
**PENGARUH BEBAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP EFISIENSI
TRANSFORMATOR DAYA 2 X 500 KVA DI TERMINAL KARGO
BANDARA JUANDA SURABAYA**

Hartono, Slamet H., Rifdian I.S., Tekat S., Siti J.

Politeknik Penerbangan Surabaya

Email : hartono.asempapan@gmail.com

ABSTRAK

Persoalan beban tidak seimbang merupakan hal yang sulit dihindari dalam jaringan distribusi tegangan rendah meskipun jaringan instalasi tiga phase diusahakan dengan pembagian beban yang seimbang.. Beban tidak seimbang tetap terjadi karena hidup dan matinya peralatan listrik yang bergantian sesuai dengan kebutuhan dan hal yang merugikan karena pada beban tidak seimbang mengalir arus netral yang menimbulkan kerugian daya. Pada penelitian ini penulis meneliti dua buah trafo distribusi masing-masing 500 kVA yang memasok jaringan distribusi dan instalasi tegangan rendah pada gedung terminal kargo Bandara Juanda Surabaya. Ketentuan pada IEEE 446-1995 beban tidak seimbang yang diperkenankan adalah kurang dari 20 %, dan setelah dilakukan pengukuran, perhitungan dan analisa pada trafo nomor 01 Terminal kargo dengan pembebanan 27,73% - 28 % terdapat ketidakseimbangan beban masih dibawah 20 % dengan efisiensi 91,06 % - 96,5 %, tapi pada trafo nomor 02 dengan pembebanan 10,585 - 12,14 % terjadi ketidakseimbangan beban sebesar 20 % - 25,66 % dengan efisiensi 85,09% - 94,57 %

Kata Kunci : *Beban Tidak Seimbang, Arus Netral, Kerugian Daya, Efisiensi*

ABSTRACT

The problem of unbalanced load is something that is difficult to avoid in low voltage distribution networks even though the three-phase installation network is attempted with a balanced load distribution.... Unbalanced loads still occur because of the life and death of electrical appliances that alternate according to needs and things that are detrimental because in unbalanced loads flow neutral currents that cause power losses. In this study the authors examined two distribution transformers of 500 kVA each that supply the distribution network and low voltage installations in the cargo terminal building of Juanda Airport Surabaya. Ketentuan on IEEE 446-1995 unbalanced load allowed is less than 20%, and after measurements, calculations and analysis on transformer number 01 cargo terminal with loading 27.73% - 28% there is no load development is still below 20% with efficiency 91,06% - 96.5%, but on transformer number 02 with loading 10.585% - 12.14% there is an unbalanced load of 20% - 25.66% with efficiency 85.09% - 94.57%..

Keywords: Unbalanced Load, Neutral Current, Power Loss, Efficiency

PENDAHULUAN

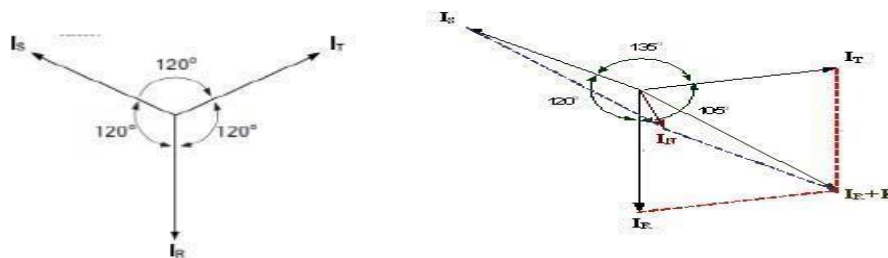
Beban phase seimbang merupakan beban dimana arus yang mengalir pada beban-beban simetris dan beban tersebut dihubungkan pada tegangan simetris sehingga untuk menganalisa beban-beban seperti ini biasanya diasumsikan disuplai oleh tegangan simetris. Dengan demikian analisa dapat dilakukan secara per phase saja, jadi dalam hal ini beban selalu diasumsikan seimbang pada setiap phase, sedangkan yang sebenarnya beban tersebut tidak seimbang;

Ketidakseimbangan beban pada transformator 3 phase dapat menyebabkan timbulnya arus netral yang dapat menyebabkan terjadinya susut daya. Susut daya pada transformator selain membuat kerugian pada penyediaan energi listrik, juga menyebabkan kurangnya nilai efisiensi dalam penyaluran tenaga listrik. Sedangkan untuk menangani ketidak seimbangan beban pada transformator perlu dilakukan penyeimbangan beban pada setiap phase transformator.

