

ANALISA RUGI-RUGI DAYA DIAKIBATKAN ARUS KAPASITIF

Irine Kartika

Program Studi Teknik elektro, Universitas PGRI Palembang
E-mail : irinekartika1@gmail.com

ABSTRAK

Energi merupakan suatu hal yang sangat penting dalam kehidupan sekarang ini, dimana energi listrik mempunyai suatu fungsi yang dapat memberikan suatu kebutuhan atau pelayanan bagi daya listrik yang diperlukan oleh konsumen. Dalam sistem penyaluran tenaga listrik, mulai dari pusat pembangkit sampai listrik tersebut diterima oleh konsumen pasti akan mengalami jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Adapun penyebab dari terjadinya hal tersebut antara lain disebabkan oleh panjangnya sistem penyaluran energi listrik itu sendiri, besar kecilnya ukuran diameter kawat penghantar yang digunakan, tipe atau jenis kawat penghantar yang digunakan, serta besar kecilnya tahanan jenis dari kawat penghantar tersebut. Apabila dalam sistem penyaluran energi listrik sudah dipengaruhi oleh jatuh tegangan serta terdapat rugi-rugi daya, maka energi listrik yang disalurkan mulai dari pembangkit hingga sampai ke pusat beban tidak lagi murni 100% tersalurkan.

Kata kunci : sistem penyaluran tenaga listrik

PENDAHULUAN

PT. PLN (*Persero*) adalah penyedia listrik Negara yang ada di Indonesia. Dan dalam penyaluran energi listrik, tidak seluruhnya dapat di salurkan ke konsumen, karena akan hilang dalam bentuk susut energi, Susut energi pada sistem distribusi tenaga listrik yang biasanya diukur pada kurun waktu tertentu, merupakan salah satu atau kurun efisiensi atau tidaknya suatu pengoperasian sistem tenaga listrik.

Munculnya susut daya diakibatkan oleh sebab-sebab yang sifatnya teknis dan yang bersifat non teknis. Penyebab susut daya yang bersifat teknis pada jaringan distribusi diakibatkan adanya infedansi dalam penghantar yang sifatnya permanen. Kemungkinan penyebab besarnya susut daya jaringan distribusi antara lain keadaan alamiah jaringan itu sendiri seperti panjang jaringan yang cenderung terus bertambah.

Kerugian daya yang disebabkan beban reaktif induktif bisa dikurangi dengan arus kapasitif yang bisa diperoleh dengan memasang rangkaian paralel dengan beban efisiensi energi listrik dapat ditingkatkan dengan cara memperbaiki kualitas daya. Kualitas daya yang baik akan memperbaiki drop tegangan, faktor daya, rugi-rugi daya dan kapasitas daya serta efisiensi energi listrik.

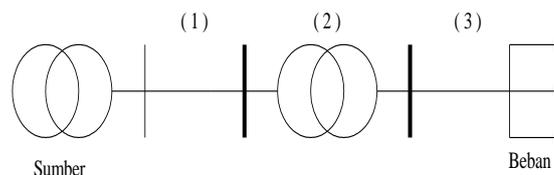
Salah satu persyaratan penting dalam merencanakan suatu jaringan distribusi harus diperhatikan masalah kualitas saluran, dan pelayanan yang baik terhadap konsumen. Selain itu level tegangan yang di bangkitkan tidak sama dengan level tegangan di pelanggan (Sri Kurniati.A, Sudirman.S,2008)

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Distribusi

Jaringan distribusi tenaga listrik berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik yang dibangkitkan oleh gardu induk ke beban. Pada umumnya jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi tiga bagian utama yaitu:

1. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah.
2. Transformator Distribusi.
3. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah.



Gambar 1. Sistem Jaringan Distribusi

Jenis Beban

Secara umum beban yang dilayani oleh sistem distribusi listrik ini dibagikan dalam beberapa sektor yaitu sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial dan sektor usaha. Masing-masing sektor beban tersebut mempunyai karakteristik-karakteristik yang berbeda, sebab hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing-masing konsumen di sektor tersebut. Karakteristik beban yang banyak disebut dengan pola pembebanan pada sektor perumahan ditunjukkan oleh adanya fluktuasi konsumsi energi elektrik yang cukup besar. Hal ini disebabkan konsumsi energi elektrik tersebut dominan pada malam hari.

