

Penyusutan Energi Listrik Pada Penyulang SU2 Jaringan Distribusi Minahasa Utara

Meyer Nixon Nelwan⁽¹⁾, Maickel Tuegeh, ST., MT.⁽²⁾, Ir. Fielman Lisi, MT.⁽³⁾
 (1)Mahasiswa (2)Pembimbing 1 (3)Pembimbing 2

Jurusan Teknik Elektro-FT, UNSRAT, Manado-95115, Email: meyer.nelwan@yahoo.com

Abstrak

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok untuk membantu kinerja manusia, untuk itu suatu energi listrik dalam pendistribusiannya harus memiliki kualitas dan mutu yang baik, namun kenyataannya dalam pendistribusian energi listrik tidak bisa dihindari yang namanya penyusutan energi yang sering terjadi pada pendistribusian energi listrik, standard penyusutan untuk energi listrik sesuai SPLN No, 72 Tahun 1987 yaitu 5% - 10% untuk jaringan udara sedangkan untuk SKTM sebesar 2%. Penyusutan energi listrik yang sering terjadi pada pendistribusian, dikarenakan adanya energi yang terbuang dalam bentuk panas. Menghindari penyusutan yang melebihi standard yang ditentukan maka dilakukan penelitian serta melakukan analisa melalui perhitungan dalam bentuk persen (%) dan dalam watt (W), dalam hal ini untuk mengetahui berapa besar jumlah penyusutan energi yang dialami oleh PT.PLN (Perusahaan Listrik Negara) Cabang Manado khususnya yang terjadi pada penyulang SU2. Ketika sudah diketahui jumlah penyusutan energi yang terjadi dan jika penyusutan melebihi standard yang ditentukan, maka salah satu solusi untuk mengatasinya dengan merubah jenis penampang kawat yang digunakan pada penyulang SU2.

Kata Kunci : Jaringan Distribusi, Penampang Kawat, Penyulang SU2, Penyusutan Energi,

Abstract

Electrical energy is a basic requirement to help human performance to the one in the distribution of electrical energy must have quality and good quality, but in fact in the distribution of electrical energy is inevitable that his name shrinkage energy that often occurs in the distribution of electrical energy, depreciation standards for electrical energy according SPLN No. 72 of 1987, which is 5% - 10% for air network while SKTM by 2%. Depreciation of electrical energy that often occurs in the distribution, because of the energy is wasted in the form of heat. Avoid shrinkage which exceeds the standards specified then conducted research and analysis through the calculation in the form of percent (%) and in watts (W), in this case to find out how much energy shrinkage experienced by PT.PLN (Perusahaan Listrik Negara) Branch Manado especially occurring in SU2 feeders. When it is known that the amount of energy depletion occurs and if the depreciation exceeds the standards specified, then one of the solutions to overcome

them by changing the type of cross section of the wire used in the feeder SU2

Keywords: Depreciation Energy, Distribution Network, Feeder SU2, Line Distribution, Wire Cross Section

I. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia pada zaman ini tidak bisa lepas dari namanya energi listrik bahkan bisa dikatakan bahwa energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok dalam memenuhi setiap kebutuhan manusia. Apalagi di kota-kota besar, listrik sudah menjadi bagian hidup sehari-hari mulai dari kegiatan rumah tangga sampai pada industri-industri besar. Tenaga listrik merupakan bagian dari bentuk energi dan cabang produksi yang penting dalam menunjang upaya untuk memajukan suatu bangsa, sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam yang menguasai hajat hidup orang banyak, tenaga listrik perlu dipergunakan untuk kesejahteraan dan kemakmuran rakyat. Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu dengan yang lain yang dihubungkan oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan satu kesatuan yang terinterkoneksi, suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi.

Jaringan distribusi adalah salah satu sistem yang memiliki peranan, yaitu untuk menyalurkan energi listrik kekonsumen melalui jaringan tegangan menengah (JTM), jaringan tegangan rendah (JTR), kemudian sambungan rumah (SR), jaringan ini akan berakhir pada alat pembatas dan pengukuran (APP) yang ada pada konsumen.

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 yang dikirim tidak sama dengan energi yang sampai pada konsumen, hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi atau susut energi pada jaringan distribusi, yang merupakan masalah yang biasa dan yang tidak dapat dihindari dalam pendistribusian energi listrik, penyusutan dapat terjadi dikarenakan berkurangnya kemampuan dari peralatan yang

digunakan dalam pendistribusian energi listrik, serta meningkatnya beban dan lepasnya peralatan-peralatan yang tersambung ke sistem, selain itu juga dikarenakan adanya energi yang terbuang yang berupa panas.

Sebagian besar dari penyusutan energi listrik pada jaringan distribusi dikarenakan adanya energi yang terbuang yang berupa panas pada kawat jaringan dan trafo sesuai dengan hukum fisika, sebagiannya lagi merupakan penyusutan non-teknis. Oleh karena itu maka diperlukan kajian tentang jaringan distribusi Minahasa Utara khususnya pada penyulang SU2 untuk mengetahui berapa besar susut yang terjadi pada penyulang SU2 tersebut, sehingga permasalahan yang ada dapat diatasi dengan dilakukannya perbaikan-perbaikan pada bagian sistem yang menyebabkan terjadinya susut jaringan distribusi. Berdasarkan permasalahan diatas maka penulis mengangkat judul untuk tugas akhir ini, yaitu “ Analisis Penyusutan Energi Listrik pada Penyulang SU2 Jaringan Distribusi Minahasa Utara”.

