

Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap *Losses* dan Pembebanan Transformator Distribusi

Mahmud Patilima
 Program Studi Teknik Elektro
 Universitas Ichsan Gorontalo
 Gorontalo, Indonesia
e-mail: mahmud.patilima@yahoo.com

ABSTRAK

Wilayah kerja PT. PLN (Persero) Wilayah Suluttenggo Cabang Gorontalo dapat di katakan memiliki area suplay listrik yang cukup luas. Pada umumnya rumah tangga, industry, perkantoran, maupun perusahaan menggunakan alat listrik yang bersifat induktif seperti alat-alat elektronik, motor listri lampu TL, trafo serta peralatan tertentu yang bersifat induktif. Salah satu permasalahan yang timbul dalam pemakaian tadi adalah pemakaian daya reaktif , induktif untuk suatu kebutuhan daya semu menjadi lebih kecil, sehingga timbul adanya ketidak seimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik dan terjadi arus netral pada trafo distribusi, sehingga menghasilkan rugi-rugi daya pada trafo. Sebagai salah satu contoh gardu distribusi jalan Isimu Raya dalam skripsi ini penulis mengambil perbandingan rugi-rugi daya akibat ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi tersebut. Di dalam perhitungan penulis mengetahui jelas berapa kVA trafo distribusi yang digunakan pada umumnya, sehingga bisa akurat data dalam perhitungan nanti. Pada umumnya transformator distribusi yang digunakan adalah 100 kVA 3 fasa, arus 2,9 – 144,5, dengan impendansi 4 %. Dalam perhitungannya terdapat beberapa persentase pembebanan pada trasformator distribusi yang terjadi pada siang hari dan malam hari yang dilihat dari bentuk pemakaian daya listrik. Dalam pembebanan transformator terlihat bahwa pada siang hari persentase pembebanan menurun, sedangkan pada malam hari (beban puncak) persentase pembebanan cukup tinggi. Sehingga bisa dilihat waktu beban puncak pada gardu distribusi GLI 58 jalan Isimu Raya. Secara keseluruhan disimpulkan bahwa pada malam hari ketidakseimbangan beban pada trafo tiang semakin besar karena penggunaan beban listrik tidak merata.

Kata kunci : Trafo, Fasa, Rugi – Rugi, Tidak Seimbang

Astract

PT. PLN (Persero) Suluttenggo Region Gorontalo Branch can be said to have a fairly large electricity supply area. In general, households, industries, offices, and companies use inductive electrical devices such as electronic devices, electric motors for TL lamps, transformers and certain inductive equipment. One of the problems that arise in the previous use is the use of reactive, inductive power for a smaller apparent power requirement, resulting in an imbalance of loads in an electric power distribution system and neutral currents that occur in distribution transformers, resulting in power losses in the distribution transformer. traffic As an example of the distribution of the Isimu Raya road substation in this thesis the author takes a comparison of power losses due to load imbalance in the distribution of the substation. In the calculations, the author clearly knows how many kVA distribution transformers are used in general, so that the data can be accurately calculated later. In general, the distribution of the transformer used is 100 kVA 3 phase, current 2.9 – 144.5, with 4% impedance. In the calculation, there are several percentages of loading on the distribution of the transformer that occur during the day and night as seen from the form of electricity consumption. In transformer loading, it can be seen that during the day the percentage of loading decreases, while at night (peak load) the percentage of loading is quite high. So that it can be seen the peak load time at the distribution of the GLI 58 substation on Jalan Isimu Raya. Overall, the key is at night so that the load on the pole transformer gets bigger because the use of the electric load is uneven.

Keywords: Transformer, Phase, Loss - Loss, Unbalanced

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan laju pertumbuhan penduduk dan pesatnya pembangunan di berbagai wilayah Indonesia termasuk di Gorontalo maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukung salah satunya adalah tersedianya tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kebutuhan sehari-hari maupun industri.

Hal ini karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk energi lain. Penyediaan listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan listrik.

