

# Optimalisasi Penyeimbangan Beban Transformator dengan Metode Seimbang Beban Seharian (SBS) pada Gardu Depan Kantor Rayon PT. PLN (Persero) Rayon Kayu Aro

Antonov Bachtiar\*, Bayu Dirgantara

Institut Teknologi Padang, Padang

E-mail: antonov\_bach@yahoo.com

## ABSTRACT

*The unbalanced load in electric power distribution system always happen and it is caused by single phase loads on low voltage system. The effect of the unbalanced load is appear as a neutral current. These neutral current cause losses, those are losses caused by neutral current in neutral conductor on distribution transformers and losses caused by neutral current flows to ground. In conclusion, when high unbalanced load happened 13%, then the current flowing in the neutral conductor during daytime measurements at 59 A. And when measuring the night of 76 A. Thus, losses of energy produced amounted to 29102,7 kWh/month.*

**Keywords:** *unbalanced load, neutral current, losses*

## ABSTRAK

Ketidakeimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakeimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakeimbangan beban tersebut mengalir arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Setelah dianalisa, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakeimbangan sebesar 13%, maka arus yang mengalir pada penghantar pada saat pengukuran siang sebesar 59 A. dan saat pengukuran malam sebesar 76 A. Sehingga rugi-rugi energi yang dihasilkan sebesar 29102,7 kWh/bulan.

**Kata kunci:** ketidakeimbangan beban, arus netral, *losses*

## 1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan *continue* merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban yang pada awalnya merata tetapi karena kesetidakerempakan waktu penyalaan menimbulkan ketidakeimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik.

Ketidakeimbangan beban dapat dibagi menjadi dua yaitu ketidakeimbangan statis dan ketidakeimbangan dinamis. Ketidakeimbangan beban statis merupakan ketidakeimbangan yang sifatnya tetap karena pengaturan instalasi suatu sistem dari awalnya kurang memperhatikan keseimbangan sistem itu sendiri, sedangkan ketidakeimbangan beban dinamis merupakan ketidakeimbangan yang bervariasi terhadap waktu. Keadaan ini dapat berlangsung dalam beberapa menit atau jam. Ketidakeimbangan beban dinamis terjadi karena adanya beban non-linear yang banyak digunakan dalam industri maupun rumah tangga. Motor induksi, pengaturan kecepatan motor listrik merupakan penyumbang beban non-linear di

industri. Sedangkan untuk rumah tangga adalah penggunaan komputer, AC, lampu fluorescent, dan sebagainya. Pada beban non-linear terdapat komponen semi konduktor yang dapat menimbulkan gelombang arus yang tidak sinusoidal. Hal ini akan berpengaruh terhadap pengukuran arus sekunder dan primer transformator. Ketidakeimbangan beban tiap fasa (RST) dapat menimbulkan arus pada kawat netral pembebanan sekunder pada transformator distribusi yang akan mempengaruhi sistem distribusi, diantaranya berupa kesalahan pengukuran energi, rugi-rugi daya, dan penurunan kualitas peralatan distribusi PLN. Timbulnya arus netral yang tinggi pada pembebanan tidak seimbang ini terjadi akibat adanya perbedaan sudut arus dan tegangan. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan kegiatan penyeimbangan beban transformator distribusi.

Kegiatan penyeimbangan beban transformator distribusi merupakan kegiatan yang dilakukan oleh PLN secara terus menerus. Hal ini disebabkan ketidakeimbangan beban tiap fasa (RST) terjadi seiring terus meningkatnya jumlah pelanggan. Permasalahan yang terjadi pada sistem distribusi PT PLN (Persero) Rayon Kayu Aro adalah penyeimbangan beban transformator hanya dilakukan berdasarkan pengukuran beban saat WBP

(Waktu Beban Puncak). Sehingga belum menjamin terjadinya keseimbangan beban pada pengukuran beban saat LWBP (Luar Waktu Beban Puncak) yang waktunya lebih panjang dibandingkan dengan pengukuran WBP. Hal ini menyebabkan arus netral muncul lebih besar saat LWBP dibandingkan WBP. Untuk itu perlu dilakukan sebuah metode penyeimbangan beban transformator yang lebih efektif dalam menciptakan keseimbangan beban baik saat WBP maupun LWBP. Sehingga pelayanan terhadap pelanggan dapat dilakukan dengan baik dan memuaskan.