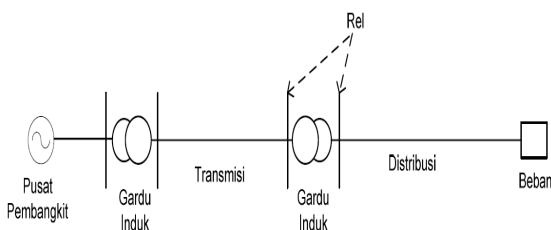
II. DASAR TEORI

A. Penelitian Terdahulu

Penyusutan energi listrik pada sebelumnya sudah pernah dilakukan oleh beberapa orang dengan kasus dan tempat yang berbeda. Penelitian terdahulu ini merupakan bahan untuk di jadikan perbandingan serta bahan untuk penulisan tugas akhir ini, penelitian terdahulu yang digunakan untuk perbandingan dan bahan penulisan, yaitu :

Nolki J Hontong dengan judul analisa rugi – rugi daya pada jaringan distribusi di PT. PLN Palu (rayon kota). Permasalahan yang ditemukan adalah besarnya rugi-rugi energi yang terjadi melebihi standard yang ditentukan oleh PLN, yaitu pada penyulang angrek terjadi penyusutan sebesar 25,65% sedangkan pada penyulang matahari sebesar 14,98%. cara penanggulangannya yaitu dengan merubah ukuran penghantar kawat pada penyulang.

Rony Hermandos dengan judul “perhitungan susut tegangan sistem distribusi 20 kVA pada penyulang panaran PT. PLN Batam”. hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa dengan panjang penyulang 18,3 KM dan daya yang disalurkan sebesar 19,45 kVA menghasilkan penyusutan tegangan sebesar 2,7633% dalam hal ini dapat dikatakan bahwa penyusutan yang terjadi pada penyulang panaran PT. PLN Batam sesuai standard yang diberlakukan oleh PLN yaitu tidak melebihi 10%.



Gambar 1. Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik

B. Pengertian Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik yang besar dan sampai pada konsumen, fungsi distribusi tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) lihat gambar 1, dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Sistem jaringan distribusi juga dapat diklasifikasikan dari berbagai segi, antara lain adalah berdasarkan ukuran tegangan dan bentuk jaringan.

Berdasarkan ukuran tegangan

Berdasarkan ukuran tegangan, jaringan distribusi energi listrik dapat di bedakan pada dua sistem, yaitu sistem jaringan distribusi primer dan sistem distribusi sekunder.

Berdasarkan bentuk jaringan

Sistem radial, sistem loop, *Sistem network/mesh* dan sistem interkoneksi

C. Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, maka diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan :

Daerah I:Bagian pembangkitan (*Generation*)

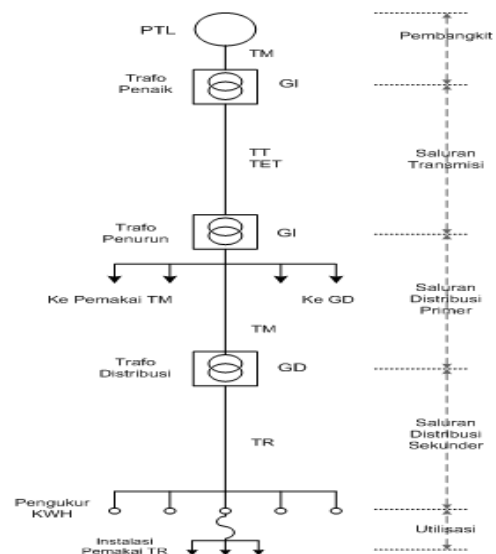
Daerah I:Bagian penyaluran (*Transmission*), bertegangan tinggi (HV, UHV, EHV).

Daerah III : Bagian distribusi primer, bertegangan menengah (6 atau 20 kV)

Daerah IV : Bagian distribusi sekunder, bertegangan rendah

Daerah V : Konsumen / pemakai energi

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (*power station*) hingga sampai kepada konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Sistem tenaga listrik ini terdiri dari unit pembangkit, unit transmisi dan unit distribusi, lihat gambar 2.



Gambar 2. Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

D. Bagian-bagian Sistem Distribusi

Bagian-bagian dari sistem distribusi adalah sebagai berikut.

Gardu induk

Gardu induk merupakan unit di dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menerima daya dari sistem transmisi kemudian diteruskan kesistem distribusi. Energi yang disalurkan melalui sistem transmisi (150 kV-5000 kV) selanjutnya di ubah menjadi tegangan rendah (20 kV).

Jaringan Subtransmisi

Jaringan subtransmisi merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengalirkan daya dari GI menuju gardu distribusi, namun jaringan subtransmisi belum tentu ada di seluruh sistem distribusi, karena jaringan subtransmisi merupakan jaringan dengan tegangan peralihan, seandainya pada jaringan transmisi tegangan yang dipakai adalah 500 kV maka setelah masuk GI tegangan akan menjadi 150 kV (belum termasuk tegangan untuk distribusi) sehingga jaringan ini dinamakan subtransmisi karena masi bertegangan tinggi.

Gardu Induk Distribusi

Gardu induk distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan subtransmisi menjadi tegangan distribusi primer dari daerah tersebut.

Jaringan Primer

Jaringan primer menghubungkan sisi tegangan rendah gardu induk dengan sisi primer gardu distribusi yang berada di pusat beban.

Gardu Distribusi

Distribusi untuk menurunkan tegangan primer ke tegangan sekunder yaitu tegangan yang digunakan oleh konsumen.

Jaringan Sekunder

Jaringan sekunder merupakan saluran yang keluar dari sisi tegangan rendah trafo distribusi menuju ke konsumen yang terbagi dari berbagai macam golongan.

E. Persyaratan Sistem Distriusi Tenaga Listrik

Usaha untuk meningkatkan kualitas, keterandalan, dan pelayanan tenaga listrik ke konsumen, maka diperlukan persyaratan sistem distribusi tenaga listrik yang memenuhi alasan-alasan teknis, ekonomis, dan sosial sehingga dapat memenuhi standar kualitas dari sistem pendistribusian tenaga listrik tersebut. Adapun syarat-syarat sistem distribusi tenaga listrik tersebut adalah :

Faktor Keterandalan Sistem

Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen harus terjamin selama 24 jam terus-menerus. Persyaratan ini cukup berat, selain harus tersedianya tenaga listrik pada Pusat Pembangkit Tenaga Listrik dengan jumlah yang cukup besar, juga kualitas system distribusi tenaga listrik harus dapat diandalkan, karena digunakan secara terus-menerus.

