

ANALISIS TERJADINYA LOSSES PADA TRANSFORMATOR DAYA 20 KV JARINGAN DISTRIBUSI DI GARDU INDUK WONOSARI SURAKARTA

Dimas Wahyu Sasongko¹, Muhammad Suyanto², Mujiman³
mahasiswa teknik Elektro IST. AKPRIND¹, Dosen Teknik Elektro IST. AKPRIND^{2,3}
Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Ketenagaan Fakultas Teknologi Industri.
Jln. Kalisahak No. 28, Komp. Balapan Tromol Pos 45, Yogyakarta 55222
Email: dimazzeko@gmail.com¹, musyant@gmail.com², musmuj@gmail.com³

INTISARI

Kerugian energi listrik sudah melebihi standar yang telah ditetapkan, pihak PLN harus mencari faktor penyebab *losses* yang terjadi, agar kerugian yang dialami dapat ditekan. Faktor yang diduga sebagai penyebab *losses* antara lain adanya kerusakan jaringan distribusi. Energi listrik yang dikirimkan dari gardu induk tidak akan sampai ke pelanggan karena dalam pendistribusiannya terjadi kerusakan jaringan diantaranya akibat luas penampang yang terlalu kecil sehingga daya listrik tersebut akan berubah menjadi energi panas dan jarak penghantar ke konsumen. persentase kerugian tegangan pada GI Wonosari terbesar pada penyulang WSI10 yaitu 7,226% dan penyulang WSI11 7,135%. Nilai ini diatas nilai maksimum SPLN 72 : 1987, yaitu untuk jaringan distribusi toleransi tegangan pada penyulang 5% Sedangkan untuk penyulang WSI01 adalah 3,676%, Penyulang WSI04 adalah 4,094%, Penyulang WSI12 adalah 4,751% dan WSI13 adalah 3,174% masih memenuhi setandar internasional yang dibutuhkan yaitu dibawah 5%. Berdasarkan perhitungan rugi-rugi daya yang telah dilakukan, bahwa nilai rugi-rugi daya yang terkecil terjadi pada feeder atau penyulang WSI04 adalah 2,093% sedangkan nilai rugi-rugi daya yang terbesar terjadi pada penyulang WSI11 adalah 4,225%, Sedangkan untuk nilai rugi daya pada penyulang WSI01 adalah 2,238%, penyulang WSI10 adalah 3,663%, penyulang WSI12 adalah 3,404% dan penyulang WSI13 adalah 2,162%.

ABSTRACT

Electrical energy losses already exceed the set standards, the PLN should seek the causes of losses that occur, so that losses can be reduced. Factors suspected as the cause of losses, among others, the damage to the distribution network. Electrical energy is transmitted from the substation will not be up to the customer for distribution via the tissue damage as a result of which the cross sectional area is too small so that electrical power will be turned into heat energy and distance Conductor to consumers.. percentage voltage loss in the GI Wonosari biggest feeders WSI10 is 7.226% and WSI11 feeders is 7.135%. This value is above the maximum value SPLN 72: 1987, which is for distribution network voltage tolerance on the feeder 5% As for feeder WSI01 is 3.676%, feeder WSI04 is 4.094%, feeder WSI12 is 4.751% and WSI13 is 3.174% still meet international standard needed ie below 5%. Based on the calculation of power loss that has been done, that the power losses were the smallest occurred in the feeder or feeders WSI04 is 2.093%, while the value of power losses were greatest in the feeder WSI11 is 4.225%, while for the value of power losses in feeders WSI01 is 2.238%, feeder WSI10 is 3.663%, feeders WSI12 is 3.404% and feeder WSI13 is 2.162%.

Kata Kunci : Rugi Penyulang, Transformator, Losses

Pendahuluan

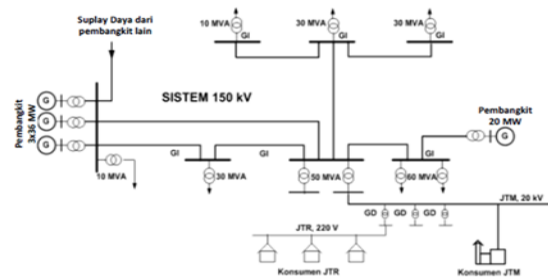
Energi listrik merupakan hal yang sangat penting dalam kehidupan modern dewasa ini. Dimana energi listrik mempunyai suatu fungsi yang dapat memberikan suatu kebutuhan atau pelayanan bagi daya listrik yang diperlukan oleh konsumen. Bagaimana luas dan pentingnya kegunaan energi listrik dalam kehidupan manusia tergambar pula pada suatu kenyataan

bahwa intensitas kegunaan energi listrik dalam masyarakat tertentu telah pula digunakan sebagai salah satu indikator dalam mengukur taraf hidup masyarakat yang bersangkutan sehingga bertambahnya konsumsi energi listrik perkapitas dalam suatu masyarakat hal ini dapat menunjukkan kenaikan standar kehidupan masyarakat tersebut, sehingga dituntut pula dibangunnya pusat-pusat pembangkit listrik

untuk disalurkan ke pusat beban. Untuk menjangkau konsumen sebagai beban yang tersebar dalam area yang luas diperlukan suatu sistem distribusi tenaga listrik yang dapat diandalkan untuk menyalurkan kebutuhan tenaga listrik.

