

ANALYSIS OF POWER LOSS AND VOLTAGE DROP IN THE NORTH MINAHASA AREA DISTRIBUTION NETWORK

Analisa Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Jaringan Distribusi Area Minahasa Utara

Bryan J. Angkouw⁽¹⁾, Ir. Hans F. Tumaliang, MT.⁽²⁾, Novi M. Tulung, ST., MT.⁽³⁾

(1)Mahasiswa (2)Pembimbing 1 (3)Pembimbing 2

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : bryanangkouw99@gmail.com, hanstumaliang@unsrat.ac.id, novi.tulung@unsrat.ac.id

Abstract — The distribution system is a part of the electrical energy system, starting from the generation of electricity to consumers. Along with the increasing population in North Minahasa, it has resulted in an increase in the need for electrical energy needed by consumers in North Minahasa, where there are 6 Feeders and 2 Substations, namely the Sawangan Substation and the Likupang Substation. This study aims to analyze how much the power losses and voltage drops are in the North Minahasa area distribution network. The analysis is done by manual calculation. The results showed that the total power losses that occurred in October 2022 for the feeders serving the North Minahasa region were 866,201 Watts, with an average percentage for all feeders serving the North Minahasa region, namely 4.26%, the results stated that the result of power losses in feeders serving the North Minahasa region is still within the safe limit of power losses of 5%. And the result of the voltage drop on each feeder serving the North Minahasa area is still within safe standard limits with a total of 14,618.2 Volts, except for the SU3 feeder with a voltage drop value of 7,020 Volts with a percentage of 35.1% which exceeds the standard voltage drop limit. But for the total average percentage of all feeders serving the North Minahasa region is 9.77%, which proves that the result of the voltage drop on the feeders serving the North Minahasa region is still within safe limits according to the standard voltage drop percentage at PLN, namely a maximum of 10% for voltage drop.

Keywords : *Distribution System, Power Loss, Voltage Drop, North Minahasa.*

Abstrak — Sistem distribusi adalah satu bagian dalam sistem energi listrik, yaitu dimulai dari pembangkit energi listrik hingga kepada para konsumen. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di Minahasa Utara, sehingga mengakibatkan bertambahnya kebutuhan akan energi listrik yang diperlukan konsumen di Minahasa Utara yang terdapat 6 Penyulang dan 2 Gardu Induk yaitu Gardu Induk Sawangan dan Gardu Induk Likupang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa berapa besar rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi area Minahasa Utara. Analisa dilakukan dengan perhitungan manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besar total rugi-rugi daya yang terjadi pada bulan Oktober 2022 pada penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara adalah sebesar 866.201 Watt, dengan persentase rata-rata pada semua penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara yaitu 4,26 % yang hasil tersebut menyatakan bahwa hasil rugi-rugi daya pada penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara masih dalam batas aman

rugi-rugi daya sebesar 5%. Dan hasil jatuh tegangan pada setiap penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara masih dalam batas standart yang aman dengan total total sebesar 14.618,2 Volt, kecuali pada Penyulang SU3 dengan nilai jatuh tegangan 7.020 Volt dengan persentase 35,1% yang melebihi batas standar jatuh tegangan. Tapi untuk total rata-rata persentase pada semua penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara adalah sebesar 9,77%, yang membuktikan bahwa hasil jatuh tegangan pada penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara masih dalam batas aman sesuai standar persentase jatuh tegangan pada PLN yaitu maksimal 10% untuk jatuh tegangan.

Kata Kunci : Sistem Distribusi, Rugi Daya, Jatuh Tegangan, Minahasa Utara.

I. PENDAHULUAN

Listrik menjadi kebutuhan penting dalam kehidupan manusia apalagi dizaman yang semakin maju. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di Minahasa Utara, sehingga mengakibatkan bertambahnya kebutuhan akan energi listrik yang diperlukan konsumen di Minahasa Utara yang terdapat 6 Penyulang dan 2 Gardu Induk yaitu Gardu Induk Sawangan dan Gardu Induk Likupang. Dalam upaya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Kabupaten Minahasa Utara, tentunya PLN mengalami berbagai kesulitan. Beberapa kesulitan itu diantaranya berupa drop tegangan pada jaringan, rugi-rugi daya, serta beberapa kesulitan lainnya.

Secara umum, baik buruknya sistem distribusi tenaga listrik yang terutama adalah ditinjau dari kualitas daya yang diterima oleh konsumen, namun kenyataannya pada setiap penyaluran energi listrik, jumlah energi listrik maupun tegangan yang dikirim tidak sama dengan yang diterima oleh konsumen, hal ini yang menyebabkan rugi-rugi dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi.

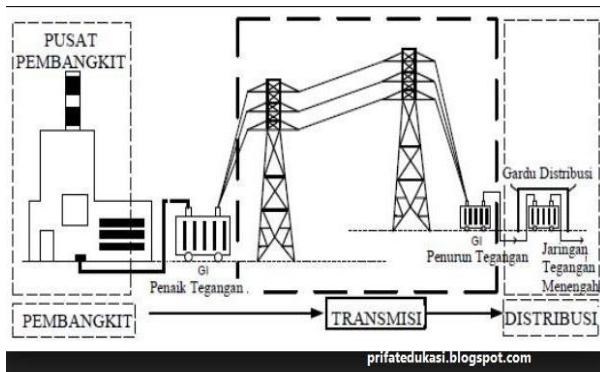
Rugi-rugi pada jaringan sistem tenaga listrik juga disebabkan oleh pembebanan yang tidak seimbang antara ketiga fasa sistem. Perhitungan sangat sukar karena kondisi pembebanan sistem yang berbeda setiap saat sesuai dengan kebutuhan konsumen sistem tenaga listrik. Dengan demikian besar rugi-ruginya berbeda dari waktu ke waktu, sehingga total rugi daya listrik setiap bulan dan setiap harinya berbeda-beda, karena itu dibutuhkan suatu metode perhitungan yang akurat

untuk menghitung rugi daya jaringan distribusi tegangan menengah di Minahasa Utara.

