

Analisa Perbaikan Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan 380 Volt Dengan Pemerataan Beban

Josua Jonny Hardianto Marbun¹⁾, Yusniati²⁾, Ramayulis Nasution³⁾

^{1)Alumni, ^{2,3)Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,}}

Universitas Islam Sumatera Utara

yusniati@ft.uisu.ac.id:

Abstrak

Pada jaringan tegangan rendah sistem didistribusikan dengan tegangan 380/220 Volt kemudian disalurkan ke rumah penduduk. Dikerenakan beban suplai melalui sistem 1 fasa, maka keadaan beban tak setimbang ini akhirnya akan menyebabkan mengalirnya arus pada fasa netral (arus bocor) yang dihantarkan ke tanah, sehingga timbul rugi-rugi daya penghantar pada netral. Beban tak seimbang ialah beban yang dipikul oleh masing-masing fasa tidak sama besarnya. Oleh karena itu arus yang akan mengalir pada setiap fasanya juga akan berbeda tergantung seberapa besar beban yang ditanggung oleh fasa tersebut. Perbedaan besar arus pada setiap fasanya akan mengakibatkan mengalirnya arus pada penghantar netral. Bila arus pada fasa netral (arus bocor) yang mengalir pada penghantar netral terlalu besar, mengakibatkan rugi-rugi daya yang ditimbulkan akan semakin besar. Seharusnya bila keadaan sistem benar-benar setimbang, maka rugi-rugi daya yang ada hanyalah pada saluran R, S dan T saja. Untuk mengetahui rugi-rugi daya pada jaringan tegangan 380 Volt, maka kita harus mengetahui atau mencari besar impedansi, besar arus fasa dan netral, serta mencari besar rugi-rugi daya pada beban. Oleh karena itu, guna menanggulangi rugi-rugi daya beban tak seimbang kita gunakan cara pemerataan beban.

Kata Kunci : Jaringan Distribusi Skunder, Rugi-Rugi Daya, Arus Netral

I. PENDAHULUAN

Di tepi-tepi jalan, biasanya berdekatan dengan persimpangan, terdapat gardu-gardu distribusi, yang mengubah tegangan menengah 20 KV menjadi tegangan rendah 380 Volt 3 fasa atau 220 Volt 1 fasa melalui transformator distribusi (*distribution transformer*). Melalui tiang-tiang listrik yang terlihat ditepi jalanan, energi listrik tegangan rendah disalurkan kepada para pemakai.

Di Indonesia, tegangan rendah adalah 380/220 Volt, dan merupakan sistem distribusi sekunder. Tegangan diterima pemakai dari tiang TR melalui konduktor atau kawat yang dinamakan sambungan rumah (SR) dan berakhir pada alat pengukur listrik yang sekaligus merupakan titik akhir pemilikan PLN.

Untuk memenuhi permintaan yang semakin meningkat tersebut, maka diperlukan penyediaan energi listrik yang cukup baik. Penyediaan energi listrik ini tidak akan lepas dari sistem transmisi dan distribusi daya listrik ke konsumen. Untuk penyaluran daya ini, maka kualitas kabel sangat berperan. Kualitas kabel yang cukup baik akan dapat memperbesar efisiensi penyaluran daya. Dalam pendistribusian tenaga listrik biasanya dilakukan melalui sistem tiga fasa, karena sistem tiga fasa ini mempunyai kelebihan dibandingkan dengan sistem satu fasa.

Menjadi permasalahan dalam sistem distribusi tiga fasa ini adalah beban tak seimbang. Karena dalam praktek di lapangan, beban tak seimbang selalu terjadi. Salah satu penyebab utamanya adalah karena pemakaian daya listrik oleh konsumen tidak selalu konstan. Dengan terjadinya beban tidak

setimbang ini, maka pada penghantar netral akan mengalir arus listrik yang akan menambah rugi-rugi daya. Arus netral ini terjadi jika sistem yang digunakan adalah sistem tiga fasa empat kawat.

Oleh karena sering terjadinya beban tak seimbang pada sistem pendistribusian daya listrik ini, akan mengakibatkan turunnya tingkat efisiensi penyaluran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan Tegangan Menengah (JTM)

Dalam suatu sistem tenaga listrik kita selalu membicarakan beban, dimana beban tersebut dilayani dengan penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban melalui saluran udara maupun jaringan bawah tanah. Pendistribusian tenaga listrik melalui standart PLN serta Peraturan Umum Instalasi Listrik. Dalam rangka pembangunan suatu jaringan diperlukan suatu perencanaan yang teliti agar mempunyai kehandalan yang tinggi.

