

# Analisa Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan *Losses* Pada Transformator Distribusi di Gedung Fakultas Teknik Universitas Riau

Fahrurozi\*, Firdaus\*\*, Feranita\*\*

\*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau \*\*Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Email: fahrurozi.ft.te@gmail.com

## ABSTRACT

*Load Imbalancing in power distribution system that has been occurred either by inconstant load factor in its phase or power on with different period. The consequences of Load Imbalancing is current appears in neutral trafo and losses cannot avoid. Decreasing quality of voltage and current, trafo efficiency, energy measuring is loss that caused. voltage and Current quality is going decrease due to 0 current distort basic wave until bad.*

**Keywords:** *load imbalance, losses, and neutral current.*

## I. PENDAHULUAN

Transformator merupakan komponen yang sangat penting peranannya dalam sistem tenaga listrikan sejalan dengan berkembangnya teknologi. Sehingga perkembangan yang sangat pesat ini harus diikuti dengan perbaikan kualitas dan keandalan energi listrik yang dihasilkan.

Saat ini Indonesia sedang melaksanakan pembangunan di segala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukungnya seperti tersedianya tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian-pembagian beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidak serempakan waktu penyalaan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidak seimbangan beban

yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Selain ketidak serempakan pemakaian beban, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S dan T juga merupakan faktor lain yang mempengaruhi. Ketidak seimbangan 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 lah dapat diatasi.

### Data Teknis Transformator

Data spesifikasi transformator distribusi fakultas teknik terlihat pada tabel dibawah ini, dimana transformator yang digunakan adalah dua unit trafo yang dihubungkan secara parallel pada sisi sekunder transformator tersebut :

Tabel 1. Spesifikasi transformator

Nama Pabrik	MORAWA
Daya	400 kVA
Jumlah Fasa	3
Tegangan Primer L-L (kV)	20 Kv
Tegangan Sekunder L-L (V)	400 V
Arus Primer	11,55 A
Arus Sekunder	400 A

Vektor Group	DyN5
Impedansi (%)	4%
Tahun Pembuatan	2001
Frekuensi	50 Hz

### 1. Analisa Pembebanan Trafo

Untuk menentukan besar arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (1)$$

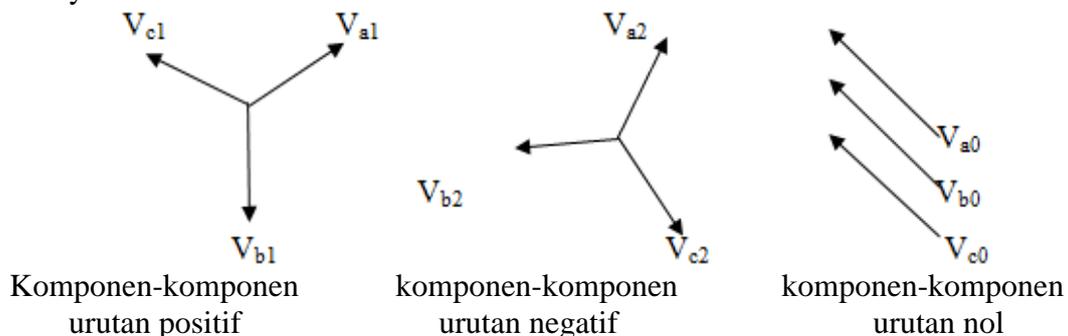
Karena, transformator dua unit dengan hubungan parallel pada sisi sekundernya. Maka  $I_{FL}$  atau arus beban penuhnya ialah dikali dua, sehingga :

$$I_{FLtotal} = I_{FL} \times 2 \quad (2)$$

### 2. SISTEM KOMPONEN SIMETRIS

Menurut *Fortescue* suatu sistem tak seimbang yang terdiri dari n fasa dapat diuraikan menjadi fasor-fasor seimbang yang disebut komponen simetris. Sistem tiga fasa yang seimbang dapat diuraikan menjadi tiga komponen simetris yaitu :

1. Komponen-komponen urutan positif terdiri dari 3 fasor yang sama besarnya, terpisah satu sama yang lainnya dalam fasa sebesar  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor-fasor aslinya.
2. Komponen-komponen urutan negative terdiri dari 3 fasor yang sama besarnya, terpisah antara satu dengan yang lainnya dalam fasa  $120^\circ$  dan mempunyai fasa yang berlawanan dengan fasor-fasor aslinya.