II. LANDASAN TEORI

A. Pengertian Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi adalah satu bagian dalam sistem energi listrik, yaitu dimulai dari sumber daya atau pembangkit energi listrik hingga kepada para konsumen. di masa sekarang ini dimana kebutuhan akan energi listrik semakin tinggi, maka dibutuhkan suatu sistem pendistribusian tenaga listrik berasal pembangkit hingga pada para konsumen yg memiliki keandalan yg tinggi. Penyaluran listrik ke pelanggan secara skematis dapat digambarkan seperti dibawah ini.



Gambar 2.1 Skema Penyaluran Energi Listrik ke Pelanggan

B. Klasifikasi Berdasarkan Nilai Tegangan

Berdasarkan nilai tegangan, system distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi dua macam yaitu :

1. Sistem Distribusi Tegangan Menengah/Primer

Distribusi Primer disebut juga tegangan menengah, yaitu jaringan yang dihubungkan gardu induk dengan gardu distribusi. Sistem ini memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV.

2. Sistem Distribusi Tegangan Rendah/Sekunder

Sistem distribusi sekunder berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu-gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat-pusat beban (konsumen tenaga listrik). Standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder adalah 127/220 V untuk sistem lama, 220/380 V untuk system baru, dan 440/550 V untuk keperluan industri.

C. Tipe Jaringan Dsistribusi

Ada beberapa bentuk sistem distribusi tenaga listrik seperti sistem radial, sistem loop/ring, sistem spindle dan sistem mesh.

1. Sistem Radial

Sistem Radial merupakan jaringan sistem distribusi primer yang sederhana serta murah biaya investasinya. Di jaringan ini arus yg paling besar ialah yg paling dekat menggunakan gardu

induk. Tipe ini pada penyaluran tenaga listrik kurang handal sebab Jika terjadi gangguan di penyulang maka akan mengakibatkan terjadinya pemadaman di penyulang tadi.

2. Sistem Loop

Sistem Loop/Ring merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisir. Tipe ini lebih handal dalam penyaluran tenaga listrik dibandingkan tipe radial namun biaya investasinya lebih mahal.

3. Sistem Spindle

Sistem Spindle merupakan jaringan distribusi primer gabungan dari struktur radial yang ujung-ujungnya dapat disatukan pada gardu hubung dan terdapat penyulang ekspres. Penyulang ekspres (express feeder) ini harus selalu dalam keadaan bertegangan, dan siap terus-menerus untuk menjamin bekerjanya sistem dalam menyalurkan energi listrik ke beban pada saat terjadi gangguan atau pemeliharaan. Dalam keadaan normal tipe ini beroperasi secara radial.

4. Sistem Mesh

Struktur jaringan distribusi primer ini dibentuk dari beberapa Gardu Induk yang saling dihubungkan sehingga daya beban disuplai oleh lebih dari satu Gardu Induk dibandingkan dengan dua tipe sebelumnya, tipe ini lebih handal dan biaya investasinya lebih mahal.

D. Kawat Penghantar

Penghantar atau konduktor ialah bahan atau komponen alat-alat listrik yang berfungsi untuk menyalurkan arus dari satu bagian ke bagian lainnya. pada jaringan distribusi kawat penghantar digunakan buat menghantarkan energi listrik pada sistem saluran udara berasal dari pusat pembangkit ke pusat beban. Pada luas penampang kawat penghantar yg besar akan menghasilkan tahanan kawat penghantar yang kecil, sebagai akibatnya rugi daya atau kehilangan daya pada jaringan distribusi akan berkurang. Jenis-jenis kawat penghantar aluminium terdiri sebagai berikut.

1. AAC (All Aluminium Conductor)

Kabel AAC adalah suatu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari bahan aluminium.

2. AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)

Kabel AAAC merupakan jenis kabel yang terdiri dari pilinan kabel berbahan aluminium-magnesium-silikon yang merupakan bahan logam campuran. Kabel AAAC dirancang sebagai kabel yang memiliki konstruksi kuat dan anti karat.

3. ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced)

Kabel ACSR adalah salah satu jenis kabel yang terbuat dari bahan aluminium dengan inti bahan dari kawat baja. Kabel jenis ini banyak digunakan untuk saluran dengan tegangan tinggi dimana kabel ini biasanya melintang diantara dua tiang menara distribusi tanpa menggunakan isolasi.

E. Daya Listrik

Daya listrik ialah banyaknya perubahan energi terhadap waktu dalam besaran tegangan dan arus. Satuannya adalah Watt. Daya dalam watt yang diserap oleh suatu beban pada setiap saat adalah hasil kali jatuh tegangan sesaat diantara beban dalam volt dengan arus sesaat yang mengalir dalam beban tersebut adalah ampere. Daya listrik dapat dibagi menjadi 3 yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S).

1. Daya Aktif (P)

Merupakan daya sebenarnya yang dibutuhkan oleh beban – beban listrik atau peralatan rumah tangga. Satuan daya nyata adalah watt (W).