Jaringan tegangan menengah (JTM) dipakai pada sistem distribusi sebagai saluran penyulang yang menghubungkan transformator-transformator distribusi ke gardu distribusinya. Panjang saluran penyulang ini harus diperhitungkan agar rugi-rugi daya yang terjadi tidak terlalu besar yang akhirnya bisa mempengaruhi keandalan dan kelangsungan pelayanan pada konsumen. Selanjutnya pada JTM ini dipasangkan transformator-transformator distribusi untuk menurunkan tegangan 20 kV menjadi tegangan 380/220 Volt sehingga konsumen rumah tangga, industri kecil, dan pelanggan dapat langsung menggunakan daya listrik tersebut.

Pada perencanaan jaringan distribusi, pembangunan jaringan harus disesuaikan dengan jenis dan kepadatan beban. Ini berarti untuk daerah kepadatan bebannya relatif rendah cocok disuplai dengan sistem jaringan radial terbuka. Sistem jaringan radial terbuka ini mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan, diantaranya adalah :

- a. Mudah dalam pengoperasiannya
- b. Mudah untuk mencari sumber gangguan ketika terjadi gangguan pada sistem
- c. Biaya investasi pemasangan dan perawatan relatif rendah
- d. Cocok untuk sistem yang sederhana
- e. Sulit dilakukan manipulasi bila terjadi gangguan, sebab terputusnya sumber mengakibatkan pemadaman pada semua jaringan yang ada dibawahnya karena sistem hanya menggunakan satu suplai.
- f. Keandalan sistem tidak begitu sempurna.

Sedangkan untuk daerah yang perkembangan bebannya cepat, biasanya dipakai sistem putaran (spindle) atau sistem lurus (radial) interkoneksi. Sistem putaran ini mempunyai kelebihan dan kekurangan sebagai berikut :

- a. Dari segi teknis lebih handal karena adanya kabel ekspres feeder.
- b. Akan tetapi biayanya lebih mahal.

Sedangkan jaringan radial interkoneksi mempunyai kelebihan sebagai berikut :

- a. Lebih handal karena dicatu dari 2 sumber
- b. Bisa menjangkau beban di pusat kota dengan membangun gardu hubung.
- c. Dapat memperkecil daerah yang padam ketika terjadi pemadaman akibat gangguan
- d. Jaringan mudah untuk dimanipulasi saat terjadi gangguan.

Sistem distribusi primer (JTM) cukup mahal terutama jaringan loop (ring) dan Jaringan paralel, karena harus memakai perlengkapan yang lebih banyak dan strukturnya ditentukan beberapa aspek, antara lain segi penggunaannya hantaran, Pada umumnya sistem distribusi ini merupakan sistem saluran udara yaitu jaringan listrik yang dipasang pada udara terbuka dengan menggunakan tiang-tiang sebagai penyangga saluran di udara. Tiang-tiang tersebut biasanya terbuat dari beton, besi, atau kayu. Akan tetapi tiang besi jarang digunakan, selain karena mahal juga karena mudah terjadi gangguan ke tanah saat hujan. Yang paling banyak digunakan adalah tiang beton karena walau lebih mahal dari tiang kayu, tetapi memiliki usia pasang yang lebih lama.

Turun tegangan pada JTM dibolehkan jika :

1. 2 % dari tegangan kerja bagi sistem yang tidak memanfaatkan sadapan tanpa beban (STB) yaitu sistem spindle dan gugus.
2. 5 % dari tegangan kerja bagi sistem yang memanfaatkan STB yaitu sistem radial ditanahkan dari sistem simpul.

Kasus variasi tegangan menengah diperhatikan yaitu :

1. Sistem JTM dimana hanya transformator distribusi yang bersambung. Variasi tegangan adalah +1,8% dan -5% tegangan sadapan. Karena di Indonesia diizinkan adanya 5 sadapan tanpa beban (STB) yaitu 22 kV, 21 kV, 20 kV, 19 kV dan 18 kV. Pada umumnya pada “saluran tegangan menengah” tidak ada piranti listrik tersambung, Angka 1,8% adalah nilai untuk mengatasi susut tegangan di dalam transformator.
2. Sistem JTM di mana hanya piranti listrik yang tersambung. Variasi tegangan adalah +5% dan 0% tegangan nominal. Pada umumnya piranti listrik yang tersambung akan beroperasi lebih baik pada tegangan yang tinggi. Kasus ini terdapat pada instalasi pabrik atau industri di mana JTM tidak panjang.

2.2 Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Sistem distribusi yang digunakan di PT.PLN sesuai dengan standar PT.PLN pada umumnya yaitu menggunakan sistem arus bolak-balik (AC) dengan sistem multi pentanahan dimana kawat netral dihubungkan dengan kawat pentanahan, dan sistem beroperasi pada frekuensi 50 Hz. Untuk jaringan tegangan rendah, berupa sistem tiga fasa tiga kawat dan tiga fasa empat kawat.