**Gambar 1.** Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan komponen simetris dari tiga fasor tak-seimbang.

3. Komponen urutan nol terdiri dari 3 fasor-fasor yang sama besar dan pergeseran fasa satu dengan yang lainnya nol.

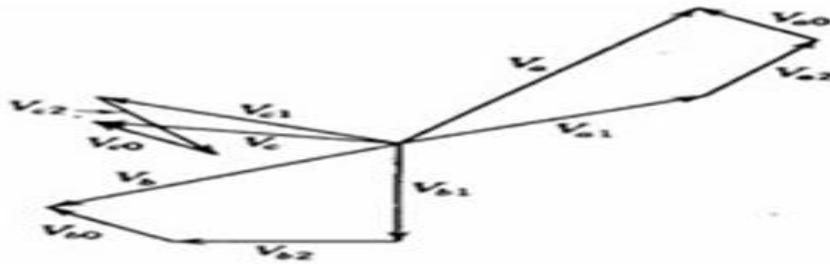
Telah menjadi kebiasaan umum, ketika memecahkan permasalahan dengan menggunakan komponen simetris bahwa ketiga fasa sistem dinyatakan sebagai a, b, dan c dengan cara demikian sehingga urutan fasa tegangan dan arus dalam sistem adalah abc. Jadi, urutan fasa komponen urutan-positif dari fasor tak seimbang itu adalah abc, sedangkan urutan fasa dari komponen-negatif adalah acb. Jika fasor aslinya adalah tegangan, maka tegangan tersebut dapat dinyatakan dengan  $V_a$ ,  $V_b$  dan  $V_c$ . ketiga himpunan komponen simetris dinyatakan dengan subskrip tambahan 1 untuk komponen urutan-positif, 2 untuk komponen urutan-negatif, dan 0 untuk komponen urutan nol. Komponen urutan-positif dari  $V_a$ ,  $V_b$ , dan  $V_c$  adalah  $V_{a1}$ ,  $V_{b1}$ , dan  $V_{c1}$ . Demikian pula komponen urutan-negatif adalah  $V_{a2}$ ,  $V_{b2}$ , dan  $V_{c2}$ , sedangkan komponen urutan-nol adalah  $V_{a0}$ ,  $V_{b0}$ , dan  $V_{c0}$ . Gambar 3.1 menunjukkan tiga himpunan komponen simetris semacam itu. fasor arus akan dinyatakan dengan I dengan subskrip seperti untuk tegangan tersebut.

Karena setiap fasor tak seimbang, yang asli adalah jumlah komponen, fasor asli yang dinyatakan dalam suku-suku komponen adalah :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (3)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (4)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (5)$$



**Gambar 2.** Penjumlahan secara grafis komponen-komponen pada gambar 1 untuk mendapatkan tiga fasor tak seimbang.

### 3. OPERATOR a

Operator a biasanya digunakan untuk menunjukkan operator yang menyebabkan perputaran  $120^\circ$  dalam arah yang berlawanan dengan arah jarum jam. Operator semacam ini adalah bilangan kompleks yang satu dan sudutnya  $120^\circ$  dan didefinisikan sebagai jarum jam.

