

**PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP
ARUS NETRAL DAN *LOSSES* DAYA PADA TRAFU DISTRIBUSI
GARDU KP-01 DESA HATIVE KECIL**

Hamles Leonardo Latupeirissa

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ambon

leo.lidya.6475@gmail.com

ABSTRACT

The load imbalance in an electric power distribution system always occurs and the imbalance is on single phase loads in low voltage network customers. Due to the unbalance of the load, there is a current in the neutral transformer. The current flowing in the neutral of the transformer causes losses, ie losses due to neutral currents in the neutral conductor of transformers and losses due to neutral currents flowing to the ground. The addition of load on KP-01 distribution substation in Hative Kecil village in the period of 2014 until 2015 is significant without considering the distribution of the transformer load, the impact is so felt for the consumer, resulting in the occurrence of voltage and power losses are very large. Data of daytime and nighttime measurements (peak load) conducted on KP-01 distribution substation in Hative Kecil village showed that the voltage (V) and current (I), as well as the calculation of apparent power (S) are not equal to each phase (R, S and T). Based on the result of the analysis, the effect of load imbalance to neutral current and power losses at transformer transformer substation kp-01 of small hative village is obtained (i) losses due to the current in neutral conductor (PN) during the day at 5,52% and at night 7,12%. (ii) losses due to neutral currents flowing to the ground (PG) during the day at 9.36% and at night at 12.71%.

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa di pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses*, yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Penambahan beban pada gardu distribusi KP-01 di desa Hative Kecil dalam kurun waktu tahun 2014 sampai dengan 2015 yang signifikan tanpa memperhitungkan pembagian beban trafo, dampaknya begitu terasa bagi konsumen, sehingga terjadinya kerugian tegangan maupun daya yang sangat besar. Data hasil pengukuran siang hari maupun malam hari (beban puncak) yang dilakukan pada gardu distribusi KP-01 di desa Hative Kecil, terlihat bahwa tegangan (V) dan arus (I), serta hasil perhitungan daya semu (S) tidak sama besar pada setiap fasa (R,S dan T). Berdasarkan hasil analisa, bahwa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* daya pada trafo distribusi gardu kp-01 desa hative kecil diperoleh (i) *losses* (rugi) daya akibat adanya arus pada penghantar netral (P_N) pada siang hari sebesar 5,52 % dan pada malam hari sebesar 7,12 %. (ii) *losses* (rugi) daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah (P_G) pada siang hari sebesar 9,36 % dan pada malam hari sebesar 12,71 %.

Kata kunci: *Ketidakseimbangan Beban; Trafo Distribusi; Losses Daya*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di kota Ambon cenderung meningkat dikarenakan peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan setiap tahunnya meningkat, baik pada sektor publik maupun industri.

Penyediaan energi listrik yang stabil merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan energi listrik.

Dalam memenuhi kebutuhan energi listrik tersebut, maka terjadi pembagian beban-beban yang tidak serempak waktu penyalan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang

berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban pada tiap-tiap fasa (R, S, dan T), sehingga menyebabkan mengalirnya arus di netral trafo.

Dalam kurun waktu tahun 2015 sampai dengan 2016, dimana penambahan beban pada gardu distribusi KP-01 di desa Hative Kecil yang signifikan tanpa memperhitungkan pembagian beban trafo, dampaknya begitu terasa bagi konsumen, sehingga terjadinya kerugian tegangan maupun daya yang sangat besar. Data hasil pengukuran siang hari maupun malam hari (beban puncak) yang dilakukan pada gardu distribusi KP-01 di desa Hative Kecil,

terlihat bahwa besarnya tegangan (V) dan arus (I), serta daya semu (S) tidak sama besar pada setiap fasa (R,S dan T).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus pada penghantar netral, yang mengakibatkan *losses* trafo distribusi dan menentukan pembagian beban setiap fasa dengan benar

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat mempelajari tentang kerugian (*losses*) yang terjadi pada trafo distribusi akibat ketidakseimbangan beban yang menyebabkan adanya arus pada penghantar netral trafo.