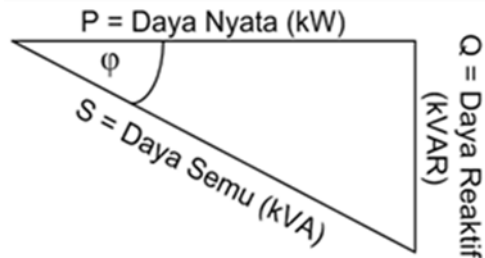
Jenis material dan dimensi saluran menghasilkan parameter saluran (*resistansi* dan *induktansi, kapasitif*) sebagai impedansi saluran, sedangkan daya beban menghasilkan arus saluran. Impedansi dan arus saluran akan mengakibatkan timbulnya jatuh tegangan (*voltage drop*) pada saluran, dikenal sebagai rugi tegangan penyaluran dan selanjutnya menghasilkan rugi daya pada saluran sehingga daya yang diterima pada sisi penerima akan selalu lebih kecil dari pada daya yang dikirim pada sisi pengirim[2]. *Losses* Yang diperbolehkan oleh PT.PLN dengan persentase 0 – 10 % atau dibawah dua digit. Rugi-rugi (*losses*) berbanding lurus dengan tahanan penghantar dan kuadrat arus beban. Selain itu rugi-rugi daya (*losses*) dapat juga disebabkan non teknis. Batas maksimum pembebanan ditentukan oleh kemampuan hantaran arus dari saluran, kapasitas transformator dan jatuh tegangan maksimum yang diizinkan pada ujung saluran yang ditetapkan dalam Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN 72 : 1987) adalah diperbolehkan maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominal sistem dengan penyulang utama 7%, Trafo Distribusi 4%, JTR 5% , Sambungan rumah 2%.

Tenaga listrik dibangkitkan di pusat - pusat pembangkit listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP, dan PLTD dengan tegangan sebesar 6,3 - 11,5 kV. Pada umumnya letak pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pelanggan. Maka untuk mentransmisikan tenaga listrik dari pembangkit diperlukan penggunaan Tegangan Tinggi 70/150 kV atau Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV. Setelah melalui saluran transmisi, tegangan diturunkan di GI menjadi Tegangan Menengah 20 kV. Proses perubahan ini dikoordinasikan dengan Pusat Pengaturan Beban (P3B). Tegangan menengah dari GI dialirkan melalui saluran distribusi 20 kV menuju Gardu Distribusi untuk kemudian melalui trafo step down langsung dialirkan ke pelanggan[5].



Gambar 1. Diagram Penyaluran Listrik Ke Konsumen

Faktor Daya merupakan Sumber listrik AC dalam bentuk energi nyata dan energi reaktif. Energi nyata (dinyatakan dalam W) adalah energi yang diperlukan untuk ditransformasikan ke bentuk energi yang lain, misalnya energi mekanik, energi panas, energi cahaya dan sebagainya. Energi reaktif (dinyatakan dalam VAR) diperlukan oleh peralatan yang bekerja dengan sistem elektromagnet, yaitu untuk pembentukan medan magnetnya. Peralatan ini diantaranya transformator, motor, lampu pijar, dan sebagainya. Kedua energi di atas membentuk daya total yang disebut dengan daya semu (dinyatakan dalam VA). Daya semu ini merupakan penjumlahan vektor dari daya nyata dan daya reaktif[8].



Gambar 2. Hubungan Ketiga Jenis Energi

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \dots\dots\dots(1)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2)$$

maka ;

Daya Nyata (W) :

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \dots\dots\dots(3)$$

Daya Reaktif (VAR) :

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \text{Sin } \varphi \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

U : Tegangan antar fase (V)

- I : Arus jaringan (A)
- cos φ : Faktor daya
- S : Daya Semu (VA)
- P : Daya nyata (W)
- Q : Daya Reaktif (VAR)

Saluran Udara (*Overhead Lines*), saluran yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antara menara atau tiang. SUTM merupakan jaringan kawat tidak berisolasi dan berisolasi. Bagian utamanya adalah tiang (beton, besi), *Cross arm* dan konduktor. Konduktor yang digunakan adalah All Aluminium Alloy Conductor(AAAC), berukuran 240 mm², 150 mm², 70 mm² dan 35 mm². Suatu jaringan mempunyai tiga parameter yang mempengaruhi untuk memenuhi fungsinya sebagai bagian dari suatu sistem tenaga yaitu resistansi, induktansi dan kapasitif[9].