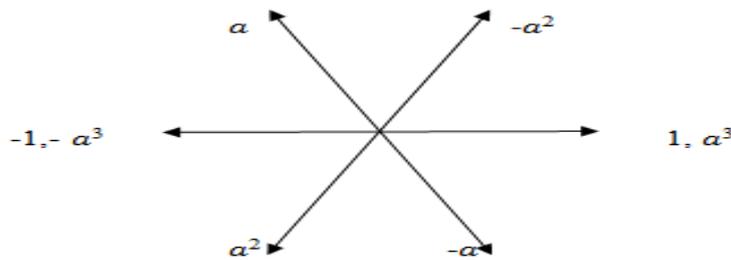
$$a = 1/120^\circ = 1e^{j2\pi/3} = -0,5 + j0,866 \quad (6)$$

jika operator a dikenakan pada fasor dua kali berturut-turut, maka fasor itu diputar dengan sudut sebesar  $240^\circ$ . Untuk pengenalan tiga kali berturut-turut fasor akan diputar dengan  $360^\circ$ . Jadi (Nova Maria Magdalena Siagian, 2009),

$$a^2 = 1/240^\circ = -0,5 - j0,866 \quad (7)$$

dan

$$a^3 = 1/360^\circ = 1/0^\circ = 1 \quad (8)$$



**Gambar 3.** Memperlihatkan fasor yang melukiskan berbagai pangkat dari a.

### 4. HUBUNGAN ANTARA OPERATOR a DENGAN KOMPONEN SIMETRIS.

Telah kita lihat pada gambar 3.2 sintesis tiga fasor tak simetris dari himpunan fasor simetris. Sintesis itu telah dilakukan sesuai dengan persamaan (3) sampai dengan (5). Sekarang marilah kita periksa persamaan tersebut untuk menentukan bagaimana menguraikan ketiga fasor tak simetris itu menjadi komponen simetrisnya.

Mula-mula, kita perhatikan banyaknya kuantitas yang diketahui dapat dikurangi dengan menyatakan masing-masing komponen  $V_b$  dan  $V_c$  sebagai hasil kali fungsi operator a dan komponen  $V_a$ . Dengan berpedoman pada Gambar 3.1. diperoleh hubungan berikut (Nova Maria Magdalena Siagian, 2009) :

$$V_{b1} = a^2V_{a1} \quad (9)$$

$$V_{c1} = aV_{a1} \quad (10)$$

$$V_{b2} = aV_{a2} \quad (11)$$

$$V_{c2} = a^2V_{a2} \quad (12)$$

$$V_{b0} = V_{a0} \quad (13)$$

$$V_{c0} = V_{a0} \quad (14)$$

Dengan mengulangi persamaan (3) dan memasukkan persamaan (9) sampai (14) ke dalam persamaan (4) dan (5) dihasilkan:

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (15)$$

$$V_a = V_{a0} + a^2V_{a1} + aV_{a2} \quad (16)$$

$$V_a = V_{a0} + aV_{a1} + a^2V_{a2} \quad (17)$$

Atau dalam bentuk matriks

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Untuk memudahkan kita misalkan

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Maka, seperti dapat dibuktikan dengan mudah

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (20)$$

Dan dengan mengalihkan kedua sisi persamaan (3.16) dengan  $A^{-1}$  diperoleh

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (21)$$

Yang menunjukkan pada kita komponen-komponen simetris dinyatakan terhadap fasor aslinya. Hubungan ini demikian pentingnya sehingga kita dapat menulis masing-masing persamaan itu dalam bentuk yang biasa (Nova Maria Magdalena Siagian, 2009) :

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \quad (22)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_a + aV_b + a^2V_c) \quad (23)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} (V_a + a^2V_b + aV_c) \quad (24)$$

Jika diperlukan, komponen  $V_{b0}$ ,  $V_{b1}$ ,  $V_{c0}$ ,  $V_{c1}$  dan  $V_{c2}$  dapat diperoleh dari persamaan (24).

Persamaan (22) menunjukkan bahwa tidak ada nada komponen urutan nol jika jumlah fasor tak seimbang itu sama dengan nol. Karena jumlah fasor tegangan antar saluran pada sistem tiga fasa selalu nol, maka komponen urutan nol tidak pernah terdapat dalam tegangan saluran itu, tanpa memandang besarnya ketidakseimbangannya. Jumlah ketiga fasor tegangan saluran ke netral tidak selalu harus sama dengan nol, dan tegangan ke netral dapat mengandung komponen urutan nol.

