

ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA PENGHANTAR NETRAL JARINGAN DISTRIBUSI SEKUNDER AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN

Zulfadli Pelawi, Yusmartato

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Islam Sumatera Utara
yusmartato@ft.uisu.ac.id

Abstrak

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini menggunakan konduktor tanpa isolasi. Dikarenakan beban disuplai melalui sistem satu fasa, maka ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi. Akhirnya akan menyebabkan mengalirnya arus pada netral transformator, sehingga timbul rugi-rugi pada penghantar netral. Bila arus netral (arus bocor) yang mengalir pada penghantar netral terlalu besar, sehingga rugi-rugi daya yang timbulkan akan semakin besar. Seharusnya bila keadaan sistem benar-benar setimbang, maka rugi-rugi daya yang ada hanyalah pada saluran R, S dan T saja. Setelah dianalisa, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban sebesar 4,67%, maka arus netral yang muncul 20,43, dan rugi-rugi akibat arus netral yang mengalir ke tanah sebesar 1,27%.

Kata-kata Kunci : Ketidakseimbangan Beban, Rugi-Rugi Daya, Arus Netral

I. Pendahuluan

Dewasa ini Indonesia sedang melaksanakan pembangunan di segala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukungnya seperti tersedianya tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban-beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidakserempakan waktu penyalaan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) inilah yang menyebabkan mengalirnya arus di netral transformator.

II. Landasan Teori

2.1 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi-elektromagnet. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.

Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum Faraday, yaitu: arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan

2.2 Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator tiga fasa bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) maupun tegangan rendah (sekunder) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (1)$$

di mana :

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi primer transformator (kV)

I : arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (2)$$

Di mana :

I_{FL} : arus beban penuh (A)

S : daya transformator (kVA)
 V : tegangan sisi sekunder transformator (kV)

Rugi-rugi daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral Transformator. Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder transformator (fasa R, fasa S, fasa T) mengalir arus di netral transformator. Arus yang mengalir pada penghantar netral transformator ini menyebabkan rugi-rugi daya. Rugi-rugi daya pada penghantar netral transformator ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (3)$$

dimana :

P_N : rugi-rugi daya pada penghantar netral transformator (watt)

I_N : arus yang mengalir pada netral transformator (A)

R_N : tahanan penghantar netral transformator (Ω)

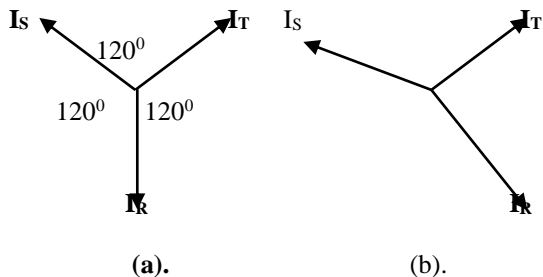
2.3 Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu :

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 1. Vektor Diagram Arus

Gambar 1(a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 1(b)

menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

2.4 Penyaluran Dan Susut Daya

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P = 3 \cdot |V| \cdot |I| \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

dengan :

P : daya pada ujung kirim

V : tegangan pada ujung kirim

$\cos \varphi$: faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran.

Jika [I] adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tidak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$\begin{aligned} [I_R] &= a [I] \\ [I_S] &= b [I] \\ [I_T] &= c [I] \end{aligned} \quad (5)$$

dengan I_R, I_S dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T.

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai:

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

Apabila Persamaan (6) dan Persamaan (4) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \quad (7)$$

di mana pada keadaan seimbang:

nilai $a = b = c = 1$

III. Pembahasan dan Analisa

3.1 Pengumpulan Data :

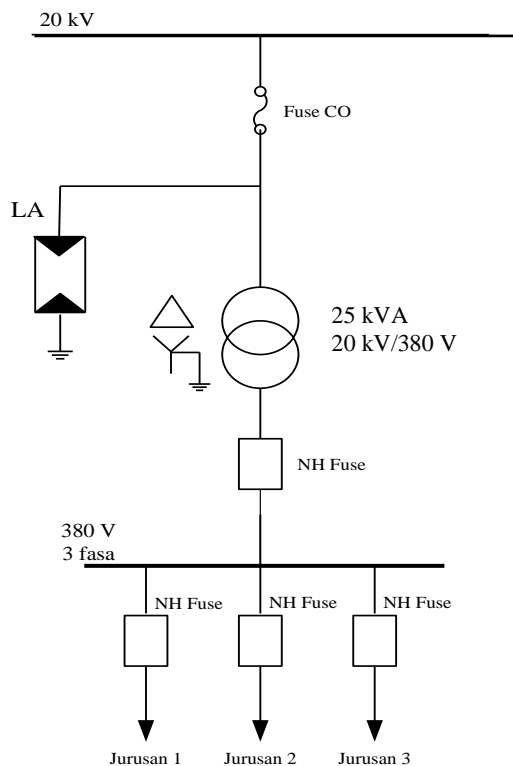
Data-data dari transformator distribusi adalah sebagai berikut:

Kode Transformator : MS 328

Lokasi : Jl. Selamat Ujung Medan
 Tipe : Outdoor
 Daya : 25 kVA
 Tegangan Kerja : 20/400 V
 Hubungan : Dyn5
 Impedansi : 4%
 Transformator : 3 fasa