Distribusi sekunder adalah jaringan daya listrik yang termasuk dalam kategori tegangan rendah (sistem 220/380 Volt), yaitu rating yang sama dengan tegangan peralatan yang dilayani. Jaringan distribusi sekunder bermula dari sisi sekunder transformator distribusi sekunder ini disalurkan kepada para pelanggan melalui kabel.

Pada umumnya PT.PLN membuat jaringan distribusi sekundernya berupa tiga fasa empat kawat dimana satu kawat merupakan kawat netral. Sebelum arus mencapai beban, pembagian daya diatur melalui gardu pembagi yang dilengkapi dengan sistem proteksi dari tiang-tiang saluran ke pelanggan dan penerangan jalan yang memakai sekering lebur. Sedangkan untuk penghubung utama dipakai jenis saklar pisau.

Jenis sistem distribusi tegangan rendah yaitu :

1. Saluran udara radial.
2. Saluran bawah tanah radial.

2.3 Hubungan Bintang (Y) Tiga Fasa Empat Kawat

Rangkaian hubungan bintang (Y) tiga fasa empat kawat inilah yang digunakan untuk mensuplai tegangan pada sisi sekunder transformator distribusi yang digunakan dalam pembahasan ini. Pada rangkaian tiga fasa empat kawat di mana satu kawat merupakan konduktor netral. Dikarenakan beban pada setiap fasa yang tidak seimbang, maka mengalir arus bocor pada konduktor netral. Konduktor netral tiga fasa-empat kawat dengan beban hubungan bintang tak

seimbang akan membawa arus-arus tak seimbang dari sistem serta mempertahankan magnitudo saluran ke netral pada masing-masing fasa beban. Arus-arus saluran tidak akan sama serta tidak memiliki sifat kesimetrian dalam diagram fasornya.

2.3 Pengertian Tegangan Jatuh

Tegangan jatuh yang akan dibahas di sini adalah tegangan jatuh pada ujung jaringan tegangan rendah (JTR), dimana yang menjadi acuan adalah dua titik pengukurannya yaitu tegangan pangkal di lemari tegangan rendah (*Low Voltage Cabinet/LVC*) dan tegangan di tiang ujung atau konsumen paling ujung.

Defenisi tegangan jatuh yaitu berkurangnya sejumlah tegangan akibat beberapa faktor dari suatu jaringan yang menyebabkan turunnya tegangan dari keadaan tegangan semula. Sejauh ini yang berkenaan dengan rangkaian listrik, tahanan kawat penghubung antara sumber dan beban telah diabaikan. Jika kawat penghubungnya pendek, hal ini masih diizinkan karena tahanannya sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Tetapi kawat penghubung yang panjang mempunyai tahanan yang tak dapat diabaikan sehingga sebagian tegangan yang diberikan digunakan untuk mengatasi tahanan kawat ini. Tegangan ini disebut tegangan jatuh (*line drop*).

Persamaan tegangan jatuh :

$$V_D = I \times R = V_{LVC} - V_{Ujung} \quad (3.1)$$

Atau :

$$V_D = I \times \frac{\rho \times L}{A}$$

di mana :

- V_D = Jatuh tegangan (Volt)
- I = Arus beban puncak (Ampere)
- R = Tahanan penghantar (Ohm)
- V_{LVC} = Tegangan pada LVC (Volt)
- V_{Ujung} = Tegangan pada ujung jaringan (Volt)
- ρ = Tahanan jenis penghantar (Ohm-meter)
- A = Luas penampang (m^2)

Untuk mengetahui besarnya jatuh tegangan bisa dilakukan dengan :

1. Mengukur langsung tegangan pada LVC (V_{LVC}) dan tegangan pada tiang ujung atau konsumen paling ujung (V_{Ujung}) suatu JTR, hasil pengukuran yang diperoleh dimasukkan ke Persamaan.

2. Melakukan perhitungan bila data-data arus puncak, tahanan penghantar dan panjang saluran, maka masukan Persamaan.

2.4 Penyebab Tegangan Jatuh

Ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadi jatuh tegangan :

- Arus beban puncak (Ampere)
- Tahanan saluran (Ohm)
- Panjang saluran (meter)

Arus Beban Puncak (Ampere)

Arus dapat menimbulkan tegangan jatuh sesuai dengan hukum ohm, yaitu rugi-rugi daya pada penghantar (R).

$$P = I^2 \times R$$

atau

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

Atau ;

$$V \times I \times \cos \varphi = I^2 \times R$$

$$V = \frac{I^2 \times R}{I \times \cos \varphi}$$

Untuk tahanan murni (R) sudutnya $\varphi = 0$ maka :

$$V = \frac{I^2 \times R}{I \times \cos \varphi}$$

$$V = \frac{I \times R}{1}$$

$$V = I \times R$$

di mana :