1. Resistansi

Resistansi penghantar saluran distribusi merupakan penyebab rugi daya terpenting dalam suatu saluran distribusi. Resistansi dari suatu penghantar akan menentukan nilai efisiensi dalam menyalurkan energi listrik. Nilai resistansi dari suatu penghantar dipengaruhi oleh frekuensi, pilinan, dan tempertur.

$$R = \rho \frac{l}{A} \Omega \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

- R : Tahanan dari kawat (Ω)
- ρ : Tahanan jenis pada suhu 20°C(Ω/mm)
- 0,018 ohm mm²/m untuk tembaga
- 0,032ohmmm²/m untuk aluminium
- l : Panjang kawat (m)
- A : Luas penampang (mm²)

$$R_{dc} = R \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \dots\dots\dots(6)$$

$$R_{AC} = K \times R_{DC} \Omega/Km \dots\dots\dots(7)$$

2. Induktansi

Induktansi pada suatu penghantar dapat berasal dari penghantar tersebut maupun dari penghantar lain yang berdekatan. Induktansi pada saluran dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_L = 0.1447 \text{ Log } \frac{GMD_0}{GMR} \Omega/mile \dots\dots\dots(8)$$

$$L = \frac{X_L}{2 \pi f} \dots\dots\dots(9)$$

dimana:

- L : Induktansi (H)
- X_L : Reaktansi induktif (Ω/Km)
- GMR: *Geometri mean radius* dari penghantar(mm)
- GMD: *Geometri mean distance* (mm)
- $\sqrt[3]{d_{ab}d_{bc}d_{ca}}$ untuk Saluran 3 fasa
- f : Frekuensi(Hz)

Pada umumnya beban-beban pada sistem distribusi mempunyai faktor daya terbelakang (bersifat induktif). Beban dengan kondisi seperti ini akan banyak membutuhkan daya reaktif yang relatif besar, akibatnya arus reaktif yang mengalir pada jaringan juga menjadi besar[1].

Losses adalah suatu energi yang tidak tersalurkan ke konsumen yaitu rugi tegangan dan rugi daya. Rugi-rugi pada sistem tenaga listrik berdasarkan sifatnya terbagi menjadi[6].

1. Rugi-rugi non teknis muncul akibat adanya masalah pada penyaluran sistem tenaga listrik. Untuk mengantisipasi rugi non teknis yang sering terjadi seperti pencurian dan penyambungan listrik secara ilegal maka PLN harus melakukan langkah seperti melakukan pemeriksaan ke setiap pelanggan dan melakukan tindakan pemutusan aliran listrik serta melaporkan ke pihak berwajib jika terbukti adanya tindak pencurian dan penyambungan listrik secara ilegal.
2. Rugi-rugi teknis (susut teknis) muncul akibat sifat daya hantar material/peralatan listrik itu sendiri yang sangat bergantung dari kualitas bahan dari material/peralatan listrik tersebut, jika pada jaringan maka akan sangat bergantung pada konfigurasi jaringannya.

Merencanakan panjang jaringan distribusi harus dipertimbangkan besarnya tegangan di titik sambung dimana harus berada pada batas tegangan yang diizinkan. Titik sambung sistem distribusi 20 kV biasanya dihubungkan dengan trafo distribusi sebelum disalurkan ke peralatan pemakaian[3]. Jika arus dialirkan pada suatu penghantar, maka akan terjadi rugi - rugi energi menjadi energi panas karena adanya resisitansi pada penghantar tersebut. Rugi-rugi dengan beban terpusat di ujung dirumuskan :

$$\Delta P = I (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \dots\dots\dots(10)$$

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \dots\dots\dots(11)$$

Sedangkan jika beban tersebar merata di sepanjang jaringan maka rugi energi yang timbul adalah :

$$\Delta V\% = \frac{[S \cdot L (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)]}{V^2} \times 100\% \dots\dots\dots(12)$$

dimana:

- I : Arus yang mengalir pada penghantar(A)
- R : Tahanan pada penghantar (Ω/km)
- X : Reaktansi pada penghantar (Ω/km)
- S : Daya yang tersalurkan (VA)
- cos φ : Faktor daya beban
- l : Panjang penghantar (m)

Perhitungan rugi energi (*Losses*) dengan *Load factor* dan *loss factor*. Faktor beban atau *Load factor* didefinisikan sebagai perbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak yang diukur untuk suatu periode waktu tertentu[7].

$$L_F = \frac{Br(\text{Beban rata-rata})}{Bp(\text{Beban Puncak})} \dots\dots\dots(13)$$

Dengan menggunakan bantuan *load factor* pada sistem, yang selanjutnya dipergunakan dalam menghitung nilai *loss factor* untuk perhitungan rugi energi. Persamaan empiris untuk menentukan *loss factor* sebagai berikut :

$$LLF = 0,3 (LF) + 0,7 (LF^2) \dots\dots\dots(14)$$

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times R \times L \times LLF \dots\dots\dots(15)$$