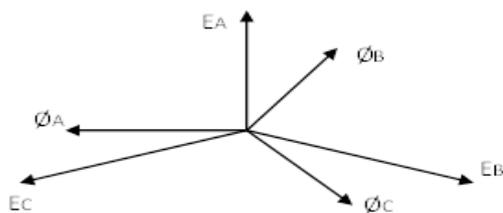
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

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

2.2 Prinsip Kerja Transformator Tiga Fasa

Jika sumber tegangan yang digunakan adalah Va, Vb, Vc dan masing-masing tegangan semetris, maka didalam inti akan diperoleh fluks magnet yang simetris pula dan masing-masing fluks mempunyai beda fasa 2π/3 radian. Berdasarkan hukum Faraday, maka pada lilitan primer dan sekunder masing-masing fasa akan terbentuk ggl induksi. Secara vektor ggl induksi pada transformator 3 fasa dapat dilukiskan seperti gambar berikut :



Sumber : Sumanto, 1991

Gambar 1. Diagram vektor GGL induksi trafo 3 fasa

2.3 Arus Beban Penuh Transformator

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (VA)} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer transformator (kV)

I = Arus jala-jala (A)

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

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

Dimana :

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

2.4 Losses 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) mengalir 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:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

P_N = *Losses* daya pada penghantar netral trafo (watt)

I_N = Arus yang mengalir 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 :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

P_G = *Losses* daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G = Arus yang mengalir ke tanah (A)

R_G = Tahanan pembumian netral trafo (Ω)

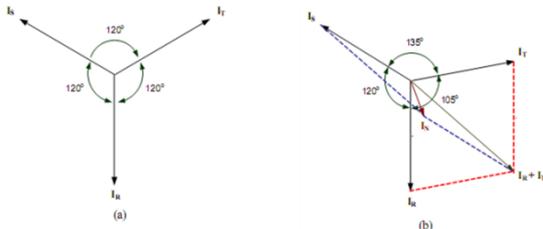
2.5 Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

- Ketiga fasa mempunyai vektor arus/tegangan yang sama besar.
- Ketiga fasa mempunyai vektor saling yang membentuk sudut 120° antara 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 fasa mempunyai vektor sama besar, tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga fasa mempunyai vektor tidak sama besar, tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga fasa mempunyai vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Sumber : Sudaryatno Sudirham, 1991

Gambar 2. Vektor diagram arus

Gambar 2(a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 1(b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R, I_S, I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

2.6 Penyaluran dan Susut Daya

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

$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \text{ (Watt) } \dots\dots\dots (5)$$

dengan:

- P = Daya pada ujung kirim
- V = Tegangan pada ujung kirim
- cos ϕ = Faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari daya ujung kirim, 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 :

$$\begin{aligned} [I_R] &= a [I] \\ [I_S] &= b [I] \dots\dots\dots (6) \\ [I_T] &= c [I] \end{aligned}$$

dengan I_R, I_S dan I_T 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 :

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (7)$$

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 :

$$a + b + c = 3 \dots\dots\dots (8)$$

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

2.7 Daya Listrik

Satuan daya listrik dalam satuan SI dan sistem metrik adalah *watt*. Satu watt didefinisikan sebagai sesuatu yang sama dengan kerja yang dilakukan pada laju satu joule setiap sekon. (Lister E. C., 1988)

Watt juga didefinisikan sebagai energi yang dikeluarkan atau kerja yang dilakukan setiap sekon oleh arus 1 ampere yang tidak berubah yang mengalir pada tegangan 1 volt, atau

$$P = I \cdot V \cdot \cos \phi \text{ Watt } \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

- P = Daya, watt
- I = Arus, ampere
- V = Tegangan, volt

Kenyataannya bahwa watt adalah satuan daya atau satuan laju melakukan kerja tidak dapat terlalu ditekan.

Perlu diingat bahwa arus dalam ampere adalah laju aliran listrik atau sama dengan jumlah coulomb setiap sekon. Oleh sebab itu rumus daya dapat ditulis

$$\text{Daya.dalam..watt} = \frac{\text{Coulomb}}{\text{Sekon}} \times \text{Volt} \dots\dots\dots (10)$$

Dalam perkataan lain, watt adalah ukuran laju muatan listrik bergerak melalui suatu perbedaan potensial.