Jika daya tidak seimbang dan tegangan tidak sesuai dengan yang diharapkan, biasanya terjadi karena daya dan tegangan sebagian hilang dalam perjalanan menuju konsumen, dimana dipengaruhi

oleh antara lain panjangnya saluran distribusi, tidak optimalnya penempatan transformator terhadap beban, diameter penghantar yang tidak sesuai dengan jumlah kapasitas beban sehingga menghasilkan panas pada saluran penghantar yang berakibat hilangnya dayadan tegangan pada jaringan. Pada masing-masing beban dihubungkan ke fasa dengan menghitung nilai beban dan panjangnya saluran. Maka didapat kombinasi keseimbangan beban agar sistem menjadi lebih optimal. Proses ini dapat meminimalkan rugi-rugi tegangan yang diakibatkan beban tidak seimbang. Karena bila transformator yang terpasang jauh dari beban dapat menyebabkan rugi yang mengurangi kualitas tenaga listrik.

Dalam pemenuhan kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian-pembagian beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidakserempakan waktu penyalaan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Selain ketidakserempakan pemakaian beban, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S dan T akibat pertumbuhan beban yang selalu meningkat tiap tahunnya juga merupakan faktor lain yang mempengaruhi. Ketidakseimbangan beban adalah hal yang menimbulkan *losses* secara teknis, yang akan merugikan PLN. Agar tercapai penyuplaian listrik yang stabil dan kontinyuitas kepada konsumen, maka hal tersebut harus dapat diatasi (Julius, dkk, 2006).

Berdasarkan latar belakang diatas peneliti berkeinginan menganalisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap *losses* dan Pembebanan Transformator Distribusi. Sehingga dapat diantisipasi permasalahan-permasalahan kelistrikan yang ada di Kota Gorontalo khususnya dan persoalan kelistrikan yang ada di Isimu.

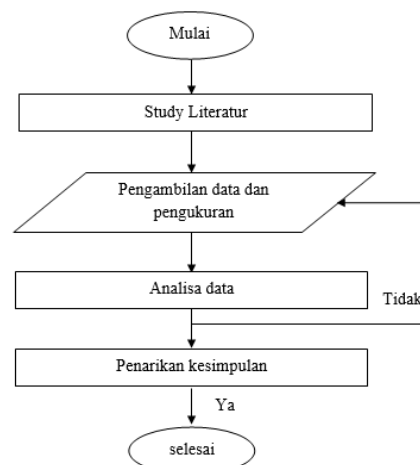
II. METODELOGI PENELITIAN

Objek penelitian ini adalah trafo distribusi yang ada di Isimu Khususnya yang berada di jalan Isimu Raya. Adapun data yang dibutuhkan adalah data teknis trafo distribusi, data pengukuran tegangan, arus, daya trafo, $\cos \varphi$ pada masing-masing fasa. Adapun lokasi penelitian akan dilakukan di PLN Sub Rayon Isimu.

Adapun tahapan-tahapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

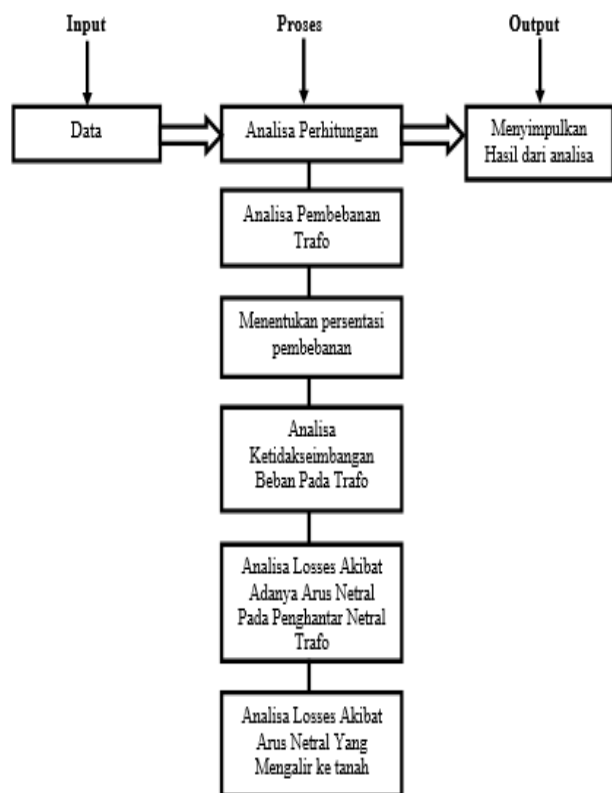
1. Tahapan studi literatur guna menambah wawasan peneliti terkait topik penelitian.
2. Tahapan pengambilan data di lokasi penelitian, guna memperoleh data-data yang dibutuhkan untuk analisa data penelitian.
3. Tahapan analisa data meliputi :
 - 1) Perhitungan pembebanan trafo distribusi
 - 2) Perhitungan persentase pembebanan trafo distribusi
 - 3) Perhitungan ketidakseimbangan beban trafo
 - 4) Analisa rugi-rugi daya pada trafo distribusi.

