

STUDI KELAYAKAN OPERASI PERENCANAAN UPGRADING SUTM PADA PENYULANG SK 2 & SK 4 DI GARDU INDUK KAWANGKOAN DENGAN METODE SIMULASI ETAP 12.6.0

Andre Spencer Deeng ¹⁾, Glany M. Ch. Mangindaan ²⁾, Lily S. Patras ³⁾,
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu, 95115, Indonesia
Email: andre.deeng@gmail.com, mangindaan@gmail.com, patraslily48@gmail.com

Abstrac - The electric power system consists of generation, transmission and distribution systems. The electricity distribution system is a condition for sending electrical energy from the generating center to the load center (consumer). In the delivery of electrical energy, it is very necessary for the reliability of the feeders which is a must and must be fulfilled by the PLN as the manager. But the feeder often experiences disturbances, usually the disturbance is caused by a network with bare conductors which are widely available in Indonesia, more specifically those at PT. PLN ULP Kawangkoan which are installed in free air which will be at risk of causing disturbances such as short circuit disturbances and also voltage drops. and power loss. To overcome these disturbances, planning is carried out using the ETAP 12.6.0 simulation application in order to analyze the comparison of voltage drop and power loss.

In particular, the Kawangkoan Substation has a System Voltage of 150 kV and has 2 feeders, namely SK 2 and SK 4. 73% , SK 4 which uses 70 mm and 150 mm conductors 3.36% and 2.27. As for the results of the power loss analysis, the results for SK 2 which use 70 mm and 150 mm conductors are 495 kw and 201 kw, SK 4 which uses 70 mm and 150 mm conductors are 290 kw and 117 kw.

As for the results of the comparison calculations using the ETAP 12.6.0 simulation application, the voltage drop for SK 2 using 70 mm and 150 mm conductors is 4.12% and 3.28%, SK 4 uses 70 mm and 150 mm conductors of 3.53% and 2.39%, respectively. Then for the results of the power loss analysis, the results for SK 2 conductors of 70 mm and 150 mm are 258 kw and 178 kw, SK 4 which uses 70 mm and 150 mm conductors are 237 kw and 172. **Keywords** : Underground cable, strong current (KHA), thermal resistance, thermal calculation of underground cable

Keywords : Distribution System, Feeder, Drop Voltage, Power loss, ETAP 12.6.0

Abstrak - Sistem tenaga listrik terdiri atas sistem pembangkit, transmisi dan distribusi. Sistem distribusi listrik merupakan suatu kondisi pengiriman energi listrik dari pusat pembangkit hingga ke pusat beban (konsumen). Dalam pengiriman energi listrik ini sangat

di perlukan keandalan pada penyulang-penyulang yang merupakan suatu keharusan dan wajib untuk dipenuhi oleh pihak PLN selaku pengelolanya. tapi penyulang tersebut sering mengalami gangguan, biasanya gangguan disebabkan oleh jaringan dengan konduktor telanjang yang banyak terdapat di Indonesia lebih khusus lagi yang terdapat di PT. PLN ULP Kawangkoan yang terpasang di udara bebas yang akan beresiko menyebabkan terjadinya gangguan seperti gangguan hubung singkat dan juga jatuh tegangan dan susut daya. Untuk mengatasi gangguan tersebut maka dilakukan perencanaan menggunakan aplikasi simulasi ETAP 12.6.0 guna untuk dapat menganalisa perbandingan jatuh tegangan dan susut daya.

Khusus Gardu Induk Kawangkoan memiliki Tegangan Sistem 150 kV dan memiliki 2 penyulang, yaitu SK 2 dan SK 4. Dari hasil analisa gardu induk kawangkoan di peroleh nilai jatuh tegangan untuk SK 2 menggunakan konduktor 70 mm dan 150 mm sebesar 5,51% dan 3,73% , SK 4 yang menggunakan konduktor 70 mm dan 150 mm 3,36% dan 2,27. Sedangkan untuk hasil analisa susut daya di peroleh hasil untuk SK 2 yang menggunakan konduktor 70 mm dan 150 mm sebesar 495 kw dan 201 kw , SK 4 yang menggunakan konduktor 70 mm dan 150 mm sebesar 290 kw dan 117 kw.

Sedangkan untuk hasil dari perbandingan perhitungan menggunakan aplikasi simulasi ETAP 12.6.0 di dapati hasil jatuh tegangan untuk SK 2 menggunakan konduktor 70 mm dan 150 mm sebesar 4,12% dan 3,28% , SK 4 menggunakan konduktor 70 mm dan 150 mm sebesar 3,53% dan 2,39%. Kemudian untuk hasil analisa susut daya di peroleh hasil untuk SK 2 konduktor 70 mm dan 150 mm sebesar 258 kw dan 178 kw , SK 4 yang menggunakan konduktor 70 mm dan 150 mm sebesar 237 kw dan 172.

Kata Kunci : Sistem Distribusi, Penyulang, Jatuh Tegangan, Susut Daya, ETAP 12.6.0

I. PENDAHULUAN

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri atas sistem pembangkit, transmisi dan distribusi. Tenaga listrik disalurkan ke masyarakat melalui jaringan distribusi. Oleh sebab itu jaringan distribusi merupakan bagian jaringan listrik yang paling dekat dengan masyarakat. Jaringan distribusi dikelompokkan menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Peranan penyulang dalam kelistrikan sangatlah penting dan harus andal. Idealnya bagaimana suatu penyulang tersebut dikategorikan andal, baik dan berkualitas adalah tidak terjadi banyaknya gangguan sehingga yang menyebabkan terputusnya aliran listrik kepada konsumen. Perlunya keandalan pada penyulang-penyulang yang ada merupakan suatu keharusan yang wajib dipenuhi oleh pihak PLN selaku pengelolanya.

