Phase beban

2.2.4. ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) adalah perangkat lunak yang digunakan dalam sistem tenaga listrik yang mampu bekerja secara daring dan luring. Secara luring, ETAP digunakan untuk menstimulasi tenaga listrik. Sedangkan secara daring, ETAP digunakan untuk pengendali sistem dengan data real time. Selain itu digunakan sebagai desain/perencanaan sistem kelistrikan yang ada di suatu Industri atau Wilayah. Software ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa yang sangat membantu untuk mempermudah pekerjaan.

Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP antara lain :

- a. Analisa aliran daya (Load Flow)
- b. Analisa hubung singkat (Short Circuit)
- c. Arc Flash Analysis
- d. Analisa kestabilan transien, dll.

Dalam menganalisa sistem tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (single line diagram) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, busbar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah. ETAP memiliki 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, ANSI dan IEC. Pada dasarnya perbedaan yang terjadi di antara kedua standar tersebut adalah frekuensi yang digunakan, yang berakibat pada perbedaan spesifikasi peralatan yang sesuai dengan frekuensi tersebut. Simbol elemen listrik yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan ETAP pun berbeda.

Load flow atau aliran daya bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi transmisi pada aliran daya dan juga mempelajari adanya tegangan jatuh di sisi beban. Aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik secara garis besar adalah suatu peristiwa daya yang mengalir berupa daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran atau jaringan transmisi hingga sampai ke sisi beban (sisi penerima). Pada kondisi ideal, maka daya yang diberikan oleh sisi pengirim akan sama dengan daya yang diterima beban. Namun pada kondisi real,

daya yang dikirim sisi pengirim tidak akan sama dengan yang diterima beban. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal:

1. Impedansi di saluran transmisi. Impedansi di saluran transmisi dapat terjadi karena berbagai hal dan sudah mencakup resultan antara hambatan resistif, induktif dan kapasitif. Hal ini yang menyebabkan rugi-rugi daya karena terkonversi atau terbuang menjadi energi lain dalam transfer energi.
2. Tipe beban yang tersambung jalur.

Ada 3 tipe beban, yaitu resistif, induktif, dan kapasitif. Resultan antara besaran hambatan kapasitif dan induktif akan mempengaruhi P.F. sehingga mempengaruhi perbandingan antara besarnya daya yang ditransfer dengan yang diterima. Sedangkan untuk melakukan kalkulasi aliran daya, terdapat 3 metode yang biasa digunakan:

1. Accelerated Gauss-Seidel Method
Hanya butuh sedikit nilai masukan, tetapi lambat dalam kecepatan perhitungan
2. Newton Raphson Method
 - Cepat dalam perhitungan tetapi membutuhkan banyak nilai masukan dan parameter
 - First Order Derivative digunakan untuk mempercepat perhitungan.
3. Fast Decoupled Method
 - Dua set persamaan iterasi, antara sudut tegangan, daya reaktif dengan magnitude tegangan
 - Cepat dalam perhitungan namun kurang presisi
 - Baik untuk sistem radial dan sistem dengan jalur panjang



Gambar 2.13 Elemen standar ANSI

Beberapa elemen yang digunakan dalam suatu diagram saluran tunggal adalah:

a. Generator

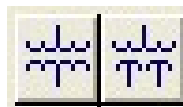
Merupakan mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tenaga listrik.



Gambar 2.14 Simbol Generator di ETAP

b. Transformator

Berfungsi untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan dengan rasio tertentu sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik.



Gambar 2.15 Simbol Transformator di ETAP

c. Pemutus Rangkaian

Merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek.



Gambar 2.16 Simbol Pemutus Rangkaian di ETAP

d. Beban

Pada ETAP terdapat dua macam beban, yaitu beban statis dan beban dinamis.



Gambar 2.17 Simbol Beban Statis di ETAP

2.2.5. Rugi Daya Pada Distribusi Listrik

Proses tidak ideal dalam pendistribusian tenaga listrik kepada konsumen sering terjadi yang menyebabkan rugi daya atau susut. Susut merupakan bentuk berkurangnya jumlah energi listrik yang tersedia dengan jumlah yang terjual. Susut dapat dibedakan menjadi susut teknis dan nonteknis. Susut teknis terjadi apabila energi listrik yang dibangkitkan dalam proses penyaluran berubah dan hilang. Hal ini disebabkan terjadinya energi panas dan tahanan dari penghantar yang dialiri arus saat disalurkan, sehingga timbul rugi teknis. Sedangkan susut nonteknis terjadi saat energi listrik yang dikonsumsi pelanggan maupun nonpelanggan hilang. Hal ini disebabkan oleh energi listrik yang dikonsumsi hilang karena tidak tercatat dalam penjualan akibat kerusakan atau ketidakakuratan alat ukur dan sambungan ilegal dan aliran listrik.

Rugi daya atau susut dapat dibedakan menjadi dua, yakni rugi teknik dan rugi nonteknis. Rugi teknis terjadi apabila kualitas dan bahan dari material/peralatan listrik mengandung unsur resistif dan reaktif. Sedangkan Rugi

nonteknis adalah susut yang disebabkan oleh kesalahan hasil baca meter, kesalahan dalam input data, pencurian, dan lain-lain yang bukan disebabkan karena sifat dan bahan material atau peralatan listrik.

Perhitungan Losses Teknik

Pada penghitungan losses teknik data-data aset per unit diperlukan single line diagram dan data saluran tegangan menengah yang dibutuhkan. Hal tersebut meliputi tipe penyulang, jenis konduktor, jumlah/jenis fasa, lokasi penyulang dan ukuran penampang penghantar.

Arus beban yang mengalir di dalam konduktor yang mempunyai parameter rangkaian resistansi (R) dan reaktif (X) yang akan menimbulkan rugi-rugi aktif I^2R (Watt) dan rugi-rugi reaktif I^2X (VAR) dapat menyebabkan rugi dalam jaringan tegangan menengah (JTM). Sedangkan pemakaian selalu berubah-ubah selama 24 jam yang dapat digambarkan dengan kurva beban harian. Maka, arus beban akan berubah mengikuti kurva harian, sehingga arus bebanpun juga akan ikut berubah mengikuti kurva beban harian, sehingga rugi-rugi daya dapat ditulis sebagai persamaan

$$P = 3 \times I^2 \times R \dots\dots\dots 2.17$$

Sehingga rugi-rugi energi Listrik bisa dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$W = P \times t \dots\dots\dots 2.18$$

Ket:

P = Susut Daya (Watt)

I = Arus (Ampere)

R = Hambatan (Ohm)