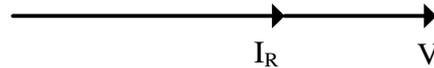
Sifat Beban

Pada sistem arus searah hanya mengenal beban resistif (R), tetapi pada sistem arus bolak-balik beban merupakan impedansi (Z) yang biasa dibentuk dari unsur:

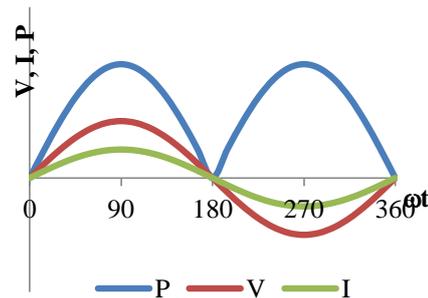
1. Resistor (R) yang bersifat resistif atau beban resistif
2. Induktor (L) yang bersifat induktif atau beban induktif (X_L)
3. Kapasitor (C) yang bersifat kapasitif atau beban kapasitif (X_C)

Beban Resistif

Beban resistif ($Z = R$) merupakan beban resistor murni, dimana energi listrik diubah menjadi energi panas atau mekanik dan beban ini menyerap daya semu yang seluruhnya diubah menjadi daya aktif. Yang termasuk beban resistif murni adalah lampu pijar, setrika listrik, *heater* atau pemanas. Arus dan tegangan sefasa sehingga arus akan berhimpit dengan tegangan atau sudut fasanya sama dengan nol dan faktor daya sama dengan satu ($\phi = 0^\circ$ dan $\cos \phi = 1$), secara vektoris dinyatakan:



Gambar 2. Vektor hubungan V dan I pada beban resistif ($Z = R$)



Gambar 3. Grafik hubungan V , I dan P pada beban resistif ($Z = R$)

Untuk beban resistif murni, $Z = R$, maka:

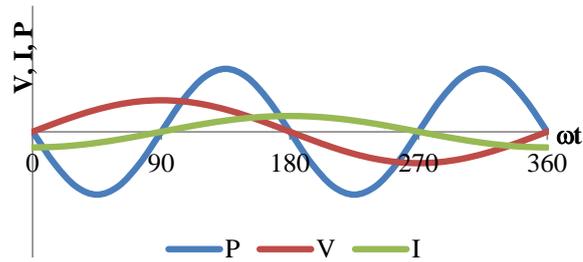
$$v = V_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin \omega t$$

Beban Induktif

Beban induktif ($Z = X_L$) adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti besi, dimana energi listrik yang diserap diubah menjadi medan magnet dan beban ini menyerap daya semu yang seluruhnya diubah menjadi daya reaktif induktif. Yang termasuk beban induktif adalah peralatan listrik yang menggunakan motor-motor listrik dan ballast atau transformator. Arus akan tertinggal (*lagging*) sebesar 90° terhadap tegangan, atau sudut fasanya sama dengan 90° sehingga $\cos \phi = 0$, secara vektoris dinyatakan:



Gambar 4. Vektor hubungan V dan I pada beban induktif ($Z = X_L$)**Gambar 5.** Grafik hubungan V, I dan P pada beban induktif ($Z = X_L$)

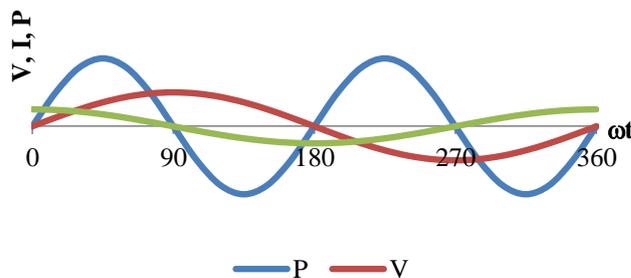
Untuk beban induktif murni $Z = X_L$ arus akan tertinggal sejauh 90° terhadap tegangan, maka:

$$v = V_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

Beban Kapasitif

Beban kapasitif ($Z = X_C$) adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor, dimana energi listrik yang diserap menghasilkan energi reaktif dan beban ini menyerap daya semu seluruhnya diubah menjadi daya reaktif kapasitif. Yang termasuk beban induktif adalah kapasitor. Arus akan mendahului (*leading*) sejauh 90° terhadap tegangan, atau sudut fasanya sama dengan 90° sehingga $\cos \phi = 0$, secara vektoris dinyatakan:

**Gambar 6.** Vektor hubungan V dan I pada beban kapasitif ($Z = X_C$)**Gambar 7.** Grafik hubungan V, I dan P pada beban resistif ($Z = X_C$)

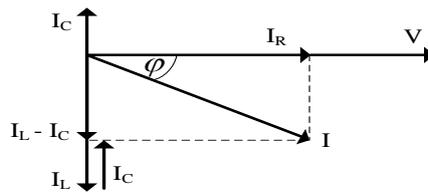
Untuk beban kapasitif murni $Z = X_C$ arus akan mendahului tegangan sebesar sudut 90° , maka:

$$v = V_m \sin \omega t$$

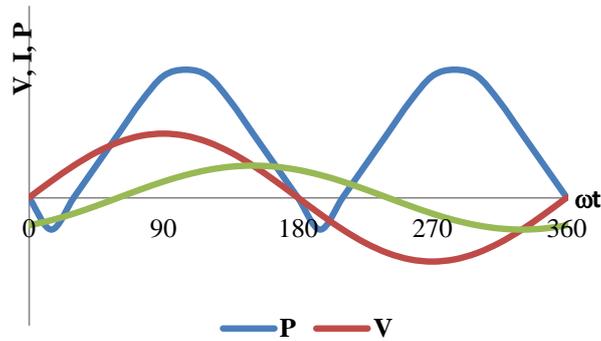
$$i = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Beban Campuran

1. Untuk beban Z yang terdiri dari komponen R, L dan C maka L dan C akan saling menghapuskan. Bila sifat L yang dominan maka arus akan tertinggal (*lagging*) sebesar ϕ (dimana: $0 < \phi < 90^\circ$) terhadap tegangan, secara vektoris dinyatakan:



Gambar 8. Vektor hubungan V dan I untuk $Z = R + j(X_L - X_C)$ dan dominan X_L



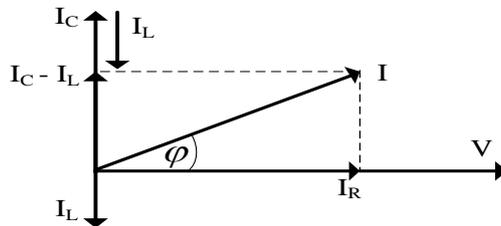
Gambar 9. Grafik hubungan V, I dan P untuk $Z = R + j(X_L - X_C)$ dan dominan X_L

$$z = R + j\omega L$$

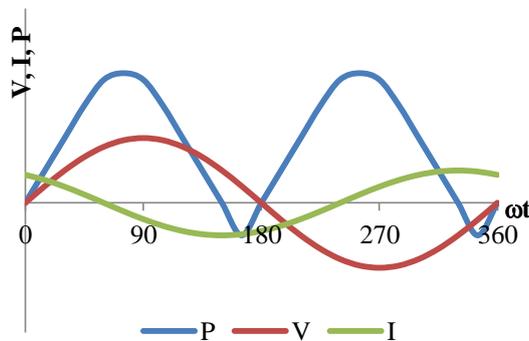
$$v = V_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin(\omega t - \theta)$$

2. Untuk beban Z yang terdiri dari komponen R, L dan C maka L dan C akan saling menghapuskan. Bila sifat C yang dominan maka arus akan mendahului (*leading*) sebesar ϕ (dimana: $0 < \phi < 90^\circ$) terhadap tegangan, secara vektoris dinyatakan:



Gambar 10 Vektor hubungan V dan I untuk $Z = R + j(X_L - X_C)$ dan dominan X_C



Gambar 11 Grafik hubungan V, I dan P untuk $Z = R + j(X_L - X_C)$ dan dominan X_C

Bila Sifat C yang dominan, maka:

$$z = R - j\omega L$$

$$v = V_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \theta)$$

Daya

Karena beban Z membentuk pergeseran sudut terhadap V (sebagai referensi) maka arus beban (I_b) yang mengalir pun membentuk sudut yang sama searah dengan sudut dari Z sebesar ϕ . Hal ini berakibat timbulnya tiga macam daya, yaitu Daya Aktif P (Watt), Daya Reaktif Q (VA_R), Daya Semu S (VA).