Beban dalam keadaan seimbang adalah suatu keadaan Dimana :

- Ketiga vektor arus dan 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. Gambar 1 berikut ini menunjukkan vektor diagram arus



Gambar 1. a) Vektor diagram arus keadaan seimbang

b) Vektor diagram arus keadaan tidak seimbang

Akibat dari ketidakseimbangan beban tiap-tiap phase pada sisi sekunder trafo

(phase R, phase S, phase T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral ini menyebabkan losses (rugi-rugi), demikian juga arus yang mengalir ke tanah melalu ground resistor melalui titik bintang transformator distribusi.

Analisa ketidak seimbangan beban pada trafo dengan menggunakan persamaan koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus phase dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata (I rata-rata)

$$I_R = a.I \text{ maka } a = I_R/I$$

$$I_S = b.I \text{ maka } b = I_S/I$$

$$I_T = c.I \text{ maka } c = I_T/I$$

Pada saat kondisi seimbang, jumlah koefisien a, b dan c adalah 1. sehingga rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

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

Dari persamaan losses karena adanya arus pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya sebagai berikut :

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

Dimana daya aktif trafo (P)

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

Sehingga presentasi losses karena adanya arus pada penghantar netral trafo adalah

$$\% P_N = P_N/P \times 100 \%$$

Losses akibat adanya arus netral yang ke tanah dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan :

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

Dengan demikian presentase lossesnya adalah

$$\% P_G = P_G/P \times 100 \%$$

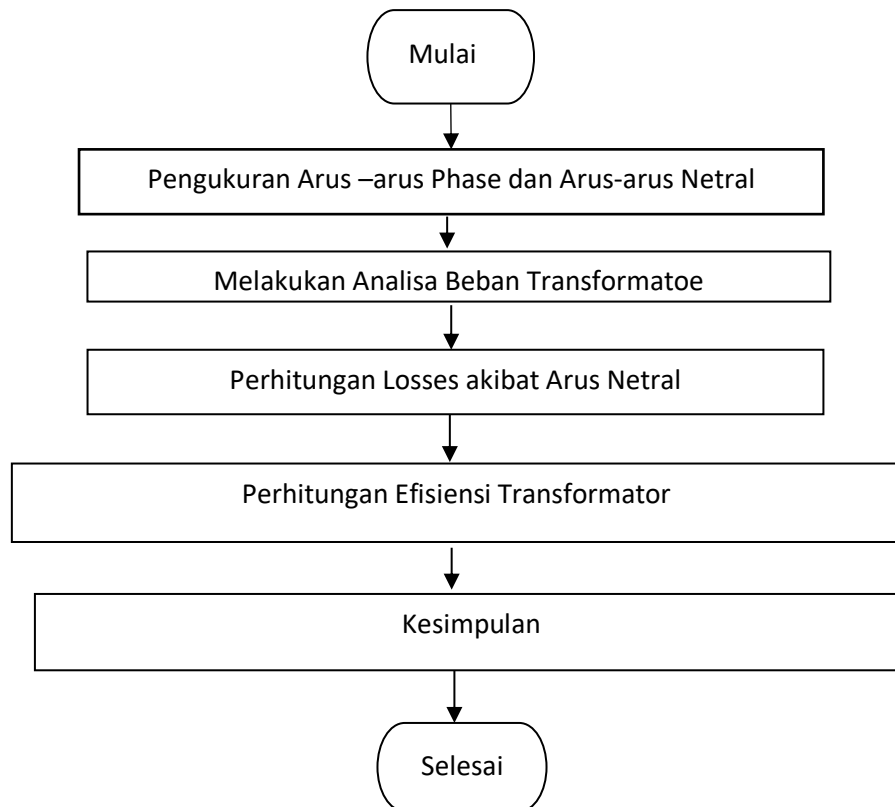
Arus Netral dalam sistem distribusi tenaga listrik dikena ebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah 3phase empat kawat. Arus netral ini muncul jika kondisi beban tidak seimbang.

Arus yang mengalir pada kawat netral yang merupakan arus bolak balik untuk sistem distribusi tiga phase empat kawat adalah penjumlahan vektor dari ketiga arus phase dalam komponen simetris.