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan bolak balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnetik. Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Faraday, yaitu: Arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Selain itu juga berdasarkan hukum Lorenz, yaitu: Arus listrik bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu berubah menjadi magnet dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan. Jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa terus menerus tanpa berhenti). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian transformator dan bagian-bagian mana yang perlu diawasi melebihi bagian yang lainnya.

## 2. BEBAN TRANSFORMATOR

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (1)$$

dengan:

$$S = \text{daya transformator (kVA)}$$

$$\begin{aligned} V &= \text{tegangan sisi primer trafo (kV)} \\ I &= \text{arus jala-jala (A)} \end{aligned}$$

Sehingga untuk beban penuh (*full load*) dapat menggunakan persamaan:

$$IFL = \sqrt{3} \cdot V \quad (2)$$

dengan:

$$\begin{aligned} IFL &= \text{arus beban penuh (A)} \\ S &= \text{daya transformator (kVA)} \\ V &= \text{tegangan sisi sekunder trafo (kV)} \end{aligned}$$

## 3. KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR

Sistem transmisi adalah sistem penyaluran daya dengan menaikkan tegangan yang selanjutnya diturunkan lagi pada sistem distribusi. Dalam proses menaikkan dan menurunkan tegangan digunakanlah Transformator 3 fasa. Dalam keadaan ideal, transformator 3 fasa akan mempunyai nilai yang sama pada tiap fasanya, yang berbeda hanyalah sudut fasanya yaitu harus 120°. Namun pada penerapannya, keadaan ideal tersebut sangat sulit terjadi dikarenakan tiap fasa pada sisi sekunder akan menyalurkan daya tiap fasa dengan beban yang berbeda tiap fasanya.

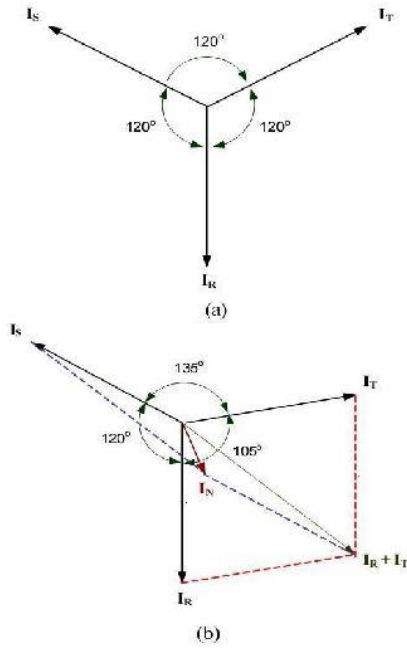
Hal ini akan menyebabkan beban tidak seimbang pada masing-masing fasanya. Efek dari ketidakseimbangan fasa tersebut adalah akan timbul arus netral. Arus ini akan menyebabkan losses, yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ketanah. Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana:

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

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Faktor-faktor yang mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan ada 3 yaitu:

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

Pada gambar 1 ditunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ( $I_R, I_S,$  dan  $I_T$ ) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral ( $I_N$ ) yang besarnya



**Gambar 1** Vektor diagram, a) arus dalam kondisi seimbang; b) arus dalam kondisi tidak seimbang



**Gambar 2** Gardu depan kantor rayon (160 kVA)

bergantung pada seberapa besar factor ketidakseimbangannya.