Penyulang adalah sarana untuk pendistribusian tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen. Di mana kontinuitas pendistribusian tenaga listrik tersebut harus selalu dijaga. Namun pada kenyataannya, penyulang tersebut sering mengalami gangguan yang dapat disebabkan adanya kejadian secara acak dalam sistem yang dapat berupa terganggunya fungsi peralatan, peningkatan beban dan lepasnya peralatan-peralatan yang tersambung ke sistem.

Selain itu, biasanya gangguan tersebut juga disebabkan oleh jaringan dengan konduktor telanjang yang banyak terdapat di Indonesia lebih khusus lagi yang terdapat di PT.PLN ULP Kawangkoan yang terpasang di udara bebas yang akan beresiko menyebabkan terjadinya gangguan seperti gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah yang sifatnya temporer dan permanen.

Dengan peningkatan penyediaan kebutuhan listrik yang pesat, sebaiknya diimbangi dengan kualitas listrik itu sendiri. PT PLN (persero) sebagai Perusahaan Listrik Negara yang menyuplai energi listrik berusaha untuk menyediakan energi listrik kepada masyarakat dengan kualitas yang baik yaitu dengan mutu energi listrik yang handal. Sehingga penyaluran energi listrik kepada konsumen akan berjalan dengan baik sesuai dengan yang diharapkan.

Maka dari itu, penulis mencoba membuat penelitian tugas akhir dengan judul “Studi Kelayakan Operasi Perencanaan Uprating SUTM Pada Penyulang SK 2 & SK 4 Di Gardu Induk Kawangkoan Dengan Metode Simulasi ETAP 12.6.0”

A. Landasan Teori

1) Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan rangkaian instalasi tenaga listrik yang dimulai dari pembangkit, transmisi, dan distribusi yang dioperasikan secara serentak untuk penyediaan tenaga listrik. Tenaga listrik yang dihasilkan di pembangkit akan dinaikkan terlebih dahulu tegangannya dengan menggunakan transformator penaik tegangan (step up) kemudian di transmisikan ke beban melalui saluran transmisi. Tegangan tersebut dinaikkan ke tegangan tinggi yaitu 70 kV sampai 150 kV atau tegangan ekstra tinggi yaitu di atas 150 kV.

Selanjutnya tenaga listrik sampai ke Gardu Induk (GI) kemudian tegangan diturunkan menggunakan trafo penurun tegangan (step down) menjadi tegangan menengah yaitu 20kV. Jaringan distribusi merupakan jaringan yang keluar dari gardu induk, sedangkan jaringan transmisi merupakan jaringan antara gardu induk dan pusat listrik. Tegangan menengah 20 kV dapat langsung digunakan oleh konsumen yang mempunyai daya besar seperti industri besar.

Setelah dari jaringan distribusi primer, tegangan diturunkan pada gardu distribusi dengan trafo penurun tegangan (step down) menjadi tegangan rendah 380/220 Volt, kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah (JTR) untuk disalurkan ke konsumen yaitu rumah-rumah pelanggan PLN melalui Sambungan Rumah (SR).

2) Sistem Distribusi Listrik

Sistem distribusi listrik merupakan suatu kondisi pengiriman energi listrik dari pusat pembangkit hingga ke pusat beban (konsumen). Pada sistem distribusi sering mengalami gangguan, oleh karena itu mengatasi gangguan adalah masalah utama dalam operasi sistem distribusi karena jumlah gangguan pada sistem distribusi relatif banyak dibandingkan dengan gangguan pada bagian dari sistem yang lain. Sistem distribusi terbagi menjadi dua yaitu Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR) yang keduanya beroperasi secara radial.

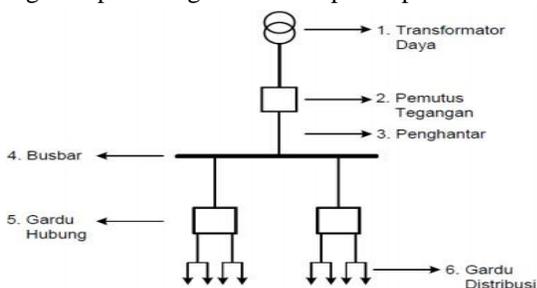
3) Struktur Distribusi Tenaga Listrik

Struktur distribusi tenaga listrik terbagi menjadi empat bagian yaitu :

1. Gardu Induk (GI)
2. Gardu Hubung (GH)
3. Gardu Distribusi
4. Feeder (Penyulang)

4) Sistem Jaringan Distribusi Primer

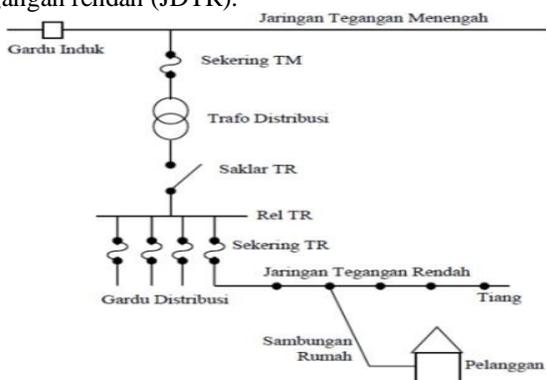
Sistem jaringan ini terletak antara gardu induk dan gardu distribusi, yang memiliki tegangan standar yaitu 6 kV, 10 kV, dan 20 kV (sesuai standar PLN). Sistem jaringan distribusi primer menggunakan saluran udara, kabel udara, ataupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan dan kondisi lingkungan. Jaringan distribusi primer direntangkan dari gardu distribusi ke daerah yang di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban.