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan pengukuran arus phase dan arus netral pada dua buah trafo @ 500 kVA di Terminal Kargo Bandar Juanda Surabaya, kemudiab menganalisa beban tidak seimbang transformator tersebut, melakukan perhitungan losses akibat arus netral, dan akhirnya dianalisa dan didapatkan efisiensi transformator.

Pengukuran dilakukan pada siang hari dan malam hari pada pertengahan Nopember 2023. Berikut diagram alir penelitian (Gambar 2)



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

PEMBAHASAN

Pengukuran arus phase dan arus netral dilakukan pada kedua trafo 500 kVA di terminal Kargo Bandara Juanda Surabaya dan didapat data-data pengukuran sebagai berikut :



Gambar 3.

Unit-trafo 2 X 500

kVA di Terminal Kargo

Data arus pahas pada trafo kargo t 01 tanggal 23 Nopember 2023 Siang hari

$I_R = 224.5$ ampere, $I_S = 184,4$ Ampere; $I_T = 197, 8$ Ampere, $I_N = 59,86$ Ampere

Data arus phase pada Trafo Kargo T 01 tanggal 23 Nopember 2023 pada malam hari

$I_R = 210,8$ Ampere; $I_S = 194,2$ Ampere; $I_T = 196,4$ Ampre; $I_N = 34, 70$ Ampere

Data arus phase pada Trafo Kargo T 02 tanggal 23 Nopember 2023 Siang hari

$I_R = 97.62$ ampere; $I_S = 46.74$ Ampere; $I_T = 85,09$ ampere $I_N = 54.15$ ampere

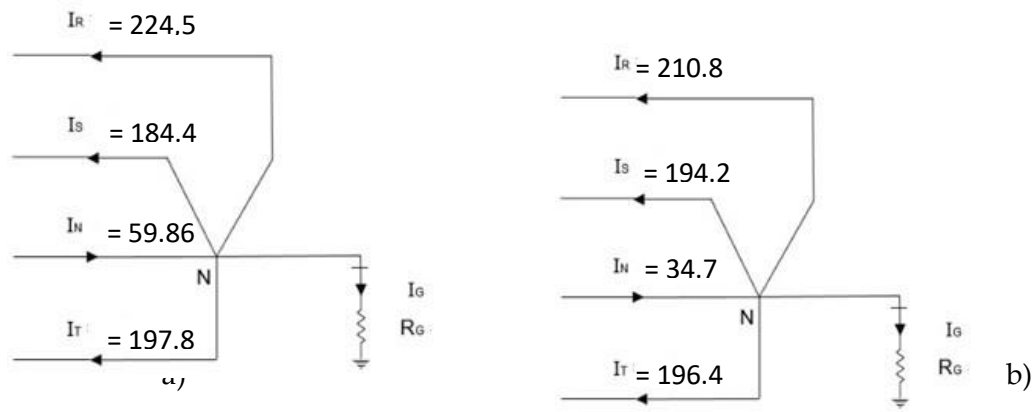
Data arus phase pada Trafo Kargo T02 tanggal 23 Nopember 2023 pada malam hari

$I_R = 105.6$ Ampere; $I_S = 61.10$ Ampere dan $I_T = 96.6$ Ampere $I_N = 44.97$ Ampere

Analisa dan Hasil Trafo No.1

Tabel 1. Hasil Pengukuran arus phase dan arus netral trafo nomor 01 T. Kargo

Waktu	I_R (A)	I_S (A)	I_T (A)	I_N (A)	I_G (A)	R_G (Ω)	Vph (V)
Siang	224.5	184.4	197.8	59.86	28.8	4.8	230
Malam	210.8	194.2	196.4	54.15	26.5	4.8	230



Gambar 4. a. Skema arus
01 pada siang hari

b. Skema arus Trafo 01 pada malam hari

b)
Trafo

Analisa Beban Puncak Trafo No. 01

Dalam menganalisa beban penting untuk mengetahui arus beban penuh

$$I_{\text{beban penuh}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{500.000}{\sqrt{3} \cdot 400} = \frac{500.000}{692} = 722.5 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{rata-rata siang}} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{224.5+184.4+197.8}{3} = 202,2 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{rata-rata malam}} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{210.8+194.2+196.4}{3} = 200.4 \text{ Ampere}$$

$$\% \text{ Pembebanan trafo siang} = \frac{I_{\text{rata-rata siang}}}{I_{\text{Full Load}}} = \frac{202,3}{722,5} \times 100 \% = 28 \%$$

$$\% \text{ Pembebanan malam hari} = \frac{I_{\text{rata-rata malam}}}{I_{\text{Full Load}}} = \frac{200,4}{722,5} \times 100 \% = 27.73\%$$