- I = Arus yang mengalir (Ampere)
- R = Tahanan (Ohm atau Volt/ampere)
- V = Volt
- V = Tegangan jatuh pada penghantar

2.5 Tahanan Saluran (R)

Penyebab jatuh tegangan yang akan diakibatkan oleh adanya tahanan pada penghantar, hal ini dapat dilihat melalui hukum ohm. Besar tahanan ditentukan dengan :

$$R = \frac{\rho \times L}{A}$$

di mana :

- R = Tahanan saluran (Ohm)
- L = Panjang saluran (meter)
- ρ = Tahanan jenis penghantar (Ohm-meter)
- A = Luas penampang penghantar (m^2)

Apabila tahanan (R) pada penghantar bertambah besar, maka tegangan jatuh pada penghantar juga akan semakin besar, hal ini dapat disebabkan karena jatuh tegangan sebanding dengan tahanan pada penghantar.

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Mencari besar Rugi–Rugi Daya Beban Tak Setimbang

Adanya arus netral mengakibatkan timbulnya rugi–rugi daya fasa suatu sistem penyaluran yang besarnya adalah sebagai berikut :

$$\Delta P = I_N^2 \times R$$

Panjang dan kawat penghantar yang dipakai jaringan tegangan rendah harus diperhitungkan karena dapat mempengaruhi besar rugi–rugi daya akibat beban tak setimbang. Semakin besar arus yang mengalir pada penghantar netral, maka akan semakin besar pula rugi–rugi daya beban tak seimbang yang ditimbulkan, begitu pula sebaliknya. Oleh karena itu selalu diusahakan suatu pembagian beban pada tiap-tiap fasa transformator agar dapat setimbang ini terus dibiarkan pada periode waktu yang lama, dapat menyebabkan cepat rusaknya sisi kumparan transformator yang berbeban paling berat (tinggi) dan juga kemungkinan putusannya pada fasa.

3.2 Mencari Besar Arus Netral

Disebut dengan beban tak seimbang ialah beban yang dipikul oleh masing-masing fasa tidak sama besarnya. Oleh karena itu arus yang akan mengalir pada setiap fasanya juga akan berbeda tergantung seberapa besar beban yang ditanggung oleh fasa tersebut. Perbedaan besar arus pada setiap fasanya akan mengakibatkan mengalirnya arus pada penghantar netral.

Berdasarkan pada hasil survei yang telah penulis laksanakan di PT. PLN (Persero). Besar faktor daya (Cos φ) = 0,73 lagging yang tetap konstan, maka akan didapat φ = 43⁰. Lagging berarti arus tertinggal dari tegangan sebesar 43⁰ listrik. Bila diambil sistem tiga fasa semua tegangan urutan CBA, maka :

$$V_{RN} = 220 \angle -90^0$$

$$V_{SN} = 220 \angle 30^0$$

$$V_{TN} = 220 \angle 150^0$$

Dikarenakan sudut fasa arus tertinggal 43⁰ dari sudut fasa masing-masing tegangannya, maka :

$$I_R = I_R \angle (-90^0 - 43^0) = I_R \angle -133^0 \text{ A}$$

$$I_S = I_S \angle (30^0 - 43^0) = I_S \angle -13^0 \text{ A}$$

$$I_T = I_T \angle (150^0 - 43^0) = I_T \angle 107^0 \text{ A}$$

Seperti yang telah dijelaskan di atas, arus yang mengalir pada penghantar netral merupakan penjumlahan arus-arus yang mengalir pada fasa R, S, dan T secara vektor. Pada pembebanan sistem yang setimbang, penjumlahan arus–arus fasa R, S, dan T ini akan sama dengan nol (tidak ada arus yang mengalir pada penghantar netral). Namun pada sistem pembebanan tidak seimbang penjumlahan arus ini tidak akan sama dengan nol.

1. Data Arus yang mengalir pada Feeder MS 328 :

$$I_R = 10,12 \angle -133^0 \text{ Ampere}$$

$$I_S = 8,2 \angle -13^0 \text{ Ampere}$$

$$I_T = 6,01 \angle 107^0 \text{ Ampere}$$

$$I_N = I_R + I_S + I_T$$

$$\begin{aligned} I_N &= 10,12 \angle -133^0 + 8,2 \angle -13^0 + 6,01 \angle 107^0 \\ &= -6,90 - j7,40 + 7,81 - j1,80 - 1,76 - j5,74 \\ &= -0,85 - j3,46 \\ &= 3,56 \angle 76,19^0 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