2.8 Kerugian Daya Pada Saluran

Ketika arus mengalir melalui tahanan, tahanan tersebut menjadi panas atau dikatakan bahwa energi listrik diubah ke dalam energi kalor. Laju perubahan energi listrik menjadi panas disebut daya dan cara yang dipakai untuk menentukan daya ini adalah

$$P = I^2 \cdot R, \text{ dengan perkataan lain, laju pengeluaran energi dalam tahanan adalah sebanding dengan kuadrat arus.}$$

Oleh karena konduktor dari rangkaian transmisi atau distribusi mempunyai tahanan, maka konduktor menjadi panas ketika arus melaluinya. Panas atau kalor tersebut dibuang atau hilang ke udara sekeliling, ini disebut *kerugian pada saluran*.

Kerugian daya ini sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir. Karena alasan inilah, maka lebih efisien menyalurkan daya dengan arus yang sekecil mungkin agar kerugian dayanya sedikit.

Rugi daya berdasarkan resistansi saluran pada saluran transmisi dan distribusi dinyatakan oleh persamaan berikut :

- Untuk tiga fasa $P_l = 3 \cdot I^2 \cdot R_l \text{ (Watt) } \dots\dots\dots (11)$

- Untuk satu fasa $P_l = I^2 \cdot R_l \text{ (Watt) } \dots\dots\dots (12)$

Dimana :

- I = Arus beban (Ampere)
- R = Resistansi saluran per fasa (Ω/km)
- l = Panjang saluran (km)

3. METODOLOGI

3.1 Jenis Penelitian

Jenis yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Survey Research* (penelitian survei), dimana tidak dilakukan perubahan atau tidak ada perlakuan khusus terhadap variabel yang diteliti.

3.2 Jenis Data Penelitian

Jenis data yang diperlukan untuk melakukan analisis perhitungan, sebagai berikut :

- a. Data gardu dan trafo distribusi.
- b. Data arus, tegangan, daya dan factor daya pembebanan trafo distribusil.

3.3 Variabel Analisis Hasil Penelitian

Variabel yang digunakan dalam menganalisis hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Variabel Analisis

No	Variabel	Simbol	Satuan
1	Ketidakseimbangan Beban Trafo		%
2	Losses Akibat Adanya Arus pada Penghantar Netral Trafo	P_N	Watt
3	Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah	P_0	Watt

Sumber : Hamles L. Latupeirissa, 2017

3.4 Metode Analisis

Analisis perhitungan ketidakseimbangan beban pada penelitian ini, difokuskan pada :

- a. Arus beban penuh trafo.
- b. Arus rata-rata trafo pada siang dan malam hari.
- c. Presentasi pembebanan trafo pada siang dan malam hari.
- d. Ketidakseimbangan beban trafo pada siang dan malam hari.
- e. *Losses* akibat adanya arus pada penghantar netral trafo untuk Luas Penampang Penghantar Netral 50 mm² pada siang dan malam hari.
- f. *Losses* akibat adanya arus pada penghantar netral trafo untuk luas penampang penghantar netral 70 mm² pada siang dan malam hari.
- g. *Losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah pada siang dan malam hari.
- h. Kesimpulan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

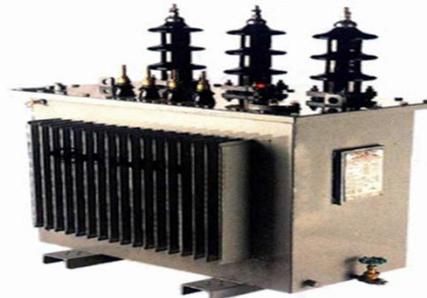
Hasil penelitian, diperoleh dari (i) sumber data PT (Persero) PLN Cabang Ambon, (ii) pengukuran pada ujung penghantar. Hasil dan data yang diperoleh yakni tahun 2016.