Persamaan yang terdahulu sebenarnya dapat pula ditulis untuk setiap himpunan fasor yang berhubungan, dan kita dapat

pula menuliskannya untuk arus sebagai ganti tegangan. Persamaan tersebut dapat diselesaikan baik secara analitis maupun secara grafis. Karena beberapa persamaan yang terdahulu sangat mendasar. Marilah kita tuliskan ringkasan untuk arus-arus:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \quad (25)$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} \quad (26)$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} \quad (27)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \quad (28)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) \quad (29)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2I_b + aI_c) \quad (30)$$

Dalam sistem tiga fasa, jumlah arus saluran sama dengan arus I dalam jalur kembali lewat netral. Jadi,

$$I_N = I_a + I_b + I_c \quad (31)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (28) ke (30) maka diperoleh

$$I_N = 3 I_{a0} \quad (32)$$

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### Menentukan *Persentase* Pembebanan

Untuk menentukan rata-rata *persentase* pembebanan, maka terlebih dahulu menghitung *persentase* pembebanan per fasanya, dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\%b = \frac{I_{ph}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (33)$$

$$\%bR = \frac{145,91}{1154,7} \times 100\% = 12,64\%$$

$$\%bS = \frac{179,64}{1154,7} \times 100\% = 15,56\%$$

$$\%bT = \frac{143,62}{1154,7} \times 100\% = 12,43\%$$

Jadi, rata-rata *persentase* pembebanan adalah :

$$\%b = \frac{\%bR + \%bS + \%bT}{3} \quad (34)$$

$$\%b = \frac{12,64 + 15,56 + 12,43}{3}$$

$$\%b = 13,54\%$$

### Menentukan Besarnya Arus Rata-Rata

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (35)$$

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{145,91 + 179,64 + 143,62}{3}$$

$$I_{\text{rata-rata}} = 156,39 \text{ Ampere}$$

### Analisa Ketidak Seimbangan Pembebanan Transformator

Dengan demikian dengan menggunakan persamaan (4) koefisien a, b, dan c diketahui besarnya, dimana besarnya arus dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ( $I_{\text{rata-rata}}$ ).

$$I_R = a \cdot I \quad (36)$$

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{145,91}{156,39} = 0,933$$

$$I_S = b \cdot I \quad (37)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{179,64}{156,39} = 1,15$$

$$I_T = c \cdot I \quad (38)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{143,62}{156,39} = 0,92$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b, dan c adalah 1. Sehingga dengan demikian, rata-rata ketidak seimbangan beban (dalam %) yaitu :

$$= \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (39)$$

$$= \frac{\{|0,933-1| + |1,15-1| + |0,92-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 9,91 \%$$

### Menghitung Losses Akibat Adanya Arus Netral Yang Mengalir Pada Penghantar Netral

Untuk menghitung besarnya *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo, dapat menggunakan rumus berikut ini :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (40)$$

$$P_N = 30,26^2 \times 0,6$$

$$P_N = 549,4 \text{ Watt}$$

$$P_N = 0,549 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif trafo (P), yaitu :