Faktor Kualitas Sistem

Kualitas tegangan listrik yang sampai ke titik beban harus memenuhi persyaratan minimal untuk setiap kondisi dan sifat-sifat beban. Oleh karena itu diperlukan stabilitas tegangan (*voltage regulator*) yang bekerja

secara otomatis untuk menjamin kualitas suatu tegangan sehingga tegangan yang sampai ke konsumen itu stabil.

Tegangan jatuh atau tegangan *drop* dibatasi pada harga 10 % dari tegangan nominal sistem untuk setiap wilayah beban. Daerah beban yang terlalu padat diberikan beberapa *voltage regulator* untuk menstabilkan tegangan.

Kualitas peralatan listrik yang terpasang pada jaringan dapat menahan tegangan lebih (*over voltage*) dalam waktu singkat.

Faktor Keselamatan Sistem dan Publik

Keselamatan penduduk dengan adanya jaringan tenaga listrik harus terjamin dengan baik. Artinya, untuk daerah padat penduduknya diperlukan rambu-rambu pengaman dan peringatan agar penduduk dapat mengetahui bahaya listrik, selain itu untuk daerah yang sering mengalami gangguan perlu dipasang alat pengaman untuk dapat meredam gangguan tersebut secara cepat dan terpadu.

Keselamatan alat dan perlengkapan jaringan yang dipakai hendaknya memiliki kualitas yang baik dan dapat meredam secara cepat bila terjadi gangguan pada sistem jaringan. Untuk itu diperlukan jadwal pengontrolan alat dan perlengkapan jaringan secara terjadwal dengan baik dan berkesinambungan.

F. Komponen Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi memiliki komponen-komponen yang terintegrasi menjadi sebuah jaringan yang utuh. Komponen-komponen tersebut antara lain yaitu :

Penghantar

Penghantar adalah salah satu komponen utama pada jaringan distribusi. Penghantar terdapat pada JTM maupun JTR. Secara umum penghantar yang digunakan pada jaringan distribusi dibagi menjadi dua jenis, yaitu kawat dan kabel.

Penghantar kawat adalah penghantar tanpa selubung isolasi yang membungkusnya. Jenis penghantar ini hanya dipakai pada JTM. Pilihan konduktor penghantar yang dapat digunakan pada jaringan distribusi saat ini adalah konduktor jenis AAC (*All Aluminium Conductor*) dan AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*).

Penghantar kabel adalah penghantar konduktor dengan selubung isolasi yang membungkusnya. Penghantar kabel yang digunakan pada jaringan distribusi PLN adalah jenis kabel AAAC-S, BC dan XLPE.

Isolator

Isolator adalah komponen pada jaringan distribusi yang berfungsi untuk memisahkan bagian yang bertegangan dengan bagian yang seharusnya tidak bertegangan atau dengan tanah (*ground*). Isolator jaringan tenaga listrik merupakan alat tempat menopang kawat penghantar jaringan pada tiang-tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan secara elektris dua buah kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau loncatan bunga api (*flash over*) sehingga mengakibatkan terjadinya kerusakan pada system jaringan tenaga listrik.

Tiang Penyangga

Tiang penyangga dibutuhkan pada saluran udara jaringan distribusi. Fungsi tiang penyangga adalah untuk menyangga saluran supaya tetap pada jarak aman yang diperbolehkan. Tiang penyangga harus memilih kekuatan mekanis yang cukup untuk menahan tarikan dan beban mekanis dari saluran yang disangganya. Tiang penyangga dapat terbuat dari bahan kayu, beton, atau besi.

Trafo Distribusi

Trafo distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan dari level tegangan menengah ke level tegangan rendah yang dipakai konsumen. Sebagai contoh trafo distribusi menurunkan tegangan 20 kV menjadi 220/380V untuk konsumen. Trafo distribusi juga menghasilkan susut energi.

Peralatan Hubung

Peralatan hubung ini digunakan untuk percabangan dan alokasi seksi pada jaringan distribusi. Dengan adanya peralatan hubung, pengoperasian saat terjadi gangguan menjadi lebih mudah dan handal. Peralatan hubung yang dipasang adalah *Load Break Switch (LBS)* dan *Fused Cut-Out (FCO)*.

G. Faktor-faktor yang Menyebabkan Penyusutan Energi Listrik dalam Menyuplai Energi.

Permasalahan yang sering terjadi dalam penyaluran energi listrik yaitu, jumlah daya atau energi yang sampai kepada konsumen tidak sesuai dengan jumlah energi yang dikirim oleh PLN, hal ini disebabkan karena adanya susut energi pada pendistribusian. Terdapat dua jenis susut energi listrik dalam penyaluran atau dalam sistem distribusi, yaitu susut teknis dan non teknis.

Susut teknis

susut teknis merupakan susut yang disebabkan oleh sifat penghantar dan peralatan listrik itu sendiri dalam keadaan operasi.

Susut non teknis

Susut non-teknis merupakan rugi yang terjadi diakibatkan adanya permasalahan pada penyaluran listrik, susut non-teknis yaitu berupa pencurian listrik, penyambungan listrik secara ilegal, dan kurangnya akurasi pencatatan kWh meter pada pelanggan.

H. Tahanan Penghantar

Suatu tahanan penghantar tergantung pada material, temperature dan frekuensi. Keadaan fisik penghantar menentukan besar tahanan arus searah (DC) dari penghantar. Yang berbanding lurus dengan tahanan jenis dan panjang penghantar dan berbanding terbalik dengan luas penampang.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

Untuk :

- R = Tahanan dari kawat
- ρ = Tahanan Jenis pada suhu 20°C
= 0.0175 ohm mm²/m untuk tembaga
= 0.0287 ohm mm²/m untuk aluminium
- l = panjang kawat
- A = luas penampang

Secara umum kawat-kawat penghantar terdiri dari kawat pilin, dan untuk menghitung pengaruh dari pilin maka panjang kawat dikalikan 1.02 (2% dari faktor koreksi)

Tahanan kawat berubah oleh temperature dalam batas temperature 10 °C sampai 100 °C, maka tembaga dan aluminium berlaku persamaan.