Gambar 1. Bagian Sistem Distribusi Listrik

5) Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem jaringan ini merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu distribusi ke pusat-pusat beban yaitu konsumen tenaga listrik atau yang sering disebut sistem distribusi tegangan rendah (JDTR).



Gambar 2. Jaringan Tegangan Menengah Hingga Konsumen

6) Jaringan Tegangan Menengah

Jaringan tegangan menengah adalah jaringan distribusi yang dimulai dari gardu induk distribusi sampai dengan gardu transformator distribusi dan dilengkapi pemutus daya pada kedua ujungnya. Jaringan tegangan menengah dibagi dalam 3 (tiga) bagian yaitu :

1. Jaringan utama,
2. Cabang jaringan utama (lateral),
3. Sub cabang jaringan utama sub (lateral).

Sub cabang utama ini dihubungkan untuk melayani gardu transformator distribusi. Jaringan utama dapat berupa jaringan kawat terbuka dan jaringan kabel. Kemungkinan terjadi gangguan pada jaringan kabel lebih kecil dibandingkan dengan jaringan kawat terbuka.

Untuk mengurangi daerah yang mengalami gangguan pada jaringan utama, pada cabang jaringan utama dan sub cabang jaringan utama dipergunakan fuse. Penggunaan dari fuse harus dikoordinasikan sedemikian rupa dengan pemutus daya pada jaringan utama dan fuse pada gardu transformator distribusi.

7) Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan tegangan rendah adalah jaringan tegangan distribusi yang dimulai dari gardu transformator distribusi sampai dengan alat pembatas dan pengukur atau meter konsumen.

Jaringan tegangan rendah terdiri atas :

1. Saluran tegangan rendah
2. Titik penyambungan
3. Sambungan pelayanan, yang meliputi : Alat pembatas dan pengukur atau meter konsumen.

8) Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah atau sebaliknya, melalui suatu magnet dari inti besi yang berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

Prinsip transformator adalah hukum ampere dan hukum faraday, yaitu : arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Transformator digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

9) Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran udara tegangan menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan tegangan menengah yang digunakan di Indonesia.

Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penghantar yang digunakan pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) ini adalah konduktor dengan bahan utama tembaga atau aluminium. Pilihan konduktor penghantar telanjang yang memenuhi pada saat ini adalah AAAC atau AAC.

10) Kawat Penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Penghantar pada sistem jaringan distribusi berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari suatu bagian keinstalasi atau bagian yang lain. Penghantar ini harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

1. Memiliki daya hantar yang tinggi
2. Memiliki kekuatan tarik yang tinggi
3. Memiliki berat jenis yang rendah
4. Memiliki fleksibilitas yang tinggi
5. Tidak cepat rapuh
6. Memiliki harga yang murah

11) Jenis Kawat Penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Jenis-jenis bahan penghantar, antara lain :

1. Kawat logam biasa, contohnya AAC (All Aluminium Conductor).
2. Kawat logam campuran, contohnya AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)

12) Penyulang (Feeder)

Penyulang / Feeder adalah jaringan PLN yang berfungsi menyalurkan / mendistribusikan energi listrik dengan tegangan 20.000 Volt dari Gardu Induk (GI) menuju Gardu Distribusi hingga sampai ke konsumen dengan tegangan 380 Volt atau 220 Volt.

13) Rugi-Rugi Daya (Losses) Pada Jaringan Distribusi

Losses atau rugi daya adalah perbedaan antara energi listrik yang disalurkan dengan energi listrik yang terpakai. Dalam penyaluran energi listrik dapat mengalami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi- rugi pada trafo maupun rugi-rugi pada saluran yang dapat menyebabkan adanya drop tegangan.

Rugi-rugi daya sangat berpengaruh terhadap kualitas daya serta tegangan yang di salurkan ke konsumen. Drop Voltage yang melebihi batas standar PLN dapat menyebabkan tidak optimalnya kerja suatu peralatan listrik di sisi pelanggan dan juga akan menimbulkan kerugian finansial di sisi perusahaan pengelola listrik akibat dari rugi-rugi daya yang besar. Rugi- rugi daya sebenarnya tidak dapat dihilangkan, tetapi dapat diminimalkan.

Rumus menghitung rugi daya yang disalurkan dari sumber ke beban yaitu sebagai berikut :

$$P_{Loss} = P_s - P_p$$

Dimana:

P_s = Energi listrik yang disalurkan

P_p = Energi listrik yang terpakai

Pemilihan jenis kabel dengan nilai resistansi yang kecil akan dapat mengurangi nilai rugi-rugi daya. Rumus untuk menghitung besarnya rugi-rugi daya pada jaringan distribusi yaitu sebagai berikut:

$$P = I^2 R$$

Keterangan:

P = Losses pada saluran penghantar (Watt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

R = Tahanan penghantar (Ohm)

Rumus untuk menentukan besar rugi-rugi daya pada saluran 3 fasa yaitu sebagai berikut:

$$P_{Loss} = 3 \times I^2 \times \text{Refektif}$$

Dimana:

P_{loss} = Losses (kW)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

Refektif = Resistansi saluran efektif (Ohm)

Setelah memperoleh nilai Losses, maka dapat diketahui besar persentase kerugian daya yang dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\%P_{loss} = \frac{P_{loss}}{P} \times 100\%$$

Dimana:

P_{loss} = Rugi-rugi daya (Watt)

P = Besar daya yang disalurkan (Watt, kW, MW)

Pada jaringan distribusi, nilai resistansi suatu penghantar merupakan penyebab utama besarnya rugi-rugi daya.