Daya aktif untuk sistem fasa tunggal,

$$P = |V| \cdot |I| \cos \phi$$

Untuk daya tiga fasa total adalah :

$$P = 3 |V| \cdot |I| \cos \phi$$

Dimana,

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

cos ϕ = Faktor Daya

2. Daya Reaktif (Q)

Adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban – beban induktif. Satuan dari daya reaktif adalah volt ampere reaktif (VAR).

Daya reaktif untuk sistem fasa tunggal,

$$Q = |V| \cdot |I| \sin \phi$$

Untuk daya tiga fasa,

$$Q = 3 |V| \cdot |I| \sin \phi$$

Dan volt ampere dari beban adalah :

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Dimana,

Q = Daya Reaktif (VAR) V = Tegangan (Volt)

I = Arus sin ϕ = Faktor Daya

Atau

$$P = |S| \cos \phi$$

$$Q = |S| \sin \phi$$

3. Daya Semu (S)

Merupakan resultan antara daya nyata dan daya reaktif. Satuan dari daya semua adalah volt ampere (VA). Daya semu untuk sistem fasa tunggal, sirkuit dua kawat adalah perkalian scalar arus efektif dan beda tegangan efektifnya

$$S = |V| \cdot |I|$$

Untuk sistem fasa-tiga daya semu adalah :

$$S = 3 |V| \cdot |I|$$

Dimana,

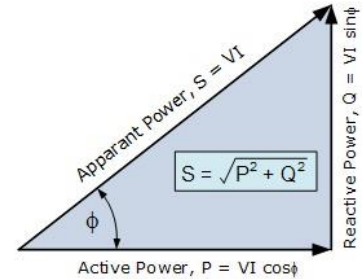
S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

4. Faktor Daya (Cos ϕ)

Merupakan suatu konstanta pengkali dengan nilai 0 sampai 1, yang menunjukkan seberapa besar daya nyata yang di serap oleh beban resistif dari daya semu yang ada pada suatu beban total. Factor daya yang bagus apabila mendekati satu.



Gambar 2.17 Segitiga Daya

F. Rugi-rugi Daya Listrik

1) Rugi-rugi Daya

Rugi daya adalah gangguan dalam sistem dimana sejumlah energi yang hilang dalam proses pengaliran listrik mulai dari gardu induk sampai dengan konsumen. Apabila tidak terdapat gardu induk rugi daya dimulai dari gardu distribusi sampai dengan konsumen.” Dari surat keputusan menteri keuangan tersebut menjelaskan bahwa ketika terjadi rugi daya maka sistem pendistribusian listrik tidak bekerja secara efisien (Surat Keputusan Menteri Keuangan Nomor: 431/KMK.06/2002 (2002:4)).

Menurut SPLN No.72 Tahun 1987 besarnya nilai rugi daya yang diperbolehkan untuk menentukan keandalan pada sistem, yaitu nilai rugi daya dan jatuh tegangan tidak boleh melebihi standar yang diijinkan, yaitu 10 % untuk jatuh tegangan dan 5 % untuk rugi daya.

2) Faktor Daya Beban

Faktor daya memiliki kaitan yang erat terhadap adanya rugi-rugi. Faktor daya merupakan perbandingan daya aktif dan daya semu dan dirumuskan dengan persamaan:

$$\text{Power Factor } (\cos \phi) = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

Pf = Power Factor (cos ϕ) Faktor Daya

P = Daya Aktif (Watt)

S = Daya Semu (VA)

3) Tahanan Saluran

Penyaluran daya listrik pada jaringan distribusi primer dipengaruhi oleh parameter resistansi, induktansi dan kapasitansi, ketiga parameter ini mengakibatkan terjadinya jatuh tegangan dan susut daya.

Untuk mencari tahanan saluran dapat dicari dengan persamaan:

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

R = Tahanan Saluran (Ω)

ρ = hambatan jenis (Ω mm²/m)

L = panjang saluran (m)

A = Luas Penampang (mm²)

4) Perhitungan Pemakaian Energi Listrik.

$$E = E \times T \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

E = Energi Listrik (Watt)

P = Daya Listrik (Watt)

T = Jam

5) Perhitungan Rugi-Rugi Daya (Losses) pada Saluran Distribusi.

Persamaan umum rugi-rugi daya aktif:
 $\Delta P = I^2 \cdot \Delta R$(4)

Dimana :
 ΔP = Rugi Daya Aktif (Watt)
 I = Arus Beban
 R = Tahanan Saluran (Ω)

Persamaan umum rugi-rugi daya reaktif:
 $\Delta Q = I^2 \cdot \Delta XL$(5)

Dimana :
 ΔQ = rugi daya reaktif (VAR)
 I = arus beban (ampere)
 XL = reaktansi jaringan (ohm)

6) Perhitungan rugi-rugi daya (Losses) pada Feeder (penyulang). Persamaan rugi-rugi daya tiga fasa pada feeder (penyulang):

$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot \Delta t$(6)

Dimana :
 ΔP = rugi daya aktif (watt)
 I = arus beban (ampere)
 R = tahanan saluran (ohm)
 t = waktu (jam)

Persamaan total daya yang mengalir pada segmen per-feeder:
 Daya total (KWH) = $\sqrt{3} \cdot v_l \cdot I \cdot t \cdot \cos\phi$(7)

Dimana :
 I = arus beban (ampere)
 T = Waktu (jam)

v_l = tegangan nominal fasa-fasa (20 kv untuk JTM dan 380 v untuk JTR).

