

Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu

Nolki Jonal Hontong, Maickel Tuegeh ST. MT., Lily.S. Patras ST. MT.
Jurusan Teknik Elektro-FT. UNSRAT, Manado-95115, Email. nolki.path@yahoo.com

Abstrak - Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem jaringan distribusi tenaga listrik selalu terjadi, dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada pengaturan beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncul arus pada netral trafo. Arus yang mengalir pada netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo penyaluran energi listrik pada sistem distribusi dimana susut tegangan akan mempengaruhi penyaluran energi listrik kepada konsumen dimana jika terjadi susut tegangan pada sistem distribusi maka energi listrik yang akan disalurkan kepada konsumen akan menjadi tidak standar lagi sesuai dengan SPLN no. 72 tahun 1987, dimana jatuh tegangan yang diperbolehkan dalam penyaluran distribusi hanya boleh sebesar 5% untuk jaringan udara SKTM sebesar 2%, maka itu perlu adanya perhitungan dan penelitian untuk permasalahan jatuh tegangan dalam bentuk persen (%), sehingga dalam penyampaian aliran listrik terhadap konsumen menjadi terpenuhi sesuai dengan standart yang telah ditetapkan.

Analisa pada penulisan tugas akhir ini adalah mencakup sejauh mana besar jatuh tegangan di daerah Rayon Kota Palu, mengingat penyulang yang tersebar merupakan penyulang lama. berdasarkan data tahunan dari 2009 sampai 2013. Dimana diketahui terdapat banyak permasalahan dan kendala yang dihadapi oleh PT. PLN cabang Palu salah satunya jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang yang terdapat di Rayon kota yang di dukung 1 GI (Gardu Induk) yaitu GI Talise.

Kata Kunci: Distribusi, Jatuh Tegangan, Ketidakseimbangan Beban, Rugi Daya

Abstract - Load imbalance in a power distribution network system is always the case, and the cause of the imbalance is the setting of single phase loads on low voltage network subscribers. Due to the load imbalance appears on the neutral current transformer. The current flowing in the transformer neutral is causing losses (losses), ie losses due to neutral currents in the neutral conductor of the electrical energy distribution transformer in the distribution system where the shrinkage stress will affect the distribution of electrical energy to consumers in which case the voltage losses in the distribution system the electrical energy that will be distributed to consumers would be no longer standard in accordance with SPLN no. 72 in 1987, in which the voltage drop allowed in the distribution of distribution may only be 5% for air network SKTM by 2%, then the need for calculations and research for voltage drop problems in the form of percent (%), resulting in the delivery of electricity to consumers be fulfilled in accordance with the standards that have been set.

Analysis in this thesis is include the extent to which large voltage drop in the Rayon of Palu, given the scattered feeders are long feeders. based on annual data from 2009 to 2013. Where diketahui there are many problems and obstacles faced by

PT. PLN branch Palu one voltage drop occurs in the feeders located in the city Rayon supported 1 GI (substation), namely GI Talise.

Keywords: *Distribution, Load imbalance, Losses Voltage, Power losses*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik terus meningkat seiring dengan meningkatnya gaya hidup dan peralatan yang dipakai. Kondisi ini mensyaratkan ketersediaan energi listrik yang efisien dan berkualitas. Efisien dalam pengertian energi yang diproduksi dapat digunakan secara maksimal oleh pelanggan atau tidak mengalami kehilangan energi pada jaringan maupun peralatan listrik seperti trafo.

Kehilangan energi perlu diprediksi dan diantisipasi agar terjadi dalam batas normal dan wajar. Apabila pembangkit tenaga listrik sangat jauh dari konsumen, maka digunakan sistem transmisi dan distribusi untuk dapat menyalurkan daya listrik kekonsumen. Rugi – rugi energi atau jatuh tegangan itu sendiri adalah energi yang hilang karena ada tekanan atau resistansi dari sistem jaringan dan transformator. Jatuh tegangan merupakan kehilangan energi yang sama sekali tidak mungkin dihindari.

Perusahaan umum listrik negara adalah satu perusahaan yang diberi wewenang oleh pemerintah untuk menangani masalah kelistrikan, Kerugian atau daya yang hilang dapat mempengaruhi keseimbangan beban yang mengalir, dan kerugian yang sering dihadapi oleh masyarakat kota Palu adalah seringnya terjadi pemadaman, mengingat sistem jaringan pada Kota Palu merupakan jaringan yang cukup lama seiring perkembangan ekonomi kota perlu peninjauan atau analisa kemampuan jaringan yang berada pada kota Palu.

Dasar inilah sehingga penulisan mengkaji dan *Menganalisa rugi-rugi daya yang terjadi pada distribusi di PT. PLN Palu.*

II. LANDASAN TEORI

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan,

karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 [kV] sampai 24 [kV] dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 [kV], 154 [kV], 220 [kV] atau 500 [kV] kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$).

A. Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, jaringan distribusi dibagi menjadi beberapa bagian

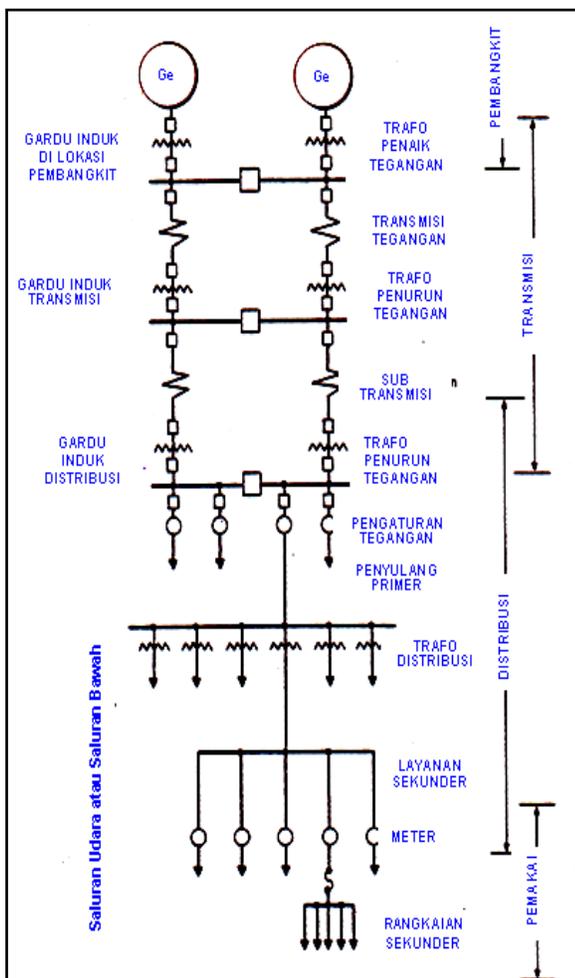
Bagian pembangkitan (*Generation*).

Bagian penyaluran (*Transmission*)

Bagian Distribusi Primer

Di dalam bangunan pada beban/konsumen

Berdasarkan gambar 1 pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi sistem distribusi adalah daerah III dan daerah IV, yang pada dasarnya diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat.



Gambar 1. Pengelompokan Tegangan Sistem Tenaga Listrik

B. Gardu induk

GI atau Gardu Induk adalah suatu instalasi listrik yang dikhususkan untuk tegangan tertentu mulai dari TET (Tegangan Extra Tinggi), TT dan TM. Secara umum gardu induk terdiri dari bangunan, peralatan – peralatan dan fasilitas – fasilitas lain. Gardu induk berfungsi untuk menerima daya listrik dari jaringan transmisi/sub transmisi dan menurunkan tegangan menjadi tegangan distribusi primer (JTM). Jadi pada bagian ini terjadi penurunan tegangan tinggi atau pun tegangan extra tinggi ke tegangan menengah 20 [kV].

C. Jaringan Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer diantaranya.

Jaringan Radial

Bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran (line), tidak ada alternatif saluran lainnya. Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani.

Jaringan Loop

Bila pada titik beban terdapat dua alternatif saluran yang berasal dari lebih satu sumber. Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan "loop". Susunan rangkaian penyulang membentuk ring, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil.

Jaringan NET

Jaringan Distribusi Jaring-Jaring (NET) merupakan gabungan dari beberapa saluran mesh, dimana terdapat lebih dari satu sumber sehingga berbentuk saluran interkoneksi. Jaringan ini berbentuk jaring-jaring, kombinasi antara radial dan loop.

Jaringan Spindle

Jaringan ini merupakan jaringan distribusi primer gabungan dari struktur radial yang ujung-ujungnya dapat disatukan pada gardu hubungan 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.

D. Faktor – faktor Yang Mempengaruhi Penyaluran pada SUTM

Penyaluran daya listrik dari pembangkit sampai ke konsumen melalui suatu sistem penyaluran yang panjang, terdapat parameter-parameter yang mempengaruhi besaran

tenaga listrik yang diterima. Adapun yang mempengaruhi sistem penyaluran daya listrik pada saluran udara tegangan menengah adalah sebagai berikut.

Pengaruh eksternal

Pengaruh eksternal adalah pengaruh lingkungan yang sering mengakibatkan terjadinya gangguan – gangguan pada sistem sehingga menyebabkan pemadaman listrik, tingkat tegangan yang menurun, serta ayunan tegangan yang diakibatkan oleh faktor alam seperti angin, gempa bumi, badai dan gunung meletus. Sedangkan pengaruh hewan dan manusia terjadi perusakan alam seperti penebangan pohon didekat jarring listrik.

Pengaruh Internal

Pengaruh internal adalah pengaruh yang dialami oleh saluran listrik tegangan menengah akibat dari kondisi penyaluran tenaga listrik. pengaruh internal dapat menyebabkan terjadi perubahan listrik yang dikirim dari pusat pembangkitan ke konsumen tenaga listrik. Sehingga untuk memperbaiki perlu dikompensasi dengan peralatan – peralatan bantu distribusi. Pengaruh pengaruh internal yang dimaksud adalah resistansi, induktansi, dan kapasitansi

Resistansi

Resistansi penghantar berpengaruh dominan terhadap saluran udara tegangan menengah 20 [kV], yaitu diakibatkan oleh resistansi yang dimiliki oleh material penghantar. Pada penghantar tertentu resistansi yang baik, sehingga jika digunakan sebagai bahan penghantar akan sangat baik, karena rugi – rugi akibat penghantar yang kecil namun untuk dipergunakan sebagai penghantar jarring listrik membutuhkan material yang banyak sehingga tidak ekonomis, sebagai alternatif dipakai penghantar aluminium dan tembaga yang perbandingan secara langsung dengan panjang saluran, makin panjang saluran, maka makin besar pengaruh yang tidak dikompensasi dengan peralatan lain kecuali dengan pengganti jenis dan penampang penghantar.