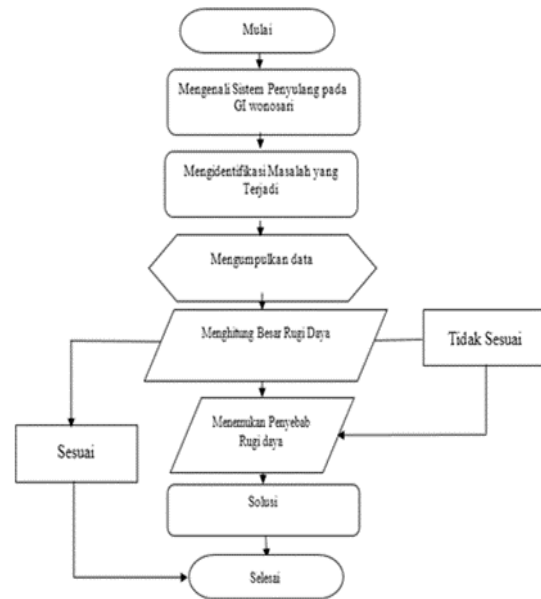
dimana:

- LLF : *Load Loss Factor*
- LF : *Loss Factor*
- Br : Beban Rata-Rata
- Bp : Beban Puncak

Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini tentang pengujian saat terjadi rugi-rugi pada transformator, agar memperoleh data dan informasi secara lengkap, tepat dan jelas, maka penulis menerapkan Metode Observasi Suatu cara pengumpulan data dengan cara mengadakan pengamatan secara langsung terhadap transformator dan jaringan distribusi di gardu

induk wonosari yang ada hubungannya dengan skripsi.



Gambar 3. Flow Chart Penyelesaian Masalah

Waktu pelaksanaan pengambilan data pada tanggal 21 Maret 2016 harian di Gardu Induk Wonosari. Dalam menyelesaikan Skripsi ini, tentu harus mengikuti langkah langkah yang terstruktur dan sistematis agar dalam menganalisis rugi daya dan tegangan pada sistem distribusi dapat di kerjakan dengan baik dan benar.

Gardu Induk Wonosari adalah sebagai kontrol penyaluran daya listrik yang disalurkan dari Gardu Induk pedan , gardu induk solo baru dan gardu induk wonogiri. Transformator III berkapasitas 60 MVA 150KV/20KV menyalurkan daya ke daerah grogol kemudian daya listrik dari Transformator III tersebut disalurkan melalui enam buah penyulang seperti dibawah ini :

- Penyulang Wonosari 01(WSI 01)
- Penyulang Wonosari 10(WSI 10)
- Penyulang Wonosari 11(WSI 11)
- Penyulang Wonosari 04(WSI 04)
- Penyulang Wonosari 12(WSI 12)
- Penyulang Wonosari 13(WSI 13)

Tabel 1. Name Plate Transformator III

DATA NAME PLATE TRANSFORMATOR III	
Merk / serial number / Made in	UNINDO / P 0 60 LEC 678 / Indonesia
Rate power/ Impedansi	60 MVA (ONAN/ ONAF)/ 12.5%
Rated current sekunder / primer	230 A / 1732 A
High voltage / Low Voltage	150 KV / 20 KV
Stabilizing voltage	10KV
Temperature rise Oil / Winding	55°C / 50°C
Frekuensi	50Hz
Voltage regulator	150KV +8 x 1.25% to - 8 x 1.25%
Standart of referensi IEC 60076 Installation Nynas, Nitro Libra	



Gambar 4. Transformator Daya 60 MVA UNINDO

Standard IEC 60076 berlaku untuk transformator daya dengan jenis kering memiliki nilai tegangan tertinggi untuk peralatan sampai dengan 36 KV dan setidaknya satu fase beroperasi pada lebih dari 11 KV.

Pembahasan

Berdasarkan data yang diperoleh nilai resistansi untuk konduktor AAAC 240 mm² adalah Resistansi saluran pada temperatur 20°C, R_{dc}= 0,1250 Ω/km Selanjutnya dari data resistansi saluran diatas akan ditentukan nilai resistansi saluran sewaktu penyulang dibebani dengan beban puncak malam. Dikarenakan temperatur kerja/operasi konduktor sewaktu pembebanan maksimum tidak diperoleh datanya dilapangan, maka temperatur operasi konduktor disini menggunakan Standar perusahaan listrik Negara (SPLN 78 : 1987) dimana temperatur maksimum pada penghantar 80°C Berdasarkan dari persamaan (6) dan

persamaan (7) akan didapatkan resistansi pada temperatur operasi konduktor (R_{ac}) adalah :

$$R_{dc} = \frac{0,1250 (228,1 + 80)}{(228,1 + 20)}$$

$$R_{dc} = 0,155 \Omega/\text{Km}$$

$$R_{AC} = 1,02 \times 0,1602 = 0,1581 \Omega/\text{Km}$$

Kemudian induktansi saluran (L) akan diabaikan untuk mencari nilai X_L dapat dicari dari persamaan (8) yang berdasarkan data luas penampang dari konduktor AAAC 240 mm² dengan jarak antar konduktor 630 mm.