$\cos\phi$ = faktor daya, konstan 0,62 untuk JTM dan 0,87 untuk JTR.

Persentase rugi daya per-feeder merupakan perbandingan besarnya rugi daya per-feeder terhadap total daya per-feeder, dapat dirumuskan:

$\% \text{Rugi daya per Feeder} = \frac{\text{Rugi Daya KWH}}{\text{Total Daya KWH}} \times 100\%$(8)

7) Faktor Rugi

Farktor rugi beban adalah perbandingan antara rugi daya rata-rata dengan rugi beban puncak pada suatu periode tertentu atau didefinisikan sebagai berikut :

$Fr = \frac{R_{pr}}{R_{pp}}$(9)

Dimana,
 R_{pr} = Rugi daya rata-rata pada periode pengamatan dalam kWh
 R_{pp} = Rugi beban puncak pada periode pengamatan dalam kWh

8) Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yg hilang di suatu penghantar. Jatuh tegangan di saluran energi listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar.

Secara umum sebagian besar peralatan listrik akan beroperasi normal pada tegangan serendah 80 % dari tegangan nominal. Pemilihan ukuran kabel penghantar yang baik hanya mengalami drop tegangan sebesar 5 – 10 % di beban penuh.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besar jatuh tegangan adalah sebagai berikut :

$\Delta V = \frac{(R \cdot \cos\phi) + (X \cdot \sin\phi)}{VS^2} \cdot SI \cdot LI \cdot 100$(10)

Dimana :
 ΔV = Jatuh Tegangan Dalam (%)
 R = Resistansi Saluran (Ω /Km)
 X = Reaktansi Saluran (Ω /Km)
 VS^2 = Besar Tegangan yang disalurkan (V)
 SI = Daya Yang Di Salurkan (VA)
 LI = Panjang Penghantar (Km)

Presentase (%) Jatuh Tegangan

$\Delta V(\%) = \frac{VS - VR}{VR} \times 100\%$(11)

Dimana,
 $\Delta V(\%)$ = Jatuh Tegangan Dalam % (Volt)
 VS = Tegangan Kirim (Volt)
 VR = Tegangan Terima (Volt)

Untuk mencari nilai jatuh tegangan dan presentase jatuh tegangan dapat menggunakan rumus di atas dan nilai reaktansi saluran menggunakan data SPLN 64 : 1995 dengan penghantar AAAC (All Alloy Aluminium Conductor).

Tabel 2.1 SPLN 64 : 1995 Penghantar AAAC Tegangan 20kV

Luas penampang	Jari ² mm	urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (ohm/km)	Impedansi urutan nol (ohm/km)
16	2,2563	7	1,6380	2,0161 + j 0,4036	2,0161 + j 1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + j 0,3895	1,4384 + j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + j 0,3790	1,0697 + j 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3096 + j 0,3449	0,4876 + j 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6324
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744 + j 0,3239	0,3224 + j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6034

G. Penyebab Terjadinya Jatuh Tegangan

Besar kecilnya jatuh tegangan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

- Tahanan saluran
- Arus saluran
- Faktor daya (Cos ϕ)
- Panjang saluran

Akibat adanya impedansi saluran dan beban maka antara tegangan sumber (V_s) dan tegangan penerima (V_r) ada perbedaan. Dimana tegangan penerima akan selalu lebih kecil dari tegangan sumber ($V_s > V_r$). Selisih tegangan tersebut disebut jatuh tegangan (V). Besar beban pada suatu titik (tiang) tidak sama pada fasa yang satu dengan fasa yang lainnya, walaupun dilihat dari gardu, beban tiap fasanya mungkin sama besar diantaranya disebabkan oleh perilaku beban konsumen yang tidak teratur.

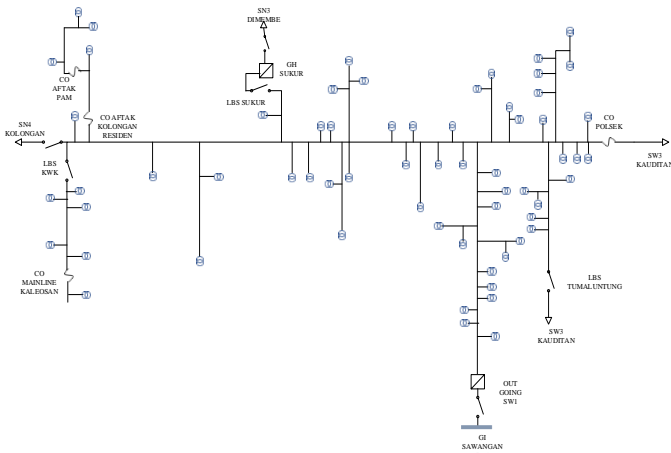
III. METODE PENELITIAN

Untuk lokasi penelitian tugas akhir dilaksanakan di PT. PLN (Persero) ULP Airmadidi, yang berlokasi di Jl. Raya Manado-Bitung, Kabupaten Minahasa Utara. Sedangkan untuk pengambilan data dan pengumpulan data dilakukan di PT. PLN (Persero) UP2D Wilayah Suluttenggo yang berlokasi di Jl. Betesda no.32 Manado, dan di PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Pelanggan (UP3) Manado yang berlokasi di Jl. Ahmad Yani No. 17, Sario Utara, Kec. Sario.