Induktansi

Pengaruh induktansi pada panjang jarring tenaga listrik adalah akibat dari penghantar yang diberi aliran listrik sehingga terjadi saling mempengaruhi antara penghantar itu sendiri. Apabila penghantar dialiri arus listrik, maka besar tegangan yang ditimbulkan adalah akibat dari perubahan fluks magnetik yang terjadi. Induktansi yang ditimbulkan oleh penghantar tersebut merupakan jumlah fluks yang timbul (fluks gandeng) per satuan dalam penghantar.

Kapasitansi

Pengaruh kapasitansi pada saluran tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai muatan – muatan antara dua penghantar per satuan beda potensial. Pengaruh kapasitansi antara dua penghantar dengan netral (bumi) untuk jarak saluran yang panjang sangat mempengaruhi besaran perubahan tenaga listrik sehingga dapat dikompensasi dengan melakukan metode transposisi.

E. Daya

Pada sistem tenaga listrik terdapat perbedaan antara daya atau kekuatan (*power*) dan energi; energi adalah daya dikalikan waktu sedangkan daya listrik merupakan hasil perkalian tegangan dan arusnya, dengan satuan daya listrik yaitu watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang

mengalir per satuan waktu [Joule/s]. Daya listrik [P] yang dihasilkan oleh arus listrik [i] pada tegangan [v] dinyatakan dengan persamaan (1).

$$P = i \cdot v \quad (1)$$

dimana,

$$\begin{aligned} P &= \text{daya [watt]} \\ i &= \text{arus [ampere]} \\ v &= \text{tegangan [V]} \end{aligned}$$

Dalam sistem listrik arus bolak-balik, dikenal adanya 3 jenis daya untuk beban yang memiliki impedansi (Z), yaitu

Daya Aktif (P)

Daya aktif (*Active Power*) disebut juga daya nyata yaitu daya yang dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah Watt dinyatakan dengan persamaan (2).

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \cdot \cos\phi \\ P &= 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi \end{aligned} \quad (2)$$

Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang timbul akibat adanya efek induksi elektromagnetik oleh beban yang mempunyai nilai induktif (fase arus tertinggal/lagging atau kapasitif (fase arus mendahului/leading). Satuan daya reaktif adalah Var dinyatakan dengan persamaan (3).

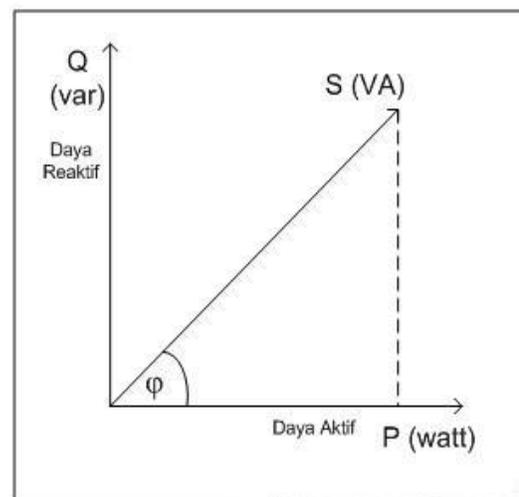
$$\begin{aligned} Q &= V \cdot I \cdot \sin\phi \\ Q &= 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin\phi \end{aligned} \quad (3)$$

Daya Semu (S)

Pada beban impedansi (Z), daya semu adalah daya yang terukur atau terbaca pada alat ukur. Daya semu adalah penjumlahan daya aktif dan daya reaktif secara vektoris. Satuan daya ini adalah VA dinyatakan dengan persamaan (4).

$$S = V \cdot I \quad (4)$$

Hubungan dari ketiga daya diatas (P, Q, S) disebut segitiga daya. Gambar 2 merupakan dari segitiga daya.



Gambar 2. Segitiga Daya

Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin besar nilai daya reaktif (Q) akan meningkatkan sudut antara daya nyata dan daya semu atau biasa disebut *power factor* $\text{Cos}\phi$. Sehingga daya yang terbaca pada alat ukur (S) lebih besar daripada daya yang sesungguhnya dibutuhkan oleh beban (P).
Dimana,

$$P = V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi \quad (5)$$

$$Q = V \cdot I \cdot \text{Sin}\phi \quad (6)$$

$$S = V \cdot I \quad (7)$$

F. Tahanan Penghantar

Sebuah tahanan penghantar tergantung pada material, temperatur 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

$$R_{dc} = \rho \frac{l}{A} \quad (8)$$

dimana,

- R_{dc} = 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 untuk menghitung pengaruh dari pilin, panjang kawat dikalikan 1,02 (2% dari faktor koreksi). Tahanan kawat berubah oleh temperatur dalam batas temperatur 10 °C sampai 100 °C, maka tembaga dan aluminium berlaku persamaan.

$$R_{t_2} = R_{t_1} (1 + \alpha_{t_1} (t_2 - t_1)) \quad (9)$$

dimana,

- R_{t_1} = Tahanan pada temperatur t_1
- R_{t_2} = Tahanan pada temperatur t_2
- α_{t_1} = Koefisien temperatur dari tahanan pada temperatur t_1 °C

