

ANALISIS RUGI TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PADA PT. PLN (Persero) CABANG MERAUKE

Paulus Mangera

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik,
Universitas Musamus Jl. Kamizaun Mopah Lama
Merauke Telp. 0971- 325976
e-mail: paulus@unmus.ac.id

Damis Hardiantono

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik,
Univesitas Musamus Jl. Kamizaun Mopah Lama
Merauke Telp. 0971-325976
e-mail: damis@unmus.ac.id

Abstract—Sistem Distribusi merupakan salah satu bagian penting dalam penyaluran energi listrik. Dalam penyalurannya, energi listrik yang disalurkan tidak seluruhnya diterima oleh konsumen. Hal ini disebabkan karena terdapatnya rugi – rugi tegangan sepanjang saluran distribusi. Rugi tegangan yang terjadi pada Jaringan distribusi dipengaruhi oleh besar arus, luas penampang dan panjang saluran.

Penelitian ini bertujuan menganalisis rugi tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi 20 kV atau Jaringan distribusi Primer. Menganalisis rugi tegangan pada Jaringan Distribusi Primer dengan mengambil data arus beban puncak siang dan arus beban puncak malam, pada Penyulang atau Feeder yang terpasang pada PLTD Kelapa Lima Merauke. Metode yang digunakan adalah Menghitung rugi tegangan pada Jaringan Distribusi Primer dengan mengambil data arus beban puncak siang dan arus beban puncak malam, pada Penyulang atau Feeder yang terpasang pada PT. PLN (Persero) Cabang Merauke.

Hasil analisis menyatakan bahwa rugi tegangan yang terjadi pada Feeder Merkuri yaitu pada kondisi beban puncak siang sebesar 1966,87 V dengan persentase 9,83 % dan pada kondisi beban puncak malam sebesar 3416,94 V dengan persentase sebesar 17,08 %, lebih besar dibandingkan dengan Feeder - feeder lain seperti Feeder Kota 2 rugi tegangan pada kondisi beban puncak siang sebesar 249,93 dengan persentase sebesar 1,25 % dan pada kondisi beban puncak malam sebesar 294,55 Volt dengan persentase sebesar 1,47 %, Feeder Muli rugi tegangan yang terjadi pada kondisi beban puncak siang 462,59 Volt dengan persentase sebesar 2,31 % dan pada kondisi beban puncak malam sebesar 497,23 Volt dengan persentase sebesar 2,49 %, Kemudian pada Feeder Polder rugi tegangan yang terjadi pada kondisi beban puncak siang sebesar 231,83 Volt dengan persentase sebesar 1,16 % dan pada kondisi beban puncak malam sebesar 277,03 Volt dengan persentase sebesar 1,39 %

dan rugi tegangan pada Feeder Kompi C pada kondisi beban puncak siang sebesar 252,14 Volt dengan persentase sebesar 1,26 % dan pada kondisi beban puncak malam sebesar 289,3 Volt dengan persentase sebesar 1,45 %. Sedangkan rugi tegangan terkecil adalah pada Feeder Kota 1 yaitu pada kondisi beban puncak siang sebesar 188,71 V dengan persentase 0,94 %, pada kondisi beban puncak malam sebesar 235,29 dengan persentase sebesar 1,18 %. Rugi tegangan yang terjadi pada Feeder Merkuri sudah melebihi standar 5% yang ditentukan dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL).

Keywords— Sistem distribusi, rugi tegangan

I. LATAR BELAKANG.

A. Pendahuluan

Listrik merupakan salah satu kebutuhan hidup, yang digunakan untuk menunjang aktivitas kehidupan sehari – hari. Energi listrik itu sendiri dihasilkan oleh unit – unit pembangkitan. Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Pada saluran distribusi, energi listrik kemudian disalurkan ke konsumen seperti pelanggan rumah tangga, sosial, industri, bisnis pada tingkat tegangan distribusi sekunder yang sebelumnya diturunkan dari tingkat tegangan distribusi primer.

Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV. Pada penyaluran energi listrik, mulai dari unit pembangkit sampai ke konsumen, energi listrik yang disalurkan tidak seluruhnya diterima oleh konsumen. Hal ini disebabkan karena terdapatnya rugi – rugi tegangan sepanjang saluran distribusi. Untuk sistem penyampaian tenaga listrik diperlukan saluran daya yang efektif, ekonomis, stabil, efisien dan kualitas yang baik. Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari kualitas daya yang diterima oleh konsumen.

Konsumen dalam kawasan pelayanan PLN Cabang Merauke dilayani oleh Pembangkit Listrik tenaga diesel (PLTD). Sistem kelistrikan di Merauke menggunakan jaringan distribusi tipe radial. Dengan Jarak penyaluran yang cukup jauh, di atas 7 km, yang didalam penyalurannya terdapat rugi – rugi tegangan.

II Tinjauan Pustaka

2.1 Definisi

Sistem distribusi tenaga listrik dapat diartikan sebagai sistem sarana penyampaian tenaga listrik dari sumber ke pusat beban. Sementara untuk sistem instalasi listrik adalah cara pemasangan atau penyaluran tenaga listrik atau peralatan listrik untuk semua barang yang memerlukan tenaga listrik, dimana pemasangannya harus sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan di dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL).

Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari hal-hal berikut ini [1]

1. Kontinuitas pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan, baik karena gangguan maupun hal-hal yang direncanakan.
2. Kualitas daya yang baik, antara lain meliputi :
 - Kapasitas daya yang memenuhi.
 - Tegangan yang selalu konstan dan nominal.
 - Frekuensi yang selalu konstan (untuk sistem AC).
3. Perluasan dan penyebaran daerah beban yang dilayani seimbang.
4. Fleksibel dalam pengembangan dan perluasan daerah beban.
5. Kondisi dan Situasi Lingkungan.
6. Pertimbangan Ekonomis.

Jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari dua bagian, menurut susunan rangkaiannya adalah sebagai berikut:

- a. Jaringan Distribusi Primer
Yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah atau jaringan tegangan primer.
- b. Jaringan Distribusi sekunder.
Yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Jaringan ini sering disebut jaringan tegangan rendah.

2.2 Saluran Distribusi

Energi listrik 20 kV di busbar gardu induk, disalurkan melalui *feeder – feeder* (penyulang) distribusi ke gardu hubung atau dapat langsung dihubungkan ke konsumen. Dari gardu hubung, energi listrik disalurkan ke gardu – gardu distribusi.

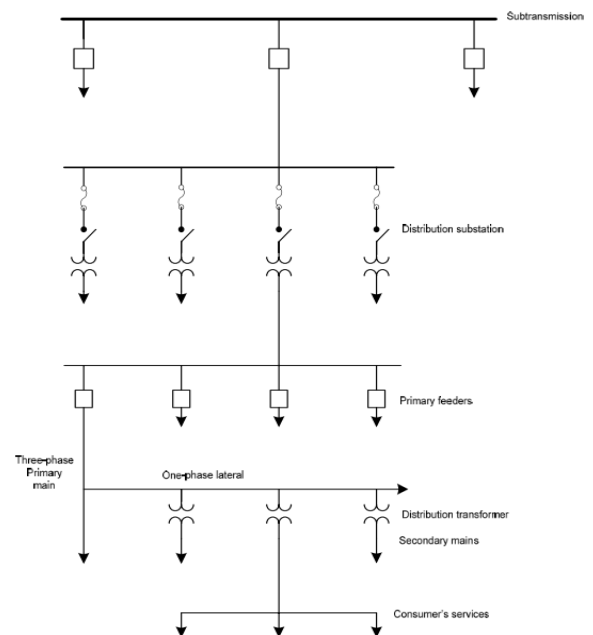
Gardu Distribusi adalah gardu tempat mengubah tegangan primer menjadi tegangan sekunder dan selanjutnya disalurkan ke setiap titik pelanggan. Gardu Distribusi berfungsi melayani konsumen dimana tegangan 20 kV diturunkan tegangannya menjadi 380/220 volt pada

trafo – trafo distribusi, untuk kemudian disalurkan pada konsumen melalui jaringan tegangan rendah (jaringan distribusi sekunder) [1]

2.3 Pembagian dari Sistem Distribusi

Secara singkat fungsi dari bagian – bagian sistem distribusi adalah sebagai berikut :

- a. Gardu Induk
Merupakan gardu induk yang mensuplai daya listrik besar.
- b. Jaringan Distribusi Primer
Saluran primer adalah saluran yang menghubungkan gardu induk dengan beberapa gardu distribusi pada suatu tegangan primer.
- c. Gardu Hubung
Gardu Hubung berfungsi menerima daya listrik dari gardu induk dan menyalurkan tegangan primernya menuju gardu distribusi.
- d. Gardu Distribusi
Gardu Distribusi Berfungsi mengubah tegangan primer menjadi tegangan sekunder, kemudian membaginya ke setiap pelanggan.
- e. Jaringan Distibusi Sekunder
Saluran sekunder adalah saluran di antara gardu distribusi dan pelanggan, saluran ini berfungsi menyalurkan daya dari gardu distribusi ke rangkaian pemakai.



Gambar 1 Diagram satu garis sistem distribusi tenaga listrik.

2.4 Jaringan Distribusi Primer dan jenisnya

Saluran distribusi primer dapat berupa Hantaran udara atau Hantaran bawah tanah, secara singkat dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Hantaran udara

Hantaran udara dapat berupa kawat terbuka atau kabel udara. Sistem ini baik untuk daerah kerapatan beban

rendah, seperti daerah pinggiran kota maupun daerah pedesaan.

Keuntungan – keuntungan yang dapat dicapai dari hantaran ini antara lain :

1. Mudah melakukan pencabangan untuk keperluan pengembangan beban
2. Mudah mengadakan perbaikan gangguan.
3. Mudah melakukan pemeriksaan jika terjadi gangguan pada jaringan.
4. Tiang – tiang jaringan distribusi primer dapat pula dipergunakan untuk jaringan distribusi sekunder dan keperluan trafo (gardu tiang) sehingga secara keseluruhan harga instalasinya murah.

Jaringan hantaran udara menyalurkan kawat listrik melalui kawat telanjang atau kabel yang digantung pada tiang – tiang dengan peralatan isolator, sehingga mengurangi keindahan sekitarnya karena kabel yang berseliweran.

