PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRAFO DISTRIBUSI

Oleh : Tri Watiningsih

Abstract

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah.Akibat ketidakseimbangan beban tersebut munculah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Sistem Jaringan Distribusi tenaga listrik

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 trafo.

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut munculah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Sistem Jaringan Distribusi tenaga listrik PLN sebelum digunakan untuk melayani konsumen, energi listrik disalurkan dari pusat pembangkit tenaga listrik melalui saluran transmisi udara tegangan tinggi 150 KV hingga gardu induk, dan tegangannya diturunkan melalui trafo distribusi 20 KV kemudian disalurkan ke konsumen

hingga tegangannya mencapai 380/220 V.

Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik mulai berkembang pesat akibat tuntutan kenaikan kebutuhan tenaga listrik yang digunakan untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari, tersedianya tenaga listrik dalam jumlah dan mutu yang memadai akan mempengaruhi ketidak seimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada Trafo Distribusi.

Tegangan Distribusi dan Tipe Sistem

Jaringan tegangan menengah adalah tegangan system diatas 1000 Vollt- 2300 Volt batas maksimumnya. PLN mendapat Suplay daya dari Gardu Induk melalui saluran pemasukkan 23000/ 13.283 Volt, 4 kawat, 3 phase, dan 13.283, 2 kawat, 1 phase, tegangan ini ditentukan dengan peraturan No. 08/K/70/PUTL yang dilengkapi dengan trafo, feeder dan kapasitor pembagi tegangan (Capacitor Bank) dan sestim loop radial.

Jaringan Tegangan Rendah atau tegangan pelayanan nominal dengan penggunaan beban maksimum merupakan tegangan yang keluar dari Gardu Induk yang diturunkan melalui trafo step-down pole mouted out door type OISC, 50 Hz, 1 phase, 1 Bus, 23 KV/ 13,283 - 231/ 462 Volt, kapasitas penuh adalah 12,705/ 12.127/ 11.500 Volt, kapasitas 5, 10, 15, 50 KVA. Tegangan 3 phase Y-Y3, 23 KV/ 23.283 - 231/ 462 Volt bila dalam kapasits penuh 12.704/ 12.127/ 11.550 Volt, kapasitas 225, 300, 500, 750, 1000, 1500, 2500 KVA.

Transformator merupakan peralatan yang terpenting dalam penyaluran tenaga listrik mulai dari pusat listrik sampai ke konsumen, dalam hal ini trafo yang digunakan untuk penyaluran/ pemindahan tenaga listrik dari gardu distribusi ke konsumen kemudian disalurkan ke transfosrmator dengan menggunakan kabel udara dan kabel bawah tanah, untuk kabel udara dengan standart A.W.G. Jenis penghantar telanjang Standart/ solid 2, 3, 4, 5, sampai 16 standart, sedangkan untuk kabel tanah menggunakan TRANKA kabel dengan jenis dan ukuran sebagai berikut:

1. Kabel berisolasi dan berselubung PVC NYY spesifikasi SPLN- 301 tegangan nominal 0,6 - 1 KV : 1,5, 2,5, 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300 mm^2 (lihat lampiran).
2. Kabel berisolasi dan berselubung PVC NYM spesifikasi SPLN - 251 tegangan nominal 500 Volt : 1,5, 2,5, 4, 6, 10, 16, 25, 35 mm^2 (lihat lampiran).
3. Kabel berisolasi dan berselubung PVC dengan perisai kawat baja, tegangan nominal 3,5 - 6 KV : 1,5, 2,5, 4, 6, 10, 16, 25, 35 mm^2
4. Kabel berisolasi PVC : TX 1 netral - 2 phase - 70 mm^2, 16 trand.

5. Kabel berisolasi dan berselubung Polyster - kawat baja dan plastik, minyak : GPLK, 70, 120, 150, 240, 300 mm^2
6. Kabel berisolasi dan berselubung PVC : QX - 70 mm^2, 16 trand.
7. Dll, kabel (lihat lampiran).