Alur Penelitian (Flow Chart)



Gambar 1. Diagram alur penelitian

- Studi Literatur
Tahapan ini mempelajari teori-teori dasar yang menunjang, yaitu tentang PLN Sub Rayon Isimu, transformator, pengukuran listrik, dan analisis sistem tenaga listrik.
- Pengambilan Data dan Pengukuran
Pengambilan data dan pengukuran di ambil dari trafo distribusi PLN Sub Rayon Isimu.
- Analisa data
Melakukan analisa data trafo distribusi di PLN Sub Rayon Isimu dengan data hasil pengukuran trafo siang dan trafo malam.
Pada diagram alur penelitian diatas merupakan proses akhir dari penelitian, yang meliputi penjelasan hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan metode dan prosedur yang digunakan, penarikan kesimpulan hingga selesai.



Gambar 2. Diagram Blok Penelitian

1. Input (data)
Data yang di ambil dari hasil pengukuran trafo distribusi PLN Sub Rayon Isimu.
2. Proses (analisa perhitungan)
 - ✓ Analisa pembebanan trafo
Untuk menentukan besarnya Fuse Cut Out, NH Fuse dan besar arus Hubung Singkat (*short circuit*).
 - ✓ Menentukan persentase pembebanan
Untuk menentukan presentase pembebanan trafo distribusi dari hasil pengukuran siang hari dan malam hari.
 - ✓ Analisa ketidakseimbangan beban pada trafo
Melakukan analisa ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi di PLN Sub Rayon Isimu dengan data hasil pengukuran trafo siang dan trafo malam.
 - ✓ Analisa *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo
Melakukan analisa *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dari data

hasil pengukuran trafo pada siang hari dan malam hari yang berada di PLN Sub Rayon Isimu.

- ✓ Analisa *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah
Menganalisa *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah dari data pengukuran trafo distribusi pada siang hari dan malam hari.

3. Output (hasil dari analisa)
Melakukan analisis perhitungan dan memberikan hasil kesimpulan yang di peroleh dari penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Penelitian ini akan dibahas salah satu pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap *losses* dan pembebanan transformator distribusi yang disebabkan oleh arus netral sebagai akibat dari pembebanan yang tidak seimbang di setiap fasa. Dan Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data hasil pengkuran singel line gardu isimu. Data yang di peroleh adalah GLI 58 dengan daya 100 kVA transformator 3 fasa yang berada di jalan Isimu Raya.