2. Data Arus yang mengalir pada Feeder MS 327 :

$$I_R = 18,02 \angle -133^0 \text{ Ampere}$$

$$I_S = 20,11 \angle -13^0 \text{ Ampere}$$

$$I_T = 26,13 \angle 107^0 \text{ Ampere}$$

$$I_N = I_R + I_S + I_T$$

$$\begin{aligned} &= 18,02 \angle -133^0 + 20,11 \angle -13^0 + 26,13 \angle 107^0 \\ &= -12,28 - j13,17 + 19,59 - j4,52 - 7,63 + j24,98 \\ I_N &= -0,32 + j7,29 \\ I_N &= 7,29 \angle -87,4^0 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

3. Data Arus yang mengalir pada Feeder MS 326 :

$$I_R = 20,25 \angle -133^0 \text{ Ampere}$$

$$I_S = 28,48 \angle -13^0 \text{ Ampere}$$

$$I_T = 26,23 \angle 107^0 \text{ Ampere}$$

$$I_N = I_R + I_S + I_T$$

$$\begin{aligned} &= 20,25 \angle -133^0 + 28,48 \angle -13^0 + 26,23 \angle 107^0 \\ &= -13,81 - j14,8 + 27,75 - j6,40 - 7,66 + j25,08 \\ &= 6,28 + j3,88 \\ I_N &= 7,38 \angle 31,7^0 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

3.3 Mencari Rugi-Rugi Daya Beban Tak Setimbang

Yang dimaksud dengan rugi-rugi daya beban tak seimbang ialah besarnya energi listrik yang hilang secara percuma (tidak terpakai). Hal ini disebabkan oleh faktor tahanan (tahanan jenis) dari bahan penghantar yang dipakai, sehingga timbullah tahanan yang menghambat arus yang akan mengalir pada penghantar tersebut. Besarnya rugi-rugi daya yang hilang pada penghantar akan sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir pada penghantar tersebut dikalikan dengan besar tahanan penghantar.

Pada pembebanan sistem tak seimbang, akan timbul rugi-rugi daya pada penghantar netralnya. Hal ini diakibatkan adanya arus yang mengalir pada penghantar netralnya. Pada pembebanan sistem yang setimbang, hal ini tidak akan terjadi sebab tidak adanya arus yang mengalir pada penghantar netral.

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

Dengan menggunakan di atas, maka besarnya rugi-rugi daya yang hilang pada penghantar netral (*loos line*) adalah seperti perhitungan berikut ini :

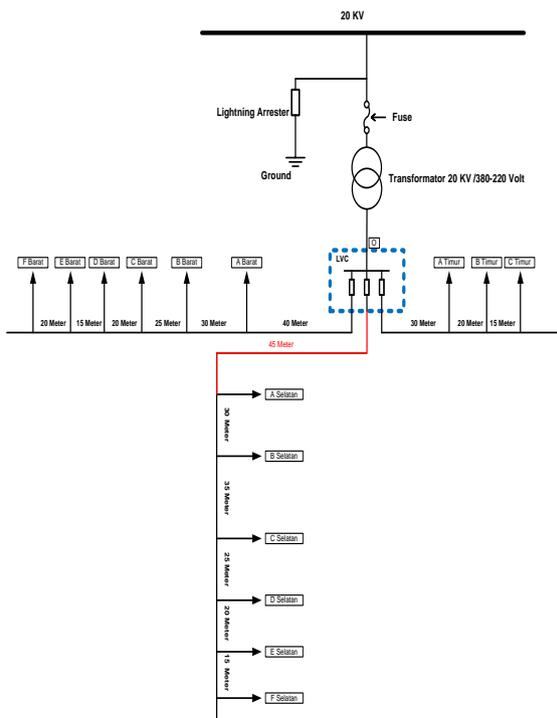
$$\Delta P_R = I_R^2 \times R_R$$

$$\Delta P_S = I_S^2 \times R_S$$

$$\Delta P_T = I_T^2 \times R_T$$

Besarnya tahanan penghantar tergantung dari jenis bahan penghantar yang dipakai. Tahanan penghantar aluminium isolasi berinti banyak tertera pada lampiran 3. Penghantar yang dipakai pada saluran fasa R, S, dan T adalah penghantar aluminium isolasi berinti banyak dengan luas penampang 70 mm², berdasarkan tahanannya adalah 0,443 Ohm/km. Sedangkan untuk netralnya digunakan jenis penghantar yang sama dengan luas penampang 50 mm², tahanannya 0,641 Ohm/Km.