Arus Beban penuh 722.5 B

eban puncak terjadi pada siang hari pada Trafo 1 yaitu sebesar 28 %

Analisa Beban Tidak Seimbang Trafo No. 1

Pada siang hari

$$a = \frac{IR}{I \text{ rata-rata}} = \frac{224.5}{202.2} = 1.11$$

$$b = \frac{IS}{I \text{ rata-rata}} = \frac{184.4}{202.3} = 0.911$$

$$c = \frac{IT}{I \text{ rata-rata}} = \frac{197.8}{202.3} = 0,977$$

$$c = \frac{IT}{I \text{ rata-rata}} = \frac{196.4}{200.4} = 0.98$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban = $(a+b+c) / 3 = (1.11 + 0.911 + 0.977) / 3 = 0.99$

Jadi persentasi ketidakseimbangan beban Trafo No. 1 pada siang hari

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

$$= \frac{\{1.11-1\} + \{0.911-1\} + \{0.977-1\}}{3} \times 100\% = 7.4\% \text{ (masih dalam batas dibawah 20 \%)}$$

Pada malam hari di Trafo No. 1

$$a = \frac{IR}{I \text{ rata-rata}} = \frac{210.8}{200.4} = 1.05; \quad b = \frac{IS}{I \text{ rata-rata}} = \frac{194.2}{200.4} = 0.96$$

Rata-rata Ketidakseimbangan $(a+b+c) / 3 = (1.05+0.96+0.98)/3 = 0.99$

Jadi Prosentasi Ketidakseimbangan beban Trafo no. 1 pada malam hari

$$UL = \frac{\{(a-1)+(b-1)+(c-1)\}}{3} = \frac{\{(1.05-1)+(0.96-1)+(0.98-1)\}}{3} \times 100\% = 3.66\% \text{ (masih < 20\%)}$$

Analisa Rugi-rugi daya pada Trafo no. 1.

Ukuran kawat konduktor netral pada Trafo no. 1 adalah 70 mm² dengan R = 0.5049 Ω/km. Pada siang hari : Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral Trafo $P_N = I_N^2 \cdot R_N = (59.86)^2 \cdot 0.5049 = 1.809 \text{ Watt} = 1,8 \text{ kW}$ dimana daya aktif pada Transformer : $P = \text{kVA} \cdot \cos \phi = 500 \cdot 1 = 500 \text{ kW}$ ($\cos \phi = 1$ karena Capacitor Bank).

Jadi persentasi losses karena kawat netral pada konduktor netral Trafo

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 \% = \frac{1.8}{500} \times 100 \% = 0.36 \%$$

Losses karena arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G = (28.8)^2 \cdot 4.8 = 3.981 \text{ Watt} = 3.98 \text{ kW}$$

$$\% P_G = \frac{P_G}{P} \times 100 \% = \frac{3.98}{500} \times 100 \% = 0.796 \%$$

Pada malam hari, Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo

$P_N = I_N^2 \cdot R_N = (54.15)^2 \cdot 0.5049 = 1480.479 \text{ Watt} = 1.48 \text{ kW}$, dimana daya aktif pada Transformer; : $P = 500 \times \cos \phi = 500 \times 1 = 500 \text{ kW}$ ($\cos \phi = 1$ karena Capacitor Bank).

Jadi persentasi losses karena kawat netral pada konduktor kawat netral trafo

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 \% = \frac{1.48}{500} \times 100 \% = 0.296 \%$$

Losses karena Arus Netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G = (26.5)^2 \cdot 4.8 = 3.370.8 \text{ Watt} = 3.37 \text{ kW}$$

$$\% P_G = \frac{P_G}{P} \times 100 \% = \frac{3.37}{500} \times 100 \% = 0.674 \%$$

Analisa Efisiensi Trafo No. 1 pada siang hari

Untuk mendapatkan nilai efisiensi digunakan persamaan: $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$

Pada siang hari $P_{out} = (a+b+c) \times V_{ph} \times I_{rata-rata} \times \cos \phi$

$$= (1.11+0.911+0.977) \times 230 \times 202.2 \times 1 = 139,424.9 \text{ Watt} = 139,4 \text{ kW}$$