$$P = S \cdot \cos \phi \quad (41)$$

$$P = 800 \cdot 0,9$$

$$P = 720 \text{ kW}$$

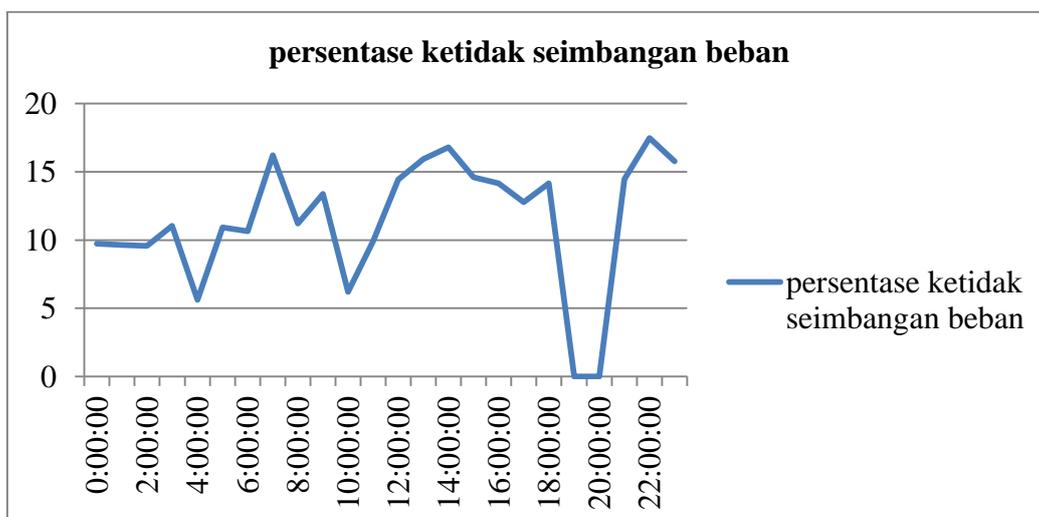
Sehingga, *persentase losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada saat hari minggu adalah :

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% \quad (42)$$

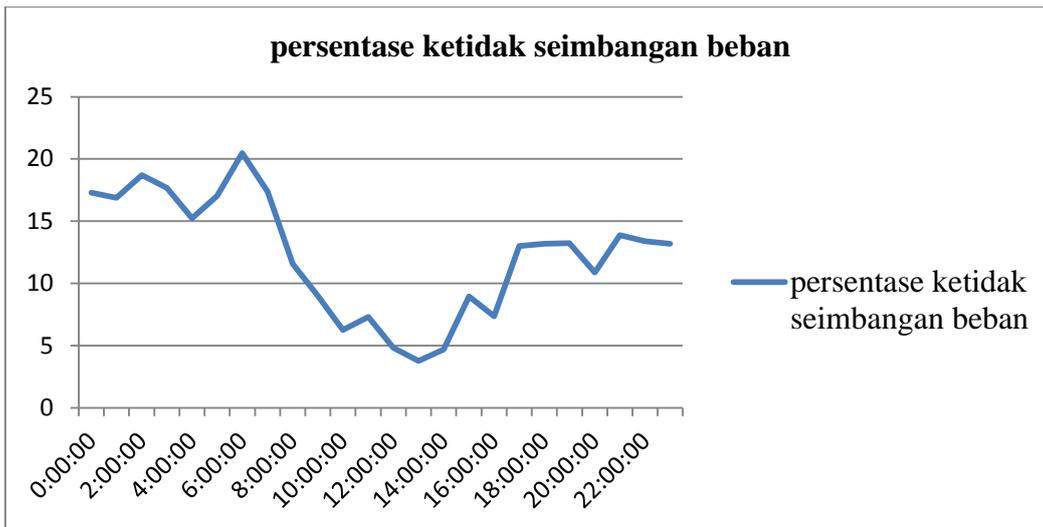
$$\% P_N = \frac{0,549}{720} \times 100\%$$

$$\% P_N = 0,076\%$$

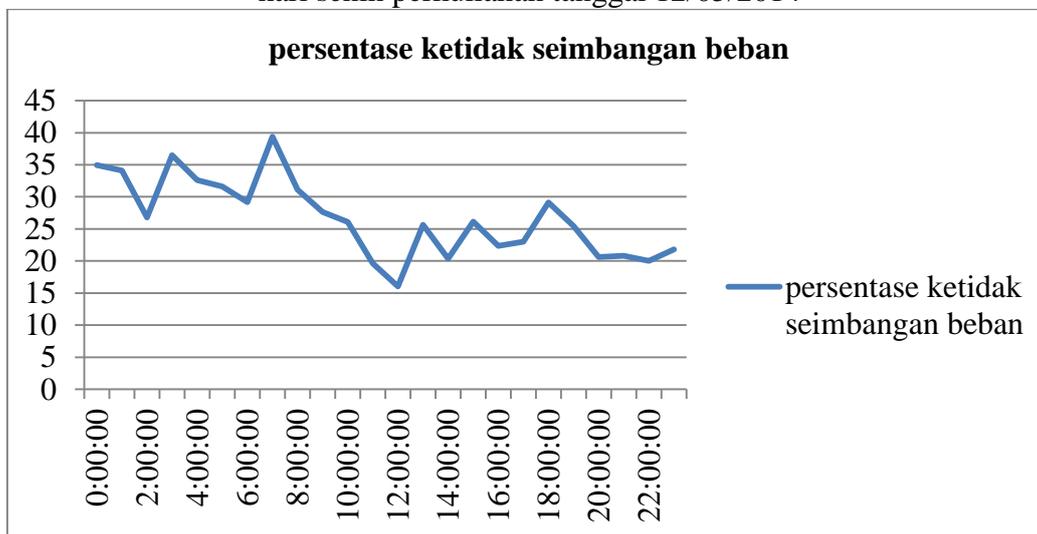
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN



**Gambar 4.** kurva besarnya *persentase* ketidak seimbangan pembebanan pengukuran saat hari minggu 11/05/2014



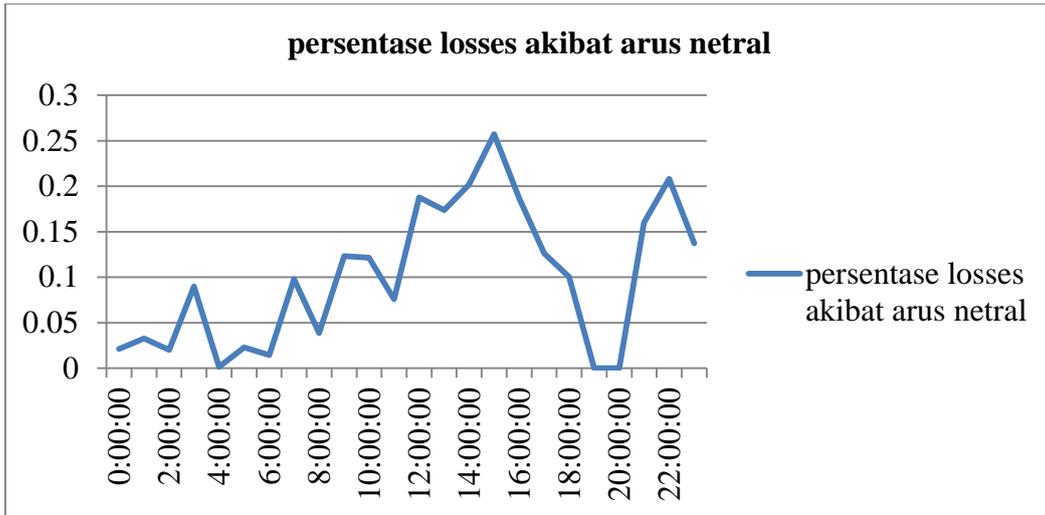
**Gambar 5.** kurva besarnya *persentase* ketidak seimbangan pembebanan dalam satu hari saat hari senin perkuliahan tanggal 12/05/2014



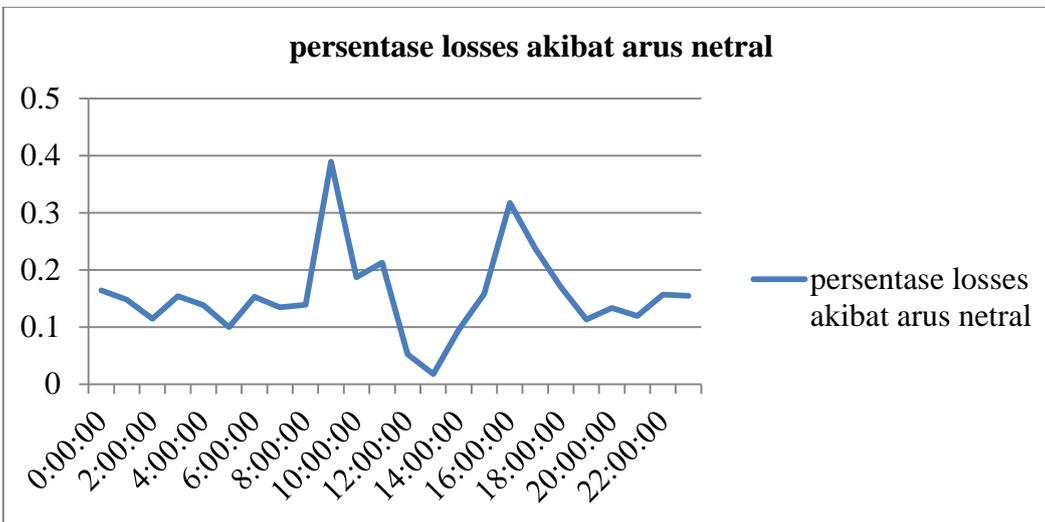
**Gambar 6.** kurva besarnya *persentase* ketidak seimbangan pembebanan dalam satu hari saat hari libur nasional tanggal 15/05/2014