W = Susut Energi (Watt hour)

t = Waktu (hour)

2.2.5. Perbaikan susut daya listrik

Berbagai usaha dilakukan untuk meminimalkan nilai jatuh tegangan dan rugi daya pada jaringan penyaluran dalam sistem distribusi listrik. Hal tersebut

merupakan upaya untuk memperkecil kerugian perusahaan dan kerugian atas pihak pelanggan terhadap kualitas listrik. Beberapa langkah upaya memperbaiki susut daya yang bisa dilakukan antara lain:

1. Memperbaiki tegangan sistem

Dalam sistem tenaga listrik maka jatuh tegangan salah satu masalah yang pasti terjadi dan dapat memperbesar susut daya, Oleh karena itu maka dilakukan perbaikan jatuh dengan berbagai cara antara lain:

- a) Memperbesar tegangan kirim dari GI dengan pengaturan Tap Changer Trafo Daya GI, hal ini dilakukan apabila tegangan kirim dari GI distribusi masih dalam range rendah (dibawah 21 kV), namun cara ini tetap harus diperhitungkan dengan melihat kondisi layanan penyulang pada trafo daya GI tersebut.
- b) Merubah posisi tap changer trafo distribusi. Pada saluran distribusi tentunya tegangan terima pada trafo distribusi berbeda beda sesuai dengan jarak/ lokasi trafo tersebut dari sumber, maka pengaturan tap changer trafo distribusi dapat dilakukan agar disisi tegangan rendah dapat mendapatkan nilai range tegangan yang standar ($\pm 10\%$)
- c) Pemasangan Trafo Automatic Voltage Regulator (AVR) pada jaringan, pada saluran distribusi yang memiliki konfigurasi jaringan yang panjang dan jauh dari pembangkit ataupun GI cara ini dapat dilakukan untuk menaikkan nilai tegangan
- d) Pengaturan ekstasi generator dapat mengatasi secara mudah penurunan tegangan dan pembangunan pembangkit listrik sinkron jaringan distribusi. Dalam implementasinya banyak terjadi pada suatu sistem yang memiliki jaringan distribusi yang begitu panjang. Hal ini akan mengakibatkan tegangan ujung penerima akan mengalami penurunan di bawah standar. Pembangunan pembangkit baru pada daerah dapat dilakukan sebagai upaya apabila tegangan tidak mencapai standar pelayanan. Akan tetapi perlu diketahui pula bahwa daya guna dan hasil guna menjadi pertimbangan karena biaya investasi.

2. Memperbesar ukuran penghantar

Ukuran penampang penghantar berpengaruh terhadap besarnya susut daya yang terjadi sesuai dengan persamaan rumus:

$$R \text{ (Ohm)} = \frac{\rho \times L}{A} \dots\dots\dots 2.19$$

Dimana luas permukaan penampang berbanding terbalik dengan hambatan/ resistansi penghantar sehingga semakin besar ukuran penghantar akan memperkecil hambatan pada jaringan tersebut

3. Pemecahan beban penyulang/ Manajemen beban penyulang

Pemecahan beban penyulang dilakukan dengan alasan beberapa hal antara lain : Beban penyulang yang sudah besar/ Overload ($\geq 80\%$ KHA Penghantar), Panjang penyulang yang sudah terlampaui panjang, dan pengamanan daerah layanan strategis. Pemindahan sebagian beban penyulang ke beberapa penyulang lain dapat dilakukan dalam implementasinya, atau membangun penyulang baru sebagai pemikul beban penyulang yang akan dilakukan pemecahan beban

4. Penyeimbangan beban

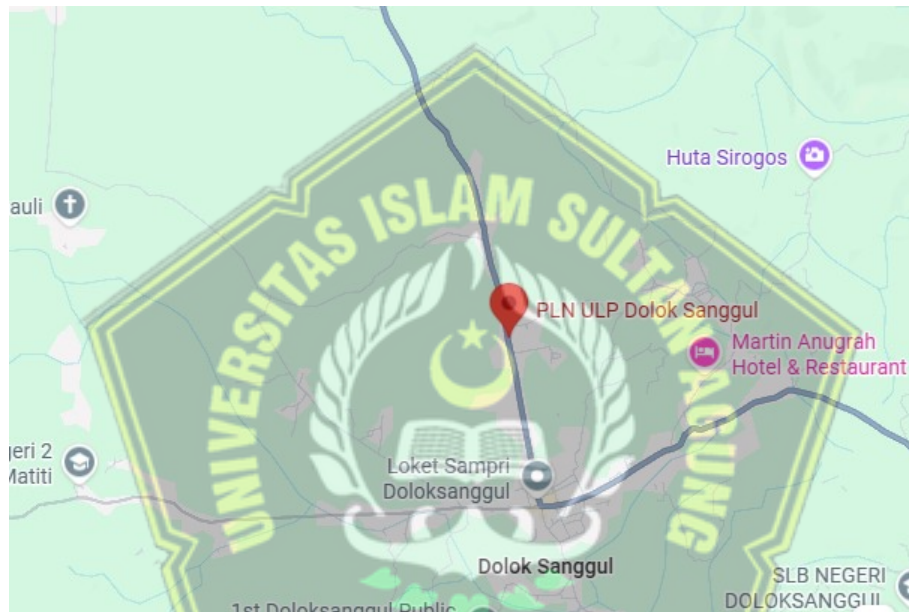
Dampak dari ketidakseimbangan beban pada masing-masing phase mempunyai pengaruh yang besar baik disisi Tegangan Menengah ataupun Tegangan Rendah, karena membuat pada netral mengalirkan arus ke grounding yang besarannya tidak terukur serta pada fasa yang memiliki beban besar akan memiliki nilai jatuh tegangan yang besar dibandingkan fasa lainnya