Akibat pembebanan di tiap fasa yang tidak seimbang, maka akan mengalir arus pada penghantar netral. Jika dihantaran pentanahan netral terdapat nilai tahanan dan dialiri arus, maka kawat netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada trafo tidak seimbang. Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral, akan menyebabkan rugi daya di sepanjang kawat netral sebesar:

$$PN = I_N^2 R_N \tag{3}$$

Dengan:

$PN$  = Losses yang timbul pada penghantar netral (watt)

$i$  = Arus yang mengalir melalui kawat netral (Ampere)

$R_N$  = Tahanan pada kawat netral (Ohm)

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

$$PG = I_N^2 R_G \tag{4}$$

Dengan:

$PG$  = losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

$I_G$  = Arus netral yang mengalir ke tanah (Ampere)  
 $R_G$  = Tahanan pembumian netral trafo (Ohm)

#### 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Pengumpulan Data

Data Teknis Trafo Gd. Depan Kantor Rayon

- Buatan Pabrik : STARLITE
- Tipe : T 160 N 55 / Outdoor
- Daya : 160 kVA
- Arus : 4.61 A – 230.9 A
- Tegangan : 20000V- 400 V
- Hubungan : Yzn5
- Impedansi : 4%

##### 4.2 Analisa Pembebanan Transformator

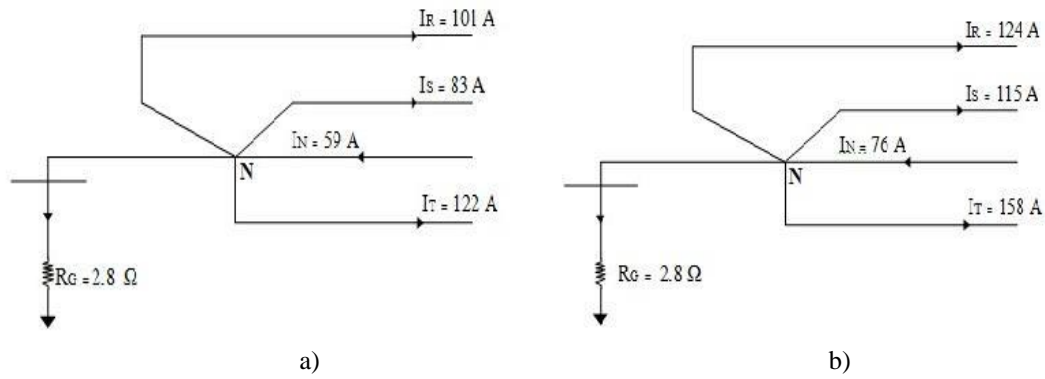
Untuk menentukan besarnya arus *Fuse Cut Out* maka terlebih dahulu kita menghitung besarnya arus jala-jala dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_n = \frac{160 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} \approx 4,62 \text{ Ampere}$$

Kemudian menentukan besar arus beban penuh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} IFL &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \\ &= \frac{160000}{\sqrt{3} \times 400} = 231,21 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_{rata^2 \text{ siang}} = \frac{101 + 83 + 122}{3} = 102 \text{ A}$$



Gambar 3 Skema aliran di sisi sekunder pada a) siang hari; b) malam hari

Tabel 1 Data pengukuran beban

Fasa	S (KVA)	V <sub>LN</sub> (V)	I (A)	Cos $\phi$
<b>Pengukuran pada siang hari (jam : 06.00)</b>				
R		224	101	0.847
S		226	83	
T		224	122	
I <sub>N</sub>			59	
R <sub>G</sub>			2,8	
<b>Pengukuran pada malam hari (jam : 21.00)</b>				
R		228	124	0.845
S		231	115	
T		228	158	
I <sub>N</sub>			76	
I <sub>G</sub>			2,8	

$$I_{rata^2} \text{ malam} = \frac{124 + 115 + 158}{3} = 132 \text{ A}$$

$$P = (I_N^2 \cdot R_N) = (59^2 \cdot 8,9) = 30980,9 \text{ Watt} = 30980,9 \text{ Watt} / 1000 = 30,980 \text{ kW}$$