Jadi Efisiensi pada siang hari adalah

$$H = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{P_{out}}{P_{out}+losses} \times 100 \% = \frac{139.4}{139.4+1.8+3.98} \times 100 \% = 96.01\%$$

Pada malam hari, $P_{out} = (a+b+c) \times V_{ph} \times I_{rata-rata} \times \cos \phi$

$$P_{out} = (1.05+0.96+0.98) \times 230 \times 200.4 \times 1 = 137,815 \text{ Watt} = 137.8 \text{ kW}$$

Jadi Efisiensi pada malam hari adalah $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{P_{out}}{P_{out}+losses} \times 100 \%$

$$H = \frac{137.8}{137.8+1.48+3.37} \times 100 \% = 96.6 \%$$

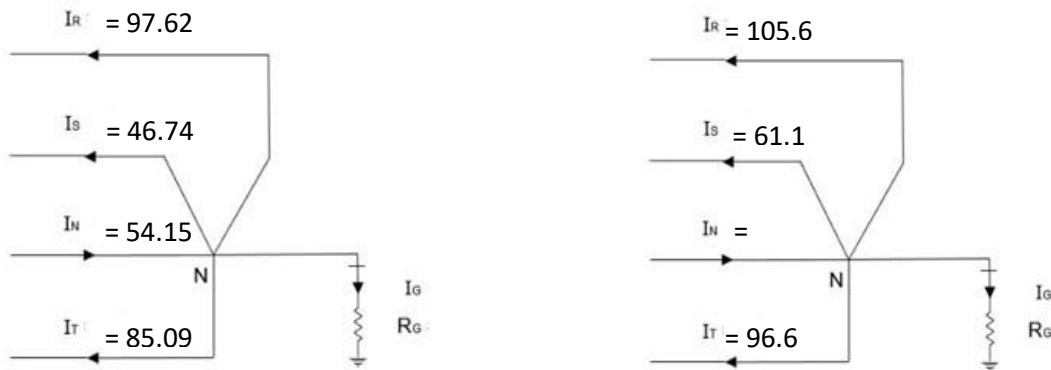
Tabel 2. Beban Tak seimbang, Rugi Daya dan Efisiensi pada Trafo No.1

Waktu	Beban (%)	UL (%)	P _N (%)	P _G (%)	Efisiensi (%)
Siang	28	7.4	0.36	0.796	96.01
Malam	27.73	3.66	0.296	0.674	96.6

A.nalisa dan Hasil Trafo No. 2

Tabel 3. Hasil Pengukuran Arus Phase dan Arus Netral Trafo No. 2 Terminal Kargo

Waktu	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	I _N (A)	I _G (A)	R _G (Ω)	V _{ph} (V)
Siang	97.62	46.74	85.09	54.15	26.9	4.8	230
Malam	105.6	61.1	96.06	4.974	22.5	4.8	230



Gambar 5. a. Skema arus Trafo 02 pada siang hari
b. Skema arus Trafo 02 pada malam hari

Analisa Beban Puncak Trafo No/ 02

Dalam menganalisa beban penting untuk mengetahui arus beban penuh

$$I_{\text{beban penuh}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{500.000}{\sqrt{3} \cdot 400} = \frac{500.000}{692} = 722.5 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{rata-rata siang}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{97.62 + 46.74 + 85.09}{3} = 76.48 \text{ Ampere}$$

$$I_{\text{rata-rata malam}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{105.6 + 61.1 + 96.6}{3} = 87.76 \text{ Ampere}$$

$$\% \text{ Pembebanan trafo siang} = \frac{I_{\text{rata-rata siang}}}{I_{\text{beban penuh}}} \times 100 \% = \frac{76.48}{722.5} \times 100 \% = 10.58 \%$$

$$\% \text{ Pembebanan malam hari} = \frac{I_{\text{rata-rata malam}}}{I_{\text{beban penuh}}} \times 100 \% = \frac{87.76}{722.5} \times 100 \% = 12.14 \%$$

Beban puncak ada malam hari pada Trafo 2 yaitu sebesar 12.14

Analisa Beban Tidak Seimbang Trafo N0. 2.