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

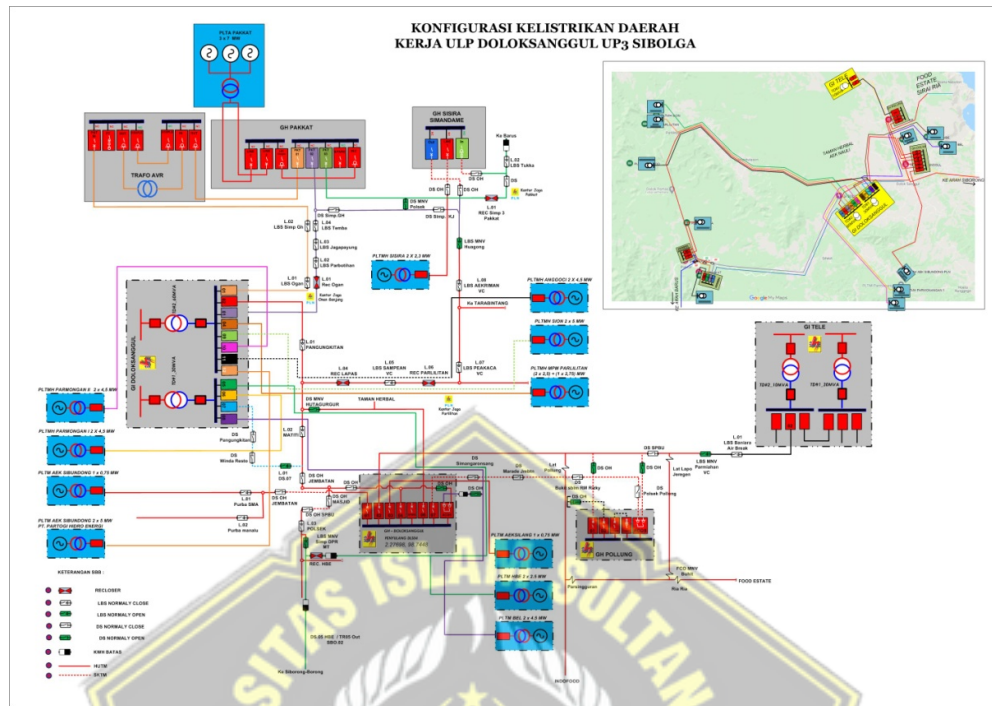
Penelitian dilakukan di wilayah kerja PLN ULP Dolok Sanggul yang berlokasi di Kecamatan Dolok Sanggul, Kabupaten Humbang Hasundutan Sumatra Utara.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian
(Sumber: Google)

3.2. Single Line Diagram Kelistrikan PLN ULP Dolok Sanggul

Penelitian yang dilakukan di PLN ULP Dolok Sanggul menggunakan objek penelitian penyulang pinus, penyulang tersebut adalah satu dari beberapa penyulang yang terdapat di PLN ULP Dolok Sanggul sebagai supply utama Gardu Hubung (GH) Dolok Sanggul dan melayani daerah pusat pemerintahan Kabupaten Humbang Hasundutan



Gambar 3.2 Single Line Diagram Kelistrikan PLN ULP Dolok Sanggul

3.3. Pendekatan Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif. Tujuannya untuk menganalisis susut teknis dan tegangan ujung pekerjaan pemecahan beban pada penyulang pinus yang ada di Dolok Sanggul. Peneliti melakukan penelitian dengan mengamati perubahan saat sebelum dan sesudah dilakukan pemecahan beban dengan aplikasi ETAP 19.0.1 sebagai simulator

3.4. Data Penelitian

Data penelitian berupa besaran susut jaringan dari saat sebelum dan sesudah dilakukan pemecahan beban penyulang Pinus di Dolok Sanggul. Selanjutnya data akan disimulasikan dengan menggunakan aplikasi ETAP untuk dianalisis susut jaringan pada penyulang Pinus.

3.5. Proses Penelitian

1. Peneliti melakukan pendataan aset penyulang Pinus di Dolok Sanggul. Kegiatan ini ditujukan untuk memperoleh besaran parameter dari data aset lapangan penyulang Pinus dengan data-data sebagai berikut:
 - a. Jumlah trafo distribusi di penyulang Pinus sejumlah 300 Unit dengan detail rincian jumlah per kapasitas trafo distribusi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Jumlah Trafo per Kapasitas Daya

No	Daya	Jumlah
1	10 kVA	2
2	16 kVA	32
3	25 kVA	123
4	50 kVA	92
5	100 kVA	34
6	160 kVA	9
7	200 kVA	5
8	250 kVA	2
9	400 kVA	1
Total		300

- b. Panjang jaringan tegangan menengah penyulang Pinus di Dolok Sanggul $\pm$ 421 kms
 - c. Beban penyulang Pinus pada saat Malam Waktu Beban Puncak (WBP) sebesar $\pm$ 86 A & pada saat Siang Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) sebesar $\pm$ 62 A
2. Membuat *single line diagram* penyulang Pinus saat sebelum pemecahan beban dengan menggunakan ETAP 19.0.1 sesuai dengan kondisi konfigurasi jaringan dan beban trafo hasil pengukuran dilapangan sebelum dilakukannya pemecahan penyulang Pinus
3. Membuat *single line diagram* penyulang setelah dilakukannya pemecahan beban dengan menggunakan ETAP 19.0.1 yang berarti terbagi menjadi 2 penyulang yaitu penyulang pinus sebagai penyulang eksisting dan penyulang Ulin sebagai penyulang baru yang menampung sebagian beban penyulang eksisting

4. Proses running Single line Diagram (SLD) yang sudah dibuat di ETAP 19.0.1
 - a) Running pertama dilakukan pada SLD dengan kondisi jaringan penyulang pinus sebelum dilakukan pemecahan beban,
 - b) Running kedua dilakukan pada SLD dengan kondisi jaringan penyulang pinus sesudah dilakukan pemecahan beban,
 - c) Running ketiga dilakukan pada SLD dengan kondisi jaringan penyulang baru ulin.
5. Pengukuran tegangan dengan voltstick dilapangan Jaringan Tegangan Menengah di desa simarigung dan hauagong pada kondisi setelah pemecahan beban
6. Hasil proses running Single line Diagram ETAP 19.0.1 pada ketiga kondisi konfigurasi jaringan didapatkan data *Load Flow Analysis & Losses* pada ketiga konfigurasi tersebut, selanjutnya melakukan perhitungan saving energy dalam bentuk kwh & rupiah, perhitungan kenaikan tegangan ujung jaringan, membandingkan dengan hasil pengukuran real tegangan dilapangan dan menganalisa hasil perbandingan simulasi ETAP sebelum & sesudah pemecahan beban untuk dapat diambil kesimpulan yang menjawab dari tujuan penelitian yang dilakukan.