4.3 Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Transformator

- Tahanan Pembumian (R) = 2,8  $\Omega$
- Waktu (t) = 1 Jam
- Panjang penghantar (L) :
  - Total = 6 m,
  - Rute 1 = 1.155 m
  - Rute 2 = 1050 m
- Luas penampang (A) :
  - Total = BC 120 mm<sup>2</sup>
  - Rute 1 & 2 = AL 50 mm<sup>2</sup>
- Tahanan jenis ( $\rho$ ) :
  - BC = 0178  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,
  - Al = 0278  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
- Resistansi (R) :  $(\rho \times L) / A \text{ Ohm } (\Omega)$

$$W = P \times t = 30,980 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} = 371,770 \text{ kWh/hari}$$

2. Pengukuran Jurusan 1

$$R = (\rho \times L) / A \text{ Ohm } (\Omega) = (0,0278 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 1155 \text{ m}) / 50 \text{ mm}^2 = 0,6421 \text{ Ohm } (\Omega)$$

$$P = (I_N^2 \cdot R_N) = (27^2 \cdot 0,642) = 468,149 \text{ Watt} = 468,149 \text{ Watt} / 1000 = 0,468 \text{ kW}$$

$$W = P \times t = 0,468 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} = 5,616 \text{ kWh/hari}$$

Pada siang hari :

1. Pengukuran Total

$$R = (\rho \times L) / A \text{ Ohm } (\Omega) = (0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 6 \text{ m}) / 120 \text{ mm}^2 = 8,9 \text{ Ohm } (\Omega)$$

3. Pengukuran Jurusan 2

$$R = (\rho \times L) / A \text{ Ohm } (\Omega) = (0,0278 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 10) = 0,5838 \text{ Ohm } (\Omega)$$

$$\begin{aligned}
 P &= (I N^2 \cdot R N) \\
 &= (43^2 \cdot 0,538) \\
 &= 1079,446 \text{ Watt} \\
 &= 1079,446 \text{ Watt} / 1000 = 1,079 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 0,995 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} \\
 &= 2,148 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

Pada malam hari :

#### 1. Pengukuran Total

$$\begin{aligned}
 R &= (\rho \times L) / A \text{ Ohm } (\Omega) \\
 &= (0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 6 \text{ m}) / 120 \text{ mm}^2 \\
 &= 8,9 \text{ Ohm } (\Omega)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= (I N^2 \cdot R N) \\
 &= (76^2 \cdot 8,9) \\
 &= 51406,4 \text{ Watt} \\
 &= 51406,4 \text{ Watt} / 1000 = 51,406 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 51,406 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} \\
 &= 616,872 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

#### 2. Pengukuran Jurusan 1

$$\begin{aligned}
 R &= (\rho \times L) / A \text{ Ohm } (\Omega) \\
 &= (0,0278 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 1155 \text{ m}) / 50 \text{ mm}^2 \\
 &= 0,6421 \text{ Ohm } (\Omega)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= (I N^2 \cdot R N) \\
 &= (36^2 \cdot 0,6421) \\
 &= 832,161 \text{ Watt} \\
 &= 832,161 \text{ Watt} / 1000 = 0,832 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 0,832 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} \\
 &= 9,984 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

#### 3. Pengukuran Jurusan 2

$$\begin{aligned}
 R &= (\rho \times L) / A \text{ Ohm } (\Omega) \\
 &= (0,0278 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 1050 \text{ m}) / 50 \text{ mm}^2 \\
 &= 0,5838 \text{ Ohm } (\Omega)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= (I N^2 \cdot R N) \\
 &= (43^2 \cdot 0,538) \\
 &= 1079,446 \text{ Watt} \\
 &= 1079,446 \text{ Watt} / 1000 \\
 &= 1,079 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 0,995 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} \\
 &= 2,148 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