Daya Aktif (P)

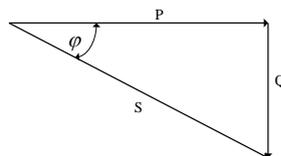
Daya aktif biasanya disebut juga daya nyata yaitu daya yang secara langsung digunakan oleh beban untuk diubah ke energi lain seperti energi panas, energi cahaya dan sebagainya. Daya ini dapat diserap oleh beban yang berupa tahanan murni atau beban yang mengandung komponen tahanan seperti lampu pijar, elemen pemanas, motor-motor listrik dan lainnya. Daya aktif diukur dalam satuan Watt (W), kilo Watt (kW), Mega Watt (MW) dan seterusnya. Perbedaan Distributed Generation dan Unit Distributed Generation akan mempengaruhi baik daya aktif dan daya reaktif sedangkan untuk pemasangan Kapasitor baik hanya akan mempengaruhi daya aktif (Elias K. Bawan, 2012)

Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif disebut juga daya buta dimana daya ini tidak dapat dipakai secara langsung oleh beban untuk diubah menjadi energi lain, tetapi berupa daya magnetisasi yang dapat membangkitkan fluksi magnet pada peralatan listrik induksi seperti transformator, motor-motor listrik dan lainnya yang mengandung reaktansi. Daya ini menurut sifatnya terdiri dari dua bagian yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif. Daya reaktif induktif berbentuk energi magnetis sebagai pembangkit fluksi. Tanpa adanya daya reaktif induktif daya tak dapat ditransfer ke sisi sekunder transformator atau melalui celah udara pada motor induksi. Daya reaktif kapasitif adalah daya reaktif yang dibutuhkan oleh kapasitor, saluran transmisi tegangan tinggi, *condenser* sinkron dan lain-lain. Satuan daya reaktif adalah Volt Ampere reaktif (VA_R), kilo Volt Ampere reaktif (kVA_R), Mega Volt Ampere reaktif (MVA_R) dan seterusnya.

Daya Kompleks (S)

Daya kompleks disebut juga daya semu yang merupakan jumlah secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif dengan satuan adalah Volt Ampere (VA). Hubungan daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya kompleks (S) dikenal sebagai segitiga daya dan dapat dirumuskan secara matematis dengan berpedoman pada segi tiga daya pada gambar di bawah ini.



Gambar 12 Segitiga Daya

Dari gambar 12 dapat ditentukan daya, yaitu:

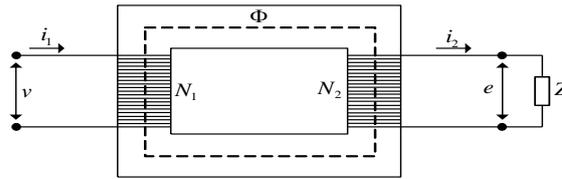
$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi$$

$$S = V \cdot I$$

Fungsi Daya Reaktif

Daya reaktif terdiri dari dua macam yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif. Daya reaktif induktif sangat diperlukan untuk membangkitkan fluksi magnet pada peralatan-peralatan induksi seperti transformator, motor induksi dan peralatan induksi lainnya yang membutuhkan fluksi magnet. Besar fluksi magnet yang dibangkitkan pada rangkaian induksi dapat ditentukan dengan melihat gambar 13.



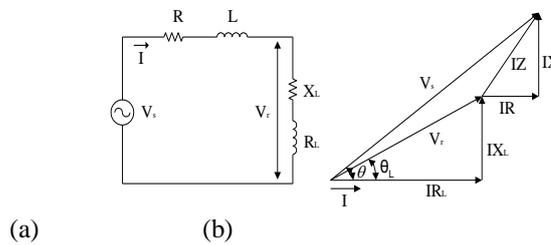
Gambar 13 Rangkaian dasar elektromagnet

Pengaruh Daya Reaktif Terhadap Sistem

Ada dua macam pengaruh daya reaktif terhadap sistem yaitu pengaruh positif dan pengaruh negatif. Pengaruh positif untuk membangkitkan fluksi magnet pada transformator dan peralatan induksi lainnya. Sedangkan pengaruh negatif menimbulkan jatuh tegangan, rugi-rugi daya dan meningkatnya kapasitas kebutuhan daya beban.