A. Sistem Kelistrikan Minahasa Utara

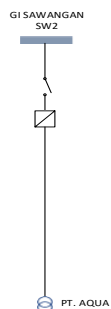
Pada sistem kelistrikan di daerah Minahasa Utara atau yang termasuk dalam area ULP Airmadidi terdapat 2 Gardu Induk yaitu, GI Likupang dan GI Sawangan. Dari kedua GI tersebut untuk GI Likupang dan GI Sawangan masing-masing memiliki tiga penyulang, penyulang SU 1, SU 2 dan SU 3 dari GI Likupang serta penyulang SW 1, SW 2 dan SW 3 dari GI Sawangan, semuanya disuplai ke daerah Minahasa Utara. Semua penyulang didominasi oleh konsumen tipe beban rumah tangga, kecuali penyulang SW 2 yang menyuplai tegangannya ke satu pelanggan tipe pabrik. Berikut ini dapat dilihat gambar single line diagram ULP Airmadidi:

a) Single Line Diagram Penyulang SW1



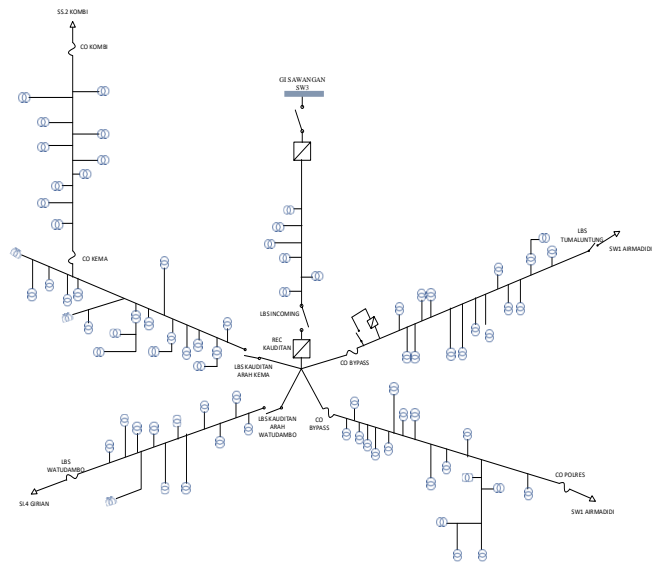
Gambar 3.19 Single Line Penyulang SW1

b) Single Line Diagram Penyulang SW2



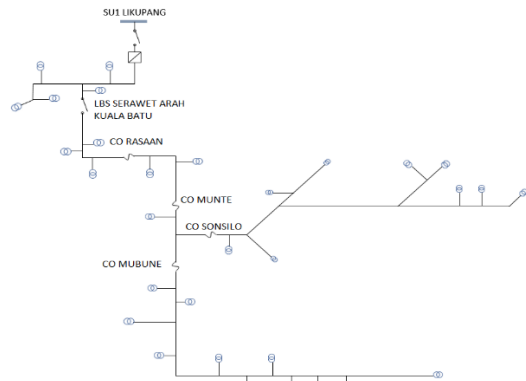
Gambar 3.20 Single Line Penyulang SW2

c) Single Line Diagram Penyulang SW3



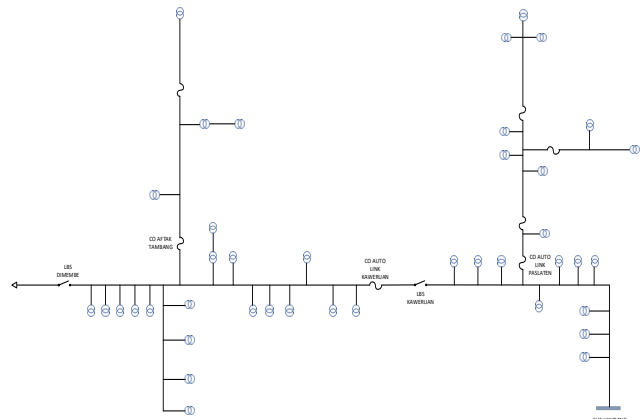
Gambar 3.21 Single Line Penyulang SW3

d) Single Line Diagram Penyulang SU1



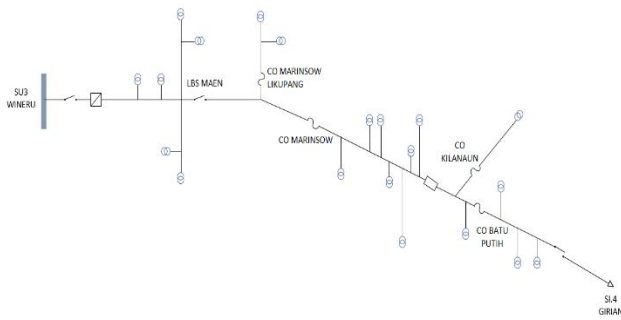
Gambar 3.22 Single Line Penyulang SU1

e) Single Line Diagram Penyulang SU2



Gambar 3.23 Single Line Penyulang SU2

f) Single Line Diagram Penyulang SU3



Gambar 3.24 Single Line Penyulang SU3

B. Data Jumlah Pelanggan Pada Setiap Penyulang di ULP Airmadidi

Berikut ini merupakan data jumlah pelanggan, jumlah trafo dan total daya serta gardu induk dari masing-masing penyulang di ULP Airmadidi.

Tabel 3.1 Data jumlah pelanggan pada setiap penyulang di ULP Airmadidi.