Pada malam hari :

#### 1. Pengukuran Total

$$R = (\rho \times L) / A \text{ Ohm } (\Omega)$$

$$\begin{aligned}
 &= (0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 6 \text{ m}) / 120 \text{ mm}^2 \\
 &= 8,9 \text{ Ohm } (\Omega)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= (I N^2 \cdot R N) = (76^2 \cdot 8,9) = 51406,4 \text{ Watt} \\
 &= 51406,4 \text{ Watt} / 1000 = 51,406 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 51,406 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} \\
 &= 616,872 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

#### 2. Pengukuran Jurusan 1

$$\begin{aligned}
 R &= (\rho \times L) / A \text{ Ohm } (\Omega) \\
 &= (0,0278 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 1155 \text{ m}) / 50 \text{ mm}^2 \\
 &= 0,6421 \text{ Ohm } (\Omega)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= (I N^2 \cdot R N) = (36^2 \cdot 0,6421) = 832,161 \text{ Watt} \\
 &= 832,161 \text{ Watt} / 1000 = 0,832 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 0,832 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} \\
 &= 9,984 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

#### 3. Pengukuran Jurusan 2

$$\begin{aligned}
 R &= (\rho \times L) / A \text{ Ohm } (\Omega) \\
 &= (0,0278 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 1050 \text{ m}) / 50 \text{ mm}^2 \\
 &= 0,5838 \text{ Ohm } (\Omega)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= (I N^2 \cdot R N) = (51^2 \cdot 0,5838) = 1518,464 \text{ Watt} \\
 &= 1518,464 \text{ Watt} / 1000 = 1,518 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 1,518 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} \\
 &= 18,221 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

Pada siang hari :

#### 1. Pengukuran Total

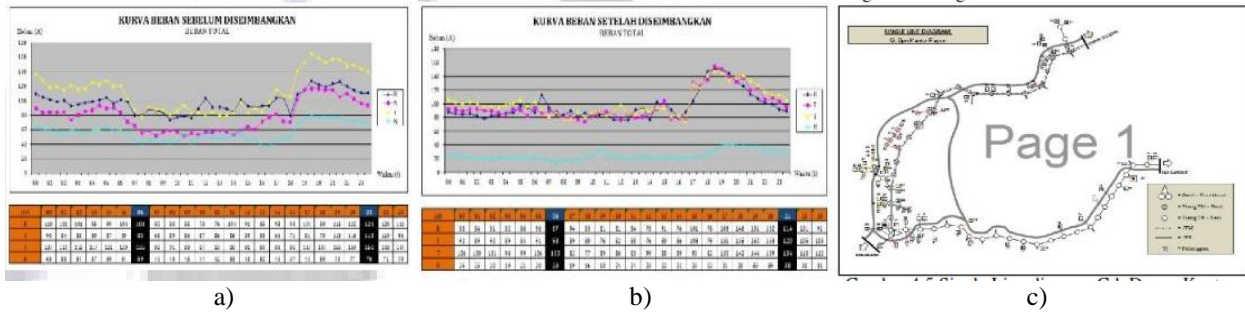
$$\begin{aligned}
 P &= (I N^2 \cdot R G) \\
 &= (59^2 \cdot 2,8) = 9746,8 \text{ Watt} \\
 &= 9746,8 \text{ Watt} / 1000 = 9,747 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 9,747 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} \\
 &= 116,964 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$

#### 2. Pengukuran Jurusan 1

$$\begin{aligned}
 P &= (I N^2 \cdot R G) \\
 &= (27^2 \cdot 2,8) = 2041,2 \text{ Watt} \\
 &= 2041,2 \text{ Watt} / 1000 = 2,041 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= P \times t \\
 &= 2,041 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} \\
 &= 24,494 \text{ kWh/hari}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4** Data pengukuran beban gedung depan kantor rayon, a) sebelum seimbang; b) setelah seimbang; c) single line diagram