Berikut merupakan rumus untuk mencari nilai resistansi penghantar:

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

Dimana:

R = resistansi kabel penghantar (Ω)

ρ = resistansi jenis kabel penghantar (Ωm)

P = panjang penghantar (meter)

A = luas penampang (m^2)

Nilai resistansi suatu penghantar dipengaruhi oleh panjang penghantar, bahan penghantar dan luas permukaan penghantar. Untuk panjang dari suatu penghantar tergantung dari jarak distribusi ke pelanggan. Sedangkan resistivitas bahan tergantung dari bahan penghantar yang digunakan. Luas penampang dari suatu penghantar akan mengurangi nilai resistansi saluran. Akan tetapi dalam perubahan luas penampang penghantar harus memperhatikan faktor efisiensinya. Untuk mengurangi resistansi saluran pada jaringan distribusi, dapat mengganti jenis bahan penghantar dengan bahan yang nilai resistivitasnya rendah serta memperbesar luas permukaan penghantar.

14) Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan atau disebut juga drop tegangan adalah besar tegangan yang hilang pada penghantar dan dapat dinyatakan dalam persen atau besaran volt. Nilai drop tegangan berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban tetapi berbanding terbalik dengan luas penghantar. Standar drop tegangan telah ditetapkan dalam SPLN No. 1 Tahun 1995 yaitu variasi tegangan pelayanan ditetapkan maksimum +5% minimum -10% terhadap tegangan nominal.

Untuk menghitung persentase drop tegangan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta V = \frac{V_S - V_R}{V_S} \times 100\%$$

Rumus untuk menghitung drop tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV 3 fasa yaitu sebagai berikut:

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

Sedangkan rumus untuk menghitung drop tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV 1 fasa yaitu sebagai berikut:

$$\Delta V = I \times L \times (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

Dimana:

I = Arus beban (Ampere)

L = Panjang jaringan (km)

R = Resistansi rangkaian (Ohm/km/fasa)

θ = Sudut faktor daya beban

X = Reaktansi induktif rangkaian (Ohm/km/fasa)

II. METODE PENELITIAN

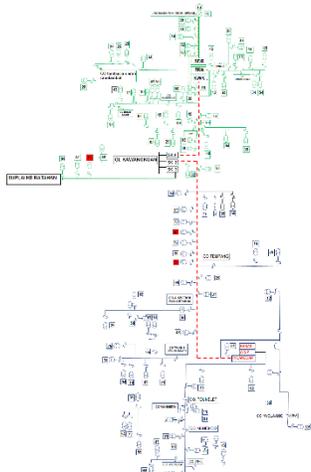
A. Prosedur Penelitian

1. Studi Literatur, yaitu mengumpulkan literature serta pustaka yang dapat berhubungan dengan uprating sumtu pada penyulang SK 2 dan SK 4
2. Observasi Lapangan, yaitu mengumpulkan permasalahan-permasalahan yang terjadi di lapangan. Mengumpulkan data langsung dari instansi terkait serta literatur yang ada
3. Diskusi, antara lain dengan dosen pembimbing, dosen yang berkompeten di bidang ini, serta teman mahasiswa yang mengerti mengenai masalah yang telah di kumpulkan melalui observasi.
4. Mengumpulkan data-data yang di butuhkan untuk di olah Analisa data, yaitu mengolah data-data yang telah dikumpulkan
5. Penarikan kesimpulan

B. Data Teknis

Adapun data-data yang telah dikumpulkan pada penelitian ini yaitu :

1. Data Single Line Gardu Induk Kawangkoan



Gambar 1 : Single Line Jaringan Sisten Tenaga Listrik Pada Penyulang SK 2 Dan SK 4.

2. Data Arus Penyulang

Tabel 1. Arus Penyulang

Gardu Induk	Penyulang	Arus (Ampere)
GI Kawangkoan	SK 2	172 A
GI Kawangkoan	SK 4	165 A

3. Data Panjang Penyulang

Tabel 2. Panjang Penyulang

GI	Penyulang	Panjang Penampang (kms)	Jenis Kawat
GI Kawangkoan	SK 2	115,465 kms	AAAC70 mm
GI Kawangkoan	SK 4	147,936 kms	AAAC70 mm

4. Impedansi Urutan Positif Dan Urutan Nol Penghantar AAAC

Tabel 3. Impedansi Urutan Positif Dan Urutan Nol Penghantar AAAC

Penampang Nominal (mm ²)	Impedansi Urutan Positif (Ω /km)	Impedansi Urutan Nol (Ω /km)
16	2,0161 + j 0,4036	2,1641 + j 1,6911
25	1,2903 + j 0,3895	1,4384 + j 1,6770
35	0,9217 + j 0,3790	1,0697 + j 1,6665
50	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553
70	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
95	0,3396 + j 0,3449	0,4876 + j 1,6324
120	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6251
150	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
185	0,1744 + j 0,3239	0,3224 + j 1,6114
240	0,1333 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6033

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada jaringan distribusi primer di Gardu Induk Kawangkoan khususnya penyulang SK 2 dan SK 4, yang pada bab sebelumnya telah di dapatkan nilai perhitungan dari Drop Voltage serta Susut Daya pada jaringan distribusi primer di Gardu Induk Kawangkoan khususnya penyulang SK 2 dan SK 4 dengan perhitungan secara manual , dan selanjutnya pada bab ini kita akan mengetahui nilai dan menganalisa perbandingan antara perhitungan secara manual dan secara simulasi ETAP 12.6.0.