Data teknik trafo distribusi 100 kVA di PLN isimu dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Trafo Distribusi 100 kVA di PLN Isimu

Nama Pabrik	B & D
Daya	100 kVA
Fasa	3
Tegangan Primer L-L (kV)	20
Tegangan Sekunder L-L(V)	400
Arus Primer (kA)	2,9
Arus Sekunder (A)	144,5
Vektor Grup	
Impedansi (%)	4%
Kabel Incoming	NYN 150 mm
Kabel Outgoing	NYN 70 mm

Hasil Pengukuran arus dan tegangan pada fasa R, S, T, dan gardu di GLI 58 pada siang dan malam hari dapat digambarkan pada tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran arus dan tegangan pada siang hari

Fasa	S (kVA)	Vp - n (V)	I (A)	Cos q
Pengukuran pada siang hari				
R	21,996	234	94	0,95
S	19,295	227	85	0,94
T	35,708	226	158	0,9
I_N	71 Ampere			
I_G	61 Ampere			
R_G	3,8 ohm/km			

Pada tabel 2 dari pengukuran arus dan tegangan pada siang hari dapat dilihat penjelasan di bawah ini :

- Fasa R = S : daya transformator (kVA) sebesar 21.996, V_{p-n} : tegangan sisi primer trafo (V) sebesar 234, I : arus jala-jala (A) sebesar 94 dan Cos q : faktor daya sebesar 0.95.
- Fasa S = S : daya transformator (kVA) sebesar 19.295, V_{p-n} : tegangan sisi primer trafo (V) sebesar 227, I : arus jala-jala (A) sebesar 85 dan Cos q : faktor daya sebesar 0.94.
- Fasa T = S : daya transformator (kVA) sebesar 35.705, V_{p-n} : tegangan sisi primer trafo (V) sebesar 226, I : arus jala-jala (A) sebesar 158 dan Cos q : faktor daya sebesar 0.9.
- Fasa I_N = arus yang mengalir pada netral trafo (A) sebesar 71
- Fasa I_G = arus netral yang mengalir ke tanah (A) sebesar 61
- Fasa R_G = tahanan pembumian netral trafo (ohm) sebesar 3.8

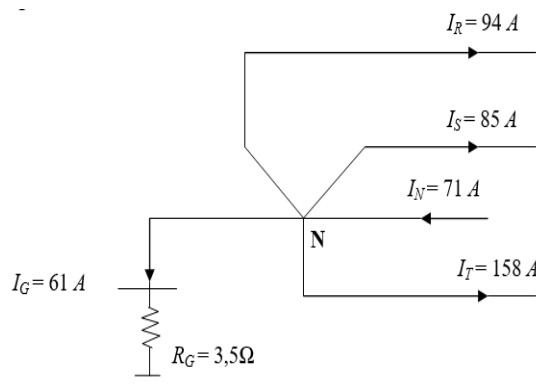
Tabel 3. Pengukuran arus dan tegangan pada malam hari

Fasa	S (kVA)	Vp - n (V)	I (A)	Cos q
Pengukuran pada malam hari				
R	24,1956	234	103,4	0,93
S	22,18925	227	97,75	0,92
T	42,8496	226	189,6	0,89
I_N	78,1 Ampere			
I_G	54,9 Ampere			
R_G	3,8 ohm/km			

Pada tabel 3 dari pengukuran arus dan tegangan pada siang hari dapat dilihat penjelasan sebagai berikut :

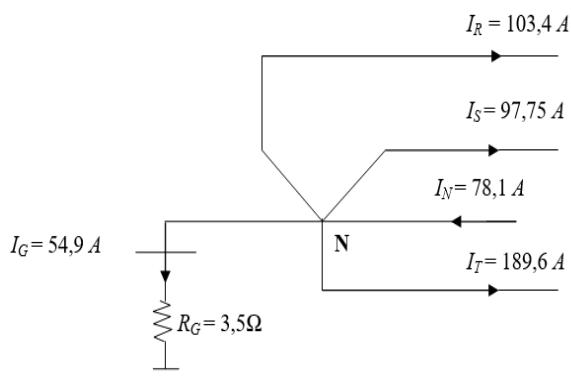
- Fasa R = S : daya transformator (kVA) sebesar 24.1956, V_{p-n} : tegangan sisi primer trafo (V) sebesar 234, I : arus jala-jala (A) sebesar 103.4 dan Cos q : faktor daya sebesar 0.93.
- Fasa S = S : daya transformator (kVA) sebesar 22.18925, V_{p-n} : tegangan sisi primer trafo (V) sebesar 227, I : arus jala-jala (A) sebesar 97.75 dan Cos q : faktor daya sebesar 0.92.
- Fasa T = S : daya transformator (kVA) sebesar 42.8496, V_{p-n} : tegangan sisi primer trafo (V) sebesar 226, I : arus jala-jala (A) sebesar 189.6 dan Cos q : faktor daya sebesar 0.89.
- Fasa I_N = arus yang mengalir pada netral trafo (A) sebesar 78.1
- Fasa I_G = arus netral yang mengalir ke tanah (A) sebesar 54.9
- Fasa R_G = tahanan pembumian netral trafo (ohm) sebesar 3.8