4.1.1 Deskripsi Gardu KP01 Desa Hative Kecil

Buatan Pabrik : TRAFINDO
Tipe : Outdoor

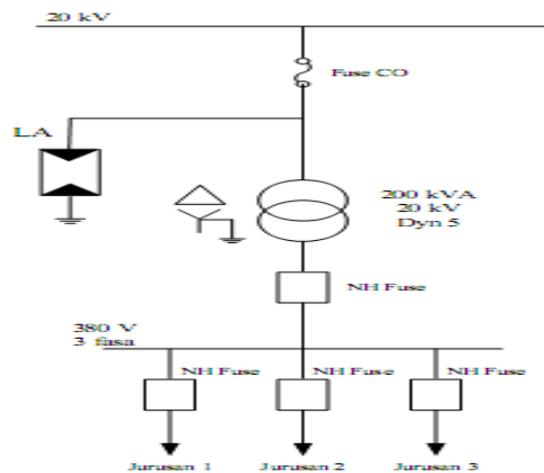
Daya : 200 kVA
Tegangan Kerja : 20 kV / 400 V
Arus : 10 – 500 A
Hubungan : Dyn5
Impedansi : 4%
Jumlah Trafo : 1 x 3 fasa

4.1.2 Trafo Distribusi dan Single Line



Sumber : Sumanto, 1991

Gambar 3. Trafo Distribusi 200 kVA



Sumber : Arismunandar & Kuwahara, 1993

Gambar 4. Single line trafo distribusi

4.1.3 Data Pengukuran

Tabel 2. Hasil pengukuran siang hari

Phasa	S (kVA)	Vp-n (Volt)	I (Ampere)	Co ϕ
R	49,54	217	228,3	0,82
S	36,84	218	169,0	0,84
T	20,35	220	92,5	0,85
I_n	120,6 A			
I_0	64,7 A			
R_0	3,8 Ω			

Sumber : PT. PLN, 2016

Tabel 3. Hasil pengukuran malam hari

Phasa	S (kVA)	Vp-n (Volt)	I (Ampere)	Cosφ
R	68,30	216	316,2	0,81
S	53,40	217	246,1	0,82
T	26,21	219	119,7	0,84
I_N	137,0 A			
I_G	75,4 A			
R_G	3,8 Ω			

Sumber : PT. PLN, 2016

Ukuran kawat untuk penghantar netral trafo adalah 50 mm² (AAAC) dengan R = 0,6452 Ω/km, sedangkan untuk kawat penghantar phasanya adalah 70 mm² (AAAC) dengan R = 0,4608 Ω/km.

4.2. Analisa Hasil Penelitian

4.2.1 Pembebanan Trafo

a. Arus beban penuh trafo

Perhitung arus beban penuh (*full load*) trafo distribusi, menggunakan persamaan (2) :

$$S = 200 \text{ kVA}$$

$$V = 0,4 \text{ kV phasa - phasa}$$

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

$$= \frac{200000}{\sqrt{3} \times 400} = 288,68 \text{ A}$$

b. Arus rata-rata trafo

- Pada siang hari

$$I_R = 228,3 \text{ A}$$

$$I_S = 169,0 \text{ A}$$

$$I_T = 92,5 \text{ A}$$

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

$$= \frac{228,3 + 169,0 + 92,5}{3} = 163,27 \text{ A}$$

- Pada malam hari

$$I_R = 316,2 \text{ A}$$

$$I_S = 246,1 \text{ A}$$

$$I_T = 119,7 \text{ A}$$

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

$$= \frac{316,2 + 246,1 + 119,7}{3} = 227,33 \text{ A}$$

c. Presentasi pembebanan trafo

- Pada siang hari

$$\%_{TL} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$= \frac{163,27}{288,68} \times 100\% = 71,40\%$$

- Pada malam hari

$$\%_{TL} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$= \frac{227,33}{288,68} \times 100\% = 78,75\%$$

4.2.2 Ketidakseimbangan Beban Trafo

- Pada Siang Hari

Dengan menggunakan persamaan (6), koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus phasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$).

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{228,3}{163,27} = 1,40$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{169,0}{163,27} = 1,04$$

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{92,5}{163,27} = 0,57$$

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

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

$$= \frac{\{|1,40 - 1| + |1,04 - 1| + |0,57 - 1|\}}{3} \times 100\% = 29 \%$$

- Pada Malam Hari

Dengan menggunakan persamaan (6), koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus phasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$).