No.	Penyulang	Gardu Induk	Jumlah Pelanggan (Pelanggan)	Jumlah Trafo (Buah)	Total Daya (kVA)
1	SW 1	Sawangan	11.822	100	12.665
2	SW 2	Sawangan	1	1	2.500
3	SW 3	Sawangan	7.716	63	11.160
4	SU 1	Likupang	3.276	50	3.035
5	SU 2	Likupang	4.553	47	5.220
6	SU 3	Likupang	2.160	31	3.000

Dari data pada tabel diatas terlihat penyulang dengan jumlah pelanggan terbanyak yakni penyulang SW 1 dengan jumlah 11.822 pelanggan dan terdapat 100 buah trafo dengan total daya 12.665 kVA. Keseluruhan pelanggan di daerah Minahasa Utara atau yang masuk dalam area ULP Airmadidi berjumlah 29.528 pelanggan dan jumlah trafo 292 buah dengan total daya 37.580 kVA.

C. Data Penghantar JTM Pada Setiap Penyulang di ULP Airmadidi

Dalam menghitung susut daya, selain data jumlah pelanggan diperlukan juga data penghantar yang digunakan penyulang tersebut seperti jenis penghantar, luas penampang dan panjang penghantar. Untuk data penghantar pada setiap penyulang di Minahasa Utara dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 3.2 Data Penghantar JTM Pada Setiap Penyulang di Minahasa Utara.

Penyulang	Ukuran Penampang (mm)	Jenis Konduktor	Panjang Saluran (KMS)
SW1	3 x 150	Aluminium	73.487
SW2	3 x 150	Aluminium	5.000
SW3	3 x 150	Aluminium	67.448
SU1	3 x 150	Aluminium	41.664
SU2	3 x 150	Aluminium	58.525
SU3	3 x 150	Aluminium	42.085

D. Data Beban Puncak Pada Setiap Penyulang di Minahasa Utara

Data beban penyulang yang diambil adalah data pada saat terjadi beban puncak dalam dua waktu yaitu beban siang dan beban malam. Dimana hasil data yang diambil adalah data pada bulan oktober 2022. Berikut hasil beban tertinggi siang dan malam dibulan oktober dapat dilihat pada tabel.

Tabel 3.3 Data beban puncak per penyulang dibulan Oktober 2022.

GARDU INDUK	PMT	PENYULANG	BP MALAM (AMP)	BP SIANG (AMP)
GI SAWANGAN	SW 1	SOEKARNO	142	142
	SW 2	AQUA	25	40
	SW 3	HATTA	112	106
GI LIKUPANG	SU 1	BANGKA	50	37
	SU 2	TALISE	48	8
	SU 3	GANGGA	36	26

IV. HASIL DAN ANALISA

Hasil dan analisa yang di bahas adalah perhitungan rugi-rugi daya atau besar daya yang hilang dan jatuh tegangan saat proses pengiriman pada penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara.

A. Perhitungan Hambatan Penghantar

Berdasarkan data pada tabel 3.2, penampang pada penyulang di Minahasa Utara menggunakan jenis penghantar AAAC yang terbuat dari bahan aluminium, dimana aluminium memiliki nilai hambatan jenis sebesar $2,65 \times 10^{-8}$ dengan luas penampang kawat $3 \times 150 \text{ mm}$. Sehingga dapat dihitung dan dapat diketahui untuk nilai hambatan penghantar dengan menggunakan persamaan (2) yaitu:

$$\begin{aligned}
 1. \text{ SW1} &= 73.487 \text{ KMS} \\
 R &= \rho \cdot l / A \\
 &= (2,65 \times 10^{-8}) \cdot (73.487 \times 103) / 450 \\
 &= 0,0043 \Omega
 \end{aligned}$$

Sehingga besar tahanan pada penampang pada penyulang yang melayani SW1 adalah : $0,0043 \Omega$

Dengan melakukan cara yang sama untuk menghitung besar tahanan penampang pada semua Penyulang didapatkan hasil pada tabel berikut :

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Tahanan Saluran (Ohm)

No.	Penyulang	Tahanan Saluran (Ohm)
1.	SW1	0,0043
2.	SW2	0,0002
3.	SW3	0,0039
4.	SU1	0,0024
5.	SU2	0,0034
6.	SU3	0,0024

B. Perhitungan Besar Rugi-rugi Daya Pada Setiap Penyulang

Berdasarkan data tabel 3.2 dan tahanan saluran telah diketahui maka besarnya rugi daya dan persentase rugi daya pada bulan Oktober disetiap Penyulang di Minahasa Utara dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6) dan persamaan (8), yaitu:

- SW1 = 73.487 KMS
 ΔP Siang = $3 \times (142)^2 \times 0,0043$
 = 260.115,6 Watt
 ΔP Malam = $3 \times (142)^2 \times 0,0043$
 = 260.115,6 Watt
 ΔP Siang+ ΔP Malam = 520.231,2 Watt
 Rugi daya di bulan Oktober pada penyulang SW1 = 520.231,2 Watt
 Daya yang terpakai bulan Oktober = 7.538.208 kWh/ 744 jam = 10.132 kW

 Daya yang disalurkan = (daya terpakai + daya yang hilang saat proses pengiriman)
 = 10.132 kW + 520.231,2 kW
 = 10.652,23 kW
 Presentase Rugi Daya bulan Oktober = $\frac{520.231,2}{10.652,23} \times 100\% = 0,98 \%$

Dengan melakukan cara yang sama untuk menghitung besar rugi-rugi daya pada semua Penyulang didapatkan hasil pada tabel berikut :