Gambar 2. Transformator distribusi MS 328 Jl. Selamat Ujung Medan

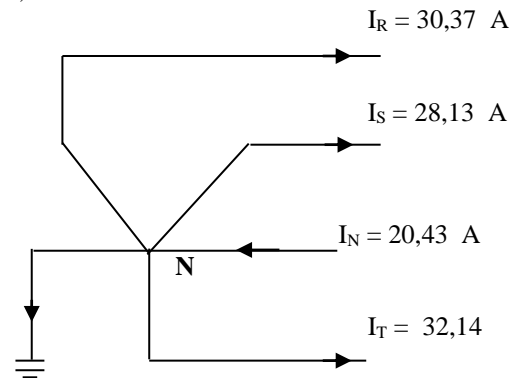


Gambar 3. Diagram satu garis Transformator Distribusi 25 kVA, 20 kV/380 V

Tabel 1. Hasil pengukuran arus dan tegangan pada transformator distribusi 25 kVA

Fasa	V _{p-n} (Volt)	I (Amper)
R	221	30,37
S	222	28,13
T	224	32,14
N	-	20,43

Ukuran kawat untuk penghantar netral adalah 50 mm² dengan R = 0,641 Ω/km, sedangkan untuk kawat penghantar fasanya adalah 70 mm² dengan R = 0,443 Ω/km.



Gambar 4. Skema aliran arus di sisi sekunder transformator pada siang hari.

3.2 Analisa Pembebanan Transformator

Daya transformator distribusi adalah 25 kVA, tegangan 20 kV/220-380 V.

Diketahui : S = 25 kVA

V = 380 Volt fasa-fasa (Sekunder)

Besar arus sekunder pada beban penuh:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_{FL} = \frac{25000 \text{ Volt}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ Volt}}$$

$$I_{FL} = 37,98 \text{ Amper}$$

Arus rata-rata:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{30,37 + 28,13 + 32,14}{3}$$

$$I_{rata-rata} = 30,21 \text{ Amper}$$

Persentase pembebanan transformator adalah :

$$\frac{I_{rata}}{I_{FL}} = \frac{30,21}{37,98} \times 100\% = 79,5\%$$

3.3 Analisa Ketidakseimbangan Beban pada Transformator

Dengan menggunakan Persamaan (5), koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I_{rata}).

$$I_R = a \cdot I,$$

$$\text{maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{30,37}{30,21} = 1,01$$

$$I_S = b \cdot I$$

$$\text{maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{28,13}{30,21} = 0,93$$

$$I_T = c \cdot I$$

$$\text{maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{32,14}{30,21} = 1,06$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1.

Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$= \frac{[|a-1| + |b-1| + |c-1|]}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{[|1,01-1| + |0,93-1| + |1,06-1|]}{3} \times 100\% = 4,67 \%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa ketidakseimbangan beban sebesar 4,67 %, hal ini disebabkan karena penggunaan beban yang tidak merata di antara konsumen.

3.4 Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral

Dari Tabel 1 pengukuran, dan dengan menggunakan persamaan (3), rugi-rugi akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator dapat dihitung besarnya, yaitu:

a. Untuk kawat 50 mm² (R = 0,641 Ω/km)

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N = (20,43)^2 \cdot 0,641$$

$$= 267,54 \text{ Watt/km} \approx 0,27 \text{ kW/km}$$

b. Untuk kawat 70 mm² (R = 0,443 Ω/km)

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N = (20,43)^2 \cdot 0,443$$

$$P_N = 184,90 \text{ Watt/km} \approx 0,18 \text{ kW/km}$$

c. dimana daya aktif trafo (P) :

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

Di mana cos φ yang digunakan adalah 0,85

$$P = 25 \times 0,85 = 21,25 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase rugi-rugi akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator adalah :

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\%$$

$$\% P_N = \frac{0,27}{21,25} \times 100\% = 1,27\%$$

Tabel 2. Rugi-rugi daya pada penghantar netral

R _N (Ω)	Ketidak seimbangan Beban (%)	I _N (A)	P _N (kW)	P _N (%)
0,641 (50 mm ²)	4,67	20,43	0,27	1,27
0,443 (70 mm ²)	4,67	20,43	0,18	0,85

Pada Tabel 2 terlihat bahwa bila ukuran kawat penghantar netral dibuat sama dengan kawat penghantar fasanya (70 mm²) maka rugi-rugi arus netralnya akan turun.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan analisa yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut:

- Terjadinya ketidakseimbangan beban pada transformator tiang, karena penggunaan beban listrik tidak merata.
- Pada gardu distribusi MS 328, persentase pembebanan transformator yang mengacu pada data pengukuran sebesar 79,5%
- Dengan penggunaan beban tidak merata mengakibatkan arus netral, sehingga timbul rugi-rugi daya pada penghantar netral.
- Rugi-rugi daya pada penghantar netral saluran distribusi sekunder yang terjadi akibat arus netral pada transformator distribusi MS 328 sebesar 270 watt.

Daftar Pustaka

- [1] Abdul Kadir, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, UI - Press, 2000, Jakarta.
- [2] Abdul Kadir, 1989, *Transformator*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- [3] Ahmad Deni Mulyadi, 2011, *Pengaruh Ketidakseimbangan beban Terhadap Arus Netral dan Losess Pada Trafo Distribusi*, Metrik Polban

- [4] Badan Standarisasi Nasional, 2000, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*, Jakarta.
Daman Suswanto, 2009, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Universitas Negeri Padang, (online)
- [5] James J.Burke, *Power Distribution Engineering – Fundamentals And Applications*, New York : Marcel Dekker Inc., 1994.
- [6] Sudaryatno Sudirham, 1991, *Pengaruh Ketidakseimbangan Arus Terhadap Susut Daya pada Saluran*, Tim Pelaksana Kerjasama PLN - ITB, Bandung.
- [7] Sulasno, 1991, *Teknik Tenaga Listrik*, Satya Wacana, Semarang.
- [8] Zuhail, 1991, *Dasar Tenaga Listrik*, ITB. Bandung