3.6. Alur Penelitian

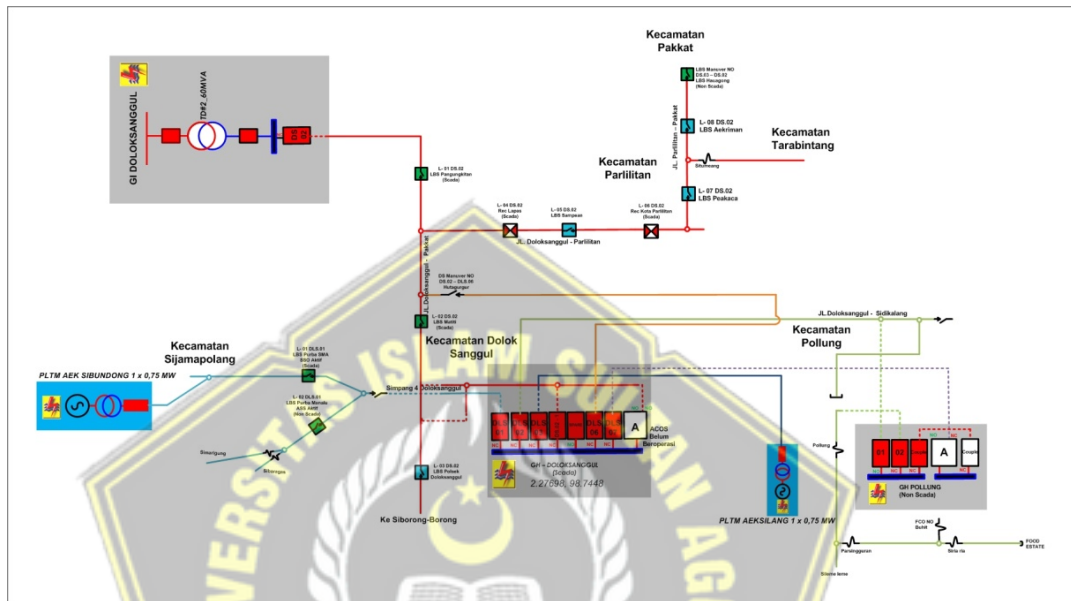


Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penyulang Sebelum Dilakukan Pemecahan Beban



Gambar 4.1 SLD Sebelum dilakukan pemecahan beban

Penyulang Pinus adalah penyulang dengan kode nama DS.02 yang merupakan salah satu dari dua belas penyulang Gardu Induk Dolok Sanggul yang dialiri dari trafo daya #2. Penyulang tersebut memiliki panjang total ± 420 kms melayani pelanggan PLN ULP (Unit Layanan Pelanggan) Dolok Sanggul pada sebagian Kabupaten Humbang Hasundutan yang terdiri dari 5 Kecamatan. Pembagian Kecamatan tersebut yaitu Kecamatan Dolok sanggul, Kecamatan Pollung, Kecamatan Sijamapolang, Kecamatan Parilitan, dan Kecamatan Tarabintang,. Penyulang Pinus merupakan supply utama GH Dolok Sanggul dan GH Pollung yang terhubung dengan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTM) Aek Sibundong 1 x 0,75 MW dan PLTM Aek Silang 1 x 0,75 MW milik PLN.

Tabel 4.1 Hasil Losses Simulasi ETAP 19.0.1 Penyulang Pinus kondisi Sebelum Pemecahan Beban

SUMMARY OF TOTAL GENERATION , LOADING & DEMAND

	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	2.814	1.121	3.029	92.90 Lagging
Source (Non-Swing Buses):	1.200	0.372	1.256	95.52 Lagging
Total Demand:	4.014	1.493	4.283	93.73 Lagging
Total Motor Load:	3.143	1.520	3.491	90.03 Lagging
Total Static Load:	0.760	0.367	0.844	90.03 Lagging
Total Constant I Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Generic Load:	0.000	0.000	0.000	
Apparent Losses:	0.111	0.394		
System Mismatch:	0.000	0.000		
Number of Iterations:	3			

$$\begin{aligned}
 \text{Persentasi susut daya (\%)} &= \frac{\text{Susut Daya}}{\text{Daya Terkirim}} \\
 &= \frac{0,111 \text{ MW}}{2,814 \text{ MW}} \\
 &= 3,9 \%
 \end{aligned}$$

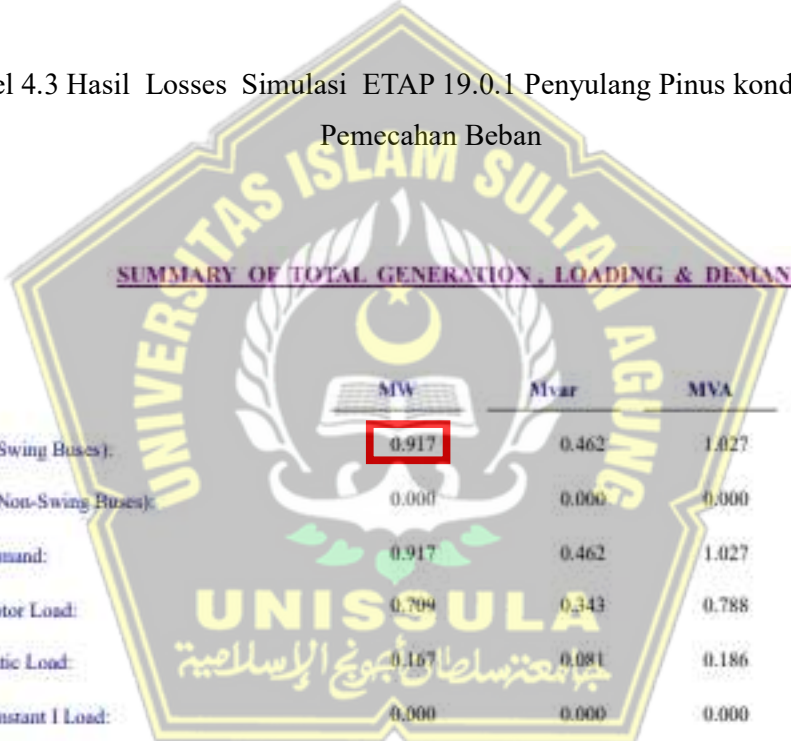
Berdasar pada hasil simulasi ETAP 19.0.1 dan perhitungan persentase susut Penyulang Pinus pada saat Sebelum Pemecahan Beban/ kondisi *existing* dengan daya kirim sebesar 2,814 MW didapatkan hasil Susut Daya/ *Losses* 0,111 MW atau sebesar 3,9% masih dalam range standart aturan SPLN Nomor 72 Tahun 1987 yakni 5 % untuk susut daya,

Penyulang	Beban (MW)	Trafo (Unit)	Panjang (kMS)	Tegangan Ujung (kV)		Losses (MW)
				Lokasi	Nilai	
SEBELUM						
DS.02 (PINUS)	2,814	300	420,71	Hauagong	19,29	0,111
				Simarigung	19,97	