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{316,2}{227,33} = 1,39$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{246,1}{227,33} = 1,08$$

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{119,7}{227,33} = 0,53$$

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

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

$$= \frac{\{|1,39 - 1| + |1,08 - 1| + |0,53 - 1|\}}{3} \times 100\% = 1,33 \%$$

4.2.3 Losses Akibat Adanya Arus pada Penghantar Netral Trafo

A. Luas Penampang Penghantar Netral 50 mm²

• **Pada Siang Hari**

Dari tabel pengukuran, dan dengan menggunakan persamaan (3), *losses* akibat adanya arus pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

$$I_N = 120,6 \text{ A}$$

$$R_N = 0,6452 \Omega$$

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \times R_N \\ &= 120,6^2 \times 0,6452 \\ &= 9384,02 \text{ Watt} \approx 9,384 \text{ kW} \end{aligned}$$

dimana daya aktif trafo (P):

$P = S \cdot \cos \phi$, dimana $\cos \phi$ yang digunakan adalah 0,85 dan daya semu trafo (S) = 200 kVA

$$P = 200 \times 0,85 = 170 \text{ kW}$$

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

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{9,384}{170} \times 100\% = 5,52 \% \end{aligned}$$

• **Pada Malam Hari**

Dari tabel pengukuran, dan dengan menggunakan persamaan (3), *losses* akibat adanya arus pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \times R_N \\ &= 137^2 \times 0,6452 \\ &= 12109,76 \text{ Watt} \approx 12,110 \text{ kW} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{12,110}{170} \times 100\% = 7,12 \% \end{aligned}$$

B. Luas Penampang Penghantar Netral 70 mm²

Untuk meminimalkan *losses* akibat adanya arus pada penghantar netral trafo, maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan luas penampang penghantar netral sebesar 70 mm².

• **Pada Siang Hari**

Dari tabel pengukuran, dan dengan menggunakan persamaan (3), *losses* akibat adanya arus pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

$$I_N = 120,6 \text{ A}$$

$$R_N = 0,4608 \Omega$$

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \times R_N \\ &= 120,6^2 \times 0,4608 \\ &= 6702,04 \text{ Watt} \approx 6,702 \text{ kW} \end{aligned}$$

dimana daya aktif trafo (P):

$P = S \cdot \cos \phi$, dimana $\cos \phi$ yang digunakan adalah 0,85 dan daya semu trafo (S) = 200 kVA

$$P = 200 \times 0,85 = 170 \text{ kW}$$

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

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{6,702}{170} \times 100\% = 3,94 \% \end{aligned}$$

• **Pada Malam Hari**

Dari tabel pengukuran, dan dengan menggunakan persamaan (3), *losses* akibat adanya arus pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \times R_N \\ &= 137^2 \times 0,4608 \\ &= 8648,76 \text{ Watt} \approx 8,649 \text{ kW} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100\% \\ &= \frac{8,649}{170} \times 100\% = 5,09 \% \end{aligned}$$

4.2.4 Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

Losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah pada siang hari dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan (4), yaitu:

• **Pada Siang Hari**

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \times R_G \text{ dimana } I_G = 64,7 \text{ A dan } R_G = 3,8 \Omega \\ &= 64,7^2 \times 3,8 \\ &= 15907,142 \text{ Watt} \approx 15,907 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase *losses*-nya adalah:

$$\begin{aligned} \% P_G &= \frac{P_G}{P} \times 100\% \\ &= \frac{15,907}{170} \times 100\% = 9,36 \% \end{aligned}$$

• **Pada Malam Hari**

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \times R_G \text{ dimana } I_G = 75,4 \text{ A dan } R_G = 3,8 \Omega \\ &= 75,4^2 \times 3,8 = 21603,608 \text{ Watt} \approx 21,604 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase *losses*-nya adalah:

$$\begin{aligned} \% P_G &= \frac{P_G}{P} \times 100\% \\ &= \frac{21,604}{170} \times 100\% = 12,71\% \end{aligned}$$

4.2.5 Perbandingan Losses Pada Trafo Distribusi Menggunakan Luas Penampang Penghantar Netral 50 mm² dan Luas Penampang Penghantar Netral 70 mm²

Pada bagian ini, diberikan perbandingan hasil perhitungan losses pada trafo distribusi untuk penggunaan luas penampang penghantar netral 50 mm² dan penggunaan luas penampang penghantar netral 70 mm².