$$R_{t_2} = R_{t_1} [1 + \alpha_{t_1} (t_2 - t_1)] \quad (2)$$

Untuk :

R_{t_1} = Tahanan pada temperature t_1

R_{t_2} = Tahanan pada temperature t_2

α_{t_1} = Koefisien temperature dari tahanan pada temperature t_1 °C

Jadi

$$\frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} = \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \quad (4)$$

Atau

$$R_{t_2} = R_{t_1} \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \quad (5)$$

Untuk :

R_{t_1} = Tahanan dc pada temperature t_2 °C

R_{t_2} = Tahanan dc pada temperature t_2 °C

T_0 = Temperatur transisi bahan

t_1 = 20 °C, suhu terendah pada penghantar telanjang SUTM (SPLN87 : 1991)

t_2 = 60 °C, suhu tertinggi pada penghantar telanjang SUTM (SPLN 87: 1991)

Faktor ketergantungan pada jumlah urat kawat penghantar dapat dilihat pada tabel (I)

Untuk menghitung tahanan dari kawat telanjang ada beberapa factor yang mempengaruhi, diantaranya yaitu efek kulit. Dapat dipersamakan.

$$R_{ac} = K \times R_{t_2} \Omega/km \quad (6)$$

Untuk :

R_{ac} = Tahanan AC pada frekuensi yang diketahui

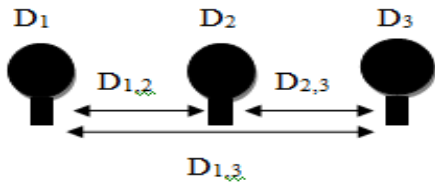
R_{t_2} = tahanan dc pada temperature t_2 °C

K = Faktor koreksi (1,02)

I Induktansi dan Reaktansi Induktif

Dalam menganalisa suatu system, induktansi dan reaktansi induktif dari saluran merupakan salah satu parameter yang sangat menentukan. Harga-harga induktansi dan reaktansi induktif tergantung dari material, jarak dan bentuk dari konfigurasi jaringan.

Seperti diketahui bahwa bentuk konfigurasi dari jaring dari konfigurasi simetris dan tidak simetris. Pada tugas akhir ini yang dibahas hanya konfigurasi jaring simetris. Seperti yang terlihat pada Gambar 3, sebagai berikut.



Gambar 3 Konfigurasi Konduktor
(Sumber : Hutaaruk, S., 1993, Transmisi Daya Listrik)

Untuk mencari GMD pada kawat 3 fasa maka dinyatakan dengan persamaan :

$$GMD = \sqrt[3]{D_{1,2} + D_{2,3} + D_{1,3}} \quad (7)$$

Sedangkan untuk mencari GMR dinyatakan dengan persamaan :

$$GMR = \alpha \times \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (8)$$

Nilai α dapat dilihat pada table berikut :

Karena bentuk dari gelombang arus dan tegangan adalah sinusoidal, maka reaktansi induktif dinyatakan dengan rumus :

$$X_L = 2 \pi f L \Omega/km \quad (9)$$

Untuk menentukan induktansi dari masing-masing kawat penghantar dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \Omega/km \quad (10)$$

Sehingga menjadi :

$$X_L = 2\pi f \times 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMB}{GMR} \Omega/km \quad (11)$$

Untuk :

- f = Frekuensi
- L = Induktansi
- α_g = Faktor ketergantungan pada jumlah urat kawat penghantar
- GMD = *Geometric Mean Radiance* (Jarak rata-rata geometris)
- GMR = *Geometric Mean Radius* (Radius rata-rata geometris)
- A = Besar Penampang mm^2
- X_L = Reaktansi Induktif
- D = Jarak antar penghantar = 1.7 m

J Perhitungan jatuh tegangan

Jatuh tegangan pada jaringan distribusi adalah selisi antara tegangan pangkal atau pengirim (*sending end*) dengan tegangan pada ujung penerima (*receiving end*). Mencari persentase jumlah jatuh tegangan dalam hal ini adalah melengkapi parameter untuk mencari jumlah penyusutan energi yang terjadi pada penyulang yang

menjadi objek penelitian dalam tugas akhir ini, persamaan yang digunakan untuk jatuh tegangan, yaitu.

$$\Delta V(\%) = \frac{100(R \cos \varphi_R + X \sin \varphi_R)}{V_s^2} \sum_{i=1}^n S_i \cdot l_i [\%] \quad (12)$$

Untuk :

- $\Delta V(\%)$: Jatuh tegangan dalam %
- S : Daya yang disalurkan dalam VA
- X : Reaktansi saluran dalam Ω/km
- r : Resistansi saluran dalam Ω/km
- l : Panjang penghantar dalam km
- φ_R : Faktor daya penghantar

K Perhitungan Susut Daya Listrik

Menganalisa jumlah penyusutan daya listrik yang terjadi pada suatu penyulang dalam hal ini penyulang SU2, maka menggunakan rumus :

$$P_{susut} = I^2 \cdot R \quad (13)$$

Di asumsikan bahwa :

$$I = \frac{\Delta V}{R_{ac}} \quad (14)$$

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (15)$$

Untuk :

- P_{susut} : Penyusutan energy (Watt)
- I : Arus yang mengalir pada penyulang
- R : Tahanan pada konduktor

**BAB III
METODOLOGI PENELITIAN**

Tempat dan waktu penelitian yaitu pada kabupaten Minahasa Utara yang memiliki iklim tropis yang cenderung basah, dimana pada bulan Mei – Oktober yaitu musim kemarau dan bulan November – April merupakan musim penghujan.