33

penyulang Ulin (Penyulang Baru) dengan panjang 236 kMS dan penyulang Pinus (Penyulang *eksisting*) dengan panjang 185 kMS. Hal tersebut membuat penyulang Pinus yang semula melayani 5 kecamatan sekarang hanya melayani 2 kecamatan yaitu kecamatan parlilitan dan kecamatan tarabintang sedangkan penyulang baru Ulin melayani 3 kecamatan yaitu kecamatan Dolok Sanggul, kecamatan pollung dan kecamatan sijamapolang. Selain itu penyulang Ulin menjadi supply utama daerah perkantoran Kabupaten Humbang Hasundutan dan juga GH Dolok Sanggul

Tabel 4.3 Hasil Losses Simulasi ETAP 19.0.1 Penyulang Pinus kondisi setelah Pemecahan Beban



	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	0.917	0.462	1.027	89.33 Lagging
Source (Non-Swing Buses):	0.000	0.000	0.000	
Total Demand:	0.917	0.462	1.027	89.33 Lagging
Total Motor Load:	0.709	0.343	0.788	90.00 Lagging
Total Static Load:	0.167	0.081	0.186	90.00 Lagging
Total Constant I Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Generic Load:	0.000	0.000	0.000	
Apparent Losses:	0.041	0.037		
System Mismatch:	0.000	0.000		

Berdasarkan hasil simulasi ETAP 19.0.1 Penyulang Pinus kondisi setelah Pemecahan Beban dengan daya kirim sebesar 0,917 MW terdapat hasil Susut Daya/ *Losses* 0,041 MW atau sebesar 4,4 %

Tabel 4.4 Hasil Losses Simulasi ETAP 19.0.1 Penyulang Ulin kondisi setelah Pemecahan Beban

	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	1.897	0.219	1.909	99.34 Lagging
Source (Non-Swing Buses):	1.200	0.372	1.256	95.52 Lagging
Total Demand:	3.097	0.590	3.153	98.23 Lagging
Total Motor Load:	2.434	1.176	2.703	90.03 Lagging
Total Static Load:	0.611	0.295	0.679	90.04 Lagging
Total Constant I Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Generic Load:	0.000	0.000	0.000	
Apparent Losses:	0.052	-0.881		
System Mismatch:	0.000	0.000		

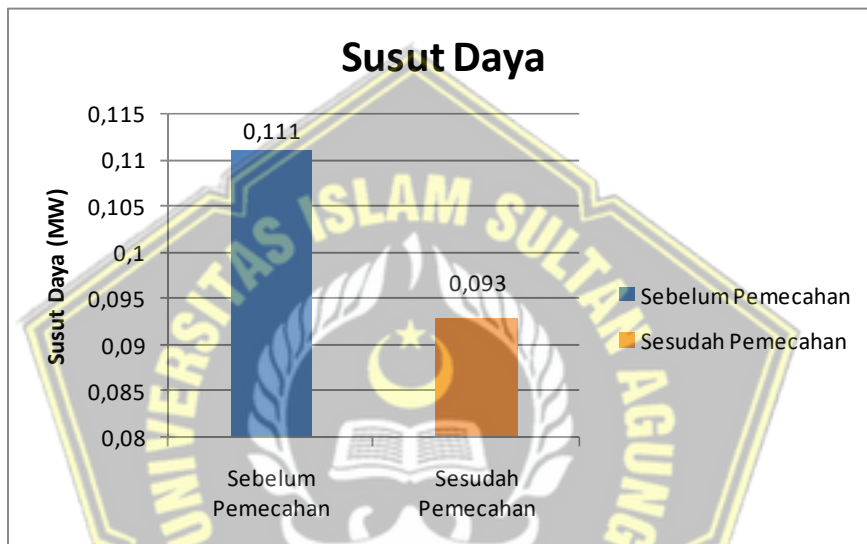
Berdasar pada hasil simulasi ETAP 19.0.1 Penyulang Ulin saat setelah Pemecahan Beban dengan daya kirim sebesar 1,897 MW didapatkan hasil Susut Daya/ Losses 0,052 MW atau sebesar 2,7 %

Tabel 4.5 Parameter Simulasi ETAP 19.0.1 kondisi Setelah Pemecahan Beban

Penyulang	Beban (MW)	Trafo (Unit)	Panjang (kMS)	Tegangan Ujung		Losses (MW)
				Lokasi	Nilai	
SEBELUM						
DS.02 (PINUS)	2,814	300	420,71	Hauagong	19,29	0,111
				Simarigung	19,97	
TOTAL						0,111
SETELAH						
DS.02 (PINUS)	0,917	116	185,126	Hauagong	19,41	0,041
DS.07 (ULIN)	1,897	184	235,584	Simarigung	20,24	0,052
TOTAL	2,814	300	420,71			0,093

Berdasar pada hasil simulasi ETAP 19.0.1 saat setelah pemecahan beban menjadi dua penyulang yaitu penyulang Ulin dan penyulang pinus dengan daya kirim total

kedua penyulang tersebut sama nilainya pada kondisi sebelum pemecahan yaitu 2,814 MW didapatkan hasil Susut Daya/ *Losses* total 0,093 MW atau sebesar 3,3 %, sehingga pada kondisi setelah pemecahan beban susut daya teknik mengalami perbaikan kenaikan 0,018 MW atau sebesar 0,63 % dari hasil pekerjaan pemecahan beban penyulang pinus



Gambar 4.3 Grafik Susut Daya saat sebelum & setelah pemecahan beban

4.3. Susut Teknis & Saving kWh

Berdasar pada hasil Simulasi ETAP 19.0.1 saat kondisi setelah dilakukan pemecahan beban penyulang terbagi menjadi 2 yaitu penyulang pinus sebagai penyulang lama beban 0,917 MW didapatkan hasil susut daya teknis sebesar 0,041 MW dan penyulang Ulin beban 1,897 MW didapatkan hasil susut daya teknis sebesar 0,052 MW sehingga dapat mengetahui nilai penurunan susut daya setelah dilakukannya pekerjaan pemecahan beban penyulang pinus dengan cara sebagai berikut:

$$P = P \text{ losses (Sebelum Pemecahan beban)} - P \text{ losses (Setelah Pemecahan beban)}$$

$$P = P \text{ losses (Pinus Lama)} - P \text{ losses (Pinus Baru + Ulin Baru)}$$

$$P = 0,111 \text{ MW} - (0,041 \text{ MW} + 0,052 \text{ MW})$$

$$P = 0,111 \text{ MW} - (0,093 \text{ MW})$$

$$P = 0,018 \text{ MW}$$

Dari nilai penurunan susut daya tersebut maka dapat dihitung saving energy dengan rumus 2.4 sebagai berikut:

$$W = P \times t$$

Dengan nilai waktu (t) = 24 Jam / satu hari

$$W = P \times t$$

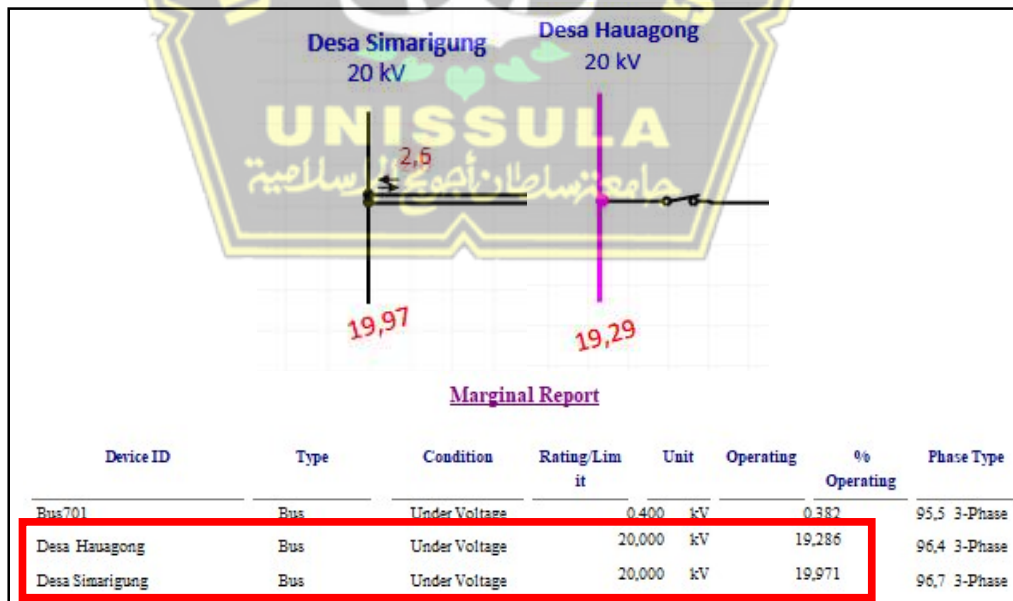
$$W = 0,018 \text{ MW} \times 24 \text{ h}$$

$$W = 0,432 \text{ MWh}$$

$$W = 432 \text{ kWh}$$

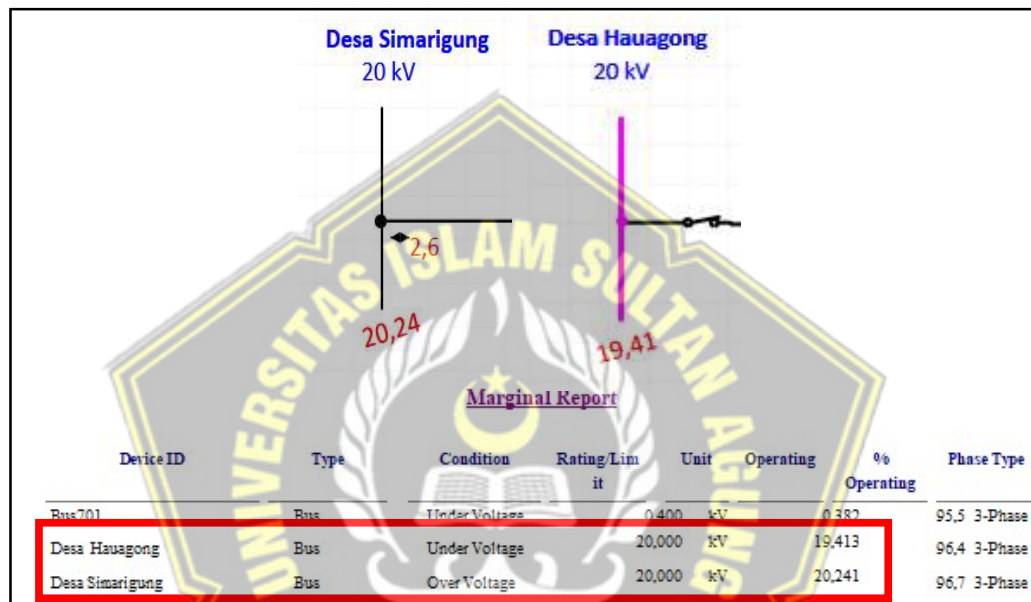
Dengan harga rata-rata per kWh Rp 1.400,00, maka saving rupiah dalam satu hari dapat dihitung = Saving Energi (kWh) X harga rata-rata per kWh (Dalam Rp)
 $= 432 \times 1.400 = 604.800 \text{ rupiah}$

4.4. Jatuh Tegangan



Gambar 4.4 Hasil Simulasi 19.0.1 Tegangan Ujung kondisi sebelum pemecahan

Dari hasil simulasi ETAP 19.0.1 pada kondisi sebelum pemecahan beban penyulang pinus menunjukkan nilai tegangan ujung/ tegangan terima (V_R) di desa Hauagong sebesar 19,28 kV dan di desa simarigung sebesar 19,97 kV, Nilai tersebut didapat dari SLD ETAP 19.0.1 yang di *running* kan untuk mengetahui *Load Flow Analysis*.



Gambar 4.5 Hasil Simulasi 19.0.1 Tegangan Ujung kondisi sesudah pemecahan

Dari hasil simulasi ETAP 19.0.1 pada kondisi sebelum pemecahan beban penyulang pinus menunjukkan nilai tegangan ujung/ tegangan terima (V_R) di desa Hauagong sebesar 19,41 kV dan di desa simarigung sebesar 20,24 kV, Nilai tersebut didapat dari SLD ETAP 19.0.1 yang di *running* kan untuk mengetahui *Load Flow Analysis*.