Pada siang hari di Trafo No.2

$$a = \frac{IR}{I_{rata-rata}} = \frac{97.62}{76.48} = 1.27; \quad b = \frac{IS}{I_{rata-rata}} = \frac{46.74}{76.48} = 0.61; \quad c = \frac{IT}{I_{rata-rata}} = \frac{85.09}{76.48} = 1.11$$

$$\text{Rata-rata ketidakseimbangan: } (a + b + c) / 3 = (1.27 + 0.61 + 1.11) / 3 = 0.99$$

Jadi persentasi ketidakseimbangan beban Trafo no. 2 pada siang hari

$$UL = \frac{\{(a-1)+(b-1)+(c-1)\}}{3} \times 100 \% = \frac{\{(1.27-1)+(0.61-1)+(1.11-1)\}}{3} \times 100 \% = 25.66 \% (>20\%)$$

Pada malam hari di Trafo no.2

$$a = \frac{IR}{I_{rata-rata \text{ malam}}} = \frac{105.6}{87.76} = 1.2; \quad b = \frac{IS}{I_{rata-rata \text{ malam}}} = \frac{61.1}{87.76} = 0.69$$

$$c = \frac{IT}{I_{rata-rata \text{ malam}}} = \frac{96.06}{87.76} = 1.09$$

$$\text{Rata-rata ketidakseimbangan} = (a + b + c) / 3 = (1.2 + 0.69 + 1.09) / 3 = 0.99$$

Jadi persentase ketidak seimbangan beban Trafo no 2 pada malam hari

$$UL = \frac{\{(a-1)+(b-1)+(c-1)\}}{3} \times 100 \% = \frac{\{(1.2-1)+(0.69-1)+(1.09-1)\}}{3} \times 100 \% = 20 \%$$

Analisa Rugi-rugi Daya pada Trafo no. 2

Ukuran kawat konduktor netral pada trafo adalah 70 mm² dengan R = 0,5049 Ω/km

Pada siang hari,

losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N = (54.5)^2 \times 0.5049 = 2.970 \text{ Watt} = 2.97 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif pada Trafo: $P = kVA \times \cos \varphi = 500 \times 1 = 500 \text{ kW}$ ($\cos \varphi = 1$ karena ada Capacitor Bank).

Jadi Persentasi losses karena kawat netral pada konduktor netral Trafo:

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 \% = \frac{2.97}{500} \times 100 \% = 0.594 \%$$

Losses karena arus netral yang ke tanah dapat dihitung:

$$P_G = I_G^2 \times R_G = (26.9)^2 \times 4.8 = 3,473 \text{ Watt} = 3.47 \text{ kW}$$

$$\% P_G = \frac{P_G}{P} \times 100 \% = \frac{3.47}{500} \times 100 \% = 0.694 \%$$

Pada malam hari,

Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (44.97)^2 \times 0.5049 = 1,021 \text{ Watt} = 1,02 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif pada Transformer: $P = 500.1 = 500 \text{ kW}$ (terpasang Capacitor Bank)

Jadi persentasi losses karena kawat netral pada konduktioe netral Trafo

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 \% = \frac{1.02}{500} \times 100 \% = 0.204 \%$$

Losses karena arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung:

$$P_G = I_G^2 \times R_G = (22.5)^2 \times 4.8 = 2,430 \text{ Watt} = 2.43 \text{ kW}$$

$$\% P_N = \frac{P_G}{P} \times 100 \% = \frac{2.43}{500} \times 100 \% = 0.486 \%$$

Analisa Efisiensi Trafo no. 2 pada siang hari:

Untuk mendapatkan efisiensi digunakan persamaan : $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$

Pada siang hari : $P_{out} = (a + b + c) \times V_{ph} \times I_{rata-rata} \times \cos \varphi = (1.27 + 0.61 + 1.11) \times 230 \times 76.48 \times 1 = 52,595 \text{ Watt} = 52.59 \text{ kW}$

Jadi Efisiensi pada siang hari adalah : $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} \times 100 \% = \frac{52.59}{52.59 + 2.97 + 3.47} \times 100 \% = 89.09\%$

Pada malam hari: $P_{out} = (a + b + c) \times V_{ph} \times I_{rata-rata} \times \cos \varphi = (1.2 + 0.69 + 1.09) \times 230 \times 87.76 \times 1 = 60,150 \text{ Watt} = 60.15 \text{ kW}$

Jadi efisiensi pada malam hari adalah $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses} \times 100 \% = \frac{60.15}{60.15 + 1.02 + 2.43} \times 100 \% = 94.57 \%$.