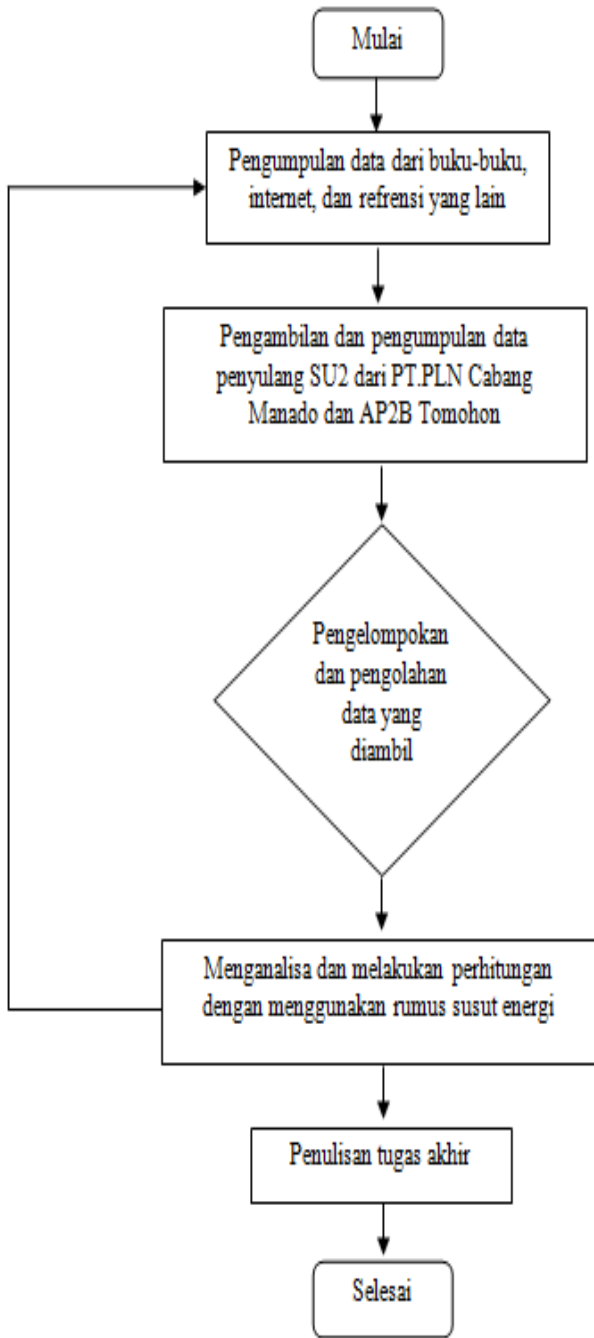
Letak geografis Kabupaten Minahasa Utara antara :
124° 40' 38,39'' - 125° 15' 15,53'' BT dan
1° 17' 51,93'' - 1° 56' 41,03'' LU.

Temperature rata – rata dapat dilihat pada tabel (II)

Batas Wilayah Minahasa :

- Utara : Kabupaten Kepulauan Sangihe dan Laut Sulawesi,
- Timur : Kota Bitung dan Laut Maluku,
- Barat : Kota Manado dan Laut Sulawesi, dan
- Selatan : Kabupaten Minahasa.

Jumlah 46 Pulau dengan 6 pulau berpenghuni (18 Desa). Luas dan pembagian wilayah dapat dilihat pada tabel (III), untuk diagram alir dari penelitian dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

TABEL I FAKTOR KETERGANTUNGAN PADA JUMLAH URAT KAWAT PENGHANTAR

Cu / Al		ACSR	
Jumlah Urat	α_g	Jumlah Urat	α_g
Solid	0.779	26	0.809
7	0.726	30	0.829
19	0.758	54	0.81
30	0.768		
61	0.772		
91	0.774		
127	0.776		

Sumber : Hutauruk, S., 1993, Transmisi Daya Listrik

TABEL II. RATA-RATA TEMPERATUR ATAU SUHU UDARA KABUPATEN MINAHASA UTARA

Daerah	Suhu
Pantai	27 – 31 °C
Dataran Pemukiman	27 – 30 °C

TABEL III. LUAS DAN PEMBAGIAN WILAYAH

No	Kecamatan	Luas (Km ²)	Desa	Kelurahan
1	Likupang Barat	104,289	18	
2	Likupang Timur	290,841	15	
3	Wori	90,704	19	
4	Dimembe	166,433	11	
5	Airmadidi	86,660	3	6
6	Kalawat	39,031	12	
7	Kauditan	108,202	12	
8	Kema	78,755	9	
9	Talawaan	82,508	12	
10	Likupang Selatan	11,821	7	
	Jumlah	1.059,244	118	6

TABEL IV. DATA SYSTEM TENAGA LISTRIK PENYULANG SU2

No	Penyulang	Panjang (m)	Jumlah Gardu (Unit)	Kapasitas Gardu (kVA)
1	Jalur MAL	35.377	19	1100
2	Jalur MAT	26.155	34	2930

TABEL V. DATA PENGHANTAR SUTM PENYULANG SU2

Penyulang	Penghantar Utama	
	Panjang Saluran (Km)	Jenis & Luas Penampang (mm ²)
Jalur MAL	35,377	AAAC 70, 150
Jalur MAT	26,155	AAAC 70, 120, 150 BC 20

TABEL VI. SPESIFIKASI SERTA FUNGSI ALAT DAN BAHAN

No	Nama Alat/bahan	Spesifikasi	Fungsi
1	Personal Komputer/Laptop		Sebagai perangkat keras (hardware) untuk melakukan penyusunan dan pengolahan data
2	Software Microsoft Word	Software Microsoft Word 2007	Sebagai perangkat lunak untuk menyusun skripsi
3	Software Microsoft Exel	Software Microsoft Exel 2007	Sebagai perangkat lunak untuk mengolah data
4	Media Internet		Tempat mencari materi pendukung lain

Luas wilayah Kabupaten Minahasa Utara sebesar 1.261 km² yang terbagi pada 10 Kecamatan dan 124 desa/kelurahan dengan jumlah penduduk pada Tahun 2010 sebanyak 188.407 jiwa.

Tahap persiapan

Melakukan studi literatur mengenai jaringan distribusi terlebih mengenai penyusutan energi. Mengumpulkan studi literatur mengenai penyusutan energi listrik. Menentukan parameter apa yang digunakan untuk menghitung penyusutan energi listrik pada jaringan distribusi.

Tahap Pengambilan Data

Memasukkan surat izin pengambilan data di kantor PT. PLN (Persero) Cabang Manado dan AP2B Tomohon. Setelah mendapat persetujuan dari instansi terkait, kemudian dilakukan pengambilan data.

