

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT PLN (PERSERO) AREA SORONG

Markus Dwiyanto Tobi Sogen, ST., MT

Politeknik Katolik Saint Paul Sorong
Email : dwiyanto@poltekstpaul.ac.id

ABSTRAK

PT PLN (Persero) Area Sorong adalah perusahaan yang bertugas melistriki wilayah kota sorong dan sekitarnya. 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 timbullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (susut), yaitu susut akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Maka dari itu dibuatlah sebuah analisa dengan menggunakan metode perbandingan dengan cara mengukur beban pada saat sebelum dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban dan dibandingkan dengan pada saat sesudah dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban. Penyeimbangan beban ini dilakukan dengan cara memindahkan sebagian beban di fasa yang berbeban tinggi ke fasa yang berbeban lebih rendah sehingga dihasilkan beban fasa yang seimbang. Hasil analisa menunjukkan bahwa pada saat sesudah dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban, nilai arus netral di penghantar netral trafo dan arus netral yang mengalir ke ground lebih kecil sehingga susut yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan pada saat sebelum dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban.

Kata kunci : Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral, Susut

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik pada saat ini merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia. Seiring perkembangan teknologi yang menggunakan tenaga listrik maka secara tidak langsung manusia menjadi bergantung terhadap tenaga listrik.

Gardu distribusi merupakan sarana penyaluran tenaga listrik dari PLN ke pelanggan. Dengan tegangan primer 20 KV lalu diubah oleh trafo menjadi tegangan sekunder 400 V (antar fasa) atau 220 V (fasa – netral).

Fenomena arus netral sekunder pada trafo distribusi sering sekali terjadi di PT PLN (Persero) Area Sorong. Arus netral itu timbul dikarenakan terjadinya ketidakseimbangan beban yang dapat menimbulkan losses (rugi – rugi), oleh sebab itu dibuatlah analisis pengaruh

ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada salah satu transformator distribusi di PT PLN (Persero) Area Sorong.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini penulis merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menghitung ketidakseimbangan beban terhadap arus netral ?
2. Bagaimana cara menghitung losses pada transformator distribusi di PT PLN (Persero) Area Sorong?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini penulis membatasi batasan masalah hanya menganalisa :

1. Menghitung ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan

2. Menghitung *losses* pada transformator distribusi di PT PLN (Persero) Area Sorong

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung *losses* yang ditimbulkan karena ketidakseimbangan beban pada salah satu trafo distribusi PT PLN (Persero) Area Sorong.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. 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.

2.2 Prinsip Kerja Transformator

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,

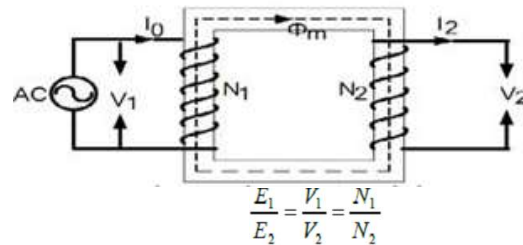
akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

2.3 Karakteristik Transformator

Berdasarkan karakteristiknya transformator bisa dibedakan menjadi dua yaitu : (1) Keadaan transformator tanpa beban dan (2) Keadaan transformator berbeban. Dimana dalam karakteristik ini harus dapat ditentukan salah satu di dalam pemilihan karakteristik transformator tersebut apakah dalam keadaan tanpa beban atau dalam keadaan berbeban.

2.3.1 Keadaan Transformator Tanpa Beban

Keadaan transformator tanpa beban seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Keadaan Transformator Tanpa Beban

Bila kumparan primer transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoid maka akan mengalir arus primer I_0 yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 dan fluks (Φ) sefasa dengan I_0 .

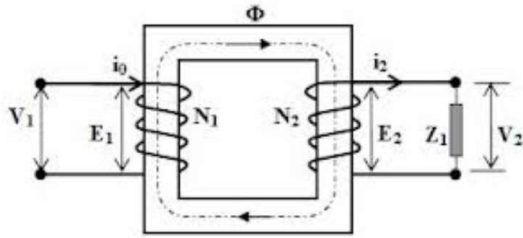
Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor: Arus primer I_0 yang mengalir dalam kenyataannya bukan merupakan arus induktif murni, tapi terdiri atas komponen :

- Komponen arus pemagnetan (I_m)
- Komponen arus rugi tembaga (I_c)

Fluks yang sinusoid ini akan menghasilkan tegangan induksi E_1 (hukum Faraday). Dalam hal ini tegangan induksi E_1 mempunyai kebesaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber V_1 .