Jadi,

$$\frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} = \frac{T_o + t_2}{T_o + t_1} \quad (10)$$

atau

$$R_{t_2} = R_{t_1} \frac{T_o + t_2}{T_o + t_1} \quad (11)$$

dimana,

- R_{t_2} = Tahanan dc pada temperatur t_2 °C
- R_{t_1} = Tahanan dc pada temperatur t_1 °C
- T_o = Temperatur transisi bahan
= 238,5 untuk tembaga dalam °C
= 288,1 untuk aluminium dalam °C
- t_1 = 20 °C, suhu terendah pada penghantar telanjang SUTM (SPLN87.1991)

t_2 = 60 °C, Suhu tertinggi pada penghantar telanjang SUTM (SPLN87.1991)

Bila T_o sama dengan temperatur absolute (273°C), untuk tembaga yang sempurna (*purity*) atau kemurnian 100% maka temperatur dari tahanan pada suhu 20°C. Misalnya untuk kawat.

$$\text{Cu (100\%)} \text{ dengan } \alpha_{20} = 0,00393 \quad (12)$$

$$T_o = \left(\frac{1}{0,00393} \right) - 20 = 234,5^\circ \text{C} \quad (13)$$

Hasilnya dapat dilihat pada tabel I.

Menghitung tahanan dari kawat telanjang ada beberapa faktor yang mempengaruhi diantaranya faktor efek kulit, dapat dipersamakan.

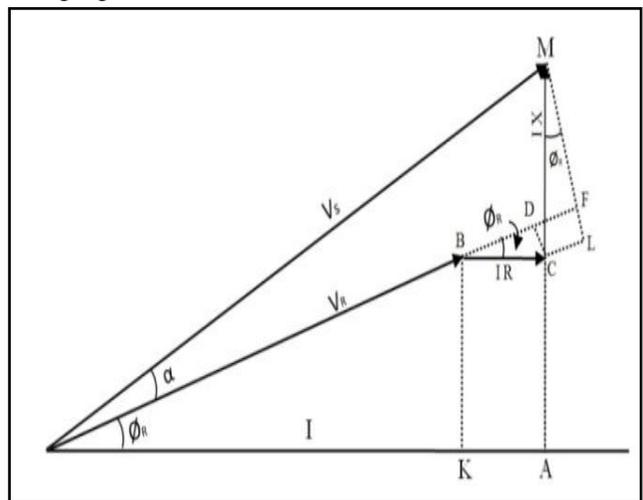
$$R_{ac} = K \times R_{t_2} \Omega/\text{Km} \quad (14)$$

dimana,

- R_{ac} = Tahanan AC pada frekuensi yang diketahui
- R_{t_2} = Tahanan dc pada temperatur t_2 °C
- K = Faktor koreksi (1,02)

G. Perhitungan Jatuh Tegangan

Perhitungan jatuh tegangan pada jaring distribusi adalah selisih antara tegangan pangkal pengirim (*sending end*) dengan tegangan pada ujung penerima (*receiving end*). Jatuh tegangan terjadi karena ada pengaruh dari tahanan dan reaktansi saluran, perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan serta besar arus beban, jatuh tegangan pada saluran bolak-balik tergantung pada impedansi, beban, dan jarak. Suatu sistem arus bolak-balik, besar jatuh tegangan dapat dihitung berdasarkan pada gambar 3 diagram fasor tegangan jaring distribusi sekunder. Penurunan tegangan maksimum pada beban penuh, yang diperbolehkan dibeberapa titik pada jaring distribusi (SPLN 72 . 1987) SUTM = 5% dari tegangan kerja bagi sistem radial, trafo distribusi = 3% dari tegangan kerja, saluran tegangan rendah= 4% dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban, sambungan rumah = 1% dari tegangan nominal.



Gambar 3. Diagram Fasor (sumber. Zuhail,1998. Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya)

Untuk jatuh tegangan dapat dihitung dengan pendekatan yaitu .

$$\Delta V(\%) = \frac{100(R \cos \theta_R + X \sin \theta_R)}{V_s^2} \sum_{i=1}^n S_i \cdot \ell_i [\%] \quad (15)$$

Jika . $S_i \cdot \ell_i = F_L =$ Momen Beban ke – i
Maka.

$$\Delta V(\%) = \frac{100(R \cos \theta_R + X \sin \theta_R)}{V_s^2} \sum_{i=1}^n F_L [\%] \quad (16)$$

Jika nilai induktansi diabaikan maka jatuh tegangan dapat dihitung dengan pendekatan yaitu.

$$\Delta V(\%) = \frac{100(R \cos \theta_R)}{V_s^2} \sum_{i=1}^n F_L [\%] \quad (17)$$

dimana,

- $\Delta V(\%)$ = 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]
- θ_R = Faktor daya

III.METODOLOGI PENELITIAN

Kota Palu yang terletak pada Sulawesi tengah. Dengan luas daerah 68.033,00 km persegi dan wilayah lautan 189.408,00 km persegi. Dan Penduduknya berjumlah 342.754 jiwa (2012). Secara administratif Sulawesi Tengah dibagi dalam 9 kabupaten, 1 kota madya dengan 85 kecamatan serta 1300 desa dan 132 kelurahan 91.432 desa/kelurahan.Topografi wilayah daratan diklasifikasikan.