Berdasarkan kedua hasil simulasi ETAP 19.0.1 terdapat 2 lokasi yang digunakan sebagai parameter pengukuran tegangan ujung untuk mengetahui besaran nilai perbaikan jatuh tegangan dari pemecahan beban penyulang yaitu Desa Hauagong dan Desa Simarigung. Dengan tegangan sumber (V_S) dari GI

sudah disesuaikan dengan kondisi lapangan sebesar 20,5 kV maka nilai besaran drop voltage bisa dihitung melalui rumus 2.1 sebagai berikut:

- Sebelum Pemecahan beban

Desa Hauagong Hasil simulasi ETAP 19.0.1 , $V_R = 19,29$ kV

$$\Delta V = V_S - V_R$$

$$\Delta V = 20,5 - 19,29$$

$$\Delta V = 1,21 \text{ kV}$$

Desa Simarigung Hasil simulasi ETAP 19.0.1 , $V_R = 19,97$ kV

$$\Delta V = V_S - V_R$$

$$\Delta V = 20,5 - 19,97$$

$$\Delta V = 0,53 \text{ kV}$$

- Setelah Pemecahan beban

Desa Hauagong sebagai Ujung Tegangan layanan penyulang lama pinus dengan hasil simulasi ETAP 19.0.1 $V_R = 19,41$ kV

$$\Delta V = V_S - V_R$$

$$\Delta V = 20,5 - 19,41$$

$$\Delta V = 1,09 \text{ kV}$$

Desa Simarigung sebagai Ujung Tegangan layanan penyulang baru ulin dengan hasil simulasi ETAP 19.0.1 $V_R = 20,24$ kV

$$\Delta V = V_S - V_R$$

$$\Delta V = 20,5 - 20,24$$

$$\Delta V = 0,26 \text{ kV}$$

Besaran nilai kenaikan tegangan ujung akibat pemecahan beban penyulang dapat dihitung dengan:

$$\Delta V = V_{R \text{ Sebelum Pemecahan}} - V_{R \text{ Sesudah Pemecahan}}$$

- Desa Hauagong

$$\Delta V = V_{R \text{ Sebelum Pemecahan}} - V_{R \text{ Sesudah Pemecahan}}$$

$$\Delta V = 1,21 - 1,09$$

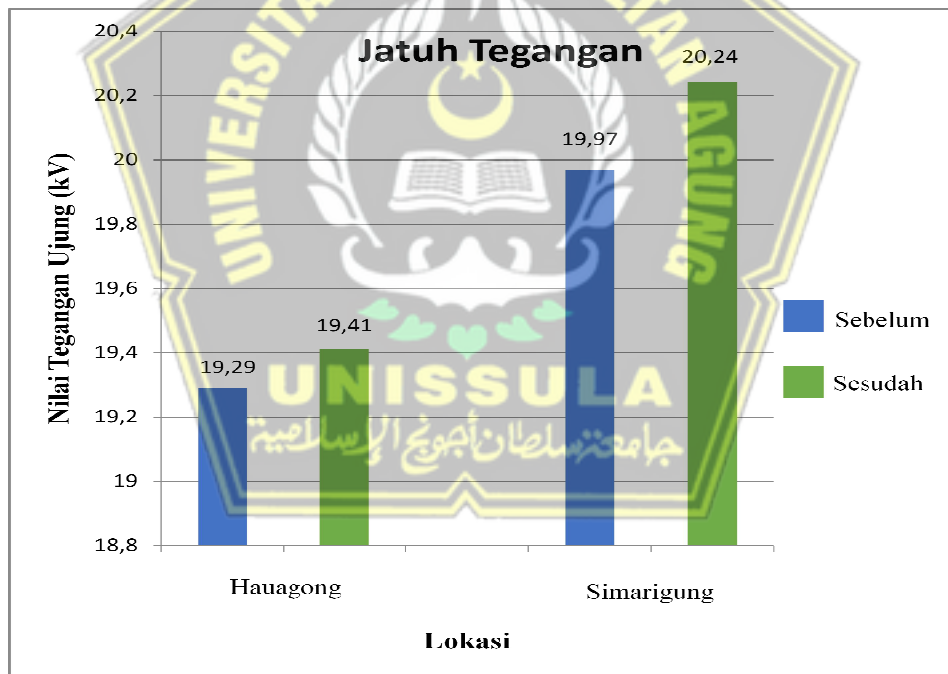
$$\Delta V = 0,12 \text{ kV}$$

- Desa Simarigung

$$\Delta V = V_{R \text{ Sebelum Pemecahan}} - V_{R \text{ Sesudah Pemecahan}}$$

$$\Delta V = 0,53 - 0,26$$

$$\Delta V = 0,27 \text{ Kv}$$



Gambar 4.6 Grafik Nilai Jatuh Tegangan kondisi sebelum dan setelah pemecahan beban

Dari hasil perbandingan kondisi sebelum pemecahan beban desa hauagong & desa simarigung dengan kondisi setelah pemecahan beban mengalami kenaikan tegangan ujung sehingga dalam artian pemecahan beban berdampak positif

memperbaiki tegangan ujung dimana apabila semakin besarnya jatuh tegangan atau selisih tegangan kirim dan tegangan terima (ujung jaringan) maka akan memberikan dampak negatif terhadap tingkat mutu kualitas pelayanan PLN

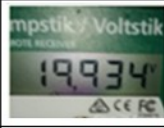
Tabel 4.6 Hasil Perbaikan Susut Teknis dan Jatuh Tegangan Simulasi dari ETAP 19.0.1 pada penyulang pinus setelah pemecahan beban

Penyulang Setelah pemecahan	Tegangan Ujung Setelah (kV)		Kenaikan Tegangan Ujung (kV)	Penurunan Susut Teknis (MW)	Saving Energy dalam sehari 24 jam (kWh)	Saving Energy dalam sehari 24 jam (Rupiah)
	Lokasi	Nilai				
PINUS	Hauagong	19,41	0,12	0,018	432	604.800
ULIN	Simarigung	20,24	0,27			

4.5. Pengukuran Tegangan di jaringan

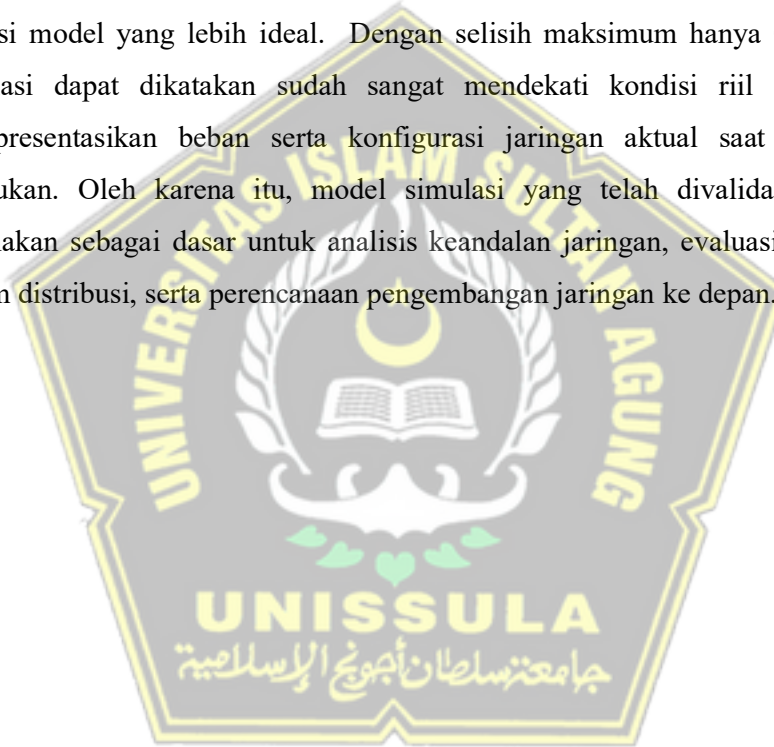
Dalam penelitian ini dilakukan juga pengukuran tegangan pada jaringan tegangan menengah menggunakan voltstick dilokasi Desa Hauagong dan Desa Simarigung sebagai parameter pembandingan nilai tegangan simulasi ETAP 19.0.1 saat kondisi setelah pemecahan beban.