2.3.2 Keadaan Transformator Berbeban

Keadaan transformator berbeban seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Keadaan Transformator Berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_1 , I_2 mengalir pada kumparan sekunder, di mana $I_2 = V_2 / Z_1$ dengan $\theta_2 = m$ factor kerja beban.

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (GMM) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_m . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir I_2 , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I_2$$

Bila rugi besi diabaikan (I_c diabaikan) maka $I_0 = I_m$

$$I_1 = I_m + I_2$$

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar gmm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_m saja, berlaku hubungan:

$$N_1 I_m = N_1 I_1 - N_1 I_2$$

$$N_1 I_m = N_1 (I_m + I_2) - N_2 I_2$$

Sehingga :

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

$I_0 = I_m$ dianggap kecil

Jadi,

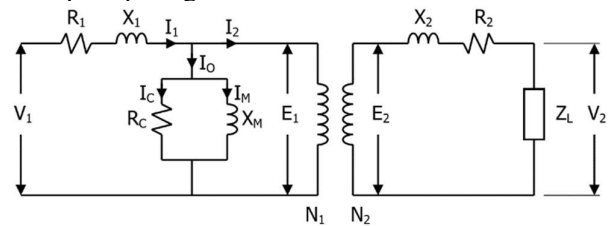
$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{ atau } I_1 / I_2 = N_2 / N_1$$

2.4 Rangkaian Ekuivalen

Dalam pembahasan sebelumnya kita mengabaikan adanya tahanan dan fluks

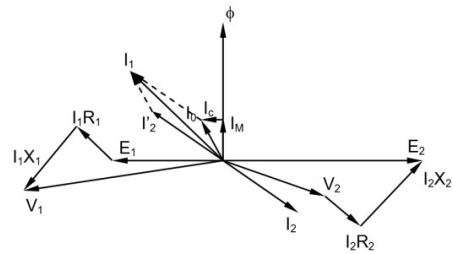
bocor. Analisis selanjutnya akan memperhitungkan kedua hal tersebut. Tidak seluruh fluks (Φ) yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_m merupakan fluks bersama (Φ_m), sebagian darinya hanya mencakup kumparan primer (Φ_1) atau kumparan sekunder saja (Φ_2).

Dalam model rangkaian (rangkaiannya ekuivalen) yang dipakai untuk menganalisis kerja suatu transformator, adanya fluks bocor Φ_1 dan Φ_2 ditunjukkan sebagai reaktansi X_1 dan X_2 . Sedang rugi tahanan ditunjukkan dengan R_1 dan R_2 . Dengan demikian model rangkaian dapat dituliskan seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.3 Rangkaian Ekuivalen 1

Dari rangkaian di atas dapat dibuat vektor diagramnya sebagai terlukis pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Diagram Vektor 1

Dari model rangkaian di atas dapat pula diketahui hubungan penjumlahan vektor :

$$V_1 = E_1 + I_1 X_1$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \text{ atau } E_1 = a \cdot E_2$$

Hingga :

$$E_1 = a(I_2 Z_L + I_2 R_2 + I_2 X_2)$$

Karena,

$$I_2' / I_2 = N_2 / N_1 = 1/a \text{ atau } I_2 = a \cdot I_2'$$

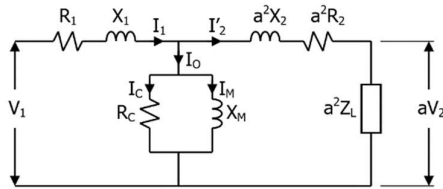
Maka,

$$E_1 = a^2 I_2' Z_L + a^2 I_2' X_2$$

Dan

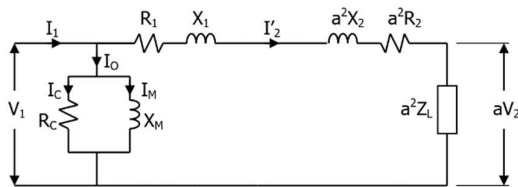
$$V_1 = a^2 I_2' Z_L + a^2 I_2' R_2 + a^2 I_2' X_2 + I_1 R_1 + I_1 X_1$$