**Tabel 2** Hasil perhitungan *losses* sebelum beban seimbang

No	Ketidakeimbangan (%)	Waktu	Rugi-Rugi Energi (kWh/hari)	Rugi-Rugi Energi (kWh/bn)	Total (kWh/bn)
1	13,00 %	LWBP	Pn	379,534	46596,24
			Pg	203,584	
2	12,66 %	WBP	Pn	645,077	29102,7
			Pg	325,013	

**Tabel 3** Hasil perhitungan *losses* setelah beban seimbang

No	Ketidakeimbangan (%)	Waktu	Rugi-Rugi Energi (kWh/jam)	Rugi-Rugi Energi (kWh/bn)	Total (kWh/bn)
1	6,33 %	LWBP	Pn	65,736	12773,64
			Pg	59,846	
2	6,37 %	WBP	Pn	171,684	9006,18
			Pg	128,522	

3. Pengukuran Jurusan 2

$$P = (I_N^2 \cdot R_G) = (43^2 \cdot 2,8) = 5177,2 \text{ Watt} = 5177,2 \text{ Watt} / 1000 = 5,177 \text{ kW}$$

$$W = P \times t = 5,117 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} = 62,126 \text{ kWh/hari}$$

Pada malam hari :  
1. Pengukuran Total

$$P = (I_N^2 \cdot R_G) = (76^2 \cdot 2,8) = 16172,8 \text{ Watt} = 16172,8 \text{ Watt} / 1000 = 16,173 \text{ kW}$$

$$W = P \times t = 16,173 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} = 194,073 \text{ kWh/hari}$$

2. Pengukuran Jurusan 1

$$P = (I_N^2 \cdot R_G) = (36^2 \cdot 2,8) = 3628,8 \text{ Watt} = 3628,8 \text{ Watt} / 1000 = 3,629 \text{ kW}$$

$$W = P \times t = 3,629 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} = 43,546 \text{ kWh/hari}$$

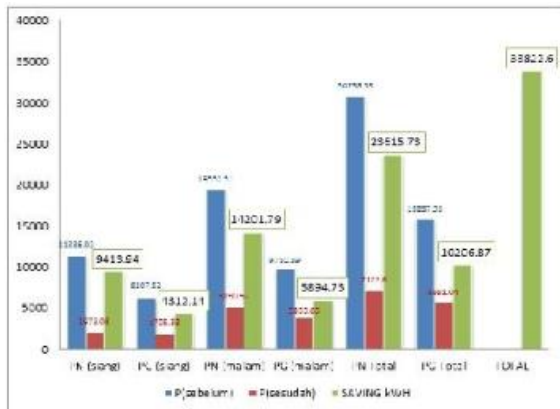
3. Pengukuran Jurusan 2

$$P = (I_N^2 \cdot R_G) = (51^2 \cdot 2,8) = 7282,8 \text{ Watt} = 7282,8 \text{ Watt} / 1000 = 7,283 \text{ kW}$$

$$W = P \times t = 7,283 \text{ kW} \times 12 \text{ jam} = 87,394 \text{ kWh/hari}$$

**4.4 Hasil Perhitungan *Losses* pada Gedung Depan Kantor Rayon dengan Simulasi SBS**

Grafik data pengukuran beban sebelum dan sesudah beban seimbang ditunjukkan pada gambar 4. Hasil perhitungan *losses* pada kondisi sebelum beban seimbang tersebut dijelaskan pada tabel 2. Pada tabel terlihat bahwa semakin besar arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo (*IN*) maka semakin besar *losses* pada penghantar netral trafo (*PN*). Demikian pula bila semakin besar arus netral yang mengalir ke tanah (*IG*), maka semakin besar