Tabel 4.7 Perbandingan nilai tegangan hasil simulasi ETAP 19.0.1 dan pengukuran dilapangan setelah pemecahan beban

Penyulang	Lokasi	Perbandingan Nilai Tegangan (kV)				Foto pengukuran
		Simulasi Etap	Pengukuran	Waktu Pengukuran	Selisih	
DS.02 (PINUS)	Hauagong	19,97	19,93	WBP (18.00-22.00)	0,04	
DS.07 (ULIN)	Simarigung	20,24	20,23	WBP (18.00-22.00)	0,01	

$$\begin{aligned}
 \text{Persentasi selisih Pengukuran dan Simulasi (\%)} &= \frac{\text{Selisih Tegangan}}{\text{Tegangan kirim}} \\
 &= \frac{0,04 \text{ kV}}{20,5 \text{ kV}} \\
 &= 0,19 \%
 \end{aligned}$$

Hasil perbandingan antara simulasi ETAP 19.0.1 dan pengukuran lapangan pada kondisi setelah pemecahan beban menunjukkan adanya perbedaan selisih tegangan 0,04 kV atau 0,19% di lokasi desa hauagong dan 0,01 kV atau 0,04% di lokasi desa simarigung, waktu pengukuran tegangan dilapangan dilakukan pada saat WBP sama halnya seperti pada simulasi ETAP 19.0.1 beban trafo yang diinput pada saat WBP, selisih yang terjadi bisa karena beberapa hal salah satunya ketidakakuratan nilai impedansi karena dilapangan terdapat Bottleneck penghantar, persambungan jumperan yang kurang bagus, toleransi alat ukur, dan asumsi model yang lebih ideal. Dengan selisih maksimum hanya 0,19%, hasil simulasi dapat dikatakan sudah sangat mendekati kondisi riil dan mampu merepresentasikan beban serta konfigurasi jaringan aktual saat pengukuran dilakukan. Oleh karena itu, model simulasi yang telah divalidasi ini layak digunakan sebagai dasar untuk analisis keandalan jaringan, evaluasi konfigurasi sistem distribusi, serta perencanaan pengembangan jaringan ke depan.



BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil simulasi ETAP 19.0.1 dan analisa yang telah dilaksanakan, maka dapat disimpulkan:

1. Pada penyulang pinus sebelum dilakukannya pemecahan beban susut daya teknis 0,111 MW sedangkan setelah pemecahan beban menjadi 0,093 MW sehingga mengalami penurunan susut daya teknis sebesar 0,018 MW
2. Saving energy setelah adanya pemecahan beban dalam satu hari yaitu sebesar 432 kWh atau jika dikonversi dalam nilai rupiah sejumlah 604.800 Rupiah
3. Dengan tegangan kirim dari GI Dolok Sanggul sebesar 20,5 kV nilai tegangan ujung setelah pemecahan beban dilokasi Desa Hauagong 19,41 kV dan lokasi Desa Simarigung 20,24 kV mengalami kenaikan tegangan ujung di Desa Hauagong 0,12 kV Desa Simarigung 0,27 kV
4. Hasil perbandingan simulasi ETAP 19.0.1 dengan pengukuran lapangan setelah pemecahan beban menunjukkan selisih tegangan sebesar 0,04 kV atau setara 0,19% di lokasi desa hauagong dan 0,01 kV atau 0,04% di lokasi desa simarigung

5.2. Saran

Pada analisa pemecahan beban penyulang pinus ini hanya dilaksanakan dengan simulasi ETAP 19.0.1 dengan data beban gardu pengukuran Waktu Beban Puncak/ Waktu malam hari dan pengukuran tegangan TM ujung untuk penelitian berikutnya disarankan untuk menggunakan metode lain sebagai pembanding

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Azis, d. (2024). ANALISA PEMECAHAN BEBAN PADA PENYULANG SUBARU. *TEKNIKA: Jurnal Teknik* , 141-156.
- Bayu Andik Anggoro, S. B. (2020). Analisa Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Saluran Transmisi 150 kVGIPati Bay GIJekulo Menggunakan ETAP12.6.0. *Elektrika* , 80-85.
- Catra Indra Cahyadi, d. (2022). Analisis Pengaruh Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Transmisi 150 kV Menggunakan Software ETAP 12.6. *Jambura* , 18-12.
- Ediwan, d. (2021). The Reconfiguration of Network at 20 kV Distribution System Nagan Raya Substation with the Addition of the Krueng Isep Hydroelectric Power Plant. *Jurnal Nasional Teknik Elektro* , 63-70.
- Irnanda Priyadi, d. (2021). Analisis Pengaruh Penambahan Penyulang Dan Pemisahan Beban Terhadap Susut Daya Menggunakan Metode Simple Branch Exchange (Studi Kasus PT PLN ULP Lima Puluh, Sumatera Utara). *JURNAL AMPLIFIER : JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER* , 13-21.
- Maxi Alvin Sobikin, d. (2022). Analisis drop tegangan dan manuver jaringan pada penyulang SGN11 dan penyulang SGN14 menggunakan software ETAP 16.0.0. *cyclotron: Jurnal Teknik Elektro* , 35-40.
- Mismail, B. (2011). *DASAR TEKNIK ELEKTRO JILID 2 ELEKTRONIKA*. MALANG : UNIVERSITAS BRAWIJAYA PRESS.
- Pabla Hadi, A. (1994). *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- SPLN 1. (1995). *Tegangan tegangan standar*. PLN.
- SPLN 72. (1987). Spesifikasi desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR).
- Suhadi, d. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Suswanto, D. (2009). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
- Syukri, d. (2024). Analisa Perhitungan susut teknis Di PT PLN (Persero) Rayon Singkil. *Elektrika* , 20-29.
- Wahyu Belfias, d. (2017). ANALISA PECAH BEBAN PENYULANG KB5 DI PLN RAYON Koba UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN DAN SUSUT. *PROSIDING* , 89-93.