Persamaan terakhir mengandung pengertian bahwa apabila parameter rangkaian sekunder dinyatakan dalam harga rangkaian primer, harganya perlu dikalikan dengan faktor a. Sekarang model rangkaian menjadi seperti terlihat pada gambar berikut :



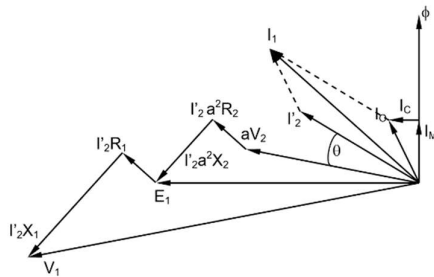
Gambar 2.5 Rangkaian Ekivalen 2

Untuk memudahkan analisis (perhitungan), model rangkaian tersebut dapat diubah menjadi seperti dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.6 Rangkaian Ekivalen 3

Vektor diagram rangkaian di atas untuk beban dengan faktor kerja terkebelakang dapat dilukiskan pada gambar berikut :



Gambar 2.7 Diagram Vektor 2

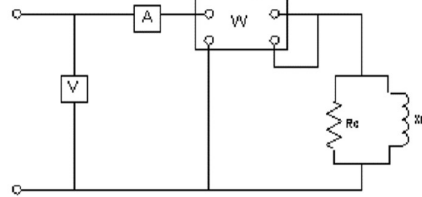
2.5 Parameter Transformator

Parameter transformator yang terdapat pada model rangkaian (rangkaiannya ekivalen) R_c , X_M , R_{ek} , dan X_{ek} , dapat ditentukan besarnya dengan dua macam pengukuran (test) yaitu :

1. Pengukuran beban nol
2. Pengukuran hubung singkat

2.5.1 Pengukuran Beban Nol

Dalam keadaan tanpa beban bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 , maka hanya I_0 yang mengalir. Rangkaian pengukuran untuk keadaan tanpa beban adalah seperti gambar berikut :



Gambar 2.8 Rangkaian Pengukuran Beban Nol

Dari pengukuran didapatkan data :

- daya yang masuk (P_1) → ditunjukkan oleh wattmeter
- arus I_0 → ditunjukkan oleh amperemeter
- tegangan V_1 → ditunjukkan oleh voltmeter

Dari ketiga data tersebut dapat ditentukan :

$$R_c = \frac{V_1^2}{P_1}$$

$$Z_o = \frac{V_1}{I_o}$$

Sedangkan :

$$Z_o = R_c // jX_m = \frac{jX_m R_c}{R_c + jX_m}$$

Sehingga dapat dinyatakan :

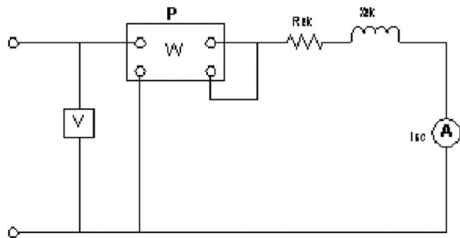
$$\frac{V_1}{I_o} = \frac{jX_m R_c}{R_c + jX_m}$$

Dengan menggantikan R_c setara dengan persamaan diatas maka besarnya X_m dapat ditentukan.

2.5.2 Pengukuran Hubung Singkat

Hubungan singkat berarti kombinasi beban Z_L diperkecil menjadi nol, sehingga hanya impedansi $Z_{ek} = R_{ek} + jX_{ek}$ yang membatasi arus. Karena harga R_{ek} dan X_{ek} ini relatif kecil, harus dijaga agar tegangan yang masuk (V_{hs}) cukup kecil sehingga arus yang dihasilkan tidak melebihi arus nominal. Harga I_0 akan relatif kecil bila dibandingkan dengan arus nominal,

sehingga pada pengukuran ini dapat diabaikan. Rangkaian pengukuran untuk keadaan hubung singkat adalah seperti gambar berikut :



Gambar 2.9 Rangkaian Pengukuran Hubung Singkat

Dari pengukuran didapatkan data :

- daya yang masuk (P_{hs}) → ditunjukkan oleh wattmeter
- arus I_{hs} → ditunjukkan oleh ampermeter
- tegangan V_{hs} → ditunjukkan oleh voltmeter

Dengan mengukur tegangan V_{hs} , arus I_{hs} , dan daya P_{hs} , akan dapat dihitung parameter :