Tahap Pengolahan Data

Spesifikasi serta alat dan bahan dapat dilihat pada tabel VI.

IV ANALISA DATA

A. Resistansi Konduktor

Menghitung berapa besar penyusutan yang terjadi maka dalam hal ini menggunakan persamaan (13), namun sebelumnya harus terlebih dahulu kita mencari berapa besar jatuh tegangan yang terjadi dengan menggunakan persamaan (12), sebelum mencari jatuh tegangan maka terlebih dahulu juga kita harus mengetahui berapa harga dari tahanan, GMD, GMR, dan reaktansi. Dimana pada saluran distribusi yang ada pada Kabupaten Minahasa Utara khususnya pada penyulang SU2 menggunakan penghantar dengan jenis AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) dengan luas penampangnya 70mm², 120mm², 150mm² dan penghantar Jenis BC (Bare Copper) 25mm².

Menghitung tahanan kawat jenis AAAC 70 mm².

$$R_{t_2} = R_{t_1} \frac{T_0}{T_0}$$

$$R_{t_2} = R_{t_1} \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1}$$

Untuk nilai dari R_{t_1} (lihat lampiran 3), sedangkan nilai T_0 , t_1 , t_2 (Lihat pada table I mengenai tahanan penghantar)

$$\begin{aligned} R_{t_2} &= 0.438 \times \frac{228,1+60}{228,1+20} \\ &= 0.438 \times 1,161 \\ &= 0.508 \Omega/km \end{aligned}$$

Ketika hasil sudah diketahui maka untuk mendapatkan nilai R_{ac} dilakukan dengan factor koreksi ($K=1.02$), dengan perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_{ac} &= K \times R_{t_2} \\ &= 1.02 \times 0.508 \\ &= 0.518 \end{aligned}$$

Selanjutnya mencari nilai reaktansi (X) dalam perhitungannya menggunakan persamaan (11) untuk penghantar jenis AAAC 70 mm² dengan jumlah urat 19, dengan nilai $\alpha = 0.758$ lihat tabel (I) dan jarak antar pengantar ($D = 1,7$ m), $A = 70$ mm² dengan $R_{ac} = 0.518 \Omega/km$.

$$\begin{aligned} GMD &= \sqrt[3]{D_{1,2} \times D_{2,3} \times D_{1,3}} \\ &= \sqrt[3]{1,7 \times 1,7 \times 2,89} \\ &= 0,9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} GMR &= \alpha x \sqrt{\frac{A}{\pi}} \\ &= 0,758 \times \sqrt{\frac{70}{3,14}} \\ &= 3,57 \text{ mm}^2 = 0,00357 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$L = 2 x 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \Omega/km$$

$$= 2 x 10^{-7} \ln \frac{0,9}{0,00357}$$

$$= 110 \times 10^{-6} \Omega/m$$

$$= 110 \times 10^{-3} \Omega/km$$

$$XL = 2 \pi f L$$

$$= 110 \times 10^{-3} \Omega/km$$

$$= 0.34 \Omega/km$$

Dari contoh perhitungan diatas didapat juga hasil untuk perhitungan jenis kawat yang lain, yaitu terdapat pada tabel (VII).

B. Perhitungan jatuh tegangan

Untuk mencari besar jatuh tegangan yang terjadi maka digunakan persamaan (1.12).

Untuk penyulang SU2 pada jalur MAL nilai jatuh tegangan melalui perhitungan adalah sebesar.

$$\Delta V = \frac{100((R \cos \varphi_R) + (X \sin \varphi_R))}{V_s^2} \sum_{i=1}^n S_i \cdot l_i$$

Dalam perhitungan untuk jatuh tegangan maka perlu dimasukkan data dari tahanan yang ada pada table () dengan menggunakan persamaan (12). Berikut perhitungan untuk jatuh tegangan antara GI SU2 dan MAL 54 dengan jenis penghantar AAAC 150 mm².

$$\Delta V = \frac{100((R \cos \varphi_R) + (X \sin \varphi_R))}{V_s^2} \sum_{i=1}^n S_i \cdot l_i$$

Data sistem tenaga listrik dan penghantar untuk penyulang SU2 dapat dilihat pada tabel (IV) dan tabel (V)

TABELVII. HASIL PERHITUNGAN NILAI R DAN X_L UNTUK KAWAT JENIS AAAC DAN BC

Jenis Kawat	R (Ω/km)	X _L (Ω/km)
AAAC 70 mm ²	0,51	0,34
AAAC 120 mm ²	0,34	0,329
AAAC 150 mm ²	0,24	0,320
BC 25 mm ²	0,87	0,417

TABEL VIII. HASIL PERHITUNGAN JATUH TEGANGAN JALUR MAL

Penyalang		Jenis Penampang mm ²	Panjang (km)	ΔV (%)
Awal	Akhir			
GISU2	MAL 54	AAAC150,70	1,554	5,56
MAL 54	MAL 44	AAAC150,70	2,297	6,16
MAL 44	MAL K. KIJANG	AAAC150,70	1,340	3,59
MAL K. KIJANG	MAL 5	AAAC150,70	0,504	1,65
MAL 5	MAL 4	AAAC150,70	0,879	2,37
MAL 4	MAL PERUM	AAAC150	0,274	0,72
MAL PERUM	MAL 3	AAAC150	2,945	7,82
MAL 3	MAL 20	AAAC150	3,058	8,12
MAL 20	MAL P.BATU	AAAC150	1,822	4,83
MAL P.BATU	MAL 21	AAAC150	1,065	2,82
MAL 21	MAL 51	AAAC150	1,118	2,96
MAL 51	MAL 22	AAAC150,70	2,921	11,76
MAL 22	MAL 23	AAAC70	1,122	4,74
MAL 23	MAL 24	AAAC150	1,894	5,03
MAL 24	MAL 25	AAAC150	1,002	2,66
MAL 25	MAL 26	AAAC150,70	2,913	5,71
MAL 26	MAL 27	AAAC150	2,317	6,15
MAL 27	MAL 02	AAAC150,70	0,738	1,93
MAL 2	MAL 01	AAAC150,70	1,162	3,32