$$\begin{aligned} d_e &= \sqrt[3]{d_{ab}d_{bc}d_{ca}} \\ &= \sqrt[3]{630 \times 630 \times 1260} \\ &= 793,75 \text{ mm} = 7,9375 \times 10^{-4} \text{ Km} \end{aligned}$$

Dimana nilai GMR diketahui 6,6238 x 10⁻⁶. Dengan hasil GMD akan didapatkan nilai reaktansi induktif X_L :

$$X_L = 0,1447 \text{ Log} \frac{\text{GMD}_\phi}{\text{GMR}} \Omega/\text{mile}$$

$$X_L = 0,1447 \text{ Log} \frac{7,9375 \times 10^{-4}}{6,6238 \times 10^{-6}} \Omega/\text{mile}$$

$$X_L = 0,3039 \Omega/\text{Km}$$

Rugi-rugi faktor pembebanan (*Loss Load Factor* = LLF) adalah suatu faktor pembebanan yang terdapat disetiap penyulang dan faktor ini sangat tergantung pada daya yang disalurkan disetiap penyulang[7]. Dengan diketahui nilai *load factor* maka nilai *loss load factor* dari setiap penyulang akan didapat. Dengan menggunakan persamaan (14) akan ditentukan LLF dari ke enam penyulang pada transformator III.

- Penyulang Wonosari 01, LLF = (0,3 x 0,953) + (0,7 x 0,9532)= 0,921
- Penyulang Wonosari 04, LLF = (0,3 x 0,829) + (0,7 x 0,8292)= 0,729
- Penyulang Wonosari 10, LLF = (0,3 x 0,891) + (0,7 x 0,8912)= 0,823
- Penyulang Wonosari 11, LLF = (0,3 x 0,938) + (0,7 x 0,9382)= 0,897
- Penyulang Wonosari 12, LLF = (0,3 x 0,959) + (0,7 x 0,9592)= 0,931
- Penyulang Wonosari 13, LLF = (0,3 x 0,954) + (0,7 x 0,9542)= 0,923

Dari data – data yang diperoleh langsung hasil Perhitungan pada gardu induk wonosari dilakukan komputasi terhadap rugi-rugi (*losses*) yang ada pada penyulang setelah adanya

penyaluran daya ke beban-beban penyalang WSI01, WSI04, WSI10, WSI11, WSI12 dan WSI13. Perhitungan rugi tegangan ini menggunakan persamaan (12) dan perhitungan rugi daya menggunakan persamaan (15) dapat dituangkan dalam tabel 2 seperti berikut:

Tabel 2. Data Impedansi Saluran Dan LLF

N O	Penyalang	Jenis konduktor	Φ (mm ²)	R _{AC} (Ω /Km)	X(Ω /Km)	LLF
1	WSI 01	AAAC	240	0,1581	0,3039	0,921
2	WSI 04			0,1581	0,3039	0,729
3	WSI 10			0,1581	0,3039	0,823
4	WSI 11			0,1581	0,3039	0,897
5	WSI 12			0,1581	0,3039	0,931
6	WSI 13			0,1581	0,3039	0,923

Perhitungan Rugi Tegangan Dan Rugi Daya Secara Manual

1. Penyalang Wonosari 01

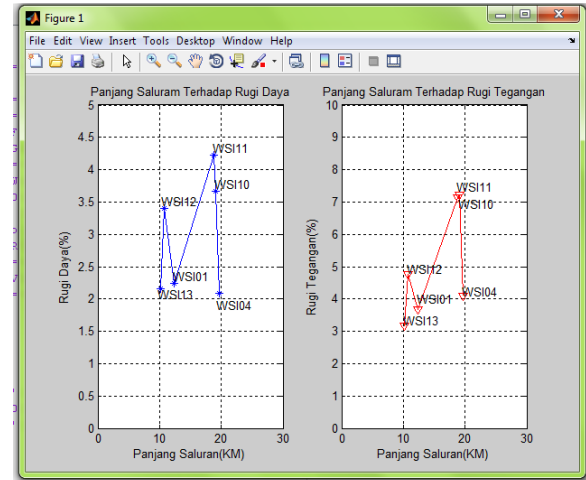
$$\begin{aligned} \text{Rugi tegangan} &= \frac{[5,274 \times 12,42 \times (0,1581 \times 0,94 + 0,3039 \times 0,31)] \times 100}{(20,8)^2} \\ &= 765,251 \text{ Volt} \\ \text{Persentase rugi tegangan} &= \frac{765,251 \times 100}{20800} = 3,679\% \\ \text{Rugi daya} &= 3 \times (143)^2 \times (0,1581) \times (12,42) \times (0,921) \\ &= 110944,666 \text{ Watt} \\ \text{Daya pada penyalang} &= 5,274 \times 0,94 = 4,957 \\ &= 4957000 \text{ Watt} \\ \text{Persentase rugi daya} &= \frac{114626,945}{4957000} \times 100 = 2,238\% \end{aligned}$$

Untuk penyalang berikutnya Dengan cara perhitungan diatas dan perbandingan dengan menggunakan matlab adalah.