Tahanan ekivalen :

$$R_{ek} = \frac{P_{hs}}{(I_{hs})^2}$$

Impedansi ekivalen :

$$Z_{ek} = \frac{V_{hs}}{I_{hs}} = R_{ek} + jX_{eq}$$

Reaktansi ekivalen :

$$X_{ek} = \sqrt{(Z_{ek})^2 - (R_{ek})^2}$$

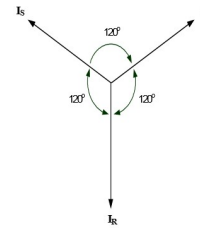
2.6 Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

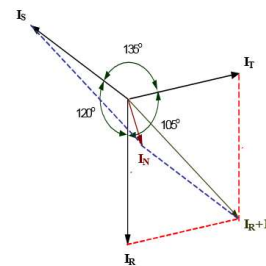
- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana 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 2.10 Vektor Diagram Arus 1(a)



Gambar 2.11 Vektor Diagram Arus 1(b)

Pada 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.

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

dimana :

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi primer trafo (kV)

I : arus jala-jala (A)

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

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

dimana :

I_{FL} : arus beban penuh (A)

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi sekunder trafo (kV)

2.7 Susut Pada Sistem Distribusi

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* (susut). *Losses* pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

dimana :

P_N : *losses* penghantar netral trafo (watt)

I_N : arus pada netral trafo (A)

R_N : tahanan penghantar netral trafo (Ω)

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

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G$$

dimana :

P_G : *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G : arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G : tahanan pembumian netral trafo (Ω)

2.8 Daya Pada Sistem Distribusi

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 :

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi$$

Dimana :

P : daya pada ujung kirim

V : tegangan pada ujung kirim

$\cos \phi$: 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 tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a , b dan c sebagai berikut :

$$[I_R] = a [I]$$

$$[I_S] = b [I]$$

$$[I_T] = c [I]$$

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 :

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

Apabila persamaan $P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi$ dan persamaan $P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi$ menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a , b , dan c yaitu :

$$a + b + c = 3$$

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

3. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengukuran trafo di gardu distribusi milik PT PLN (Persero) Area Sorong. Dalam data tersebut berisi data beban trafo fasa R, S, T, N, ground sebelum dan sesudah dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban. Data pengukuran beban listrik ini diperoleh dari PT PLN (Persero) Area Sorong yang berada di kabupaten Sorong Aimas. Data ini didapat ketika penulis melakukan pekerjaan penyeimbangan beban trafo distribusi di PT PLN (Persero) Area Sorong.

3.2 Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Tang Ampere
- b) Table Pengukuran
- c) Alat – alat K2 dan K3
- d) Laptop ROG G551VW - F1157T

3.3 Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, tahapan-tahapan yang dilakukan disusun secara sistematis. Secara garis besar diagram alir penelitian dapat digambarkan sebagai berikut :

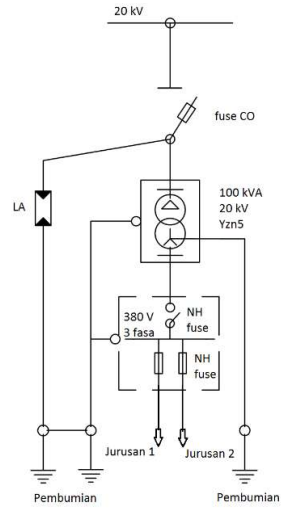


Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.4 Data Teknis Trafo

Spesifikasi trafo tiang adalah sebagai berikut :

- Nama gardu : KUA
- Lokasi : Kabupaten Sorong
- Merk trafo : B & D
- Daya : 100 kVA
- Tegangan kerja : 21/20,5/20/19,5/19 kV // 400 V
- Hubungan : Yzn5
- Trafo : 1 x 3 fasa



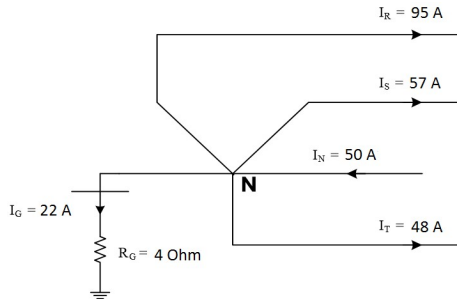
Gambar 3.2 Single Line Trafo Distribusi 100 kVA Dua Jurusan