- Lahan pertanian. 673.759 Ha (10,56%)
- Hutan lindung. 1.764.720 Ha (21,71%)
- Hutan suaka wisata. 604.780 Ha (9,49%)
- Hutan suaka tetap. 422.809 Ha (33,64%)
- Hutan produksi yang dapat dikonversi. 241.757 Ha (3,80%)
- Lahan pemukiman. 519.757 Ha (8,16%)

Berdasarkan elevasi (ketinggian) dataran di Sulawesi Tengah terdiri dari.

- 0-100 M = 20,2%
- 101-500 M = 27,2%
- 501-1000 M = 26,7%
- di atas 1001 M = 25,9%

Dalam melayani daerah beban sistem tenaga listrik Sulteng terdiri 1buah gardu induk yaitu GI. Talise, dengan 7 GH yaitu GH Tulip, GH Reflesia, GH Mawar, GH Anggrek, GH Aster, GH Arwana, GH Matahari, dengan jumlah pelanggan yang tertera pada tabel III.

Data Teknis

TABEL I. NILAI T_0 DAN α_1 UNTUK BAHAN KONDUKTOR STANDART

Jenis Material	T_0 °C	Koefisien temperature dari Tahanan $\times 10^{-2}$						
		α_0	α_{20}	α_{25}	α_{50}	α_{75}	α_{80}	α_{100}
Cu 100 %	234,5	4,27	3,93	3,85	3,52	3,25	3,18	3,99
Cu 97,5 %	241	4,15	3,83	3,76	3,44	3,16	3,12	2,93
Al 61 %	228,1	4,38	4,03	3,95	3,60	3,30	3,25	3,05

(Sumber . Hutauruk, S., 1993, Transmisi Daya Listrik)

TABEL II. DATA PENYULANG JARINGAN PRIMER 20 kV

No	PENYULANG/ FEEDER	PANJANG	JUMLAH GARDU	KAPASITAS GARDU
		(m)	(unit)	(kVA)
1.	<u>Tulip</u>	7.455m	25	4550
2.	<u>Anggrek</u>	21.170	76	8650
3.	<u>Mawar</u>	6.450 14.672	35	6.210
4.	<u>Elang</u>	35.550	40	4.875
5.	<u>Reflesia</u>	53.310	32	1760
6.	<u>Matahari</u>	6.195	39	2770
7.	<u>Aster</u>	7.455	24	5980
8.	<u>Arwana</u>	-	33	4390
9.	<u>Katus</u>	-	-	-
10.	<u>Cempaka</u>	-	-	-

Sumber . PT.PLN Persero Cabang Palu

TABEL III. DATA JUMLAH PELANGGAN TIAP PENYULANG

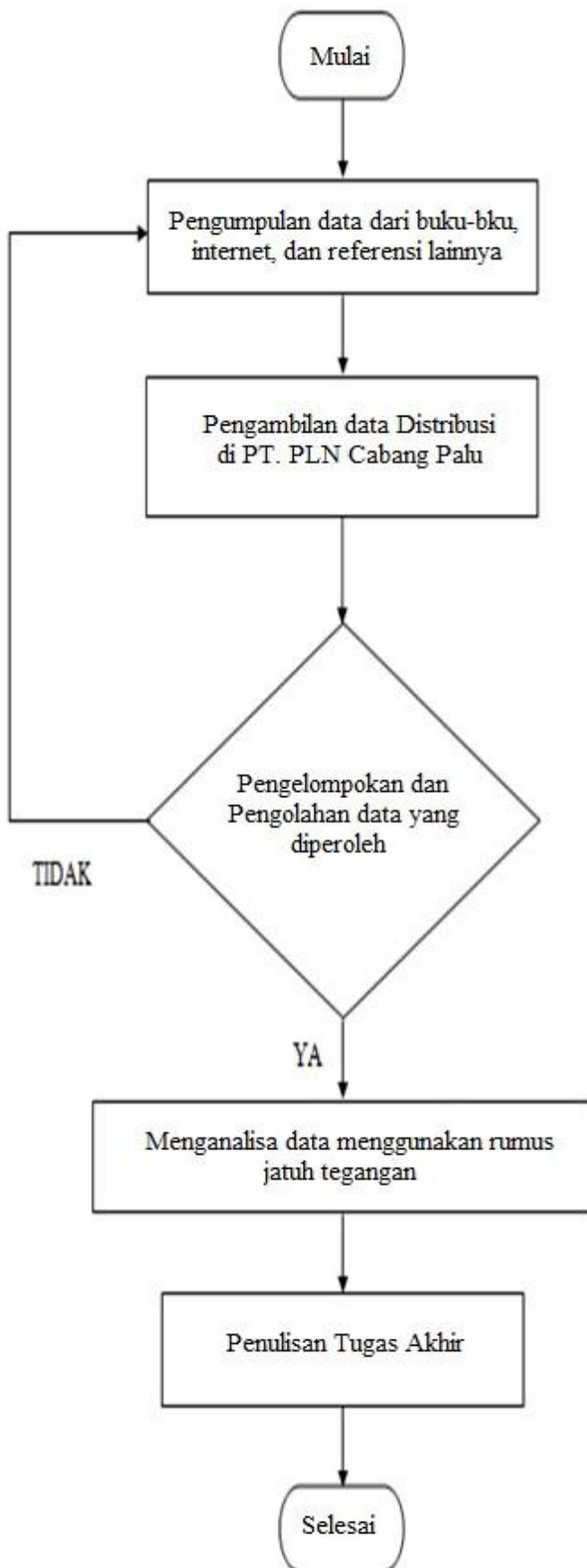
No.	Unit	<u>Penyulang/ Feeder</u>	<u>Jumlah pelanggan</u>	<u>ket</u>
1.	<u>GH. Maesa</u>	<u>Tulip</u>	4.859	
2.	<u>GH. Maesa</u>	<u>Reflesia</u>	5.006	
3.	<u>GH. Maesa</u>	<u>Mawar</u>	3.520	
4.	<u>GH. Maesa</u>	<u>Anggrek</u>	11.639	
5.	<u>GH. Maesa</u>	<u>Aster</u>	2.894	
6.	<u>GH. Maesa</u>	<u>Arwana</u>	2.441	
7.	<u>GH. Maesa</u>	<u>Matahari</u>	4.379	
8.	<u>GI. Talise</u>	<u>Elang</u>	5213	