A. Perhitungan Drop Voltage

Dalam perhitungan ini menggunakan konduktor sesuai di feeder penyulang SK 2 dan SK 4 yaitu AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) 70mm. Sehingga hasil yang diperoleh untuk konduktor 70 mm penyulang SK 2 adalah sebagai berikut ;

Diketahui :

$$V = 20 \text{ kV}$$

$$L = 11 \text{ km}$$

$$R = 0,4608 \text{ } \Omega/\text{km} = 0,4608 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11 \text{ km} = 5,068 \text{ } \Omega$$

$$X = 0,3572 \text{ } \Omega/\text{km} = 0,3572 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11 \text{ km} = 3,929 \text{ } \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(5,068)^2 + (3,929)^2} = \sqrt{41,121} = 6,412 \text{ } \Omega$$

$$\cos \theta = R/Z = 0,790$$

$$\sin \theta = X/Z = 0,612$$

Kemudian akan memperoleh hasil sebagai berikut ;

Diketahui :

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$$= 172 (5,068 \times 0,790 + 3,929 \times 0,612)$$

$$= 1,102,222 \text{ V}$$

$$\% = (1,102,222 \text{ V} / 20000 \text{ V}) \times 100\%$$

$$= 5,51 \%$$

Untuk konduktor 70 mm penyulang SK 4 adalah sebagai berikut ;

Diketahui :

$$V = 20 \text{ kV}$$

$$L = 7 \text{ km}$$

$$R = 0,4608 \text{ } \Omega/\text{km} = 0,4608 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7 \text{ km} = 3,225 \text{ } \Omega$$

$$X = 0,3572 \text{ } \Omega/\text{km} = 0,3572 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7 \text{ km} = 2,500 \text{ } \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(3,225)^2 + (2,500)^2} = \sqrt{16,650} = 4,080 \text{ } \Omega$$

$$\text{Cos } \theta = R/Z = 0,790$$

$$\text{Sin } \theta = X/Z = 0,612$$

Kemudian akan memperoleh hasil sebagai berikut ;

Diketahui :

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$$= 165 (3,225 \times 0,790 + 2,500 \times 0,612)$$

$$= 672,828 \text{ V}$$

$$\% = (672,828 \text{ V} / 20000 \text{ V}) \times 100\%$$

$$= 3,36 \%$$

Pada Konduktor AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) 150 mm. Sehingga hasil yang diperoleh untuk konduktor 150 mm penyulang SK 2 adalah sebagai berikut ;

Diketahui :

$$V = 20 \text{ kV}$$

$$L = 11 \text{ km}$$

$$R = 0,2162 \text{ } \Omega/\text{km} = 0,2162 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11 \text{ km} = 2,378 \text{ } \Omega$$

$$X = 0,3305 \text{ } \Omega/\text{km} = 0,3305 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11 \text{ km} = 3,635 \text{ } \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(2,378)^2 + (3,635)^2} = \sqrt{18,868} = 4,343 \text{ } \Omega$$

$$\text{Cos } \theta = R/Z = 0,547$$

$$\text{Sin } \theta = X/Z = 0,836$$

Kemudian akan memperoleh hasil sebagai berikut ;

Diketahui :

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$$= 172 (2,378 \times 0,547 + 3,635 \times 0,836)$$

$$= 746,415 \text{ V}$$

$$\% = (746,415 \text{ V} / 20000 \text{ V}) \times 100\%$$

$$= 3,73 \%$$

Untuk konduktor 150 mm penyulang SK 4 adalah sebagai berikut ;

Diketahui :

$$V = 20 \text{ kV}$$

$$L = 7 \text{ km}$$

$$R = 0,2162 \text{ } \Omega/\text{km} = 0,2162 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7 \text{ km} = 1,513 \text{ } \Omega$$

$$X = 0,3305 \text{ } \Omega/\text{km} = 0,3305 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7 \text{ km} = 2,313 \text{ } \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(1,513)^2 + (2,313)^2} = \sqrt{7,639} = 2,763 \text{ } \Omega$$

$$\text{Cos } \theta = R/Z = 0,547$$

$$\text{Sin } \theta = X/Z = 0,837$$

Kemudian akan memperoleh hasil sebagai berikut ;

Diketahui :

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$$= 165 (1,513 \times 0,547 + 2,313 \times 0,837)$$

$$= 455,992 \text{ V}$$

$$\% = (455,992 \text{ V} / 20000 \text{ V}) \times 100\%$$

$$= 2,27 \%$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Drop Voltage

Penyulang/Feeder	Jenis Konduktor	Perhitungan Drop Voltage
SK 2	AAAC 70 mm	5,51 %
SK 2	AAAC 150 mm	3,73 %
SK 4	AAAC 70 mm	3,36 %
SK 4	AAAC 150 mm	2,27 %

Dari hasil perhitungan Drop Voltage secara manual di dapatkan hasil pada tabel 4 di atas yaitu Drop Voltage pada penyulang SK 2 konduktor 70 mm dan 150 mm sebesar 5,51% untuk konduktor 70 mm dan 3,73% untuk konduktor 150 mm , sedangkan untuk hasil dari Drop Voltage pada penyulang SK 4 konduktor 70 mm dan 150 mm yaitu sebesar 3,36% untuk konduktor 70 mm dan 2,27% untuk konduktor 150 mm.