Diagram satu garis saluran distribusi tegangan rendah transformator distribusi MS 328 jalan Selamat Ujung diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram satu garis saluran distribusi tegangan rendah dan transformator distribusi di Jl. Selamat Ujung

1. Data Panjang Penghantar pada feeder MS 328 (arah Timur)

Panjang OA = 30 meter = 0,030 Km

Panjang AB = 20 meter = 0,020 Km

Panjang BC = 15 meter = 0,015 Km

Besarnya tahanan penghantar berdasar jenis penghantar dan luas penampangnya menurut tabel sebagai berikut :

$$R = r \times L$$

$$R = \frac{\text{Ohm}}{\text{Km}} \times \text{Km} = \text{Ohm}$$

di mana :

R = Tahanan penghantar (Ohm)

r = Tahanan penghantar per kilometer (Ohm/Km)

L = Panjang penghantar (Km)

maka :

$$R_{OA} (70 \text{ mm}^2) = 0,013 \text{ Ohm}$$

$$R_{AB} (70 \text{ mm}^2) = 0,008 \text{ Ohm}$$

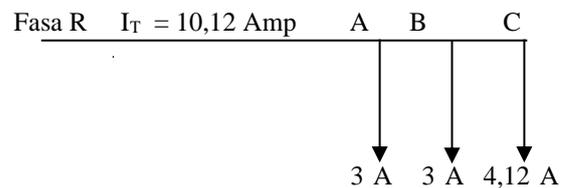
$$R_{BC} (70 \text{ mm}^2) = 0,006 \text{ Ohm}$$

Untuk tahanan penghantar netral adalah sebagai berikut :

$$R_{N-OA} (50 \text{ mm}^2) = 0,019 \text{ Ohm}$$

$$R_{N-OB} (50 \text{ mm}^2) = 0,032 \text{ Ohm}$$

$$R_{N-OD} (50 \text{ mm}^2) = 0,041 \text{ Ohm}$$



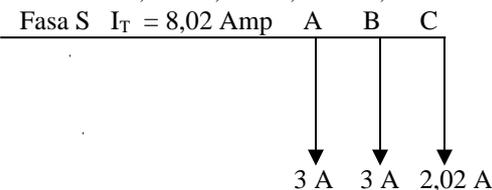
Gambar 2. Pembagian beban pada fasa R

$$\Delta P_{OA} = I_{OA}^2 \times R_{OA} = (10,12)^2 \times 0,013 = 1,33 \text{ W}$$

$$\Delta P_{AB} = I_{AB}^2 \times R_{AB} = (7,12)^2 \times 0,008 = 0,40 \text{ W}$$

$$\Delta P_{BC} = I_{BC}^2 \times R_{BC} = (4,12)^2 \times 0,006 = 0,10 \text{ W}$$

$$\Delta P_R = \Delta P_{OA} + \Delta P_{AB} + \Delta P_{BC} = 1,33 + 0,40 + 0,10 = 1,83 \text{ Watt}$$



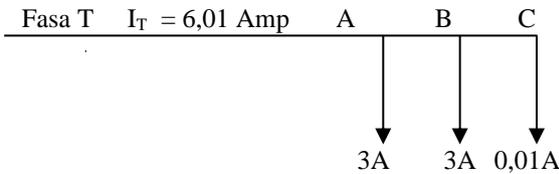
Gambar 3. Pembagian beban pada fasa S

$$\Delta P_{OA} = I_{OA}^2 \times S_{OA} = (8,02)^2 \times 0,013 = 0,83 \text{ W}$$

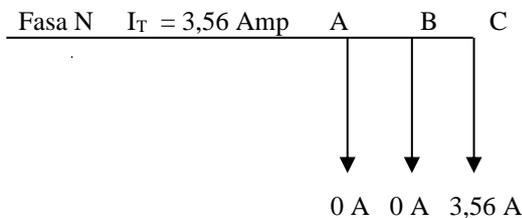
$$\Delta P_{AB} = I_{AB}^2 \times S_{AB} = (5,02)^2 \times 0,008 = 0,20 \text{ W}$$

$$\Delta P_{BC} = I_{BC}^2 \times S_{BC} = (2,02)^2 \times 0,006 = 0,02 \text{ W}$$

$$\Delta P_S = \Delta P_{OA} + \Delta P_{AB} + \Delta P_{BC} = 0,83 + 0,20 + 0,02 = 1,05 \text{ Watt}$$