Penghantar antar jaringan distribusi primer yang biasa digunakan adalah dari jenis kabel atau kawat belitan dengan penghantar dari jenis tembaga atau dari penghantar jenis aluminium.

b. Hantaran bawah tanah

Hantaran bawah tanah menggunakan kabel tanah. Sistem ini biasanya digunakan pada daerah-daerah dengan kerapatan beban tinggi, seperti daerah pusat kota dan industri. Pada daerah – daerah tersebut, pembangunan hantaran udara terutama yang menggunakan kawat telanjang akan menemui kesulitan. Dengan demikian secara keseluruhan hantaran bawah tanah lebih banyak dipakai walaupun harganya relatif lebih mahal.

2.5 Pembatasan – pembatasan dari sistem distribusi

Adapun penggolongan yang berlaku di Indonesia dengan standard PLN adalah sebagai berikut :

1. Tegangan Extra Rendah (TER) 50 V atau 75 V
2. Tegangan Rendah (TR) lebih rendah dari 1 kV
3. Tegangan Menengah (TM) 1 kV sampai 30 kV

2.6 Tipe Jaringan Distribusi Primer

Dalam pelayanannya jaringan distribusi primer ini memiliki beberapa variasi bentuk, dimana masing – masing bentuk jaringan memiliki beberapa kelebihan dan kelemahan tersendiri. Pada umumnya terdapat empat bentuk dasar dari sistem jaringan distribusi primer, tetapi yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

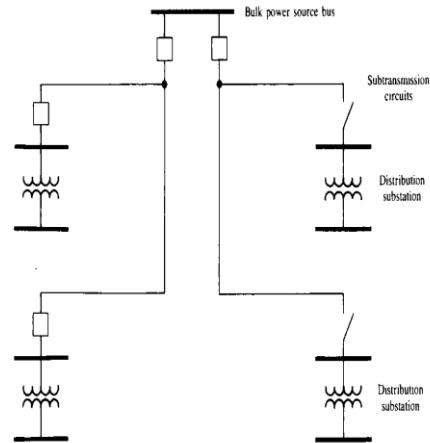
1. Sistem jaringan distribusi primer radial
2. Sistem jaringan distribusi ring (*loop*)

a. Jaringan distribusi radial

Jaringan distribusi primer radial 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 ini mempunyai satu jalur daya ke beban, maka semua beban pada saluran itu akan kehilangan daya apabila suatu saluran mengalami gangguan. Keuntungan utama dari sistem radial ini adalah bentuk sederhana dan biaya investasinya relatif murah. Salah satu kelemahan sistem ini

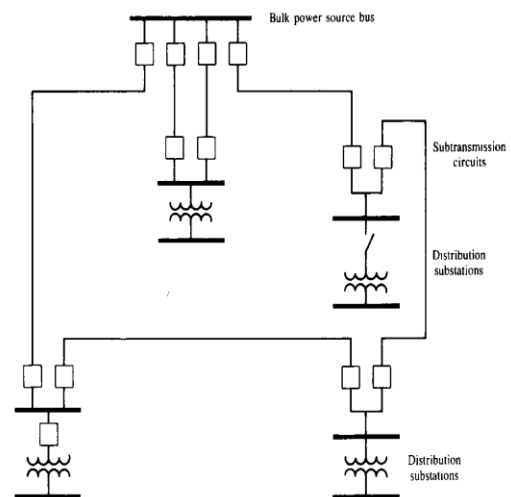
adalah kontinuitas pelayanan kurang baik dan keandalannya rendah serta jatuh tegangan yang terjadi besar, terutama untuk beban yang terdapat pada ujung saluran. Sesuai dengan tingkat kerapatan arusnya maka besar penampang penghantar tersebut dapat berbeda-beda [1],[3]



Gambar 2 Sistem Jaringan Radial

b. Jaringan distribusi ring (*loop*)

Jaringan distribusi primer tipe ring ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan loop (Suhadi 2008. dkk). Jaringan ini biasanya digunakan untuk melayani beban yang membutuhkan kontinuitas pelayanan yang baik seperti : bangunan – bangunan komersial atau pabrik – pabrik yang mempunyai beban sedang dan besar. Pada prinsipnya jaringan distribusi primer *tipe loop* adalah suatu jaringan yang dimulai dari satu titik sumber atau rel daya keliling ke daerah beban, kemudian kembali ke titik sumber rel atau daya semula. [3]



Gambar 3 Sistem Loop

c. Konstanta – Konstanta Saluran

Pada saluran transmisi, subtransmisi dan distribusi mempunyai empat parameter yang mempengaruhi kemampuannya untuk berfungsi sebagai bagian dari suatu

sistem tenaga : resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi [6].

1. Resistansi (R)

Resistansi adalah tahanan pada suatu penghantar pada saluran distribusi yang menyebabkan kerugian daya. Besarnya kerugian daya yang terjadi pada saluran tersebut tergantung pada besarnya tahanan dari panjang saluran, luas penampang kawat serta jenis kawat yang digunakan.