Distribusi tenaga listrik untuk disalurkan ke konsumen menggunakan trafo yang bekerja secara parallel yang dapat mendukung beban secara bersama. Dengan pengertian bahwa distribusi adalah membagi dan menyalurkan tenaga listrik dari satu tempat ke tempat lain dengan rugi-rugi yang kecil **($P = 1^2$. R)** atau jatuh tegangan adalah : **I (R Cos Q + X Sin Q).** Dengan : I = Arus (Ampere) ; Q = Sudut ϕ antara tegangan dan arus ; R = Tahanan (Ohm). Dengan demikian trafo berperan penting dalam menyalurkan tenaga listrik, karena trafo adalah termasuk dari bagian mesin listrik yang dapat mengubah tegangan/ daya tertentu dari yang lebih kecil menjadi lebih besar " Step Up" atau dari yang lebih besar menjadi lebih kecil " Step Down " dengan cara yang sangat sederhana. Transformator terdiri dari dua buah set coil/ kumparan yang terpisah, yang disebut sebagai kumparan primer dan sekunder, dengan bekerja berdasrkan induksi elektromagnetik.

Tinjauan Teori Pada Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Untuk memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik kerangkaian listrik lain melalui suatu gangengn magnet dan berdasarkan prinsip induksi electromagnet dan berdasarkan prinsip induksi electromagnet digunakan cara atau alat yang disebut transformator. Dalam bidang listrik pemakaian trafo digolongkan menjadi : Trafo Daya, Trafo Distribusi, Trafo Arus dan Trafo Tegangan. Kerja trafo berdasarkan induksi elektromagnetik yaitu adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan rangkaian sekunder, gandengan magnet tersebut berupa inti besi tempat melakuakan fluk bersama. Berdasarkan kumparan dihubung seri atau parallel untuk membentuk suatu gulungan, yang kumparan-kumparannya dapat ditumpuk (steced) pada teras dengan diselang-seling oleh kumparan-kumparan dari gulungan lainnya, banyaknya lilitan dalam sebuah gulungan dapat berkisar antara beberapa ratus sampai beberapa ribu.

Dalam analisis diumpamaka bahwa fluk di dalam teras berubah-ubah menurut bentuk sinusoida dan trafonya ideal, yang berarti permeabilitas (U) dari teras adalah takterhingga dan tahanan gulungan sama dengan 0 sehingga menggandeng kedua gulungan. Tegangan (e) yang berimbas pada masing-masing gulungan pada fluk yang berubah-ubah dengn tegangan tegangan terminal (V) dari gulungan karena tahanan gulungan adalah nol. Energi listrik yang

diberikan oleh sumber listrik digunakan oleh inti magnet beserta belitannya, untuk menghasilkan medan magnet dan tersimpan dalamnya.

a) Analisis Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut: $S = \sqrt{3}$ **. V. I** 1

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

$$I_{FL} = \frac{s}{\sqrt{3}.v} \quad \text{.....2}$$

b) Losses (rugi-rugi) Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi). Losses pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$P_N = I_N^2 . R_N$ 3

Sedangkan losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$P_G = I_G^2 . R_G$ 4

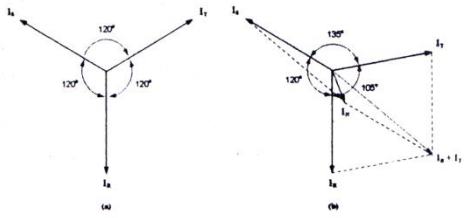
c) Ketidakseimbangan Beban

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 vektorsama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektortidak 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. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, Is, It) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (IN). Sedangkan pada Gambar 1(b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_s, It) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (IN) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

d) 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 . [V] . [I] . cos φ **5.** 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 tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$\begin{aligned} [I_R] &= a\ [I] \\ [I_S] &= b\ [I] \\ [I_T] &= c\ [I] \end{aligned} \quad \text{.....6}$$

dengan I_R , Is dan IT 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) . [V] . [I] . cos φ, ...(7)

Apabila persamaan (7) dan persamaan (5) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

a+ b + c = 3.....(8)

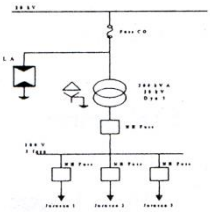
dimana pada keadaan seimbang, nilai a = b = c = 1

ANALISIS KASUS

contoh analisis Trafo Distribusi dengan :