Pengaruh Terhadap Jatuh Tegangan

Hubungan antara arus dan tegangan pada suatu sistem kelistrikan dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14 Hubungan antara arus dan tegangan
(a) Rangkaian berbeban; (b) Diagram fasor

Pengaruh Terhadap Rugi-rugi Daya

Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi disebabkan oleh adanya tahanan dan reaktansi pada penghantar. Daya yang hilang dapat berupa energi panas dan energi magnetisasi yang ditimbulkan pada saluran. Energi panas yang tidak terpakai disebut sebagai rugi-rugi daya aktif dan energi magnetisasi disebut sebagai rugi-rugi daya reaktif. Besarnya rugi-rugi daya aktif dapat ditentukan oleh besarnya arus yang mengalir dan besarnya tahanan pada penghantar, yaitu:

$$\Delta P = I^2 \cdot R$$

Dimana:

- ΔP = rugi-rugi daya aktif (Watt)
- I = arus yang mengalir pada penghantar (A)
- R = tahanan penghantar (Ω)

Rugi-rugi daya reaktif adalah:

$$\Delta Q = I^2 \cdot X$$

Pengaruh Terhadap Kapasitas Kebutuhan Daya

Kebutuhan daya yang harus disuplai oleh sumber ke beban tergantung pada penyerapan daya oleh beban dan rugi-rugi daya di jaringan. Penyerapan daya oleh beban tergantung pada daya reaktif yang diserap oleh beban tersebut. Penyerapan daya oleh beban dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$S_b = \frac{P}{\cos \theta}$$

Dimana:

- S_b = daya total yang diserap oleh beban (VA)
- P = daya aktif yang diserap oleh beban (W)
- $\cos \theta$ = faktor daya beban

METODE PENELITIAN

Subjek penelitian ini adalah jaringan tegangan menengah 20 kV. Objek penelitian adalah jatuh tegangan dan rugi-rugi daya diakibatkan arus kapasitif Penelitian di titik beratkan pada Analisa penyaluran daya listrik jaringan tegangan menengah 20 kV yaitu untuk mengetahui jatuh tegangan dan rugi-rugi daya diakibatkan arus kapasitif.

Menghitung Arus Resistif

Arus jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu tegangan dan arus fasa. Untuk menghitung arus resistif digunakan persamaan di bawah ini sebagai berikut:

$$I_R = I \cos \varphi$$

Dimana

I_R = Tahanan (ohm)

I = Arus yang mengalir (A)

φ = sudut antara arus dan tegangan

Menghitung arus induktif

Arus ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat lagging. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan untuk menghitung arus induktif digunakan persamaan di bawah ini sebagai berikut:

$$I_{XL} = I \cos \varphi$$

Dimana

I_{XL} = Reaktansi induktif

I = Arus yang mengalir (A)

φ = Sudut antara arus dan tegangan

Menghitung arus kapasitif

Arus ini dapat menyebabkan arus (*leading*) terhadap tegangan beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat untuk menghitung arus kapasitif digunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{XC} = I \sin \varphi$$

Dimana

I_{XC} = Reaktansi kafasitif

I = Arus yang mengalir (A)

Φ = Sudut antara arus dan tegangan

Menghitung Rugi-Rugi Daya

Beban ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Arus mendahului tegangan sebesar φ° . Secara matematis dinyatakan beban ini menyebabkan rugi-rugi daya. Adapun rumus rugi-rugi daya sebagai berikut:

$$I_X = (I_{XL} - I_{XC}) \sin \varphi$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_X^2}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_{XL} - I_{XC})^2}$$

Dimana

I = Arus yang mengalir (A)

I_{XL} = Reaktansi induktif

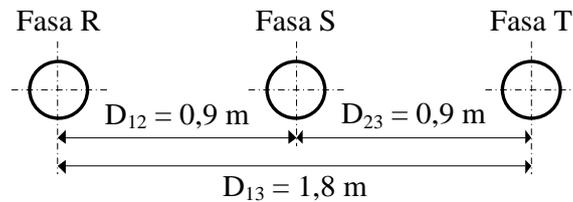
I_{XC} = Reaktansi kafasitif

φ = Sudut antara arus dan tegangan

PERHITUNGAN DAN ANALISIS

Data Penghantar

1. Panjang Penghantar : 14,3280 Kms
2. Jumlah Transformator Distribusi : 37 buah
3. Jenis Penghantar : AAAC
4. Luas Penampang Penghantar (A) : 150 mm²
5. Tahanan Penghantar (R_{DC}) : 0,225 Ω/km
6. Untuk semua Penghantar diasumsikan menggunakan jenis penghantar : AAAC dengan luas penampang penghantar (A) : 150 mm² dan tahanan penghantar (R_{DC}) : 0,225 Ω/km
7. Jarak antar fasa Penghantarsama yaitu 0,9 m