Jika tahanan searah suatu penghantar diketahui pada temperatur tertentu, maka tahanan searah dapat ditentukan dengan persamaan: [4]

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan :

R₁=Tahanan searah penghantar pada temperatur t₁

R₂=Tahanan searah penghantar pada temperatur t₂

T = Konstanta untuk suatu penghantar tertentu yang nilainya ditentukan dalam konstanta t tersebut sebagai berikut :

- 234,5 untuk tembaga 100%
- 241 untuk tembaga 97,3 %
- 228 untuk tembaga 61 %

2. Induktansi (L)

Induktansi kawat pada umumnya untuk mengetahui masing – masing kawat saluran tergantung dari besarnya fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir pada saluran penghantar tersebut.

3. Kapasitansi (C)

Kapasitansi adalah akibat selisih potensial antara penghantar – penghantar, sehingga menyebabkan penghantar tersebut bermuatan misalnya terjadi pada plat kapasitor, sedangkan untuk saluran daya yang mempunyai panjang dibawah 80 km maka kapasitansinya sangat kecil sehingga dapat diabaikan, sedangkan pada saluran yang lebih panjang dengan tegangan cukup tinggi (di atas 30 kV) maka kapasitansinya harus diperhitungkan [4].

4. Konduktansi

Konduktansi antar penghantar – penghantar atau antara penghantar dengan tanah akan menyebabkan terjadinya arus bocor pada isolator – isolator dari saluran tersebut. Adapun penghantar – penghantar yang sering digunakan pada sistem tenaga listrik, antara lain [4]:

1. AAC (*All Aluminium Conductor*), seluruhnya terbuat dari aluminium.
2. AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
3. ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), Penghantar aluminium yang diperkuat dengan baja.
4. ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*), Penghantar aluminium yang diperkuat dengan campuran logam.

d. Parameter Saluran

Pada saluran distribusi dipergunakan kawat udara ataupun kabel tanah sebagai penghantar untuk penyaluran daya listrik. Penghantar tersebut mempunyai impedansi yang terdiri dari resistansi. Besarnya resistansi tergantung dari jenis penghantar, panjang dan luas penampang atau yang dapat dinyatakan sebagai berikut: [4]

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

R = Resistansi kawat penghantar

A = Luas penampang kawat penghantar (mm²)

ρ = Tahanan jenis kawat penghantar (Ω.mm²/m)

l = Panjang kawat penghantar (m)

Sedangkan besarnya reaktansi induktif ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak – balik yaitu [4]:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots (3)$$

Dengan :

X_L = Reaktansi kawat penghantar (Ohm)

f = frekuensi arus bolak- balik (Hz)

2^π = Sudut arus bolak – balik

L = Induktansi kawat penghantar (Henry)

e. Daya Listrik

Daya listrik merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan baik atau tidaknya kualitas dari suatu sistem kelistrikan dalam memenuhi kebutuhan konsumen. Daya listrik dibedakan menjadi 3 jenis daya yaitu :

f. Daya Semu

Daya semu merupakan daya total yang ditarik oleh beban atau jumlah secara vektor dari daya aktif dan daya reaktif [4].

Daya semu untuk satu fasa :

$$S_1\Phi = V_n \cdot I \dots\dots\dots (4)$$

Daya semu untuk tiga fasa :

$$S_3\Phi = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I \dots\dots\dots (5)$$

Dengan :

V_n = Tegangan phasa netral (Volt)

I = Arus yang mengalir (A)

S₁Φ = Daya semu satu fasa (VA)

S₃Φ = Daya semu tiga fasa (VA)

g. Daya aktif (daya nyata)

Daya nyata atau daya aktif merupakan daya listrik yang digunakan secara langsung oleh beban / peralatan listrik untuk dikonversikan menjadi energi lain sesuai kebutuhan seperti energi panas dan energi cahaya. Dimana daya aktif adalah daya yang dipakai untuk keperluan menggerakkan mesin atau mekanik. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikaitkan dengan besaran arus atau

faktor dayanya. Daya aktif adalah tegangan dikali arus dikali dengan cos pi [4].

Daya aktif untuk satu fasa :

$$P_1 = Vn.I.Cos\Phi \dots\dots\dots (6)$$

Daya aktif untuk tiga fasa :

$$P = \sqrt{3} Vn.I.Cos\Phi \dots\dots\dots (7)$$

Dengan :
 CosΦ = Faktor daya
 Satuan daya aktif = Watt

h. Daya reaktif

Daya reaktif merupakan daya listrik yang diperoleh beban untuk rangkaian magnetisasi (pemagnetan). Daya reaktif adalah selisih antar daya semu yang masuk pada saluran daya aktif yang terpakai untuk daya mekanik panas. Walaupun daya reaktif tidak dapat melakukan kerja akan tetapi tetap diperlukan untuk membangkitkan medan magnet pada peralatan listrik yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik [4].