Tabel 4.2 Hasil perhitungan rugi daya pada setiap penyulang dibulan Oktober 2022

No	Penyulang	Tahanan Saluran (Ohm)	Beban Puncak				Total ΔP Watt
			Siang (Amp)	ΔP Siang Watt	Malam (Amp)	ΔP Malam Watt	
1	SW1	0,0043	142	260.115,6	142	260.115,6	520.231,2
2	SW2	0,0002	40	0,96	25	0,375	1.335
3	SW3	0,0039	106	131.461,2	112	146.764,8	278.226
4	SU1	0,0024	37	9.856,8	50	18	27.856,8
5	SU2	0,0034	8	0.852,8	48	23.500,8	24.353,6
6	SU3	0,0024	26	4.867,2	36	9.331,2	14.198,4

Tabel 4.3 Persentase hasil rugi daya pada setiap penyulang

No	Penyulang	Total Energi Yang Terpakai (kW)	Total Rugi Daya Penyulang (kW)	Total Daya Yang Di Salurkan (kW)	Persentase Rugi Daya (%)
1	SW1	7.538.208	520.231,2	530.700,93	0,98
2	SW2	1.488.000	1.335	3.401,6	0,40
3	SW3	6.642.432	278.226	287.451,6	0,96
4	SU1	1.806.432	27.856,8	30.365,73	0,91
5	SU2	3.106.944	24.353,6	26.668,8	0,86
6	SU3	1.785.600	14.198,4	16.678,4	0,85

C. Perhitungan Besar Jatuh Tegangan Pada Setiap Penyulang

Untuk mencari nilai jatuh tegangan dapat menggunakan persamaan (10) di atas nilai reaktansi saluran menggunakan data pada tabel 2.1 SPLN 64:1985 dengan penghantar AAAC (All Alloy Aluminium Conductor).

$$1. SW1$$

$$\Delta V = \frac{(R \cdot \cos\phi) + (X \cdot \sin\phi)}{VS^2} SI. LI. 100$$

$$= \frac{100((0,0043 \times 0,80) + (0,3305 \times 0,60))}{20^2} 530.700,93 \times 73.487$$

$$= \frac{100(0,00344 + 0,1983)}{20^2} 530.700,93 \times 73.487$$

$$= \frac{100(0,00344 + 0,1983)}{400} 38.999,61$$

$$= \frac{100(0,20174)}{400} 38.999,61$$

$$= \frac{20.174}{400} 38.999,61$$

$$\Delta V\% = 1,96 \%$$

$$= 1,966 \frac{20.000}{100} = 3.932 V$$

Dengan melakukan cara yang sama untuk menghitung besar jatuh tegangan dan persentasenya pada semua Penyulang didapatkan hasil pada tabel berikut :

Tabel 4.4 Hasil dan presentase jatuh tegangan pada setiap penyulang

No	Penyulang	Ukuran Penampang (mm)	Panjang Saluran (KMS)	ΔV (Volt)	ΔV (%)
1	SW1	3 x 150	73.487	3.932	1,96
2	SW2	3 x 150	5.000	1.686	0,843
3	SW3	3 x 150	67.448	1.952	0,976
4	SU1	3 x 150	41.664	12.6	0,063
5	SU2	3 x 150	58.525	15.6	0,078
6	SU3	3 x 150	42.085	7.020	35,1

D. Analisa Rugi-rugi Daya Yang Timbul

Pada tabel 4.2 dan 4.3 diatas telah didapatkan hasil perhitungan besarnya rugi-rugi daya serta besarnya persentase rugi-rugi daya JTM pada bulan Oktober.

Dari data-data yang ada maka didapatkan hasil perhitungan yaitu total rugi daya yang terjadi pada bulan Oktober 2022 pada penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara adalah sebesar 866.201 Watt, serta persentase rugi daya pada setiap penyulang yaitu SW1 adalah 0.98%, SW2 0.40%, SW3 0.96%, SU1 0.91%, SU2 0.86%, dan SU3 0.85% dengan persentase rata-rata pada semua penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara dan sekitarnya yaitu 4,26 %.

Mengacu pada standarisasi PLN yang mengatakan bahwa besar jatuh tegangan dan rugi daya maksimum yang diizinkan adalah sebesar 10% untuk jatuh tegangan dan 5% untuk rugi daya, serta bahwa batas toleransi variasi tegangan adalah +5% dan -10% dari tegangan nominal, sehingga dapat dikatakan bahwa pada setiap penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara dan sekitarnya masih dinyatakan layak. Hal tersebut menyatakan bahwa hasil rugi-rugi daya pada penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara masih dalam batas aman.

E. Analisa Nilai Jatuh Tegangan Yang Timbul

Pada tabel 4.3 diatas telah didapatkan hasil perhitungan besarnya jatuh tegangan dan besarnya persentase jatuh tegangan JTM pada penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara.

Dari data-data yang ada maka didapatkan hasil jatuh tegangan pada setiap penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara yaitu pada penyulang SW1 sebesar 3.932 Volt dengan persentase 1,96%, Penyulang SW2 sebesar 1.686 Volt dengan persentase 0,843%, Penyulang SW3 sebesar 1.952 Volt dengan persentase 0,976%, Penyulang SU1 sebesar 12.6 Volt dengan persentase 0,063%, Penyulang SU2 sebesar 15.6 Volt dengan persentase 0,078%, dan Penyulang SU3 sebesar 7.020 Volt dengan persentase 35,1%, dengan total nilai jatuh tegangan pada penyulang di wilayah Minahasa Utara sebesar 14.618,2 Volt. Tapi hal tersebut membuktikan bahwa jatuh tegangan pada penyulang SU3 sebesar 35.1% sudah melebihi batas standar persentase jatuh tegangan pada PLN yaitu maksimal hanya 10%.