Sumber . PT.PLN Persero Cabang Palu

TABEL IV. DATA PENGHANTAR PENYULANG

<u>Penyulang/ Feeder</u>		<u>Penghantar Utama</u>	
		<u>Panjang Saluran (m)</u>	<u>Jenis & Lias Penampang (mm²)</u>
<u>GH. Maesa</u>	<u>Tulip</u>	7.455	AAAC 35,70
<u>GH. Maesa</u>	<u>Reflesia</u>	35.550	AAAC 35,70,95
<u>GH. Maesa</u>	<u>Mawar</u>	6.450	AAAC 35,70,95
<u>GH. Maesa</u>	<u>Anggrek</u>	21.170	AAAC 35,70,95,150
<u>GH. Maesa</u>	<u>Aster</u>	6.195	AAAC 35,50,70,95
<u>GH. Maesa</u>	<u>Arwana</u>	7.455	AAAC 35,70,95,150
<u>GH. Maesa</u>	<u>Matahari</u>	53.310	AAAC 35,70,95 BC 50
<u>GI. Talise</u>	<u>Elang</u>	14.672	AAAC 35,70,95

Sumber . PT. PLN (Persero) Cabang Palu



Gambar 4. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Konduktor dan Resistansi

Berdasarkan tabel II perhitungan jatuh tegangan dengan menggunakan persamaan (15) sebelumnya perlu diketahui harga tahanan (R), GMD, GMR, reaktansi (X) menggunakan persamaan (11). Dimana saluran distribusi yang ada di daerah Kota Palu menggunakan konduktor dengan tipe AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) dengan ukuran luas penampang 34mm^2 , 50mm^2 , 70mm^2 , 120mm^2 , 150mm^2 berdasarkan tabel IV.

Untuk perhitungan tahanan jenis AAAC 70mm^2

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

$$R_{t_2} = 0,438 \cdot \frac{228,1 + 60}{228,1 + 20}$$

$$R_{t_2} = 0,438 \times 1,161$$

$$R_{t_2} = 0,508 \Omega / \text{km}$$

Setelah perhitungan dilakukan, untuk mendapatkan nilai R_{ac} dilakukan dengan faktor koreksi ($K=1.02$), sebagai berikut.

$$\begin{aligned} R_{ac} &= K \times R_{t_2} \\ &= 1.02 \times 0,508 \\ &= 0,518 \Omega / \text{m} \end{aligned}$$

Untuk konduktor jenis AAAC 70mm^2 dengan jumlah urat 19 memiliki nilai $\alpha = 0,758$ jarak antar konduktor ($D = 850 \text{mm}$), $A = 70 \text{mm}^2$ dengan $R_{ac} = 0,36$

$$\begin{aligned} \text{GMD} &= \sqrt[3]{D_{1,2} \times D_{2,3} \times D_{1,3}} \\ &= \sqrt[3]{850 \times 850 \times 850} \\ &= 1071 \text{ mm} = 1,071 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{GMB} &= \alpha \times \sqrt{\frac{A}{\pi}} \\ &= 0,758 \times \sqrt{\frac{70}{3,14}} \\ 3,57 \text{ mm}^2 &= 3,57 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \text{ in} \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}} \text{ ohm/km}$$

$$\begin{aligned} L &= 2 \times 10^{-7} \text{ in} \frac{1,071}{3,57 \times 10^{-6}} \\ &= 2,52 \times 10^{-6} \text{ H / m} = 2,52 \times 10^{-3} \text{ H / km} \end{aligned}$$

Maka .

$$\begin{aligned} X_L &= 314 \times 2,52 \times 10^{-3} \\ &= 0,781 \end{aligned}$$

Dari Contoh perhitungan resistansi dan konduktor AAAC 70mm² didapatkan juga hasil perhitungan jenis kawat lainnya yang, antara lain seperti pada tabel V.