Dari ketiga hasil pengukuran tersebut, menunjukkan persentase ketidak seimbangan pembebanan terbesar terjadi saat pengukuran di hari libur nasional 15/05/2014 yaitu mencapai 39,39 % pada

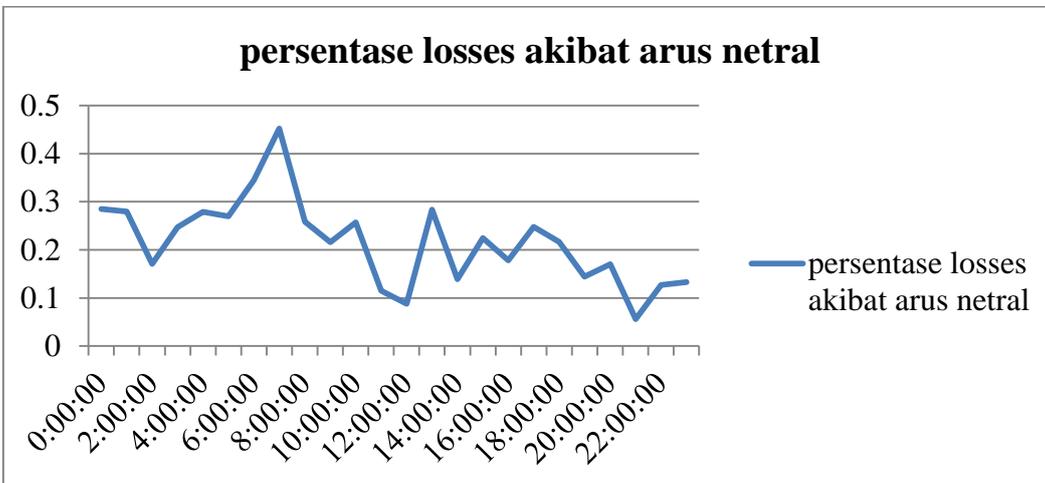
pukul 07:00 Wib sementara persentase keseimbangan pembebanan terbaik terjadi saat hari senen perkuliahan 12/05/2014 yaitu 3,77 % pada pukul 13:00 Wib.



**Gambar 7.** kurva besarnya *persentase losses* akibat arus netral dalam satu hari saat hari minggu tanggal 11/05/2014



**Gambar 8.** kurva besarnya *persentase losses* akibat arus netral dalam satu hari saat hari senin perkuliahan tanggal 12/05/2014



**Gambar 9.** kurva besarnya *persentase losses* akibat arus netral dalam satu hari saat hari libur nasional tanggal 15/05/2014

Dari ketiga hasil pengukuran tersebut menunjukkan persentase losses akibat arus netral terbesar terjadi saat pengukuran di hari libur nasional 15/05/2014 yaitu mencapai 0,45% pada pukul 07:00 Wib,

#### **IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

##### **Kesimpulan**

Berdasarkan pengujian ketidakseimbangan pembebanan transformator distribusi yang membebani fakultas teknik Universitas Riau, maka penulis dapat menyimpulkan :