Daya : 200 kVA ; Tegangan Kerja : 21/20,5/20/19,5/19 kV // 400 V

Arus : 6,8 - 359 A ; Hubungan : Dyn5 ; Impedansi : 4% ; Trafo : 1 x 3 phasa

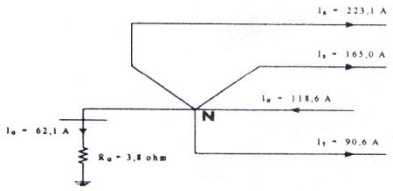


Gambar 3. Single Line Trafo Distribusi 200 kVA

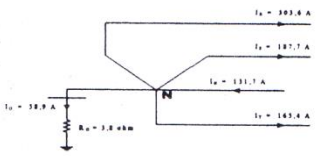
Tabel 1. Hasil Pengukuran Trafo Distribusi 200 kVA

Fasa	S (kVA)	Vp-n (V)	I (A)	Cos φ
Pengukuran pada siang hari				
R	50,42	226	223,1	0,95
S	37,34	226	165,0	0,94
T	20,56	227	90,6	0,95
I_N	118,6 A			
I_G	62,1 A			
R_G	3,8 Ω			
Pengukuran pada malam hari				
R	68,22	225	303,6	0,91
S	42,42	226	187,7	0,92
T	37,38	226	165,4	0,94
I_N	131,7 A			
I_G	58,9 A			
R_G	3,8 Ω			

Ukuran kawat untuk penghantar netral trafo adalah 50 mm dengan R = 0,6842 Q / km, sedangkan untuk kawat penghantar fasanya adalah 70 mm^2 dengan R = 0, 5049 Q / km.



Gambar 4. Skema Aliran Arus di Sisi Sekunder Trafo pada siang Hari



Gambar 5. Skema Aliran Arus di Sisi sekunder Trafo pada Malam Hari.

1. Analisa Pembebanan Trafo

S = 200 kVA ; V = 0,4 kV phasa – phasa

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{200000}{\sqrt{3} \times 400} = 288{,}68 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{rata siang}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{223{,}1 + 165{,}0 + 90{,}6}{3} = 159{,}67 \text{ Amper}$$

$$I_{\text{rata malam}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{303{,}6 + 187{,}7 + 165{,}4}{3} = 218{,}90 \text{ Ampere}$$

Persentase pembebanan trafo adalah :

* Pada siang hari :

$$\frac{I_{ratasiang}}{I_{FL}} = \frac{159.67}{288.68} = \mathbf{55.31\ \%}$$

* Pada malam hari :

$$\frac{I_{ratamalam}}{I_{FL}} = \frac{218.90}{288.68} = \mathbf{75.83\ \%}$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa pada saat malam hari (WBP = Waktu Beban Puncak) persentase pembebanan cukup tinggi yaitu 75.83 %.

2. Analisa Ketidakseimbangan Beban pada Trafo

- Pada Siang Hari :

Dengan menggunakan persamaan (6), koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (1) sama dengan besarnya arus rata-rata (Irata).

$$I_R = a \,.\, I \quad \text{maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{223{,}1}{159{,}67} = 1{,}40$$

$$I_S = b \,.\, I \quad \text{maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{165{,}0}{159{,}67} = 1{,}03$$

$$I_T = c \,.\, I \quad \text{maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{90{,}6}{159{,}67} = 0{,}57$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1.Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$= \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \text{x } 100\ \%$$

$$= \frac{\{|1{,}40-1| + |1{,}03-1| + |0{,}57-1|\}}{3} \text{ x } 100\ \% = 28{,}67\%$$

- Pada Malam Hari :

Dengan menggunakan persamaan (6), koefisien a, b, dan c dapat diketahui

besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya

$I_R = a \cdot I$ maka : $a = \frac{I_R}{I} = \frac{303,6}{218,9} = 1,39$

$I_S = b \cdot I$ maka : $b = \frac{I_S}{I} = \frac{187,7}{218,9} = 0,86$

$I_T = c \cdot I$ maka : $c = \frac{I_T}{I} = \frac{165,4}{218,9} = 0,75$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian, rata- rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$\frac{\{|\ 1,39-1\ |\ +1\ 0,86-\ 1\ |\ +1\ 0,75\ -\ 1\ |\}}{3} = x\ 100\ \% = 26.00\%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa baik pada siang hari maupun malam hari, ketidakseimbangan beban cukup tinggi (> 25%), hal ini disebabkan karena penggunaan beban yang tidak merata di antara konsumen.

3. Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Trafo dan Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

Pada Siang Hari: Dari tabel pengukuran, dan dengan menggunakan persamaan (3), losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besar-nya, yaitu: $Pn = I_N^2 . R_n = (118,6)^2 . 0,6842 = 9623,92$ Watt ~ 9,62 kW dimana daya aktif trafo P = S . cos φ , dimana cos φ yang digunakan adalah 0,85; P = 200 . 0,85 = 170 kW. Sehingga, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah : $\% P_N = \frac{P_N}{P} x100\% = \frac{9,6kW}{170kW} x100\% = 5.66\%$ *Losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (4), yaitu : $P_G = I_G^2 . R_G = (62,1)^2 .3,8 = 14654,4$ Watt ≈ 14,65 k W Dengan demikian persentase losses-nya adalah :

$$\%P_G = \frac{P_G}{P} x100\% = \frac{14,65kW}{170kW} x100\% = 8.62\%$$

Pada Malam Hari . Dari tabel pengukuran, dan dengan menggunakan persamaan (3), losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu: $P_N = (131,7)^2 . 0,6842 = 11867.37$ Watt ≈ 11,87 kW. Sehingga, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah :

$\%P_N = \frac{11.87kW}{170kW} x100\% = 6.98\%$ *Losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat

dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (4), yaitu :

P_G= $(58,9)^2$. 3,8 = 13183,00 Watt ≈ 13,18 kW Dengan demikian persentase losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah adalah : $\%P_G = \frac{13{,}18kW}{170kW} x100\% = 7.75\%$

Tabel 2. Losses pada Trafo Distribusi 200 kVA

RN (Q)	**Waktu**	**Ketidakseimbangan Beban (%)**	**IN (A)**	**IG (A)**	**PN (kW)**	**PN (%)**	**PG (kW)l**	**PG (%)**
0,6842	Siang	28,67	118,6	62,1	9,62	5,66	14,65	8,62
(50 mm^2)	Malam	26,00	131,7	58,9	11,87	6,98	13,18	7,75
0,5049	Siang	28,67	118,6	62,1	7.10	4.18	14,65	8,62
(70 mm^2)	Malam	26,00	131,7	58,9	8.76	5.15	13,18	7,75

Pada Tabel 2 terlihat bahwa semakin besar arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo (I_N) maka semakin besar losses pada penghantar netral trafo (P_N). Demikian pula bila semakin besar arus netral yang mengalir ke tanah (I_G), maka semakin besar losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (Pq). Dengan semakin besar arus netral dan losses di trafo maka effisiensi trafo menjadi turun. Bila ukuran kawat penghantar netral dibuat sama dengan kawat penghantar fasanya (70 mm2) maka losses arus netralnya akan turun.

Kesimpulan :

Berdasarkan analisa data di atas, terlihat bahwa pada siang hari ketidakseimbangan beban pada trafo tiang semakin besar karena penggunaan beban listrik tidak merata. Sesuai tabel 2, semakin besar ketidakseimbangan beban pada trafo tiang maka arus netral yang mengalir ke tanah (Ig) dan losses trafo tiang semakin besar. Salah satu cara mengatasi *losses* arus netral adalah dengan membuat sama ukuran kawat netral dan fasa. Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah.

Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo yang i menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi) akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Setelah dianalisa, diperoleh ketidakseimbangan beban yang besar (28,67%), maka arus netranya juga besar (118,6A), dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula (8.62%).

DAFTAR PUSTAKA

[1] Abdul Kadir, Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik, Jakarta : UI- Press, 2000.

[2] Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000), Jakarta : Badan Standarisasi Nasional, 2000.

[3] James J.Burke, Power Distribution Engineering - Fundamentals And Applications, New York : Marcel Dekker Inc., 1994.

[4] Sudaryatno Sudirham, Dr., Pengaruh Ketidakseimbangan Arus Terhadap Susut Daya pada Saluran, Bandung : ITB, Tim Pelaksana Kerjasama PLN-ITB, 1991.

[5] Sulasno, Ir., Teknik Tenaga Listrik, Semarang : Satya Wacana, 1991.

[6] Zuhal, Dasar Tenaga Listrik, Bandung : ITB, 1991.

[7] Abdul Kadir, Transformator, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo, 1989.