Adapun gambaran dari trafo distribusi di GLI 58 dapat di lihat pada gambar 3.



Gambar 3. Skema Aliran Arus di Sisi Sekunder Trafo pada Siang Hari

Pada gambar 3, kita dapat melihat bagaimana aliran arus mengalir disisi sekunder trafo pada siang hari dari hasil pengukuran trafo distribusi PLN Sub Rayon Isimu untuk fasa R, S, T, I_N , I_G , dan I_R .



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

Pada gambar 4, kita dapat melihat bagaimana aliran arus mengalir disisi sekunder trafo pada malam hari dari hasil pengukuran trafo distribusi PLN Sub Rayon Isimu untuk fasa R, S, T, I_N, I_G, dan I_R.

Analisis Pembebanan Trafo Mementukan fuse cut out, NH fuse dan Arus Hubung Singkat

- Untuk menentukan besarnya Fuse Cut Out maka terlebih dahulu kita menghitung besarnya arus jala-jala dan berdasarkan data pada tabel 1, adalah sebagai berikut:

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

$$100 \text{ kVA} = \sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV} \cdot I$$

$$I = \frac{100 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV}}$$

$$I = 2,886751346 \text{ Ampere}$$

- Untuk menentukan besarnya NH Fuse maka harus dihitung besarnya arus beban penuh (*full load*) dan berdasarkan data pada tabel 1, adalah sebagai berikut:

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

$$I_{FL} = \frac{100 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}}$$

$$I_{FL} = 144,3375673 \text{ Amper}$$

- Besar arus hubung singkat (*short circuit*) dapat dihitung dan berdasarkan data pada tabel 1 adalah sebagai berikut :

$$I_{SC} = \frac{S \cdot 100}{\%Z \cdot \sqrt{3} \cdot V}$$

$$I_{SC} = \frac{100 \text{ kVA} \cdot 100}{4 \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}}$$

$$I_{SC} = 2771,2812292$$

Mementukan persentase pembebanan

1. Pengukuran siang hari

Untuk menentukan rata-rata persentase pembebanannya, terlebih dahulu kita hitung persentase pembebanan per fasa dan berdasarkan data pada tabel 2 adalah :

$$\%b = \frac{I_{ph}}{I_{FL}} 100 \%$$

$$I_R = 94$$

$$I_S = 85$$

$$I_T = 158$$

$$\%bR = \frac{94}{144,3375673} 100\% = 65\%$$

$$\%bS = \frac{85}{144,3375673} 100\% = 59\%$$

$$\%bT = \frac{157}{144,3375673} 100\% = 109\%$$

Jadi rata-rata presentase pembebanan adalah :

$$= \frac{(\%bR + \%bS + \%bT)}{3}$$

$$= 78\%$$

2. Pengukuran malam hari

$$\%b = \frac{I_{ph}}{I_{FL}} 100 \%$$

$$I_R = 103,4$$

$$I_S = 97,75$$

$$I_T = 189,6$$

$$\%bR = \frac{103,4}{144,3375673} 100\% = 72\%$$

$$\%bS = \frac{97,75}{144,3375673} 100\% = 68\%$$

$$\%bT = \frac{189,6}{144,3375673} 100\% = 131\%$$

Jadi rata-rata presentase pembebanan adalah :

$$= \frac{(\%bR + \%bS + \%bT)}{3}$$

$$= 90\%$$

Dari perhitungan diatas terlihat bahwa pada saat siang hari presentase pembebanan yaitu 78%. Sedangkan pada saat malam hari presentase pembebanan cukup tinggi yaitu 90%.