Gambar 4. Pembagian beban pada fasa T



Gambar 5. Pembagian beban pada fasa N

$$\Delta P_{OA} = I_{OA}^2 \times N_{OA} = 0,24 \text{ Watt}$$

$$\Delta P_{OB} = I_{OB}^2 \times N_{OB} = 0,40 \text{ Watt}$$

$$\Delta P_{OC} = I_{OC}^2 \times N_{OC} = 0,51 \text{ Watt}$$

$$\Delta P_{OA} = I_{OA}^2 \times T_{OA} = 0,46 \text{ Watt}$$

$$\Delta P_{AB} = I_{AB}^2 \times T_{AB} = 0,07 \text{ Watt}$$

$$\Delta P_{BC} = I_{BC}^2 \times T_{BC} = 0,06 \text{ Watt}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_{OA} + \Delta P_{AB} + \Delta P_{BC}$$

$$\Delta P_T = 0,46 + 0,07 + 0,06 = 0,60 \text{ Watt}$$

$$\Delta P_{N1} = \Delta P_{OA} + \Delta P_{OB} + \Delta P_{OC}$$

$$= 0,24 + 0,40 + 0,51 = 1,51 \text{ Watt}$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_R + \Delta P_S + \Delta P_T + \Delta P_N$$

$$= 1,83 + 1,05 + 0,60 + 1,51 = 4,99 \text{ Watt}$$

Pemerataan Beban

Pada tahap awal pemasangan jaringan sistem distribusi baru, selalu diusahakan dan direncanakan penyambungan beban yang merata pada setiap fasanya. Hal ini dimaksudkan agar didapatkan suatu sistem distribusi yang benar-benar seimbang. Namun dikarenakan adanya penambahan sambungan-sambungan pelanggan baru yang dipasang secara sembarang fasanya mengakibatkan keadaan sistem yang tidak seimbang. Penyambungan yang tidak merata tersebut mengakibatkan beban menimpa pada salah satu fasanya. Kejadian ini terus berulang, hingga pada suatu waktu selisih beban dari ketiga fasa R, S dan T bertambah besar. Oleh karenanya terjadilah gangguan beban tak seimbang yaitu dengan mengalirnya arus bocor pada penghantar netral yang mengakibatkan rugi-rugi daya pada penghantar netral.

Penulis menyarankan agar dilakukan renovasi ulang untuk menata kembali sambungan pelanggan pada ketiga fasa R, S, dan T agar tersusun seimbang mungkin, yaitu beban yang ditanggung oleh setiap fasanya diusahakan sama besar. Akan tetapi sebelumnya perlu diingat, bahwa gangguan beban tak seimbang tidak hanya disebabkan oleh faktor susunan (penyambungan) beban yang tidak sama rata pada setiap fasanya. Akan tetapi juga turut dipengaruhi oleh faktor pemakaian dan kebutuhan para pelanggan yang tidak selalu sama dan konstan baik waktu dan pemakaiannya. Oleh karenanya arus yang akan mengalir pada setiap fasa pun akan terus berubah, tergantung pada seberapa besar pemakaian daya oleh pelanggan yang tersambung pada fasa R, S, dan T tersebut.

Jadi penataan ulang sambungan pelanggan tersebut hanya dimaksudkan untuk mengurangi besarnya arus bocor yang mengalir pada penghantar netral meskipun tidak akan tercapai keadaan yang benar-benar ideal (seimbang), yaitu arus yang mengalir pada penghantar netral benar-benar nol. Setidaknya usaha ini dapat lebih memperkecil rugi-rugi daya beban tak seimbang. Dapat dilihat data beban pelanggan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Beban Pelanggan

No	Fasa R		Fasa S		Fasa T		
	No. Pelanggan	VA	No. Pelanggan	VA	No. Pelanggan	VA	
ARAH TIMUR							
1	44	900	31	450	36	450	
2	73	900	42	450	43	450	
3			45	450	71	450	
4			78	450	41	450	
Total = 1.800 VA			Total = 1.800 VA			Total = 1.800 VA	
ARAH BARAT							
5	08	900	06	450	02	450	
6	14	900	07	450	03	450	
7	67	900	09	450	04	450	
8	01	900	10	450	05	450	
9	59	900	11	450	07	450	
10			19	450	10	450	
11			20	450	60	450	
12			21	450	62	450	
13			28	450	64	450	
14					65	450	
15					66	450	
Total = 4.500 VA			Total = 4.500 VA			Total = 4.500 VA	
ARAH SELATAN							
15	13	900	14	900	14	450	
16	28	900	16	450	17	450	
17	32	450	17	450	24	450	
18	50	900	18	450	32	450	
19	41	900	20	450	43	450	
20			23	450	48	450	
21			24	450	50	900	
22			25	450			
23			31	450			
Total = 4.050 VA			Total = 4.050 VA			Total = 4.050 VA	

1. Pemerataan Beban pada Feeder MS 328 Arah Timur (lihat Tabel 4.1)

Beban total = $2R_2 + 8R_1$
 = $2(900) + 8(450)$
 = 5.400 VA

Usaha pemerataan beban yang dilakukan adalah :

Fasa R = $2R_2 = 2(900) = 1.800$ VA
 Fasa S = $4R_1 = 4(450) = 1.800$ VA
 Fasa T = $4R_1 = 4(450) = 1.800$ VA +