Gambar 15. Konfigurasi saluran distribusi 3 fasa

Perhitungan Tahanan Segmen

Kawat penghantar menggunakan jenis penghantar AAAC 150 mm², R_{DC} = 0,225 Ω/km, dengan pembentukan lilitan lebih dari 2 lapis/pilin (1,02). Nilai tahanan kawat penghantar akan berubah terhadap temperatur, dan dalam penelitian ini tahanan dianggap berubah dari suhu normal 20°C menjadi suhu kerja 30°C. Maka nilai tahanan per fasa dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$R_{AC(j)} = K_r \cdot R_{20(j)} (1 + \alpha_{20} (t_{30} - t_{20})) \cdot l_j$$

Maka nilai tahanan pada segmen a adalah:

$$R_{AC(a)} = 1,02 \cdot 0,225 (1 + 4,03 \cdot 10^{-3} (30 - 20)) \cdot 4,30$$

$$R_{AC(a)} = 1,02 \cdot 0,234068 \cdot 4,30$$

$$R_{AC(a)} = 1,0266 \Omega$$

Perhitungan Reaktansi Induktif Segmen

Nilai induktansi per fasapada suatu saluran distribusi 3 fasa tersebut dipengaruhi oleh Radius Rata-rata Geometri (GMR) dan Jarak Rata-rata Geometris (GMD), dan nilai induktansi persegmen cabang (L_j) dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini:

$$L_j = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{\sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}}}{GMR}$$

Maka nilai induktansi pada segmen a adalah:

$$L_a = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{\sqrt[3]{0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,8}}{5,2365 \cdot 10^{-3}} = 1,07556 \cdot 10^{-6} \frac{H}{m} = 1,07556 \cdot 10^{-3} \frac{H}{km}$$

Kemudian nilai reaktansi induktif per segmen cabang (X_{L(j)}) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_{L(a)} = \omega \cdot L_a \cdot l_a = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_a \cdot l_a$$

$$X_{L(a)} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,07556 \cdot 10^{-3} \cdot 4,30$$

$$X_{L(a)} = 1,45222 \Omega$$

Perhitungan Reaktansi Kapasitif Segmen

Saluran distribusi 3 fasamempunyai jarak antar kawat sama (gambar 15), maka nilai kapasitansi per fasapersegmen cabang (C_j) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_j = \frac{2 \cdot \pi \cdot \xi_0}{\ln\left(\frac{GMD}{r}\right)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \xi_0}{\ln\left(\frac{\sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}}}{r}\right)}$$

Maka nilai kapasitansi pada segmen a adalah:

$$C_a = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}{\ln\left(\frac{\sqrt[3]{0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,8}}{6,9084 \cdot 10^{-3}}\right)} = 1,09011 \cdot 10^{-11} \frac{F}{m} = 1,09011 \cdot 10^{-8} \frac{F}{km}$$

Kemudian nilai reaktansi kapasitif per segmen cabang ($X_{C(j)}$) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_{C(j)} = \frac{1}{\omega \cdot C_j} l_j = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_j} l_j$$

$$X_{C(j)} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,09011 \cdot 10^{-8}} 4,30$$

$$X_{C(j)} = 1.256.232,1901 \Omega$$

Perhitungan Arus Node dan Arus Segmen

Arus node (I_i) atau arus beban pada sisi primer transformator distribusi (I_p) dapat ditentukan dengan cara mentransformasikan arus beban pada sisi sekunder transformator distribusi (I_s). Berdasarkan gambar 15, arus node (I_i) dari tiap titik beban dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$I_i = \frac{P_i}{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot V_s \cdot \cos \theta_i}$$

Perhitungan Jatuh Tegangan Tiap Node

Dari hasil perhitungan jatuh tegangan tiap segmen pada gambar 15 di atas, maka dapat ditentukan jatuh tegangan (ΔV_i) pada setiap node. Kemudian persentase jatuh tegangan dari setiap titik beban atau node (ΔV_i %) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta V_i (\%) = \frac{\Delta V_i}{V_s} \cdot 100 \%$$