B. Perhitungan Susut Daya

Perhitungan untuk menentukan nilai dari Susut Daya penyulang SK 2 dengan menggunakan konduktor 70mm adalah sebagai berikut ;

Diketahui ;

$$R = 0,508 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$L = 11 \text{ km}$$

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

$$= 3 \times (172)^2 \times 0,508 \times 11 \text{ km}$$

$$P = 495,946 \text{ Watt}$$

$$= 495 \text{ kW}$$

Perhitungan untuk menentukan nilai dari Susut Daya penyulang SK 4 dengan menggunakan konduktor 70mm adalah sebagai berikut ;

Diketahui ;

$$R = 0,508 \Omega/km$$

$$L = 7 \text{ km}$$

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

$$= 3 \times (165)^2 \times 0,508 \times 7$$

$$P = 290,436 \text{ Watt}$$

$$= 290 \text{ kW}$$

Perhitungan untuk menentukan nilai dari Susut Daya penyulang SK 2 dengan menggunakan konduktor 150mm adalah sebagai berikut ;

Diketahui ;

$$R = 0,206 \Omega/km$$

$$L = 11 \text{ km}$$

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

$$= 3 \times (172)^2 \times 0,206 \times 11$$

$$P = 201,112 \text{ Watt}$$

$$= 201 \text{ kW}$$

Perhitungan untuk menentukan nilai dari Susut Daya penyulang SK 4 dengan menggunakan konduktor 150 mm adalah sebagai berikut ;

Diketahui ;

$$R = 0,206 \Omega/km$$

$$L = 7 \text{ km}$$

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

$$= 3 \times (165)^2 \times 0,206 \times 7$$

$$P = 117,775 \text{ Watt}$$

$$= 117 \text{ kW}$$

Tabel. 5 Hasil Perhitungan Susut Daya

Penyulang/Feeder	Jenis Konduktor	Perhitungan Susut secara Teori
SK 2	AAAC 70 mm	495 kW
SK 2	AAAC 150 mm	201 kW
SK 4	AAAC 70 mm	290 kW
SK 4	AAAC 150 mm	117 kW

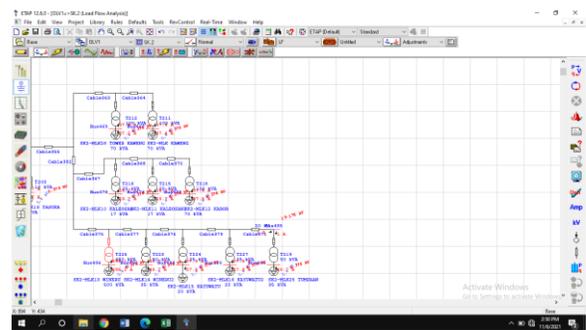
Dari hasil perhitungan Susut Daya secara manual di dapatkan hasil pada tabel 3.7 di atas yaitu Susut Daya pada penyulang SK 2 konduktor 70 mm dan 150

mm sebesar 495 kW untuk konduktor 70 mm dan 201 kW untuk konduktor 150 mm , sedangkan untuk hasil dari Susut Daya pada penyulang SK 4 konduktor 70 mm dan 150 mm yaitu sebesar 290 kW untuk konduktor 70 mm dan 117 kW untuk konduktor 150 mm.

C. Analisa Drop Voltage Menggunakan Simulasi ETAP 12.6.0

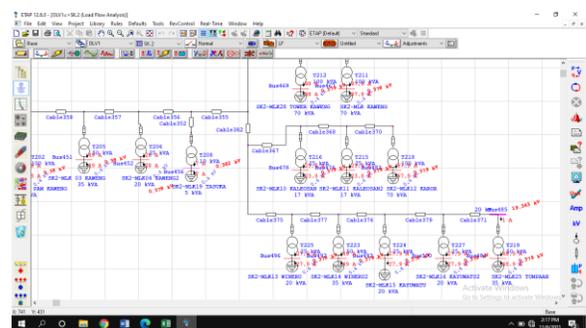
Secara simulasi ETAP 12.6.0 tegangan ujung di SK 2 dengan penampang 70 mm adalah 19,176 kV dan di ubah dalam nilai persentase akan menjadi 4,12 %.

Gambar 2. Tegangan Ujung SK 2 Dengan Penampang 70mm



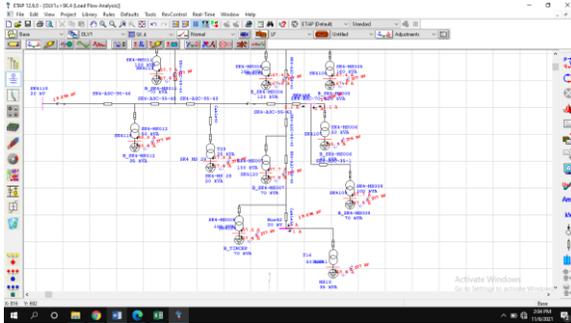
Secara simulasi tegangan ujung di SK 2 dengan penampang 150 mm adalah 19,343 kV dan di ubah dalam nilai presentase akan menjadi 3,28 %.

Gambar 3. Tegangan Ujung SK 2 Dengan Penampang 150mm



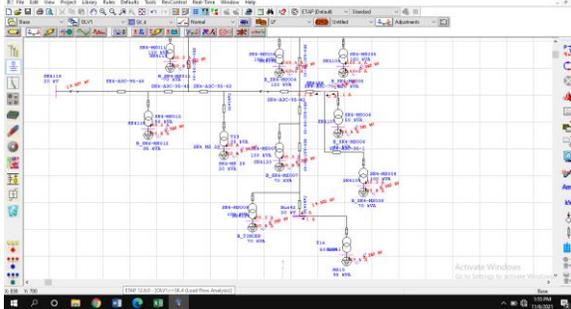
Secara simulasi tegangan ujung di SK 4 dengan penampang 70 mm adalah 19,294 kV dan di ubah dalam nilai presentase akan menjadi 3,53 %.