B. Perhitungan Jatuh Tegangan

Dalam pengolahan data atau menghitung jatuh tegangan perlulah kita memasukan nilai- nilai dari Tahanan pada tabel VI dan menggunakan persamaan (15) berikut Perhitungan Penyulang Tulip antara GH sampai P.40 dengan jenis konduktor AAAC 70mm²

$$\begin{aligned}\Delta V &= \frac{(R \cos \theta + X \sin \theta)}{V^2} \sum_{i=1}^n S_i \cdot L_i \cdot 100 \\ &= \frac{100((0,52 \cdot 0,8) + (0,79 \cdot 0,6))}{20^2} \times 2,653 \times 0,350 \\ &= \frac{100(0,416 + 0,474)}{400} \times 0,928 \\ \Delta V &= 0,206\%\end{aligned}$$

Dengan mengikuti perhitungan yang serupa dengan perhitungan diatas, maka akan didapatkan hasil perhitungan jatuh tegangan pada Penyulang *Tulip* dapat dipaparkan dalam tabel V. Untuk total jatuh tegangan tiap penyulang bias dilihat pada tabel VII.

TABEL V. HASIL PERHITUNGAN JATUH TEGANGAN DARI TITIK TRAF0

No.	Saluran		Luas Penampang (mm ²)	Jarak (m)	Jatuh tegangan (%)
	Awal	Akhir			
1.	GH	P.40	AAAC 70 mm ²	0.350	0,206
2.	P.40	P.160	AAAC 70 mm ²	0.650	0,383
3.	P.160	P.504	AAAC 70 mm ²	0.100	0,059
4.	P.504	P.19	AAAC 70 mm ²	0.200	0,118
5.	P.19	P.457	AAAC 35 mm ²	0.250	0,230
6.	P.457	P.208	AAAC 70 mm ²	0.350	0,206
7.	P.208	P.480	AAAC 70 mm ²	0.300	0,177
8.	P.480	P.361	AAAC 70 mm ²	0.150	0,088
9.	P.361	P.20	AAAC 70 mm ²	0.350	0,206
10.	P.20	P.169	AAAC 70 mm ²	0.275	0,162
11.	P.169	P.473	AAAC 70 mm ²	0.230	0,135
12.	P.473	P.14	AAAC 70 mm ²	0.450	0,265
13.	P.14	P.292	AAAC 70 mm ²	0.450	0,265
14.	P.292	P.24	AAAC 70 mm ²	0.250	0,147
15.	P.24	P.151	AAAC 70 mm ²	0.200	0,118
16.	P.151	P.233	AAAC 70 mm ²	0.550	0,324
17.	P.233	P.75	AAAC 70 mm ²	0.550	0,324
18.	P.75	P.407	AAAC 70 mm ²	0.150	0,088
19.	P.407	P.123	AAAC 70 mm ²	0.300	0,177
20.	P.123	P.456	AAAC 70 mm ²	0.400	0,236
21.	P.456	P.483	AAAC 35 mm ²	0.150	0,130
22.	P.483	P.335	AAAC 70 mm ²	0.300	0,177
23.	P.335	P.41	AAAC 70 mm ²	0.100	0,059
24.	P.41	P.45	AAAC 70 mm ²	0.400	0,236

Setelah dikonversikan terlihat Penyulang Anggrek memiliki kerugian daya paling besar, mencapai 2.027 kVA pertahun. Untuk mengurangi besarnya jatuh tegangan, digunakan cara dengan mengganti jenis konduktor dengan jarak yang cukup panjang. Seperti pada penyulang anggrek.

Jatuh tegangan antara P.424 dan P.334 dengan jenis konduktor AAAC 70mm² diganti dengan konduktor AAAC 150mm²

AAAC 70mm²P. 424 => P.334

$$\begin{aligned}\Delta V &= \frac{(R \cos \theta + X \sin \theta)}{V^2} \sum_{i=1}^n S_i \cdot L_i \cdot 100 \\ &= \frac{100((0,52 \cdot 0,8) + (0,79 \cdot 0,6))}{20^2} \times 4,976 \times 0,470 \\ &= \frac{100(0,416 + 0,474)}{400} \times 2,3388 \\ \Delta V &= 0,52\%\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan yang dilakukan pada tiap Penyulang diperoleh 2 penyulang yang memiliki jatuh tegangan yang cukup signifikan yaitu penyulang matahari 14,98% dan penyulang anggrek 25,65%, berdasarkan standart Indonesia jatuh tegangan diperbolehkan hanya 10% saja sedangkan untuk Internasional sebesar 5% saja.

Dari hasil perhitungan, dikonversikan lagi dalam bentuk rugi daya seperti di tabel VIII berikut ini.

TABEL VI. HASIL PERHITUNGAN NILAI R DAN X_L KONDUKTOR AAAC TEGANGAN 20kV

JENIS KAWAT	R (Ω / M)	X _L (Ω / M)
AAAC 35 mm ²	1,13	0,81
AAAC 50 mm ²	0,78	0,79
AAAC 70 mm ²	0,51	0,78
AAAC 95 mm ²	0,42	0,77
AAAC 150 mm ²	0,24	0,76

TABEL VII. JATUH TEGANGAN TIAP PENYULANG

No	Penyulang / Feeder	Jenis Konduktor	Panjang Saluran (m)	Jatuh Tegangan (%)
1.	Tulip	AAAC 35,50,70,95,150	7.455	4,516
2.	Anggrek	AAAC 35,70,95,150	21.170	25,46
3.	Matahari	AAAC 35,70,95 BC 50	53.310	14,98
4.	Mawar	AAAC 35,70,95	6.450	2,123
5.	Elang	AAAC 35,70,95	14.672	8,165
6.	Reflesia	AAAC 35,70,95	35.550	8,242
7.	Aster	AAAC 35,50,70,95	6.195	3,91
8.	Arwana	AAAC 35,70,95,150	7.455	8,107