Perhitungan Tegangan Akhir Tiap Node

Tegangan akhir tiap node (V_i) ditentukan dengan mengurangi tegangan sumber ($V_s = 20$ kV) dengan jatuh tegangan setiap node (ΔV_i) tersebut dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$V_i = V_s - \Delta V_i$$

Setelah didapatkan tegangan akhir (V_i) di setiap node, maka dapat ditentukan efisiensi (η_i) dari setiap node dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\eta_i (\%) = \frac{V_i}{V_s} \cdot 100 \%$$

Perhitungan Rugi-rugi Daya

Perhitungan Rugi-rugi Daya Tiap Segmen

Rugi-rugi daya dari setiap segmen (ΔP_j) yang disebabkan oleh adanya tahanan segmen (R_j) dan kuadrat arus saluran (I_j) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta P_{j(3 \text{ phasa})} = 3 \cdot (I_j)^2 \cdot R_j$$

Perhitungan Rugi-rugi Daya Tiap Node

Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya tiap segmen pada gambar 15 di atas, maka dapat ditentukan rugi-rugi daya (ΔP_i) pada setiap node. Kemudian persentase rugi-rugi daya dari setiap titik beban atau node (ΔP_i %) dapat ditentukan yaitu:

$$\Delta P_i (\%) = \frac{\Delta P_i}{P_s} \cdot 100\%$$

Kemudian nilai daya sumber dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned} P_s &= \sqrt{3} \cdot I_a \cdot V_s \cdot \cos \theta \\ P_s &= \sqrt{3} \cdot 108,1684 \cdot 20.000 \cdot 0,81 \\ P_s &= 3.035.121,27 \text{ W} \end{aligned}$$

Perhitungan Daya Akhir Tiap Node

Daya akhir tiap node (P_i) ditentukan dengan mengurangi daya sumber (P_s) dengan rugi-rugi daya setiap node (ΔP_i) tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_i = P_s - \Delta P_i$$

Setelah didapatkan daya akhir (P_i) di setiap node, maka dapat ditentukan efisiensi daya (η_i) dari setiap node dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_i (\%) = \frac{P_i}{P_s} \cdot 100\%$$

Perhitungan Rugi-rugi Daya Total

Rugi-rugi daya total merupakan jumlah rugi-rugi daya yang terjadi pada setiap segmen. Rugi-rugi daya total dapat ditentukan yaitu:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_a + \Delta P_b + \dots + \Delta P_{a_0} = \sum_{j=a}^{a_0} P_j$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 44.132,5657 \text{ W}$$

Maka persentase rugi-rugi daya total pada jaringan distribusi dapat ditentukan yaitu:

$$\Delta P_{\text{total}} (\%) = \frac{\Delta P_{\text{total}}}{P_s} \cdot 100\%$$

$$\Delta P_{\text{total}} (\%) = \frac{44.132,5657}{3.035.121,27} \cdot 100\%$$

$$\Delta P_{\text{total}} (\%) = 1,4540 \%$$

Jadi persentase rugi-rugi daya total pada jaringan distribusi yang disebabkan oleh adanya rugi-rugi daya dari tiap segmen adalah 1,4540 %.

Perhitungan Efisiensi Penyaluran Daya Listrik

Efisiensi penyaluran daya listrik adalah perbandingan daya yang diterima diujung jaringan distribusi dengan daya yang disalurkan di pangkal jaringan distribusi. Efisiensi penyaluran daya listrik dapat ditentukan dengan yaitu:

$$\eta (\%) = \frac{P_p}{P_s} \cdot 100\%$$

$$\eta (\%) = \frac{P_s - \Delta P_{\text{total}}}{P_s} \cdot 100\%$$

$$\eta(\%) = \frac{3.035.121,27 - 43.930,7337}{3.035.121,27} \cdot 100\%$$

$$\eta(\%) = \frac{2.991.190,54}{3.035.121,27} \cdot 100\%$$

$$\eta(\%) = 98,5525 \%$$

Jadi efisiensi penyaluran daya listrik pada jaringan distribusi yang disebabkan oleh adanya rugi-rugi daya dari tiap segmen adalah 98,5225%.