Daya reaktif untuk satu fasa :

$$Q = Vn.I.Sin\Phi \dots\dots\dots (8)$$

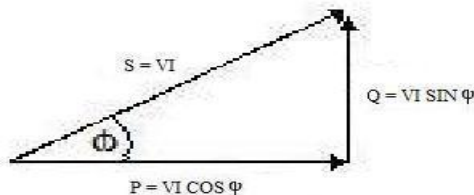
Daya reaktif untuk tiga fasa :

$$Q = \sqrt{3}. Vn.I.Sin\Phi \dots\dots\dots (9)$$

Satuannya adalah VAR.

i. Segitiga Daya

Segitiga daya adalah hubungan antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif, sehingga dapat digambarkan dalam suatu segitiga daya sebagai berikut :



Gambar 4. Segitiga Daya

Hubungan Ketiga Komponen Daya Listrik.

Dengan :

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$P = S . Cos\Phi$$

$$Q = S . Sin\Phi$$

2.7 Rugi – rugi (losses)

Jumlah energi listrik yang sampai ke beban tidak sama dengan jumlah energi listrik yang dibangkitkan karena terjadi susut atau rugi – rugi (*losses*) energi. Hal ini disebabkan oleh berbagai hal yaitu jarak antara pembangkit atau konsumen yang berjauhan sehingga pada peralatan listrik jaringan distribusi mengalami rugi – rugi. Rugi – rugi pada jaringan sistem tenaga listrik juga disebabkan oleh pembebanan yang tidak seimbang antara ketiga fasa sistem, panas yang timbul pada konduktor saluran maupun

transformator, serta panas yang timbul pada sambungan konduktor yang buruk (*loss contact*).

2.8 Rugi – rugi tegangan dalam jaringan

Setiap penyaluran energi listrik dari sumber tenaga listrik ke konsumen yang letaknya berjauhan selalu terjadi kerugian – kerugian. Adapun salah satu kerugian – kerugian tersebut adalah rugi tegangan. Hal ini disebabkan setiap saluran distribusi mempunyai hambatan, induktansi dan kapasitansi. Untuk nilai kapasitansi saluran distribusi biasanya kecil sehingga diabaikan.

Dengan demikian berdasarkan dari penjelasan diatas, rumus yang digunakan untuk menghitung rugi tegangan adalah : [5]

$$\Delta V = (I_s.R_s.Cos\phi) + (I_s.X_s.Sin\phi) \dots\dots\dots (10)$$

Dengan :

- ΔV = Rugi tegangan (V,KV,MV)
- Rs = Nilai resistansi pada saluran (Ω)
- Xs = Nilai reaktansi pada saluran (Ω)
- Cos Φ = Besar faktor daya

Maka besar nilai persentase (%) rugi tegangan adalah

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V} x 100\% \dots\dots\dots (11)$$

Dengan :

- ΔV(%) = Rugi tegangan dalam % (V)
- V = Tegangan kerja (V)

2.9 Kualitas Daya Listrik

Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari kualitas daya yang diterima oleh konsumen. (Menurut Suhadi, 2008), kualitas daya yang baik, antara lain meliputi : kapasitas daya yang memenuhi dan tegangan yang selalu konstan dan nominal. Tegangan harus selalu dijaga konstan, terutama rugi tegangan yang terjadi di ujung saluran. Tegangan yang tidak stabil dapat berakibat merusak alat-alat yang peka terhadap perubahan tegangan (khususnya alat-alat elektronik). Demikian juga tegangan yang terlalu rendah akan mengakibatkan alat-alat listrik tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Salah satu syarat penyambungan alat-alat listrik, yaitu tegangan sumber harus sama dengan tegangan yang dibutuhkan oleh peralatan listrik tersebut. Tegangan terlalu tinggi akan dapat merusak alat-alat listrik. Rugi tegangan yang terjadi diberikan standar ≤ 5 %. [7].

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kapasitas Penyaluran

PLTD Kelapa Lima Merauke sebagai pusat pembangkit yang menyalurkan tenaga listrik. Dari diagram satu garis pada lampiran B dapat diketahui bahwa tenaga listrik yang berasal dari PLTD Kelapa Lima Merauke disalurkan pada masing – masing feeder yaitu :

1. Feeder Kota 1
2. Feeder Polder
3. Feeder Kota 2
4. Feeder Muli
5. Feeder Kompi C
6. Feeder Merkuri

Tabel 1 Data masing – masing Penyulang atau Feeder

No	Nama Penyulang atau Feeder	Panjang saluran (Km)	Jenis kabel (mm ²)	Arus Beban Puncak (A)	
				Siang	Malam
1.	Penyulang Kota I	11.35	AAAC 3 x 70	31.6	39.4
2.	Penyulang Polder	10.51	AAAC 3 x 70	51.8	61.9
3.	Penyulang Muli	19.36	AAAC 3 x 70	45.4	48.8
4.	Penyulang Kompi C	23.00	AAAC 3 x 70	38	43.6
5.	Penyulang kota II	9.97	AAAC 3 x 70	47.6	56.1
6.	Penyulang Merkuri	114.68	AAAC 3 x 70	39.2	68.1