Analisa ketidakseimbangan beban pada trafo

1. Pada siang hari

Berdasarkan data pada tabel 2 kita dapat menentukan arus rata-rata sebagai berikut :

$$I_R = 94$$

$$I_S = 85$$

$$I_T = 158$$

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

$$I_{rata-rata} = \frac{94 + 85 + 158}{3} = 337$$

$$I_{rata-rata} = 112,3333333$$

Besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{Rata-rata}$)

$$I_R = a \cdot I \text{ maka : } a = \frac{94}{112,3333} = 0,836795 = -0,1632$$

$$I_S = b \cdot I \text{ maka : } a = \frac{85}{112,3333} = 0,756677 = -0,24332$$

$$I_T = c \cdot I \text{ maka : } a = \frac{158}{112,3333} = 1,406528 = -0,406528$$

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

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

$$= \frac{\{|0,836795-1| + |0,756677-1| + |1,406528-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= -27\%$$

2. Pada malam hari

Dapat menentukan arus rata-rata sebagai berikut :

$$I_R = 103,4$$

$$I_S = 97,75$$

$$I_T = 189,6$$

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

$$I_{rata-rata} = \frac{103,4 + 97,75 + 189,6}{3} = 390,75$$

$$I_{rata-rata} = 130,25$$

Besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{Rata-rata}$)

$$I_R = a \cdot I \text{ maka : } a = \frac{103,4}{130,25} = 0,793858 = -0,20614$$

$$I_S = b \cdot I \text{ maka : } a = \frac{97,75}{130,25} = 0,75048 = -0,24952$$

$$I_T = c \cdot I \text{ maka : } a = \frac{189,6}{130,25} = 1,455662 = 0,455662$$

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

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

$$= \frac{\{|0,793858-1| + |0,75048-1| + |1,455662-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= -30\%$$

Dari perhitungan diatas terlihat pada siang hari rata-rata ketidakseimbangan beban -27%, sedangkan pada malam hari mencapai -30%, hal ini disebabkan karena penggunaan beban yang tidak merata di antara konsumen.

Analisa losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo

1. Pada siang hari

losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

- $P_N = I_N^2 \cdot R_N$
dimana $R_N = 0,6842 \text{ ohm/km}$
 $P_N = I_N^2 \cdot R_N$
 $= (71)^2 \cdot 0,6842$
 $= 344,0522 \text{ Watt}$
 $P_N = 3,4490522 \text{ kW}$

Dimana daya aktif trafo (P)

$P = S \cdot \text{Cos } \varphi$, dimana $\text{Cos } \varphi$ yang digunakan adalah 0,85

$$P = 100 \cdot 0,85$$

$$P = 85 \text{ kW}$$

Sehingga persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada siang hari

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

$$\% P_N = \frac{3,4490522 \text{ kW}}{85 \text{ kW}} \times 100\% = 4,06\%$$

- $P_N = I_N^2 \cdot R_N$
dimana $R_N = 0,5049 \text{ ohm/km}$

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

$$= (71)^2 \cdot 0,5049$$

$$= 2545,2009 \text{ Watt}$$

$$P_N = 2,5452009 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif trafo (P)

$P = S \cdot \text{Cos } \varphi$, dimana $\text{Cos } \varphi$ yang digunakan adalah 0,85

$$P = 100 \cdot 0,85$$

$$P = 85 \text{ kW}$$

Sehingga persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada siang hari

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

$$\%P_N = \frac{2,5452009 \text{ kW}}{85 \text{ kW}} \times 100\% = 2,99\%$$

2. Pada malam hari

Berdasarkan data pada tabel 2 pengukuran, dan dengan menggunakan persamaan, *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

- $P_N = I_N^2 \cdot R_N$

dimana $R_N = 0,6842 \text{ ohm/km}$

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

$$= (78,1)^2 \cdot 0,6842$$

$$= 4173,353162 \text{ Watt}$$

$$P_N = 4,173353162 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif trafo (P)

$P = S \cdot \text{Cos } \varphi$, dimana $\text{Cos } \varphi$ yang digunakan adalah 0,85

$$P = 100 \cdot 0,85$$

$$P = 85 \text{ kW}$$

Sehingga persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada siang hari.