Analisa Hasil Perhitungan

- Titik ujung jaringan distribusi pada node 47 yang mempunyai nilai tahanan (R) dan jarak (l) yang paling besar, sehingga menyebabkan:
 - Jatuh tegangan pada node 47 menjadi paling besar, yaitu sebesar $V_{47} = 156,22$ V dengan persentase jatuh tegangan $\Delta V_{47}(\%) = 0,7811$ %.
 - Tegangan akhir node 47 menjadi paling kecil, yaitu sebesar dimana nilai $V_{47} = 1.843,78$ V dengan nilai efisiensi tegangan $\eta_{47} = 9,2189$ %.
 - Rugi-rugi daya pada node 47 menjadi paling besar, yaitu sebesar $\Delta P_{47} = 42.278.1734$ W atau sebesar $\Delta P_{47}(\%) = 1,1263$ %.
- Rugi-rugi daya total merupakan jumlah rugi-rugi daya yang terjadi pada setiap segmen dan besar rugi-rugi daya total adalah $\Delta P_{total} = 44.132,5657$ W atau sebesar $\Delta P_{47}(\%) = 1,4540$ %.
- Efisiensi penyaluran daya listrik adalah perbandingan daya yang diterima diujung jaringan distribusi dengan daya yang disalurkan diujung jaringan distribusi dan besar efisiensi penyaluran daya listrik adalah η (%) 98,5525 %
- Jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi tidak dapat dihilangkan karena adanya sifat material dari penghantar yaitu adanya nilai tahanan pada penghantar yang dipakai. Besar nilai tahanan dipengaruhi oleh jenis penghantar, luas penampang dan panjang penghantar. Apabila nilai tahanan besar maka jatuh tegangan dan rugi-rugi daya akan semakin besar.
- Jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengalir pada penghantar, karena apabila arus yang mengalir besar maka jatuh tegangan dan rugi-rugi daya akan semakin besar.
- Jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dapat dikurangi dengan jalan menaikkan faktor daya. Dengan menaikkan faktor daya maka arus yang mengalir pada penghantar akan menjadi kecil sehingga jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi akan menjadi kecil pula.

3. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan terhadap data yang diperoleh dari Gardu Induk Sungai Juaro, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Jatuh tegangan pada node 47 menjadi paling besar, yaitu sebesar $V_{47} = 156,22$ V dengan persentase jatuh tegangan $\Delta V_{47}(\%) = 0,7811$ %. Serta tegangan akhir node yang terkecil terjadi pula pada node 34, dimana $V_{34} = 19.902,9408$ V dengan nilai efisiensi $\eta_{34} = 99,5147$ %. Tegangan akhir node 47 menjadi paling kecil, yaitu sebesar dimana nilai $V_{47} = 1.843,78$ V dengan nilai efisiensi tegangan $\eta_{47} = 9,2189$ %.
- Rugi-rugi daya yang paling besar terjadi pada node 47 menjadi paling besar, yaitu sebesar $\Delta P_{47} = 42.278.1734$ W atau sebesar $\Delta P_{47}(\%) = 1,1263$ %. Serta daya akhir node yang paling kecil pada terjadi pada node ke 26, dimana nilai $P_{26} = 3.710.879,2974$ W dengan nilai efisiensi daya $\eta_{26} = 98,86224$ %.
- Nilai efisiensi penyaluran daya listrik pada jaringan distribusi setelah adanya rugi-rugi daya dari tiap segmen cukup baik yaitu 98,5225%, karena masih dalam batas toleransi efisiensi ± 10 %.

DAFTAR PUSTAKA

Hutauruk.TS,(1986),Jaringan Tegangan Menengah , ITB,Bandung

Kadir.Abdul,(2000),Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik,Universitas Indonesia,Jakarta

Sri Kurniati.A, Sudirman.S (2008), Analisa Penanggulangan Rugi-rugi Jaringan,
<http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/jme/article/download/154/73>

Stevenson William D.Jr.(1984),Analisa Sistem Tenaga Listrik edisi keempat, Erlangga, Jakarta Pusat

Sudaryatno.Sudirman,(2002),Analisa Rangkaian Listrik,ITB,Bandung

Elias K.Bawan (2012),Dampak Pemasangan Distributed Generation terhadap rugi-rugi daya,
<http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/FORISTEK/article/viewFile/1057/849>