Jurusan	PENGUKURAN SEBELUM PEKERJAAN PENYEIMBANGAN BEBAN											
	Pengukuran pukul 18:45					Tanggal 11 Agustus 2016						
	Pengukuran Beban (Ampere)					Tegangan fasa - N (Volt)			Tegangan fasa - fasa (Volt)			Tahanan (ohm)
	R	S	T	N	Ground	R-S	R-T	S-T	R-N	S-N	T-N	R _g
1	95	57	48	50	22	398	401	401	230	230	231	4
Jurusan	PENGUKURAN SESUDAH PEKERJAAN PENYEIMBANGAN BEBAN											
	Pengukuran pukul 18:45					Tanggal 12 Agustus 2016						
	Pengukuran Beban (Ampere)					Tegangan fasa - N (Volt)			Tegangan fasa - fasa (Volt)			Tahanan (ohm)
	R	S	T	N	Ground	R-S	R-T	S-T	R-N	S-N	T-N	R _g
1	70	58	65	35	15	399	399	400	229	229	230	4

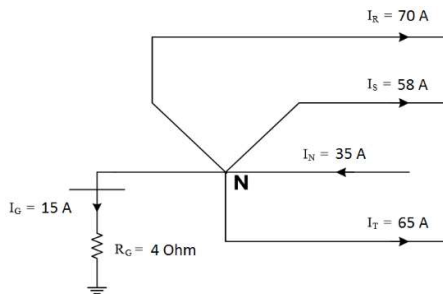
Gambar 3.3 Tabel Hasil Pengukuran Beban Sebelum dan Sesudah Penyeimbangan Beban

Ukuran kawat untuk penghantar netral trafo adalah 50 mm² dengan R = 0,6842 Ω / km, sedangkan untuk kawat penghantar fasanya adalah 70 mm² dengan R = 0,5049 Ω / km.

Dari tabel di atas dapat dibuat skema aliran arusnya seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.4 Skema Aliran Arus di Sisi Sekunder Trafo Sebelum Penyeimbangan Beban



Gambar 3.5 Skema Aliran Arus di Sisi Sekunder Trafo Sesudah Penyeimbangan Beban

4. ANALISA HASIL PENGUKURAN

4.1 Analisa Pembebanan Trafo

Diketahui :
 S = 100 kVA
 V = 0,4 kV_{f-f}

Maka,

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{20000}{\sqrt{3} \times 400} = 288,86 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{rata sebelum PB}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{95 + 57 + 48}{3} = 66,67 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{rata sesudah PB}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{70 + 58 + 65}{3} = 64,33 \text{ Ampere}$$

Jadi presentase pembebanan trafonya adalah :

1. Pada saat sebelum pekerjaan penyeimbangan beban :

$$\frac{I_{\text{rata sebelum PB}}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{66,67}{288,86} \times 100\% = 23\%$$

2. Pada saat sesudah pekerjaan penyeimbangan beban :

$$\frac{I_{\text{rata sesudah PB}}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{64,33}{288,86} \times 100\% = 22\%$$

4.2 Analisa Ketidakseimbangan Beban Trafo

- Pada saat sebelum pekerjaan penyeimbangan beban :

$$I_r = a \cdot I \quad \text{maka : } a = \frac{I_r}{I} = \frac{95}{66,67} = 1,42 \text{ Ampere}$$

$$I_s = a \cdot I \quad \text{maka : } a = \frac{I_s}{I} = \frac{57}{66,67} = 0,85 \text{ Ampere}$$

$$I_t = a \cdot I \quad \text{maka : } a = \frac{I_t}{I} = \frac{48}{66,67} = 0,72 \text{ Ampere}$$

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

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

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

$$= \frac{\{|1,42-1|+|0,85-1|+|0,72-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{0,42+0,15+0,28}{3} \times 100\% = 28,33\%$$

- Pada saat sesudah pekerjaan penyeimbangan beban :

$$I_r = a \cdot I \quad \text{maka : } a = \frac{I_r}{I} = \frac{70}{64,33} = 1,09 \text{ Ampere}$$

$$I_s = a \cdot I \quad \text{maka : } a = \frac{I_s}{I} = \frac{58}{64,33} = 0,90 \text{ Ampere}$$

$$I_t = a \cdot I \quad \text{maka : } a = \frac{I_t}{I} = \frac{65}{64,33} = 1,01 \text{ Ampere}$$

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

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

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

$$= \frac{\{|1,09-1|+|0,90-1|+|1,01-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{0,09+0,10+0,01}{3} \times 100\% = 6,67\%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa setelah dilakukan penyeimbangan beban, persentasenya turun dari 28,33% sampai dengan 6,67% yaitu sebesar 21,66%.