Tabel 3. Perbandingan Hitungan Manual Dengan Matlab

Feeder	Panjang Jaringan (KM)	Secara Manual				Matlab			
		Rugi Tegangan (Volt)	Rugi Daya (Watt)	ΔV (%)	ΔP (%)	Rugi Tegangan (Volt)	Rugi Daya (Watt)	ΔV (%)	ΔP (%)
WSI 01	12,42	765,251	110944,666	3,679	2,238	764,695	110944,666	3,676	2,238
WSI 04	19,69	849,994	77949,016	4,086	2,093	851,6622	77946,016	4,094	2,093
WSI 10	19,10	1502,673	241563,513	7,224	3,663	1503,015	241563,513	7,226	3,663
WSI 11	18,80	1483,437	270794,016	7,132	4,225	1484,008	270794,016	7,135	4,225
WSI 12	10,76	980,320	257944,884	4,751	3,404	988,320	257944,884	4,751	3,404
WSI 13	10,18	653,333	125782,774	3,165	2,164	660,141	125782,774	3,174	2,162

Dari hasil tabel 3 diatas didapatkan hasil grafik perbandingan antara panjang saluran dengan rugi tegangan dan rugi daya.



Gambar 5. Grafik Rugi Tegangan Dan Daya Terhadap Panjang Saluran

Dari hasil perhitungan, Pada gambar 5 diatas terlihat pada feeder-feeder 20,8 KV di gardu induk wonosari dengan persentase kerugian tegangan terbesar pada penyalang WSI10 yaitu 7,226% dan penyalang WSI11 7,135%. Nilai ini diatas nilai maksimum SPLN 72 : 1987, yaitu untuk jaringan distribusi toleransi tegangan pada penyalang utama 5% Sedangkan untuk feeder atau penyalang WSI01 adalah 3,676%, Penyalang WSI04 adalah 4,094%, Penyalang WSI12 adalah 4,751% dan WSI13 adalah 3,174% masih memenuhi standar PLN yang dibutuhkan yaitu dibawah 5%.

Berdasarkan perhitungan rugi-rugi daya yang telah dilakukan, bahwa nilai rugi-rugi daya yang terkecil terjadi pada feeder atau penyalang WSI04 adalah 2,093% sedangkan nilai rugi-rugi daya yang terbesar terjadi pada penyalang WSI11 adalah 4,225% Sedangkan untuk nilai rugi daya pada penyalang WSI01 adalah 2,238% ,penyalang WSI10 adalah 3,663%, penyalang WSI12 adalah 3,404% dan penyalang WSI13 adalah 2,162%.

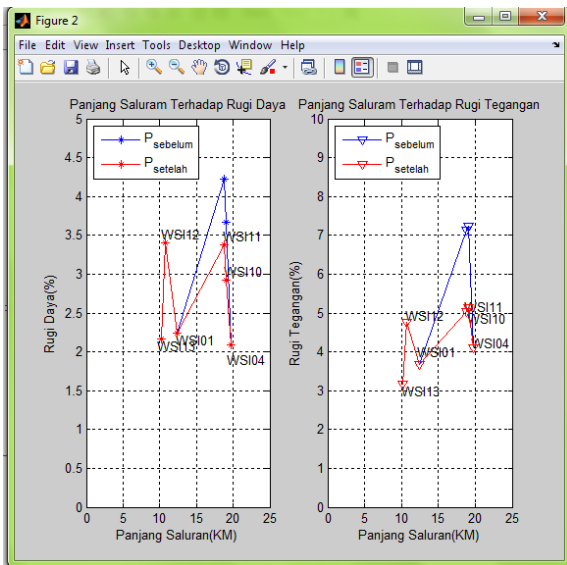
Cara menurunkan nilai losses pada Gardu induk Wonosari dengan mengganti konduktor yang sesuai dengan Panjang penyalang jaringan tegangan menengah yaitu AAAC 300mm² dan merubah jarak antar

saluran 850 mm yang sesuai dengan standar PUIL: 2000 maka, didapatkan resistansi dan reaktansi dengan seperti diatas:

Tabel 4. Hasil Perbandingan Penghantar Yang Sesuai

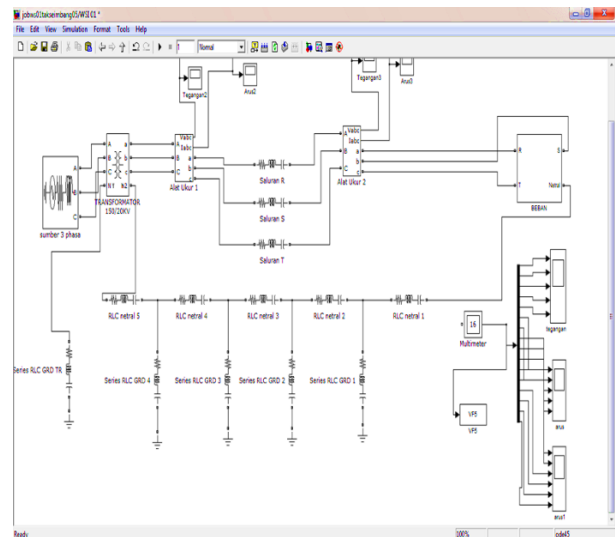
Feeder	Panjang Saluran (KM)	240mm ²				300mm ²			
		Rugi Tegangan (Volt)	Rugi Daya (Watt)	Δ V (%)	Δ P (%)	Tegangan (Volt)	Daya (Watt)	Δ V (%)	Δ P (%)
WSI 10	19,10	1503,013	241563,313	7,226	3,663	1066,685	193128,577	5,128	2,929
WSI 11	18,80	1484,008	270794,016	7,135	4,225	1045,924	216498,189	5,028	3,378

Dari tabel 4 dari perhitungan dengan membandingkan rugi tegangan dan rugi daya menggunakan luas penampang 240mm² dengan 300mm² maka rugi tegangan penyulang WSI 10 adalah 5,128% dan penyulang WSI 11 adalah 5,028%. Dan rugi daya pada WSI 10 adalah 2,929% dan penyulang WSI 11 3,378%. Maka nilai ini dibawah nilai maksimum SPLN 72 : 1987, yaitu untuk jaringan distribusi toleransi tegangan pada penyulang utama 5%.



Gambar 6. Perbandingan Penurunan Penyulang

Maksud dari model Simulasi Tiga Fase Empat Kawat pada Gambar 7 adalah semua beban yang disuplai dari trafo dianggap terkumpul pada jarak tertentu dari trafo. Tujuannya adalah untuk melihat besarnya hilang daya pada saluran sejauh jarak tersebut.



Gambar 7. Rangkaian Simulasi Tiga Fase Empat Kawat

Tabel 5. Hasil Tegangan Dan Arus Pada Simulasi

Pentanahan	Tegangan (V)			Arus (A)				
	Beban 1	Beban 2	Beban 3	Netral Beban	Beban 1	Beban 2	Beban 3	Netral Beban
0,5 Ω	1,197 · 10 ⁴	1,195 · 10 ⁴	1,181 · 10 ⁴	4,326	133	135,58	147,46	12,815
10 Ω	1,196 · 10 ⁴	1,195 · 10 ⁴	1,181 · 10 ⁴	21,963	133,15	135,6	147,28	12,302
20 Ω	1,196 · 10 ⁴	1,195 · 10 ⁴	1,181 · 10 ⁴	25,936	133,19	135,57	147,26	12,236

Nilai tegangan pada beban-beban tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengalir di tiap beban. Semakin besar arus yang mengalir maka jatuh tegangan di saluran fase semakin besar[4].

Tabel 6. Arus Yang Mengalir Pada Kawat Netral

Kawat Netral	Arus (A)				
	KN1	KN2	KN3	KN4	KN5
0,5 Ω	5,44	2,62	2,04	2,62	5,44
10 Ω	10,97	10,08	9,53	9,24	9,15
20 Ω	11,55	11,07	10,75	10,56	10,49

Dari Tabel 6. dapat diketahui bahwa semakin besar nilai impedansi pentanahan yang digunakan untuk mentanahkan kawat netral, maka arus yang mengalir melalui kawat netral juga semakin besar.

Tabel 7. Jatuh Tegangan Disaluran Netral Akibat Pelepasan Kawat Netral

Pelepasan Kawat Netral		Tegangan (V)			
		KN-off	Beban 1	Beban 2	Beban 3
Pentanahan	0,5 Ω	6,379	1,196 x10 ⁴	1,195 x10 ⁴	1,180 x10 ⁴
	10 Ω	102,710	1,193 x 10 ⁴	1,194 x10 ⁴	1,182 x10 ⁴
	20 Ω	168,403	1,194 x10 ⁴	1,195 x10 ⁴	1,183 x10 ⁴

Dari Tabel 7 Diketahui bahwa jatuh tegangan paling besar di saluran netral terjadi pada saat kawat netral dilepas semua. Hal ini disebabkan seluruh arus netral mengalir melalui impedansi pentanahan yang terpasang pada netral beban dan netral trafo. Perubahan nilai tegangan paling besar(maksimum) yang dialami beban untuk model yang memakai impedansi pentanahan 10 Ω dan 20 Ω.