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

$$\%P_N = \frac{4,173353162 \text{ kW}}{85 \text{ kW}} \times 100\% = 4,91\%$$

- $P_N = I_N^2 \cdot R_N$

dimana $R_N = 0,5049 \text{ ohm/km}$

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

$$= (78,1)^2 \cdot 0,5049$$

$$= 3079,693089 \text{ Watt}$$

$$P_N = 3,079693089 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif trafo (P)

$P = S \cdot \text{Cos } \varphi$, dimana $\text{Cos } \varphi$ yang digunakan adalah 0,85

$$P = 100 \cdot 0,85$$

$$P = 85 \text{ kW}$$

Sehingga persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada siang hari.

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

$$\%P_N = \frac{3,079693089 \text{ kW}}{85 \text{ kW}} \times 100\% = 3,62\%$$

Analisa losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah

1. Pada siang hari

Berdasarkan data pada tabel 2 pengukuran dan dengan menggunakan persamaan, *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

$$P_G = I_G^2 R_G$$

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

$$= (61)^2 \cdot 3,8$$

$$= 14139,8 \text{ Watt}$$

$$= 14,1398 \text{ kW}$$

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

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

$$\%P_G = \frac{14,1398 \text{ kW}}{85 \text{ kW}} \times 100\% = 16,6\%$$

2. Pada malam hari

Berdasarkan data pada tabel 2 pengukuran dan dengan menggunakan persamaan, *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

$$P_G = I_G^2 R_G$$

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

$$= (54,9)^2 \cdot 3,8$$

$$= 11453,238 \text{ Watt}$$

$$= 11,453238 \text{ kW}$$

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

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

$$\%P_G = \frac{11,453238kW}{85kW} \times 100\% = 13,5\%$$

Tabel 4.4. Losses pada Trafo Distribusi 100 kVA

Rn (ohm)	Waktu	Ketidakseimbangan Beban %	I _n (A)	I _g (A)	P _n (kW)	P _n (%)	P _g (kW)	P _g (%)
0.6842 (50 mm ²)	Siang	-27%	71	61	3,449052	4,06%	14,1398	16,6%
	Malam	-30%	78,1	54,9	4,173353	4,91%	11,45324	13,5%
0.5049 (70 mm ²)	Siang	-27%	71	61	2,545201	2,99%	14,1398	16,6%
	Malam	-30%	78,1	54,9	3,079693	3,62%	11,45324	13,5%

1. Untuk ukuran kawat penghantar netral trafo adalah 50 mm² dengan R_n = 0,6842 ohm/km pada waktu siang ketidakseimbangan beban (%) sebesar -27%, I_n arus yang mengalir pada netral trafo (A) sebesar 71, I_g arus netral yang mengalir ke tanah (A) sebesar 61, P_n *losses* pada penghantar netral trafo (kW) sebesar 3.449052, P_n *losses* pada penghantar netral trafo (%) sebesar 4.06%, P_g *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (kW) sebesar 14.1398, P_g *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (%) sebesar 16.6%. Sedangkan pada waktu malam ketidakseimbangan beban (%) sebesar -30%, I_n arus yang mengalir pada netral trafo (A) sebesar 78.1, I_g arus netral yang mengalir ke tanah (A) sebesar 54.9, P_n *losses* pada penghantar netral trafo (kW) sebesar 4.173353, P_n *losses* pada penghantar netral trafo (%) sebesar 4.91%, P_g *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (kW) sebesar 11.45324, P_g *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (%) sebesar 13.5%.
2. Untuk ukuran kawat penghantar netral trafo adalah 50 mm² dengan R_n = 0,6842 ohm/km pada waktu siang ketidakseimbangan beban (%) sebesar -27%, I_n arus yang mengalir pada netral trafo (A) sebesar 71, I_g arus netral yang mengalir ke tanah (A) sebesar 61, P_n *losses* pada penghantar netral trafo (kW) sebesar 2.545201, P_n *losses* pada penghantar netral trafo (%)