1. *Persentase* ketidak seimbangan pembebanan terbesar terjadi saat pengukuran di hari libur nasional 15/05/2014 yaitu mencapai 39,39% pada pukul 07:00 Wib.
2. *Persentase* keseimbangan pembebanan terbaik terjadi saat hari senen perkuliahan 12/05/2014 yaitu 3,77% pada pukul 13:00 Wib.
3. *Persentase losses* akibat arus netral terbesar terjadi saat pengukuran di hari libur nasional 15/05/2014 yaitu mencapai 0,45% pada pukul 07:00 Wib.
4. *Persentase losses* akibat arus netral terbaik terjadi saat pengukuran di hari minggu 11/05/2014 yaitu 0,001% pada pukul 04:00 Wib.
5. Ketidak seimbangan pembebanan terjadi karena pembebanan pada tiap fasa yang tidak merata, sebab waktu penggunaan listrik yang tidak bersamaan.

##### **Saran**

Ada pun saran yang dapat penulis berikan berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, yaitu :

1. Untuk memasang titik sambungan baru pada instalasi listrik harus memperhatikan data-data yang ada, agar dalam pelaksanaan penyambungan, bedapembebanan pada salah satu fasa tidak terlalu besar atau mengakibatkan

sementara persentase losses akibat arus netral terbaik terjadi saat pengukuran di hari minggu 11/05/2014 yaitu 0,001% pada pukul 04:00 Wib.

pembebanan yang takseimbang semakin besar pula.

2. Melakukan perbaikan pemasangan instalasi listrik yang telah terpasang saat ini, dengan mengelompokkan pemasangan pada tiap-tiap fasanya agar lebih seimbang lagi dengan memperhatikan kurva pemakaian beban tiap fasa saat ini.

##### **Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Firdaus, ST., MT dan ibu Feranita ST., MT selaku pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penelitian ini. Terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini. Terima kasih kepadarekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2009 yang telah banyak membantu penulis dalam penelitian ini.

##### **DAFTAR PUSTAKA**

- Badaruddin. 2012. Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* pada trafo distribusi proyek rusunami gading icon. Laporan Penelitian Teknik Elektro Fakultas Teknik. Jakarta. Universitas Mercubuana
- Julius Sentosa Setiadji<sup>1</sup>, Tabrani Machmudsyah<sup>2</sup>, Yanuar Isnanto<sup>1</sup>. Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* pada trafo distribusi. Jurnal teknik elektro vol. 6, no.1, maret 2006: 68-73. Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri. Surabaya. Universitas Kristen Petra
- Kadir, Abdul. 2000. "Distribusi dan utilisasi tenaga listrik". Univeritas Indonesia (UI-Press). Jakarta.

- Koes Indrakoesoema, Yayan Andryanto, M Taufiq. 2012. Pengaruh ketidakseimbangan beban transformator kering BHT02 RSG GA SIWABESSY terhadap arus netral dan rugi-rugi. Prosiding Seminar. Yogyakarta.
- Lumbanraja, Hotdes, 2008. Pengaruh beban tidak seimbang terhadap efisiensi transformator tiga fasa hubungan open-delta. Skripsi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Medan. Universitas Sumatera Utara (USU).
- Magdalena Siagian, Nova Maria. 2009. Analisa ketidak seimbangan beban terhadap kerja rele gangguan tanah di gardu induk aplikasi pada PT. PLN (PERSERO) gardu induk titi kuning. Skripsi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Medan. Universitas Sumatera Utara (USU).
- Purnama, Sigid. 2009. "Analisa pengaruh pembebanan terhadap susut umur transformator tenaga. Skripsi Teknik Elektro Fakultas Teknik. Semarang. Universitas Diponegoro.
- PPPTK. 2008. "Dasar mesin listrik". Vedic. Malang.
- Stevenson, Jr. Williard D. 1983. "Analisa Sistem Tenaga Listrik". Erlangga. Jakarta.
- Sudirham, Sudaryatno. 2012. "Analisa sistem tenaga". Darpublic. Bandung.