Losses adalah sejumlah energi yang hilang dalam proses pengaliran energi listrik mulai dari Gardu Induk sampai dengan konsumen dan dipenyulang[3]. Ada beberapa hal yang mempengaruhi terjadinya rugi daya dan tegangan (Losses) antara lain adalah

1. Kerugian Akibat Panas Jika suatu penghantar dialiri arus listrik secara terus-menerus maka akan menimbulkan panas.
2. Kerugian Akibat Jarak Sangat berpengaruh pada keandalan jaringan karena semakin jauh atau panjang penghantar listrik tersebut maka akan banyak daya listrik yang menghilang.
3. Luas penampang penghantar Arus listrik yang mengalir dalam penghantar selalu mengalami tahanan dari penghantar itu sendiri, besarnya tahanan tergantung bahannya.
4. Beban pada JTR tidak seimbang Bila arus listrik yang mengalir ke R, S, T tidak seimbang maka yang terjadi arus akan mengalir ke ground sehingga menyebabkan adanya hambatan di ground yang besar. (maksimal 5Ω seluruh sistem jaringan).
5. Penyambungan konektor yang tidak baik Sambungan tidak baik juga dapat mengakibatkan adanya loss contact, sambungan antar kawat tidak rapat sehingga terdapat celah udara.
6. Penerangan jalan secara illegal Maraknya penerangan jalan umum (PJU) secara illegal.
7. Umur alat yang terlalu tua dapat menurunkan kinerja alat tersebut.

8. Terlalu banyak percabangan saluran SR untuk sambungan pelayanan

Kesimpulan

Dengan melihat hasil perhitungan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Penyebab utama terjadinya rugi – rugi tegangan dan daya pada jaringan atau saluran distribusi antara lain karena semakin besar arus yang mengalir melebihi batas kemampuan hantar arus 425 Amper untuk penghantar AAAC 240mm² menyebabkan panas pada penghantar, panjang saluran dan luas penampang penghantar saluran.
2. Dari hasil perhitungan persentase kerugian tegangan terbesar penyulang WS110 yaitu 7,226% dan penyulang WS111 7,135%. Nilai ini diatas nilai maksimum SPLN 72 : 1987, yaitu untuk jaringan distribusi toleransi tegangan pada penyulang utama 5%
3. Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya yang telah dilakukan, bahwa nilai rugi-rugi daya yang terkecil terjadi pada penyulang WS104 adalah 2,093% sedangkan nilai rugi-rugi daya yang terbesar terjadi pada penyulang WS111 adalah 4,225%.
4. Beban yang tidak seimbang pada sistem 3 fase 4 kawat menyebabkan adanya arus yang mengalir pada penghantar atau kawat netral bahwa semakin besar ketidakseimbangan pada beban menyebabkan arus netral yang mengalir juga semakin besar sehingga hilang daya pada kawat netral semakin bertambah. Dengan asumsi impedansi pentanahan pad trafo JTM dibuat sebesar 0,5Ω; 10Ω ; 20Ω.

Saran

Adapun saran dilakukan dengan memperpendek panjang saluran. Perlu ditambahnya Transformator di pertengahan jaringan distribusi agar energi yang di salurkan sesuai dengan kapasitas pemakaian konsumen dan Mengadakan pemeliharaan yang teratur dan terkontrol terhadap peralatan-peralatan yang ada di Gardu Induk Wonosari. pemeliharaan kabel SUTM. secara berkala dengan memangkas ranting pohon atau batang pohon yang hampir atau sudah mengenai kabel SUTM.

Daftar Pustaka

- [1] Gonen, T. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. Mc Graw-Hill Book Company: Newyork.
- [2] Hontong , Nolki. Jonal., Tuegeh, Maickel., & Patras, Lily.S.2015. *Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu*. Jurusan Teknik Elektro-FT. UNSRAT. E-Journal Teknik Elektro dan Komputer. Manado. Diakses tanggal 03 Maret 2016.
- [3] Jasril Darwis, 2006. *Diktat Kuliah Sistem Distribusi Tenaga*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah: Jakarta.
- [4] Kadarisman, Pribadi dkk. 2006. Masalah Pentanahan Netral Sistem Tegangan Menengah 20 kV Dipasok Dari PLTD Skala Kecil. Makalah Seminar Proteksi: Yogyakarta.
- [5] Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- [6] Muchyi, Abdul. 2009. *Studi Perkiraan Susut Energi dan Alternatif Perbaikan pada Penyulang*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- [7] Rohi Daniel, dkk. Aplikasi Pendekatan Aliran Daya untuk Estimasi Rugi Rugi Energi Sistem Distribusi Radial 20 kV. Jurnal EECCIS Vol II, No. 1, Juni 2008
- [8] Suryanto, Agus. *Implementasi Model Analisis Perbaikan Faktor Daya Listrik Rumah Tangga Dengan Simulasi Perangkat Lunak*. Jurusan Teknik Elektro FT-UNS, E-Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer Vol 3 No 1, Semarang: 2011. Diakses Tanggal 9 Maret 2016.
- [9] Syafriyudin. 2012. *Transmisi Daya Listrik*. Akprind Press: Yogyakarta.