sebesar 2.99%, P_g *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (kW) sebesar 14.1398, P_g *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (%) sebesar 16.6%. Sedangkan pada waktu malam ketidakseimbangan beban (%) sebesar -30%, I_n arus yang mengalir pada netral trafo (A) sebesar 78.1, I_g arus netral yang mengalir ke tanah (A) sebesar 54.9, P_n *losses* pada penghantar netral trafo (kW) sebesar 3.079693, P_n *losses* pada penghantar netral trafo (%) sebesar 3.62%, P_g *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (kW) sebesar 11.45324, P_g *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (%) sebesar 13.5%.

Pada Tabel 4 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 (P_G).

Dengan semakin besar arus netral dan *losses* di trafo maka efisiensi trafo menjadi turun. Bila ukuran kawat penghantar netral dibuat sama dengan kawat penghantar fasanya (70 mm²) maka *losses* arus netralnya akan turun.

IV. PENUTUP

Berdasarkan analisa data perhitungan terlihat pada siang hari rata-rata ketidakseimbangan beban -27%, sedangkan pada malam hari mencapai -30%, hal ini disebabkan karena penggunaan beban yang tidak merata di antara konsumen. Besarnya *losses* akibat arus yang mengalir pada penghantar netral trafo berdasarkan perhitungan pada siang hari sebesar 4,06% dan pada Malam hari sebesar 4,91%. Sedangkan besarnya *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah berdasarkan perhitungan pada Siang hari sebesar 16,6% dan pada malam hari sebesar 13,5%. Semakin besar ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi maka arus netral yang mengalir ke tanah (I_G) dan *losses* trafo semakin besar. Salah satu cara mengatasi *losses* arus netral adalah dengan membuat sama ukuran kawat netral dan fasa. Dengan semakin besar arus netral dan *losses* di trafo maka efisiensi trafo menjadi turun. Bila ukuran kawat penghantar netral dibuat sama

dengan kawat penghantar fasanya (70 mm^2) maka losses arus netralnya akan turun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. (2000) Jakarta : UI – Press
- [2] Abdul Kadir, (1989), *Transformator*, Jakarta : PT. Alex Media Komputido,.
- [3] *Persyaratan Umum Instalasi Listrik (2000) (PUIL 2000)*, Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [4] Julius Sentosa, Tabrani Machmudsyah, Yanuar Isnanto, *Jurnal : Teknik Elektro* Vol. 6, No. 1, (2006), *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi*. Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra Surabaya [1].
- [5] Ahmad Deni Mulyadi, *Jurnal : Teknik Konversi Energi* Vol. 5, No. 1, (2011), *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Rugi Daya Saluran Netral Jaringan Distribusi Tegangan Rendah*. Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung [2].
- [6] Yoakim Simamora, Panusur S.M.L Tobing, *Jurnal : Teknik Elektro* Vol. 7, No 3, (2014), *Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih Dan Estimasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah*. Konversi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara (USU) [3].
- [7] Sudaryatno Sudirman., (2002), *Analisis Rangkaian Listrik*, Bandung : ITB
- [8] Sulasno, Ir., (1991), *Teknik Tenaga Listrik*, Semarang : Satya Wacana.
- [9] Zuhail. (1991). *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung : ITB
- [10] Subiyanto, E. (2008). *Reorganisasi dan Mismanajemen PLN*. www.republika.co.id di akses 12 Maret (2013).
- [11] PT. PLN (Persero). (2010). *Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*, Buku 4. PT. PLN (Persero) Jakarta.