Gambar 4. Tegangan Ujung SK 4 Dengan Penampang 70mm



Secara simulasi tegangan ujung di SK 4 dengan penampang 150 mm adalah 19,522 kV dan di ubah dalam nilai presentase akan menjadi 2,39 %

Gambar 5. Tegangan Ujung SK 4 Dengan Penampang 150mm



Tabel 6. Hasil Perhitungan Drop Voltage Manual Dan ETAP 12.6.0

Penyulang/Feeder	Jenis Konduktor	Perhitungan Drop Voltage Secara Teori	Perhitungan Drop Voltage Secara Simulasi
SK 2	AAAC 70 mm	5,51 %	4,12 %
SK 2	AAAC 150 mm	3,73 %	3,28 %
SK 4	AAAC 70 mm	3,36 %	3,53 %
SK 4	AAAC 150 mm	2,27 %	2,39 %

Berdasarkan tabel 6 di atas menunjukkan perbandingan antara hasil perhitungan Drop Voltage secara manual dengan Simulasi ETAP 12.6.0. Untuk itu di dapat hasil dimana Drop Voltage secara manual pada penyulang SK 2 konduktor AAAC 70 mm sebesar 5,51% , pada penyulang SK 4 konduktor AAAC 150 mm sebesar 2,27 dan pada

penyulang SK 4 konduktor AAAC 70 mm sebesar 3,36%, pada penyulang SK 2 konduktor 150 mm sebesar 3,73% sedangkan untuk hasil perhitungan secara simulasi menggunakan ETAP 12.6.0 di dapat hasil untuk penyulang SK 2 konduktor AAAC 70 mm sebesar 4,12% , pada penyulang SK 4 konduktor 150 mm sebesar 2,39% dan pada penyulang SK 4 konduktor AAAC 70 mm sebesar 3,53%, pada penyulang SK 2 konduktor 150 mm sebesar 3,28%.

D. Analisa Susut Daya Menggunakan Simulasi ETAP 12.6.0

Gambar 6. Hasil Simulasi Perhitungan Susut Daya Menggunakan ETAP 12.6.0 Penyulang SK 2 Dengan Penampang 70 mm.

SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND

	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	5.091	3.000	5.909	86.15 Lagging
Source (Non-Swing Buses):	0.000	0.000	0.000	
Total Demand:	5.091	3.000	5.909	86.15 Lagging
Total Motor Load:	1.050	0.651	1.236	85.00 Lagging
Total Static Load:	3.782	2.344	4.450	85.00 Lagging
Total Constant I Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Generic Load:	0.000	0.000	0.000	
Apparent Losses:	0.258	0.005		
System Mismatch:	0.000	0.000		

Number of Iterations: 3

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk nilai Susut Daya secara simulasi ada sebesar 258 kW

Gambar 7. Hasil Simulasi Perhitungan Susut Daya Menggunakan ETAP 12.6.0 Penyulang SK 2 Dengan Penampang 150 mm.

SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND

	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	4.644	3.251	5.669	81.92 Lagging
Source (Non-Swing Buses):	0.000	0.000	0.000	
Total Demand:	4.644	3.251	5.669	81.92 Lagging
Total Motor Load:	0.969	0.600	1.140	85.00 Lagging
Total Static Load:	3.498	2.168	4.115	85.00 Lagging
Total Constant I Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Generic Load:	0.000	0.000	0.000	
Apparent Losses:	0.178	0.483		
System Mismatch:	0.000	0.000		

Number of Iterations: 3

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk nilai Susut Daya secara simulasi ada sebesar 178 kW

Gambar 8. Hasil Simulasi Perhitungan Susut Daya Menggunakan ETAP 12.6.0 Penyulang SK 4 Dengan Penampang 70 mm.

SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND

	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	4.634	3.100	5.575	83.11 Lagging
Source (Non-Swing Buses):	0.000	0.000	0.000	
Total Demand:	4.634	3.100	5.575	83.11 Lagging
Total Motor Load:	0.955	0.592	1.123	85.00 Lagging
Total Static Load:	3.442	2.133	4.050	85.00 Lagging
Total Constant I Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Generic Load:	0.000	0.000	0.000	
Apparent Losses:	0.237	0.375		
System Mismatch:	0.000	0.000		

Number of Iterations: 3

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk nilai Susut Daya secara simulasi ada sebesar 237 kW.

Gambar 9. Hasil Simulasi Perhitungan Susut Daya Menggunakan ETAP 12.6.0 Penyulang SK 4 Dengan Penampang 150 mm.

SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND

	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	4.648	3.144	5.611	82.83 Lagging
Source (Non-Swing Buses):	0.000	0.000	0.000	
Total Demand:	4.648	3.144	5.611	82.83 Lagging
Total Motor Load:	0.955	0.592	1.123	85.00 Lagging
Total Static Load:	3.521	2.182	4.143	85.00 Lagging
Total Constant I Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Generic Load:	0.000	0.000	0.000	
Apparent Losses:	0.172	0.370		
System Mismatch:	0.000	0.000		

Number of Iterations: 3

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk nilai Susut Daya secara simulasi ada sebesar 172 kW.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Susut Daya Manual Dan ETAP 12.6.0

Penyulang/Feeder	Jenis Konduktor	Perhitungan Susut secara Teori	Perhitungan Susut Secara Simulasi
SK 2	AAAC 70 mm	495 kW	258 kW
SK 2	AAAC 150 mm	201 kW	178 kW
SK 4	AAAC 70 mm	290 kW	237 kW
SK 4	AAAC 150 mm	117 kW	172 kW

Berdasarkan tabel 7 yang berada di atas menunjukkan perbandingan antara hasil perhitungan Susut Daya secara manual dengan Simulasi ETAP 12.6.0.