TABEL IX. HASIL PERHITUNGAN JATUH TEGANGAN JALUR MAT

Penyalang		Jenis Kawat mm ²	Panjang (km)	ΔV (%)
Awal	Akhir			
MAL 01	MAT 24	AAAC 150	1,974	5,24
MAT 24 A	MAT 24 B	AAAC 150	1,515	4,02
MAT 24 B	MAT 22	AAAC 150	1,299	3,44
MAT 22	MAT 26	AAAC 150	1,492	3,96
MAT 26	MAT 36	AAAC 150	1,614	4,28
MAT 36	MAT 21	AAAC 150	0,252	0,66
MAT 21	MAT 20	AAAC 150	0,409	1,08
MAT 20	MAT 19	AAAC 150	1,157	3,07
MAT 19	MAT 33	AAAC 150	0,773	2,05
MAT 33	MAT 27	AAAC 150	0,022	0,05
MAT 27	MAT 18	AAAC 150	0,491	1,30
MAT 18	MAT 13	AAAC 150	0,579	1,53
MAT 13	MAT 16	AAAC 120	1,470	4,71
MAT 16	MAT 32	AAAC 120	0,377	1,85
MAT 32	MAT 17	AAAC 120	1,328	4,26
MAT 17	MAT 14	AAAC 120	0,486	1,55
MAT 14	MAT 51	AAAC 120	0,296	0,94
MAT 51	MAT 13	AAAC 120	0,623	1,99
MAT 13	MAT 12	AAAC 120	0,606	1,94
MAT 12	MAT 30	AAAC 150,120,70	1,276	4,149
MAT 30	MAT 03	AAAC 150	0,080	0,21
MAT 03	MAT 28	AAAC 150	1,134	3,01
MAT 28	MAT 35	AAAC 150	0,144	0,38
MAT 35	MAT 25	AAAC 150	1,023	2,71
MAT 25	MAT 05	AAAC 150	0,398	1,05
MAT 05	MAT 06	AAAC 150	0,088	0,23
MAT 06	MAT 46	AAAC 150	1,057	2,80
MAT 46	MAT 48	AAAC 150	0,192	0,50
MAT 48	MAT 09	AAAC 150	0,336	0,89
MAT 09	MAT 09	BC 25	0,189	1,20
MAT 09	MAT 10	BC 25	0,776	4,93
MAT 10	MAT 11	BC 25	0,499	3,17
MAT 11	MAT 07	AAAC 150	0,971	2,57
MAT 07	MAT 07	AAAC 150	0,719	1,90

$$\Delta V = \frac{100((0,192) + (0,192))}{400} \times 17,67$$

$$= 0,096 \times 17,67$$

$$= 1,69 \%$$

Dengan melakukan perhitungan yang serupa dengan perhitungan diatas, maka didapat hasil perhitungan untuk jatuh tegangan pada jalur MAL di paparkan pada table (VIII) dan untuk jalur MAT di paparkan pada table (IX).

C. Perhitungan Susut Daya Listrik

1. Jalur MAL

Untuk mencari besar susut daya yang terjadi pada saluran MAL maka digunakan persamaan (13)

$$P_{susut} = I^2 \cdot R_{kawat}$$

Di asumsikan bahwa :

$$I = \frac{\Delta V}{R_{ac}}$$

TABEL X. HASIL PERHITUNGAN SUSUT DAYA JALUR MAL

Perubahan		Jenis Pemampangan mm ²	Panjang (km)	Susut Energi (Watt)
Awal	Akhir			
GI SU2	MAL 54	AAAC 150,70	1,554	0,027
MAL 54	MAL 44	AAAC 150,70	2,297	0,156
MAL 44	MAL K. KIJANG	AAAC 150,70	1,340	0,052
MAL K. KIJANG	MAL 5	AAAC 150,70	0,504	0,004
MAL 5	MAL 4	AAAC 150,70	0,879	0,044
MAL 4	MAL PERUM	AAAC 150	0,274	0,0004
MAL PERUM	MAL 3	AAAC 150	2,945	0,39
MAL 3	MAL 20	AAAC 150	3,058	0,66
MAL 20	MAL P.BATU	AAAC 150	1,822	0,39
MAL P.BATU	MAL 21	AAAC 150	1,065	0,02
MAL 21	MAL 51	AAAC150	1,118	0,05
MAL 51	MAL 22	AAAC150,70	2,921	0,48
MAL 22	MAL 25	AAAC 70	1,122	0,05
MAL 25	MAL 24	AAAC150	1,894	0,15
MAL 24	MAL 25	AAAC 150	1,002	0,025
MAL 25	MAL 26	AAAC 150,70	2,913	1,47
MAL 26	MAL 27	AAAC 150	2,317	0,29
MAL 27	MAL 02	AAAC 150,70	0,758	0,0075
MAL 2	MAL 01	AAAC 150,70	1,162	0,024