Sumber data : PT. PLN (Persero) Cabang Merauke

Jenis kabel yang digunakan pada masing - masing penyulang adalah AAAC 3 x 70 mm² yang kemampuan arus maksimumnya adalah 155 A [7]. Saluran tegangan menengah pada PLTD Kelapa Lima Merauke beroperasi pada tegangan 20 kV. Maka dari data tersebut dapat dihitung besarnya kapasitas penyaluran daya semu adalah :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = \sqrt{3} \times 20000 \times 155$$

$$S = 5369357.503 \text{ VA}$$

Maka besar daya yang disalurkan adalah :

$$P = S \cdot \cos \phi$$

$$P = 5369357.503 \times 0.9$$

$$= 4832421.753 \text{ Watt}$$

4.2 Menghitung Parameter Saluran

a. Menghitung resistansi penghantar :

Berdasarkan data penghantar pada PLTD Kelapa V Merauke, diketahui :

- Jenis penghantar yang digunakan untuk semua feeder yaitu *All-Alluminium Alloy Conductor (AAAC)*, dimana tetapan tahanan jenis penghantar (ρ) untuk semua penghantar aluminium pada suhu 20⁰C yaitu sebesar $2,83 \cdot 10^{-8}$ Ohm-m. (*Stevenson, Hal.46, 1982*).
- Luas penampang penghantar (A) untuk semua tiap feeder yaitu 70 mm² atau $70 \cdot 10^{-6}$ m²

Dengan demikian resistansi penghantar masing-masing feeder per-meter pada suhu 20⁰C, yaitu :

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

$$R = 2,83 \cdot 10^{-8} \frac{1}{70 \cdot 10^{-6}}$$

$$= \frac{2,83}{70 \cdot 10^{-8} \cdot 10^6}$$

$$= 0,0404 \cdot 10^{-2} \text{ Ohm/m}$$

Atau dalam satuan Ohm/km, menjadi :

$$R = 0,0404 \cdot 10^{-2} \text{ Ohm} / 10^{-3} \text{ km}$$

$$= 0,0404 \cdot 10^{-2} \cdot 10^3 \text{ Ohm/km}$$

$$= 0,0404 \cdot 10 \text{ Ohm/km}$$

$$= 0,404 \text{ Ohm/km}$$

Resistansi yang diperoleh tersebut selanjutnya disebut sebagai resistansi pada suhu 20⁰C (R_1). Selanjutnya, diasumsikan bahwa saluran beroperasi pada beban penuh dimana temperatur maksimum pada kondisi beban penuh tersebut tidak lebih dari 50⁰C sehingga resistansi dengan menggunakan koreksi pada suhu 50⁰C (R_2) adalah :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{t + t_2}{t + t_1}$$

$$\frac{R_2}{0,404} = \frac{228 + 50}{228 + 20}$$

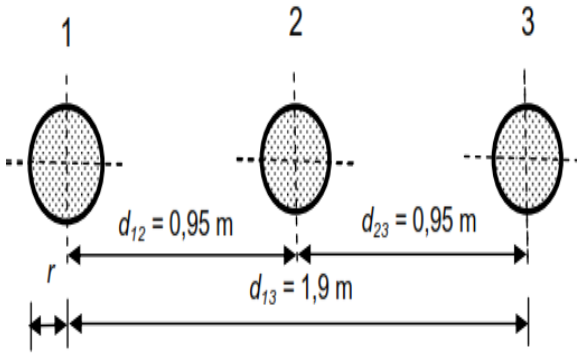
$$278$$

$$R_2 = \frac{278}{248} \cdot 0,404$$

$$= 0,4529 \text{ Ohm/km}$$

c. Menghitung induktansi dan reaktansi induktif penghantar :

Besarnya induktansi penghantar tergantung pada konfigurasi saluran. Adapun konfigurasi saluran pada setiap feeder di PLTD Kelapa V Merauke, dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4.1 Konfigurasi saluran setiap feeder

Telah diketahui luas penampang penghantar (A) = 70 mm², dengan demikian radius (r) penghantar :

$$A = \pi r^2$$

$$70 = (3,14) \cdot r^2$$

$$r = \sqrt{(70 \cdot 3,14)}$$

$$r = 14,829 \text{ mm} = 0,014829 \text{ m}$$

selanjutnya induktansi penghantar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [4].

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \left(\frac{D_m}{D_s} \right) \text{ Henry/m}$$

Dengan :

D_m : jarak rata-rata geometrik (*geometric mean distance/GMD*)

D_s : radius rata-rata geometrik (*geometric mean radius/GMR*)

Besarnya D_{eq} dan D_s dapat dihitung dengan persamaan (*Stevenson, Hal. 67, 1982*)

$$D_m = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}} \text{ meter}$$

$D_s = r$ meter (GMR penghantar tidak lain adalah radius penghantar itu sendiri karena hanya terdapat satu penghantar untuk tiap fasanya)

Berdasarkan gambar (4.1) di atas maka :

$$\begin{aligned} D_m &= \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}} \\ &= \sqrt[3]{(0,95 \cdot 0,95 \cdot 1,9)} \\ &= \sqrt[3]{1,71475} \end{aligned}$$

$$= 1,1969 \text{ meter}$$

$$D_s = 0,014829 \text{ meter}$$

Sehingga induktansi penghantar per-meter, adalah :

$$\begin{aligned} L &= 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \left(\frac{1,1969}{0,014829} \right) \\ &= 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln (80,7135) \\ &= 8,782 \cdot 10^{-7} \text{ Henry/m} \end{aligned}$$

atau induktansi penghantar per-km, adalah :

$$\begin{aligned} L &= \text{Henry} / (10^{-3} \text{ km}) \\ 3 &= 8,782 \cdot 10^{-7} \cdot 10^3 \\ &= 8,782 \cdot 10^{-4} \text{ Henry/km} \end{aligned}$$