 Total = 5.400 VA

Sehingga arus yang mengalir pada tiap fasa menjadi :

$$I_R = \frac{S_R}{V_{RN}} = \frac{1.800 \angle 0^0}{220 \angle -90^0} = 8,18 \angle 90^0 \text{ Amp.}$$

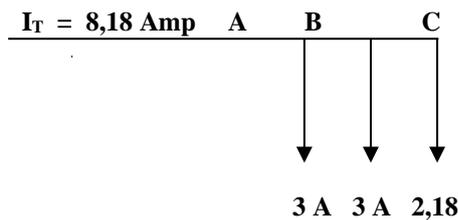
$$I_S = \frac{S_S}{V_{SN}} = \frac{1.800 \angle 0^0}{220 \angle 30^0} = 8,18 \angle -30^0 \text{ Amp.}$$

$$I_T = \frac{S_T}{V_{TN}} = \frac{1.800 \angle 0^0}{220 \angle 150^0} = 8,18 \angle -150^0 \text{ Amp}$$

$$\begin{aligned} I_N &= I_R + I_S + I_T \\ &= 8,18 \angle 90^0 + 8,18 \angle -30^0 + 8,18 \angle -150^0 \\ &= 0 + j8,18 + 7,08 - j4,09 - 7,08 + j4,09 \\ &= 0 + j0^0 \\ &= 0 \angle 0^0 \text{ Ampere} \\ &\text{(tidak ada arus yang mengalir pada penghantar netralnya)} \end{aligned}$$

Rugi-rugi penghantar untuk saluran di arah Timur adalah sebagai berikut :

Fasa R = Fasa S = Fasa T



Gambar 6. Beban setelah pemerataan (Fasa R = Fasa S = Fasa T)

Untuk Penghantar Fasa R, S dan T (Beban Seimbang)

$$\Delta P_{OA} = I_{OA}^2 \times R_{OA} = (8,18)^2 \times 0,013 = 0,86 \text{ W}$$

$$\Delta P_{AB} = I_{AB}^2 \times R_{AB} = (5,18)^2 \times 0,008 = 0,20 \text{ W}$$

$$\Delta P_{BC} = I_{BC}^2 \times R_{BC} = (2,18)^2 \times 0,006 = 0,02 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= \Delta P_{OA} + \Delta P_{AB} + \Delta P_{BC} \\ &= 0,86 + 0,20 + 0,02 = 1,08 \text{ Watt} \end{aligned}$$

IV. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah penulis lakukan terhadap rugi-rugi daya akibat beban tak seimbang, maka dapatlah kita ambil beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Penanggulangan rugi-rugi daya akibat beban tak seimbang dapat dilakukan dengan menyeimbangkan (mengatur ulang) besar beban yang terpasang pada masing-masing fasa, R, S dan T. Sebelum pemerataan beban $\Delta P_1 = 4,99 \text{ Watt}$ Sesudah pemerataan beban $\Delta P_1 = 1,08 \text{ Watt}$
2. Khusus rugi-rugi penghantar netral :
Sebelum pemerataan beban $\Delta P_{N1} = 1,51 \text{ Watt}$
Sesudah pemerataan beban ΔP_{N1} hasilnya nol (tidak ada arus yang mengalir pada netral).
3. Rugi-rugi daya tak seimbang tidak hanya ditentukan oleh faktor kesetimbangan beban pada masing-masing fasa, akan tetapi juga sangat dipengaruhi oleh faktor kebutuhan pelanggan yang tidak selalu sama dan konstan waktu dan besar pemakaian dayanya disetiap fasa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, 200, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Penerbit Universitas Indonesia: Jakarta.
- [2] A.S. Pabla/Ir Abdul Hadi, 1991, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Penerbit Erlangga, Cetakan Kedua, Jakarta.
- [3] Hanapi gunawan, 1988, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Penerbit Erlangga : Jakarta..
- [4] B.L. Theraja, 1978, *A Text Book Of Electrical Technology*, Revised Edition, S.Chan & Company, New Delhi.
- [5] Standar Kelistrikan Indonesia, 1988, *Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah dan Jaringan Tegangan Rendah*, Penerbit Departemen Pertambangan dan Energi : Jakarta.
- [6] Standar Kelistrikan Indonesia, 1986, *Keandalan Sistem Distribusi*, Departemen Pertambangan dan Energi : Jakarta.
- [7] T. S. Hutaaruk, 1990, *Transmisi Daya Listrik*, Penerbit Erlangga: Jakarta
- [8] *Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia (PUIL) 2000*.
- [9] William Stevenson, 1990, *Analisa Sistem Tenaga Listrik (Terjemahan)*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- [10] Yon Rijono, 2002, *“Dasar Teknik Tenaga Listrik”*, Penerbit Andi Yogyakarta.