Untuk itu di dapat hasil dimana Susut Daya secara manual pada penyulang SK 2 konduktor AAAC 70 mm sebesar 495 kW, pada penyulang SK 4 konduktor AAAC 150 mm sebesar 117 kW dan pada penyulang SK 4 konduktor AAAC 70 mm sebesar 290 kW, pada penyulang SK 2 konduktor 150 mm sebesar 201 kW sedangkan untuk hasil perhitungan secara simulasi menggunakan ETAP 12.6.0 di dapat hasil untuk penyulang SK 2 konduktor AAAC 70 mm sebesar 258 kW, pada penyulang SK 4 konduktor 150 mm sebesar 172 dan pada penyulang SK 4 konduktor AAAC 70 mm sebesar 237 kW, pada penyulang SK 2 konduktor 150 mm sebesar 178 kW.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Setelah dilakukannya suatu perencanaan menggunakan simulasi ETAP 12.6.0 untuk uprating pada penyulang SK 2 dan SK 4 diharapkan itu dapat mengurangi gangguan sesaat.

2. Hasil dari perhitungan untuk perbandingan antara teori jatuh tegangan dan susut daya dengan simulasi ETAP 12.6.0 di dapatkan hasil yang hampir mendekati sama.

3. Analisa susut dan simulasi yang dari kawat A3C ke kabel A3CS akan mengurangi susut dan akan menambah benefit bagi PLN.

B. Saran

Adapun saran yang dapat saya diberikan berdasarkan analisa yang telah dilakukan yaitu kiranya dapat menjadi referensi dalam sebuah perencanaan uprating SUTM pada penyulang SK 2 dan SK 4 yang ada di Gardu Induk Kawangkoan.

V. KUTIPAN

- [1] Adiwismono, Agus. 2010. "Susut pada Jaringan Distribusi 20kV". Dalam ORBITH. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- [2] Akbar, Andi Ali. 2007. "Perhitungan Susut Daya pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah Saluran Udara dan Kabel". Dalam

- Jurnal Sains dan Teknologi EMAS, Vol.17, No. 3, Agustus 3007. Bandung: Itenas.
- [3] Datika, W., Budianto, T. H., & Arkan, F. (2017). Analisis pengaruh pola operasi penyulang ceko terhadap tegangan ujung di desa sebagian PLN Rayon Toboali. In PROCEEDINGS OF NATIONAL COLLOQUIUM RESEARCH AND COMMUNITY SERVICE (Vol. 1).
- [4] Hidalgo, A. (2020). ANALISA UPRATING PENGHANTAR PADA FEEDER TIKU TERHADAP PERBAIKAN DROP TEGANGAN JARINGAN TEGANGAN MENENGAH DI PT PLN (Persero) RAYON LUBUK BASUNG (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT).
- [5] Hontong, Nolki Jonal. dkk. (2015) : Analisa Rugi–Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu.
- [6] Iham Akbar Sukmawan, Kartono, dan Munawar Agus Riyadi, 2015, Analisis Kebutuhan Gardu Induk Untuk Perbaikan Sistem Distribusi Daya Listrik Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro..
- [7] Muhammad, G. C. S. (2010) : “Analisa Jatuh Tegangan Gardu Distribusi Primer 20 KV Pada PT.PLN (Persero) Sektor Keramasan Palembang
- [8] Mogot, O. T. L. 2019. Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Peletakan Kabel Tanah 20kV, *e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Vol.8 No. (2)*. Universitas Sam Ratulangi
- [9] PAMBUDI, A. (2018). Studi Uprating Konduktor dalam Mengantisipasi Rugi Daya Saluran akibat Penambahan Beban pada Penyulang KPK-11 PT PLN (Persero) Rayon Semarang Barat (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [10] Ratnasari, Aprilia Dian. 2013. Simulasi Losses dan Drop Tegangan Pada Penyulang KPK 06 Gardu Induk Krpyak Berdasarkan Data Existing dan Peramalan Beban Menggunakan Software Etap7.5.0. Tugas Akhir. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [11] Riski, Aldi. (2013) : Pengaruh Penambahan Jaringan Terhadap Drop Tegangan pada SUTM 20 kV Feeder Kersik Tuo Rayon Kersik Tuo Kabupaten Kerinci.
- [12] S, Julen Kartoni dan Edy Ervianto. (2016) : Analisa Rekonfigurasi Pembebanan Untuk Mengurangi Rugi–rugi Daya Pada Saluran Distribusi 20 kV.
- [13] Stevenson, William D. 1993. Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [14] Wagner,A.Y.Chikani,R. Hackman,Fellow,FeederReconfiguration For Loss Reduction : IEEE Transactions On Power Delivery,Vol.6,No.4,October 2001.t
- [15] Wibowo, Ratno, dkk. (2010) : Buku 5 Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik, Jakarta Selatan, PT. PLN (Persero).

TENTANG PENULIS



Penulis bernama lengkap **Andre Spencer Deeng**, anak kedua dari dua bersaudara Septian Surya Saputra Deeng, S.T (kakak) dari pasangan suami istri Jefry Deeng (Ayah) dan Lisa Poluan (Ibu), Lahir di Bitung, 22 Agustus 1999. Sebelum menempuh jenjang pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, penulis telah menempuh pendidikan secara berturut-turut di SD GMIM 5 Tomohon (2005-2011), SMP Negeri 1 Tomohon (2011 - 2014), SMA Kristen 1 Tomohon (2014-2017).

Pada tahun 2017, penulis memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik. Pada tahun 2020 penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. PLN ULP Kawangkoan ,Sulawesi Utara.

Selama menempuh pendidikan penulis aktif dalam beberapa kegiatan di dalam dan luar lingkungan kampus terutama dalam kegiatan di Laboratorium Teknik Tenaga Listrik UNSRAT, UPK Kristen FT. Unsrat dan Himpunan Mahasiswa Elektro

FT.UNSRAT. Penulis selesai menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada Bulan Januari 2022, dengan judul Tugas Akhir

Studi Kelayakan Operasi Perencanaan Upgrading SUTM Pada Penyulang SK 2 & SK 4 Di Gardu Induk Kawangkoan Dengan Metode Simulasi ETAP 12.6.0