Dari hasil diatas juga dapat dihitung untuk total rata-rata persentase pada semua penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara adalah sebesar 9,77%, yang membuktikan bahwa hasil jatuh tegangan pada penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara masih dalam batas aman sesuai standar persentase jatuh tegangan pada PLN yaitu maksimal 10% untuk jatuh tegangan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan analisa yang sudah dibuat, maka dari itu dapat disimpulkan :

1. Besar rugi daya yang timbul dengan persentase rata-rata selama bulan Oktober 2022 sebesar 4,26 %, hal tersebut menyatakan bahwa hasil rugi-rugi daya pada penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara masih dalam batas aman.
2. Besar jatuh tegangan yang timbul pada setiap penyulang ditemukan jatuh tegangan yang melewati batas yang diizinkan, yakni penyulang SU3 sebesar 7.020 Volt atau dengan persentase 35%. Besar jatuh tegangan yang didapatkan pada semua penyulang yang melayani wilayah Minahasa Utara dengan persentase rata-rata selama bulan Oktober 2022 sebesar 9,77% yang dinyatakan masih dalam batas aman sesuai standar persentase jatuh tegangan pada PLN yaitu maksimal 10% untuk jatuh tegangan. Faktor utama mempengaruhi jatuh tegangan pada setiap penyulang yaitu akibat panas yang timbul pada penghantar dan sambungan, pembebanan transformator distribusi, jenis penghantar, dan juga panjang penghantar, faktor lainnya juga dari segi pemeliharaan, beban yang semakin meningkat bila tidak diseimbangkan maka akan memperbesar jatuh tegangan dan akan mengakibatkan kerugian yang besar dari pihak PLN dan masyarakat.

B. Saran

1. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi daya, diantaranya Optimalisasi kapasitas beban dan Optimalisasi kapasitas Transformator.
2. Besar jatuh tegangan bisa diperkecil dengan pergantian konduktor, namun pemeliharaan dan pengawasan terhadap konduktor dan trafo yang tersebar disetiap penyulang harus juga dipantau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azka Azhari, B, M. R. (2017). Analisis Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Primer Penyulang Adhyaksa Makassar. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- [2] Ferdiansyah, A. (2018). Analisis Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Penyulang Pandean Lamper Di PT. PLN (Persero) Area Semarang. Universitas Semarang.
- [3] Mangundap, J. (2017). Analisa Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Di PT. PLN (Persero) Area Manado. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Vol.7(No.3).
- [4] Meyer Nixon Nelwan, M. T. (2015). Penyusutan Energi Listrik Pada Penyulang SU2 Jaringan Distribusi Minahasa Utara. Jurusan Teknik Elektro UNSRAT.
- [5] Hontong N.J, Maickel T, Lily S.P. (2015). Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu. E-Journal Teknik Elektro dan Komputer Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [6] <https://id.scribd.com/document/337205222/Impedansi-Kawat-Penghantar-Menurut-Spln-64>
- [7] Utami, L.T. (2020). Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Jalur Mranggen Purwodadi Dengan Menggunakan Program Simulasi Electrical Transient Analyzer. Universitas Negeri Semarang.

- [8] D. Alfredo. (2016), Analisa Perhitungan Susut Daya Dan Energi Dengan Pendekatan Kurva Beban Pada Jaringan Distribusi PT. PLN (PERSERO) Area Pekanbaru. Riau. Jom FTEKNIK Volume 3 No.2. 2016. 1-6
- [9] Senen, Adri. (2010). Studi Perhitungan Dan Analisa Rugi–Rugi Jaringan Distribusi (Studi Kasus: Daerah Kampung Dobi Padang) Riau. LPPM-Politeknik Bengkalis. 1-9
- [10] Meyer Nixon Nelwan, M. T. (2015). Penyusutan Energi Listrik Pada Penyulang SU2 Jaringan Distribusi Minahasa Utara. Jurusan Teknik Elektro UNSRAT.

TENTANG PENULIS



Penulis bernama lengkap Bryan Jonathan Angkouw, lahir dari pasangan suami istri, Ferry Angkouw (Ayah) dan Nolvly Raming (Ibu). Di Manado 20 Oktober 1999. Sebelum menempuh jenjang Pendidikan di Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Penulis telah menempuh pendidikan secara berturut-turut di SD Katolik St.

Fransiskus Xaverius Pineleng (2005-2011), SMP Katolik St. Fransiskus Xaverius Pineleng (2011-2014), SMK Negeri 2 Manado (2014-2017).

Penulis memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro pada tahun 2017, dengan mengambil konsentrasi jurusan Minat Tenaga Listrik pada tahun 2019.

Dalam menempuh pendidikan Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Terpadu (KKT) di Kecamatan Tombulu, Minahasa, pada bulan Maret-April 2021, dan Kerja Praktek/Magang di PT. HEN pada bulan Oktober-Desember 2020.

Selama menempuh pendidikan penulis terlibat dalam kegiatan dan organisasi didalam dan diluar kampus terutama dalam kegiatan di Laboratorium Tenaga Listrik Unsrat, Himpunan Mahasiswa Elektro FT. UNSRAT, UPK KMK FT. Unsrat. Dan Penulis selesai menempuh Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado Jurusan Teknik Elektro Pada Bulan Januari 2023 dengan Judul Analisa Rugi-Rugi Daya dan Jatuh Tegangan Pada Jaringan Distribusi Area Minahasa Utara.