Tabel 4. Beban Tidak Seimbang, Rugi Daya dan Efisiensi pada Trafo no. 2 Terminal Kargo

Waktu	Beban (%)	UL (%)	P_N (%)	P_G (%)	η (%)
Siang	10.58	25.66	0.594	0.694	89.09
Malam	12.14	20	0.204	0.486	94.57

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang dilakukan, penulis menyimpulkan beberapa hal penting terkait kondisi beban pada trafo yang diukur. Pada Trafo No. 1 (500 kVA), ketidakseimbangan beban masih berada di bawah 20%, yaitu sebesar 7,4% pada siang hari dan 3,66% pada malam hari. Beban trafo pada siang hari tercatat sebesar 28% dan pada malam hari sebesar 27,73%. Kerugian distribusi akibat arus netral tercatat sebesar 1,8 kW ditambah 3,98 kW pada siang hari, serta 1,8 kW ditambah 3,37 kW pada malam hari. Efisiensi trafo ini tercatat sebesar 91,06% pada siang hari dan 96,6% pada malam hari. Sementara itu, pada Trafo No. 2 (500 kVA), ketidakseimbangan beban telah melebihi 20% (melampaui batas toleransi yang ditetapkan oleh IEEE 446 – 1995), dengan ketidakseimbangan sebesar 25,66% pada siang hari dan 20% pada malam hari.

Kondisi ini menunjukkan perlunya dilakukan pembagian beban yang lebih merata, mungkin melalui reinstalasi. Beban trafo pada siang hari tercatat sebesar 10,58% dan pada malam hari sebesar 12,14%. Kerugian distribusi akibat arus netral pada trafo ini tercatat sebesar 2,97 kW ditambah 3,47 kW pada siang hari, serta 1,02 kW ditambah 2,43 kW pada malam hari. Efisiensi trafo ini tercatat sebesar 85,09% pada siang hari dan 94,57% pada malam hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kadir. (1989). Transformator. Jakarta: P.T. Elex Media Komputindo.
- Abdul Kadir. (2000). Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik. Jakarta: UI Press.
- B.L. Theraja, & A.K. Theraja. (1995). A Text Book of Electrical Technology (Vol. II, AC & DC Machines). Nirja Construction & Development Co. (P) Ltd.
- Burke, J. J. (1994). Power Distribution Engineering - Fundamentals and Applications. New York: Marcel-Dekker Inc.
- Hamles, L. L. (2018). Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20KV di PT. PLN Cabang Ambon. *Jurnal Simetrik*, 8(2), 126–132.
- IEEE. (1995). Recommended Practice for Emergency and Standby Power System for Industrial and Commercial Applications. IEEE.
- Mharakurwa, E. T., Nyakoe, G. N., & Akumu, A. O. (2018). Thermal Modelling of Power Transformer with Unbalanced Loading. Pan African University Institute for Basic Science and Technology (PAUSTI), IEEE Press. <https://doi.org/10.1109/PowerAfrica.2018.8521168>
- Muhammad, S. (2020). Analisis Perkiraan Umur Transformator Distribusi Berdasarkan Susut Umur Pada Penyulang F5-Bukit Intan Kota Pangkalpinang. Skripsi. Universitas Bangka Belitung.
- Parlindungan, G. (2017). Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20KV Akibat Pembebanan Lebih di PT. PLN (Persero) Kota Pontianak. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2.
- Saputro, A. E. Y., & Agus, S. (2018). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Palur Karanganyar. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sardono, S., Semin, & Hanif, M. (2017). Analysis of Unbalanced Load of Three Phase Transformer Feedback 61-103 Performance of The Various Connection Winding. *Proceeding of The International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, IEEE Press. <https://doi.org/10.1109/ICAMIMIA.2017.838575>
- SL Upal. (1985). Electric Power. Khanna Publisher.
- Stevensen Jr., W. D., & Idris, K. (1994). Analisa Sistem Tenaga Listrik. Jakarta: Erlangga.
- Sudaryanto, S. (1991). Pengaruh Ketidakseimbangan Arus terhadap Susut Daya pada Saluran. ITB, Tim Pelaksana Kerjasama of PLN - ITB.
- Sulasno. (2009). Electrical Energy Conversion Engineering and Regulatory System. Semarang: Graha Ilmu.
- Wijaya, M. (2001). Dasar-dasar Mesin Listrik. Jakarta: Djambatan.
- Zuhal. (1991). Dasar Tenaga Listrik. Bandung: ITB.