4.3 Analisa Susut Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Trafo

- Pada saat sebelum penyeimbangan beban

Dari tabel pengukuran, *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

$$= (50)^2 \cdot 0,6842$$

$$= 1710,5 \text{ Watt} \approx 1,71 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif trafo (P) :

$P = S \cdot \cos \phi$, dimana $\cos \phi$ yang digunakan adalah 0,85

$$P = 100 \cdot 0,85 = 85 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\%P_n = \frac{P_n}{P} \times 100\% = \frac{1,71}{85} \times 100\% = 2,01\%$$

- Pada saat sesudah penyeimbangan beban

Dari tabel pengukuran, *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

$$= (35)^2 \cdot 0,6842$$

$$= 838,1 \text{ Watt} \approx 0,84 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif trafo (P) :

$P = S \cdot \cos \phi$, dimana $\cos \phi$ yang digunakan adalah 0,85

$$P = 100 \cdot 0,85 = 85 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\%P_n = \frac{P_n}{P} \times 100\% = \frac{0,84}{85} \times 100\% = 0,99\%$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa setelah dilakukan penyeimbangan beban, nilai susut akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo berkurang, yaitu :

$$\%P_N = \%P_{N \text{ sebelum PB}} - \%P_{N \text{ sesudah PB}}$$

$$= 2,01 - 0,99$$

$$= 1,02\%$$

4.4 Analisa Susut Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

- Pada saat sebelum penyeimbangan beban

Dari tabel pengukuran, *Losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G$$

$$= (22)^2 \cdot 4$$

$$= 1936 \text{ Watt} \approx 1,94 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif trafo (P) :

$P = S \cdot \cos \phi$, dimana $\cos \phi$ yang digunakan adalah 0,85

$$P = 100 \cdot 0,85 = 85 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase *losses* akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah adalah:

$$\%P_g = \frac{P_g}{P} \times 100\% = \frac{1,94}{85} \times 100\% = 2,28\%$$

- Pada saat sesudah penyeimbangan beban

Dari tabel pengukuran, *Losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G$$

$$= (15)^2 \cdot 4$$

$$= 900 \text{ Watt} \approx 0,9 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif trafo (P) :

$P = S \cdot \cos \phi$, dimana $\cos \phi$ yang digunakan adalah 0,85

$P = 100 \cdot 0,85 = 85 \text{ kW}$
 Sehingga, persentase *losses* akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah adalah:

$$\%P_g = \frac{P_g}{P} \times 100\% = \frac{0,9}{85} \times 100\% = 1,06\%$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa setelah dilakukan penyeimbangan beban, nilai susut akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah berkurang, yaitu :

$$\begin{aligned} \%P_G &= \%P_G \text{ sebelum PB} - \%P_G \text{ sesudah PB} \\ &= 2,28 - 1,06 \\ &= 1,22\% \end{aligned}$$

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Ketidakseimbangan beban pada saat sebelum dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban ialah sebesar 28,33% dan pada saat sesudah dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban ialah sebesar 6,67%.
2. Nilai susut akibat arus netral di penghantar netral trafo pada saat sebelum dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban ialah sebesar 1,71 kW dengan presentase 2,01% dan pada saat sesudah dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban ialah sebesar 0,84 kW dengan presentase 0,99%.
3. Nilai susut akibat arus netral di penghantar netral trafo pada saat sebelum dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban ialah sebesar 1,94 kW dengan presentase 2,28% dan pada saat sesudah dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban ialah sebesar 0,9 kW dengan presentase 1,06%.

5.2 Saran

Adapun saran – saran yang dapat penulis sampaikan sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban dengan cara

memindahkan sebagian beban di fasa yang berbeban tinggi ke fasa yang berbeban rendah.

2. Perlu dilakukan penggantian kawat di penghantar netral dengan ukuran yang sama dengan kawat di penghantar fasa agar susut arus netral berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

Kadir ,A., *Transformator*, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo. 1989

Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (*PUIL 2000*), Jakarta : Badan Standarisasi Nasional, 2000

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

Zuhal, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung : ITB, 1991