Tabel 4. Perbandingan losses pada trafo distribusi

R _N (Ω)	Waktu	Ketidak- seimbangan Beban (%)	I _N (A)	I _G (A)	P _N (kW)	P _N (%)	P _G (kW)	P _G (%)
0,6452 (50 mm ²)	Siang	29,00	120,6	64,7	9,38	5,52	15,91	9,36
	Malam	31,33	137,0	75,4	12,11	7,12	21,60	12,71
0,4608 (70 mm ²)	Siang	29,00	120,6	64,7	6,70	3,94	15,91	9,36
	Malam	31,33	137,0	75,4	8,65	5,09	21,60	12,71

Sumber : Hamles L. Latupeirissa, 2017

Pada Tabel 4 terlihat bahwa semakin besar arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo (I) maka semakin besar losses pada penghantar netral trafo (P). Demikian pula bila semakin besar arus netral yang mengalir ke tanah (I_N), 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 mengecil.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data di atas, terlihat bahwa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses daya pada trafo distribusi gardu KP-01 desa Hative Kecil dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Losses (rugi) daya akibat adanya arus pada penghantar netral (P_N)
 - Pada siang hari losses daya akibat adanya arus pada penghantar netral (P_N) sebesar 5,52 %.
 - Pada malam hari losses daya akibat adanya arus pada penghantar netral (P_N) sebesar 7,12 %.
2. Losses (rugi) daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah (P_G)

- Pada siang hari losses daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah (P_G) sebesar 9,36 %.
- Pada malam hari losses daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah (P_G) sebesar 12,71 %.

5.2. Saran

Berdasarkan pembahasan dan analisa hasil serta kesimpulan, maka disarankan sebagai berikut:

1. Salah satu cara mengatasi losses arus netral adalah dengan membuat sama ukuran penghantar netral dan fasa.
2. Untuk penambahan beban diwaktu-waktu yang akan datang, perlu diperhatikan kapasitas trafo yang terpasang, dengan tujuan agar pemakaian beban tidak melebihi kemampuan trafo.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar & Kuwahara, 1993, *Teknik Tenaga Listrik Jilid II*, Jakarta, Penerbit : Pradnya Paramita
- Badaruddin, 2012, *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi Proyek Rusunami Gading Icon*. Laporan Penelitian Teknik Elektro Fakultas Teknik. Jakarta. Penerbit : Universitas Mercubuana
- E.Julianto, 2016, *Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Pembebanan Transformator Distribusi 20 Kv PT. PLN (Persero) Cabang Pontianak*, Jurnal UNTAN Volume 4 No.1 Maret 2016, Jurusan Teknik Elektro. Pontianak, Penerbit : Universitas Tanjungpura.
- Fahrurrozi, Firdaus dan Feranita, 2014, *Analisa Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi di Gedung Fakultas Teknik Universitas Riau*, Jurnal FTEKNIK Volume 1 No. 2 Oktober 2014, Jurusan Teknik Elektro, Pekanbaru, Penerbit : Universitas Riau
- Lister E. C., 1988, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Jakarta, Penerbit : Erlangga
- Panitia Revisi PUIL, 2000, *Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia*, Jakarta, Penerbit : LIPI.
- Soewardjo, S, 1978, *Teknik Pemasangan Instalasi Listrik Arus Kuat*, Surabaya, Penerbit : ITS.
- Sumanto, 1991, *Teori Transformator*, Yogyakarta, Penerbit : Andi Offset Yogyakarta.
- Van Harten P. & Setiawan E., 1999, *Instalasi Listrik Arus Kuat 1,2,3*, Bandung, Penerbit : Bina Cipta.
- Zuhul, 1994, *Ketenagaan Listrik Indonesia*, Bandung, Penerbit : ITB