TABEL VIII. KERUGIAN TIAP PENYULANG DALAM DAYA (kVA)

No	Penyulang / feeder	Daya Input (kVA)	Jatuh Tegangan (%)	Rugi Daya (kVA)	Daya output (kVA)
1.	Tulip	4.020	4,516	185	3.835
2.	Anggrek	7.795	25,46	2.027	5.768
3.	Matahari	2.095	14,98	315	1.780
4.	Mawar	3.210	2,123	74	3.136
5.	Elang	3.875	8,165	318	3.557
6.	Reflesia	1.600	8,242	133	1.467
7.	Aster	6.080	3,91	244	5.836
8.	Arwana	5.405	8,107	444	4.961

AAAC 150 mm²

$$\begin{aligned}\Delta V &= \frac{(R \cos \theta + X \sin \theta)}{V^2} \sum_{i=1}^n S_i \cdot L_i \cdot 100 \\ &= \frac{100((0,24 \cdot 0,8) + (0,76 \cdot 0,6))}{20^2} \times 4,976 \times 0,470 \\ &= \frac{100(0,192 + 0,456)}{400} \times 2,3388\end{aligned}$$

$$\Delta V = 0,37 \%$$

Dengan mengikuti perhitungan yang serupa dengan perhitungan diatas, maka dapat mengurangi 5,81% dari total jatuh tegangan 25,46% pada penyulang Tulip.

Untuk mengetahui berapa besar kerugian dan penghematan pada penyulang anggrek dalam bentuk rupiah (Rp) dapat dihitung dengan nilai jual Rp 250,-/VA mengikuti standart PLN.

$$\begin{aligned}25,46\% &= 2.027 \text{ kVA} \\ &= 2.027.000 \text{ VA} \times 250 = \text{Rp. } 506.750.000,- \\ 19,65\% &= 1.531 \text{ kVA} \\ &= 1.531.000 \text{ VA} \times 250 = \text{Rp. } 382.750.000,- \\ \text{Total penghematan} &= 506.750.000 - 382.750.000 \\ &= \text{Rp. } 124.000.000,-\end{aligned}$$

Bila dilakukan pergantian konduktor bisa menghemat biaya hingga Rp. 124.000.000,-

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan perhitungan terhadap jalur distribusi ditemukan susut Tegangan yang melewati batas batas yang diijinkan yakni, penyulang Anggrek 25,65% rugi daya 2.027 kVA dan penyulang matahari 14,98% rugi daya 315 kVA , faktor ini dipengaruhi oleh konduktor yang digunakan sudah mencapai batas kemampuan, perlunya pergantian jenis konduktor yang lebih besar, pergantian jenis konduktor diterapkan pada jalur utama, dan dapat memperkecil jatuh tegangan sampe 5,81% dengan penghematan dana Rp. 124.000.000,- sesuai dengan standart harga PT. PLN 250/VA. Kondisi dari jaringan penyulang tersebut tergolong jaringan lama dan mempengaruhi ketahanan suatu konduktor dalam mengalirkan beban.

Kurangnya pemanfaatan GH (Gardu Hubung), dimana GH Maesa menanggung 6 fedder sekaligus termasuk penyulang anggrek dan matahari yang merupakan penyulang lama. Faktor lainnya juga dari segi pemeliharaan dan penempatan titik trafo pada jaringan yang melebihi dari 1 Km.

Walaupun jatuh tegangan bisa diperkecil dengan pergantian konduktor, namun pemeliharaan dan pengawasan terhadap konduktor dan trafo yang tersebar pada penyulang harus dipantau, untuk jaringan yang panjang perlunya penambahan trafo distribusi. beban yang semakin meningkat bila tidak di seimbangkan maka akan memperbesar jatuh tegangan dan akan mengakibatkan kerugian yang besar dari Pihak PLN, Pengusaha, dan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.Kadir, Ir, Transformator, Penerbit, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta,1989.
- [2] A.S. Pabla dan A.Hadi, Sistem Distribusi Daya Listrik, Penerbit Erlangga, Jakarta,1989.
- [3] Hutabarat dan W.R.H.R. Nataniel, Studi Perencanaan Penambahan Penyulang dan Membagi Beban Pada Penyulang SK4 Di Gi Kawangkoan, *Skripsi* Program S1 Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi,Manado,2011.
- [4] T.S. Hutauruk, Transmisi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, 1993.
- [5] PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan, Materi Pembedangan SMK Bidang Operasi Distribusi Jilid 1,2, 2011.
- [6] PT. PLN (Persero) Wilayah Cabang Palu, Statistik 2013.
- [7] PT. PLN, SPLN (Standar Perusahaan Umum Listrik Negara) 41-8.1981 dan 72.1987 "HANTARAN ALUMINIUM CAMPURAN (AAAC)" dan "Spesifikasi Desain Untuk JTM dan JTR.",1981.
- [8] PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik), 04-0225 2000 Badan Standardisasi Nasional, Jakarta,2000.
- [10] SPLN (Standar Perusahaan Umum Listrik Negara),1981.
- [11] W.Megawati, Desain Dasar Jaring Distribusi Listrik 380/220 V Desa Dorbolaang Kecamatan Bitung Selatan, *Skripsi* Program S1 Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi, Manado,2010.