Dengan demikian reaktansi induktif penghantar per-km, dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X_L &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \text{ Ohm/km} \\ &= 2 \cdot (3,14) \cdot 50 \cdot 8,782 \cdot 10^{-4} \\ &= 0,2759 \text{ Ohm/km} \end{aligned}$$

Jadi impedansi per-km dari setiap feeder adalah :

$$\begin{aligned} Z &= R_2 + j X_L \\ &= 0,4529 + j 0,2759 \text{ Ohm/km} \end{aligned}$$

4.3 Menghitung Rugi Tegangan

Berikut ini adalah tabel impedansi untuk perhitungan kerugian tegangan yang terjadi pada masing – masing feeder yang terpasang pada PLTD Kelapa Lima Merauke.

Tabel 2. Data Impedansi masing – masing feeder

No	Nama Penyulang atau Feeder	Panjang saluran (Km)	Resistansi (Rs)	Reaktansi (Xs)
			0.4529	0.2759
1.	Penyulang Kota I	11.35	5.14	3.13
2.	Penyulang Polder	10.51	3.85	2.35
3.	Penyulang Muli	19.36	8.77	5.34
4.	Penyulang Kompi C	23.00	5.71	3.48
5.	Penyulang kota II	9.97	4.52	2.75

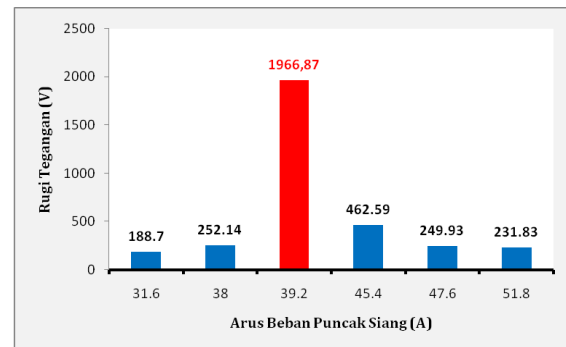
6.	Penyulang Merkuri	114.68	43.18	26.31
----	-------------------	--------	-------	-------

Tabel 3. Hasil Perhitungan Rugi – rugi Tegangan masing – masing Feeder.

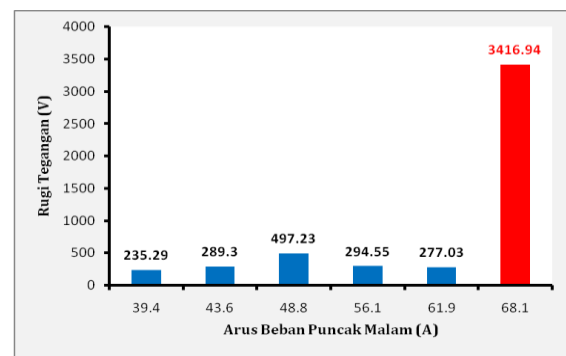
No	Nama Penyulang atau Feeder	Panjang saluran (Km)	Arus Beban Puncak (A)		Rugi Tegangan (V)		Rugi Tegangan (%)	
			Siang	Malam	Siang	Malam	Siang	Malam
1.	Penyulang Kota I	11.35	31.6	39.4	188.71	235.29	0.94	1.18
2.	Penyulang Polder	10.51	51.8	61.9	231.83	277.03	1.16	1.39
3.	Penyulang Muli	19.36	45.4	48.8	462.59	497.23	2.31	2.49
4.	Penyulang Kompi C	23.00	38	43.6	252.14	289.3	1.26	1.45
5.	Penyulang kota II	9.97	47.6	56.1	249.93	294.55	1.25	1.47
6.	Penyulang Merkuri	114.68	39.2	68.1	1966.87	3416.94	9.83	17.08

	kota II				
6.	Penyulang Merkuri	114.68	9.83	17.08	7.25

Hasil yang diperoleh tersebut di atas dapat digambarkan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik rugi tegangan masing-masing feeder untuk kondisi beban puncak siang



Gambar 4.2 Grafik rugi tegangan masing-masing feeder untuk kondisi beban puncak malam.

Tabel 4. Selisih Rugi Tegangan

No	Nama Penyulang atau Feeder	Panjang saluran (Km)	Rugi Tegangan (%)		Selisih (%)
			Siang	Malam	
1.	Penyulang Kota I	11.35	0.94	1.18	0.24
2.	Penyulang Polder	10.51	1.16	1.39	0.23
3.	Penyulang Muli	19.36	2.31	2.49	0.18
4.	Penyulang Kompi C	23.00	1.26	1.45	0.19
5.	Penyulang	9.97	1.25	1.47	0.22

4.4 Pembahasan

Dari hasil perhitungan (lihat tabel 3) yang telah dilakukan dapat dianalisa bahwa terjadinya rugi – rugi tegangan pada jaringan atau saluran distribusi karena pengaruh dari panjang saluran dan arus yang terdapat pada masing – masing penyulang atau feeder.