Susut daya antara GI SU2 dan MAL 54 dengan jenis penghantar AAAC 150 mm²

$$P_{susut} = I^2 \cdot R_{kawat}$$

$$I = \frac{\Delta V}{R_{ac}} = \frac{1,69}{0,24} = 7,04$$

$$R = \rho \frac{l}{A} = 0,0287 \times \frac{0,639}{150} = 0,00012$$

$$P_{susut} = 7,04^2 \times 0,0001 = 0,0060 \text{ Watt}$$

TABEL XI HASIL PERHITUNGAN SUSUT DAYA JALUR MAT

Perubahan		Jenis Kawat mm ²	Panjang (km)	Susut Energi (Watt)
Awal	Akhir			
MAL 01	MAT 24	AAAC 150	1,974	0,17
MAT 24 A	MAT 24 B	AAAC 150	1,515	0,08
MAT 24 B	MAT 22	AAAC 150	1,299	0,05
MAT 22	MAT 26	AAAC 150	1,492	0,077
MAT 26	MAT 36	AAAC 150	1,614	0,097
MAT 36	MAT 21	AAAC 150	0,252	0,00036
MAT 21	MAT 20	AAAC 150	0,409	0,032
MAT 20	MAT 19	AAAC 150	1,157	0,033
MAT 19	MAT 33	AAAC 150	0,773	0,010
MAT 33	MAT 27	AAAC 150	0,022	1,6x10 ⁻⁷
MAT 27	MAT 18	AAAC150	0,491	0,080
MAT 18	MAT 15	AAAC150	0,579	0,0045
MAT 15	MAT16	AAAC 120	1,470	0,067
MAT 16	MAT 32	AAAC120	0,577	0,0040
MAT 32	MAT 17	AAAC 120	1,328	0,049
MAT 17	MAT 14	AAAC 120	0,488	0,0024
MAT 14	MAT31	AAAC 120	0,298	0,00033
MAT 31	MAT 13	AAAC 120	0,823	0,0030
MAT 13	MAT 12	AAAC 120	0,808	0,0047
MAT 12	MAT 30	AAAC 150,120,70	1,275	0,0013
MAT 30	MAT 05	AAAC 150	0,080	1,1x10 ⁻⁴
MAT 05	MAT 28	AAAC 150	1,134	0,034
MAT 28	MAT 35	AAAC 150	0,144	6,9x10 ⁻⁴
MAT 35	MAT 25	AAAC 150	1,023	0,0016
MAT 25	MAT Batu Jetty	AAAC 150	0,398	0,00182
MAT Batu Jetty	MAT 06	AAAC 150	0,088	1,5x10 ⁻⁷
MAT 06	MAT 46	AAAC 150	1,057	0,0274
MAT 46	MAT 48	AAAC 150	0,192	1,5x10 ⁻⁴
MAT 48	MAT gigitan	AAAC 150	0,338	0,0120
MAT gigitan	MAT 09	BC 20	0,189	0,014
MAT 09	MAT 10	BC 20	0,776	0,017
MAT 10	MAT 11	BC 20	0,499	0,048
MAT 11	MAT Perbatasan	AAAC 150	0,971	0,0212
MAT Perbatasan	MAT 07	AAAC 150	0,719	0,0086

Dengan melakukan perhitungan yang serupa dengan perhitungan diatas, maka didapat hasil perhitungan untuk susut daya pada jalur MAL di paparkan pada table (X) dan untuk jalur MAT di paparkan pada table (XI).

Setelah melakukan perhitungan maka didapat bahwa pada jalur MAL khususnya pada titik MAL 51 ke MAL 22 penyusutan yang terjadi melebihi standard yang ditentukan oleh PLN yaitu 10%, maka untuk mengatasinya dilakukan perubahan pada jenis penampang kawat yang digunakan yaitu hanya pada penampang kawat 70mm² dirubah menjadi 120mm², dengan menggunakan perhitungan yang sesuai dengan yang diatas maka didapatkan.

$$\Delta V_{total} = 0,86 + 8,32 = 9,18 \%$$

$$P_{susut} = 0,00079 + 0,37 = 0,370 \text{ Watt}$$

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan juga perhitungan pada jaringan distribusi tenaga listrik Minahasa Utara khususnya pada penyulang SU2, di temukan bahwa :

Pada penyaluran energi listrik sesuai dengan standard yang dikeluarkan oleh PLN mengenai penyaluran energi maka susut energi yang terjadi pada penyaluran tidak boleh lebih dari 5% untuk standart Internasional sedangkan untuk Indonesia standart penyusutan energi listrik tidak boleh lebih dari 10%.

Penyusutan energi listrik untuk tugas akhir ini yaitu dalam bentuk jatuh tegangan dan dalam bentuk penyusutan daya yang terjadi untuk suatu periode waktu.

Pada penyulang SU2 jaringan distribusi Minahasa Utara khususnya pada jalur MAL ditemukan adanya penyusutan yang melebihi standard yang ditentukan oleh PLN, yaitu penyulang pada titik MAL51 ke MAL22 dengan panjang 2,921 km dan jenis serta luas penampang kawat AAAC 150mm² dan 70mm² menghasilkan susut energi dalam bentuk tegangan sebesar 11.76%. Penyusutan yang terjadi pada Jalur MAT dengan jumlah susut yang paling besar terjadi pada titik MAL01 ke MAT 24, jenis dan luas penampang kawat yang digunakan AAAC 150 mm² dengan panjang 1.974 km menghasilkan susut energi dalam bentuk tegangan sebesar 5.24%.

Semakin besar luas penampang dari suatu penghantar maka tahanannya akan semakin kecil, sehingga menyebabkan rugi-rugi energi listrik juga akan semakin kecil.

Daya listrik terbesar untuk jalur MAL terjadi pada titik MAL51 ke MAL22 dengan susut yang terjadi yaitu 1.47 watt. Sedangkan pada jalur MAT penyusutan daya listrik yang paling besar terjadi pada penyulang di titik MAL01 ke MAT 24 dengan besar susut 0.17 Watt.

Solusi dari permasalahan yang terjadi pada titik MAL51 ke MAL22 yaitu salah satu solusinya dengan merubah luas penampang penghantar yang digunakan, yakni penghantar dengan luas penampang 70mm² diganti menjadi 120mm².

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daman. Edisi Pertama, Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Jakarta, 2009.
- [2] J.N.Hontong, Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN Palu (Rayon Kota), *Skripsi S1 Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi*, Manado, 2014.
- [3] Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik
- [4] PT. PLN (Persero) Cabang Manado dan AP2B Tomoho, Data Penyulang SU2.
- [5] PT PLN (Persero), Edisi 1 Tahun 2010, Kriteria Desain Engineering
- [6] SPLN 41-8_1981, Hantaran Aluminium campuran (AAAC)
- [7] SPLN 41-5_1981, Hantaran tembaga telanjang jenis keras
- [8] T.S Hutaaruk, Transmisi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, 1993.
- [9] Soenarjo, dan Akbar, *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS*, Vol. 17, No.3, Perhitungan Susut Daya Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah Saluran Udara Dan Kabel, 2007.