Nilai impedansi juga mempengaruhi besarnya rugi – rugi tegangan yang terjadi pada setiap penyulang atau feeder (lihat tabel 2). Dimana impedansi dipengaruhi oleh nilai resistansi saluran dan reaktansi saluran. Semakin besar nilai resistansi dan reaktansi dari saluran maka rugi – rugi tegangan yang terjadi pada setiap penyulang atau feeder 20 kV pada PLTD Kelapa Lima Merauke akan semakin besar.

Dari hasil perhitungan diatas terdapat selisih rugi – rugi tegangan pada beban siang hari dan beban malam hari

yaitu pada *Feeder* Kota 1 0.24 %, *Feeder* Polder 0.23 %, *Feeder* Muli 0,18, *Feeder* Kompilasi C 0,19, *Feeder* Kota 2 0.22 %, *Feeder* Merkuri 7.25 % (lihat tabel 4).

Pada penyulang atau *feeder* Merkuri terjadi selisih rugi – rugi tegangan (lihat tabel 4.4) paling besar diantara penyulang yang lain, sedangkan pada *feeder* atau penyulang Muli terjadi selisih paling kecil diantara *feeder - feeder* yang lain. Terjadinya selisih rugi – rugi tegangan yang terjadi pada masing – masing *feeder* yang terdapat di PLTD Kelapa Lima Merauke dikarenakan adanya selisih arus beban puncak siang hari dan arus beban puncak malam hari.

Pada perhitungan yang telah dilakukan didapatkan besarnya rugi – rugi tegangan yang terjadi pada masing – masing *feeder*, dimana *feeder* Merkuri terjadi rugi – rugi tegangan yang cukup besar diantara *feeder – feeder* yang lain yaitu pada beban puncak siang hari sebesar 9.83 % sedangkan pada beban puncak malam hari sebesar 17.08 % (lihat tabel 4.3). Rugi – rugi tegangan yang terjadi pada *Feeder* Merkuri telah melebihi batas ketentuan PLN yaitu melebihi 5 %. Hal ini terjadi karena panjang saluran pada *Feeder* Merkuri ini dibanding *Feeder – feeder* lain.

V. PENUTUP

1. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan mengenai rugi – rugi tegangan pada jaringan atau saluran distribusi tegangan 20 kV di PLTD Kelapa Lima Merauke dapat diambil kesimpulan, yaitu :

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa rugi tegangan yang terjadi pada *Feeder* Kota 2 rugi tegangan pada kondisi beban puncak siang sebesar 249,93 dengan persentase sebesar 1,25 % dan pada kondisi beban puncak malam sebesar 294,55 Volt dengan persentase sebesar 1,47 %, *Feeder* Muli rugi tegangan yang terjadi pada kondisi beban puncak siang 462,59 Volt dengan persentase sebesar 2,31 % dan pada kondisi beban puncak malam sebesar 497,23 Volt dengan persentase sebesar 2,49 %, *Feeder* Merkuri yaitu pada kondisi beban puncak siang sebesar 1966,87 V dengan persentase 9,83 % dan pada kondisi beban puncak malam sebesar 3416,94 V dengan persentase sebesar 17,08 %, *Feeder* Polder rugi tegangan yang terjadi pada kondisi beban puncak siang sebesar 231,83 Volt dengan persentase sebesar 1,16 % dan pada kondisi beban puncak malam sebesar 277,03 Volt dengan persentase sebesar 1,39 %, rugi tegangan pada *Feeder* Kompilasi C pada kondisi beban puncak siang sebesar 252,14 Volt dengan persentase sebesar 1,26 % dan pada kondisi beban puncak malam sebesar 289,3 Volt dengan persentase sebesar 1,45 % dan pada *Feeder* Kota 1 rugi tegangan yang terjadi pada kondisi beban puncak siang sebesar 188,71 V dengan persentase 0,94 %, pada kondisi beban puncak malam sebesar 235,29 V dengan persentase sebesar 1,18 %.

2. Hasil perhitungan yang ada terlihat bahwa besarnya rugi tegangan pada *Feeder* Merkuri lebih besar dibandingkan dengan *Feeder – feeder* lainnya yaitu rugi tegangan pada kondisi beban puncak siang hari sebesar 1966.87 V dengan persentase 9,83 % dan malam hari sebesar 3416.94 V dengan persentase sebesar 17,08 %.
3. Besarnya rugi – rugi tegangan yang terjadi pada *Feeder* Merkuri yang telah melebihi batas ketentuan yang diberikan oleh PLN yaitu melebihi dari 5 %, telah mempengaruhi kualitas daya yang diterima konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Suhadi, dkk , 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik, Jilid 1. Jakarta
- [2]. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- [3]. Gonen, Turan, 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill .
- [4]. Stevenson, W. D, 1983. Analisa Sistem Tenaga Listrik, edisi ke empat. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [5]. Kadir, A. 2000. Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- [6]. Sulasno. 2009. Teknik Konversi Energi Listrik Dan Sistem Pengaturan. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [7]. Badan Standarisasi Nasional BSN, (2000). Persyaratan Umum Instalasi Listrik PUIL 2000