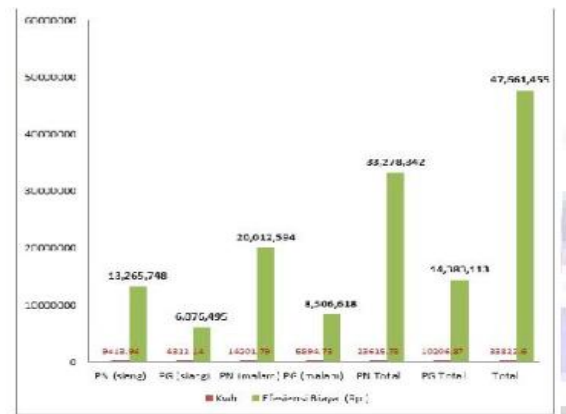
**Gambar 5** Grafik saving kWh dari penyeimbangan beban

losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (PG).

Pada Tabel 3 terlihat bahwa semakin kecil arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo (IN) maka semakin kecil losses pada penghantar netral trafo (PN). Demikian pula bila semakin besar arus netral yang mengalir ke tanah (IG), maka semakin besar losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (PG).

Gambar 5 memperlihatkan bahwa *looses* terbesar pada Gardu Depan Kantor Rayon PT PLN (Persero) Rayon Kayu Aro terjadi pada saat pengukuran Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) yang mana saving kwh yang didapat dari penyeimbangan beban transformator akibat arus yang mengalir pada penghantar netral sebesar 9413,94 kWh dan saat Waktu Beban Puncak (WBP) sebesar 14201,79 kWh dengan total saving kwh pada saat pengukuran siang sebesar 23615,73 kWh. Hal ini disebabkan oleh faktor pelanggan pelanggan pada gardu Depan Kantor Rayon terdiri dari pusat perkantoran, warung malam yang biasa aktif sampai pagi hari, instansi pendidikan, dan rumah tangga. Sedangkan losses akibat arus netral yang losmengalir ke tanah pada saat pengukuran Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) relatif tidak besar yang mana saving kwh sebesar 4312,14 kwh dan pada saat Waktu Beban Puncak (WBP) sebesar 5894,73 dengan total saving kwh sebesar 10206,87 kwh. Jadi total saving kwh yang didapat dari kegiatan penyeimbangan beban Gardu Depan Kantor Rayon PT. PLN (Persero) Rayon Kayu Aro sebesar 34822,6 kWh.

Gambar 6 menunjukkan akibat penyeimbangan beban transformator pada Gardu Depan Kantor Rayon PT PLN (Persero) Rayon Kayu Aro didapatkan biaya yang terselamatkan akibat losses yang disebabkan arus mengalir pada penghantar netral sebesar Rp. 33.278.342,-. Sedangkan terhadap arus yang mengalir ke tanah sebesar Rp.



**Gambar 6** Grafik akibat penyeimbangan pada beban transformator

14.383.113,-. Jadi Total biaya yang terselamatkan sebesar Rp. 47.661.455,-.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa *losses* akibat dari ketidakseimbangan beban gardu distribusi Depan Kantor Rayon PT PLN (Persero) Rayon Kayu Aro dapat disimpulkan bahwa Persentase ketidakseimbangan beban saat waktu beban puncak (WBP) adalah sebesar 12,66 % dari pembebanan 44,11 % yang mengakibatkan arus yang mengalir pada penghantar netral sebesar 59 A. Sedangkan ketidakseimbangan beban saat luar waktu beban puncak (LWBP) adalah sebesar 13,00 % dari pembebanan 57,09% yang mengakibatkan arus yang mengalir pada penghantar netral sebesar 76 A. Kehilangan (susut) Energi pada gardu distribusi Depan Kantor Rayon (160 KVA). Sebelum Penyeimbangan Beban Transformator: Kehilangan energi pada waktu beban puncak (WBP) sebesar 29102,7 kWh dan pada waktu diluar beban puncak (LWBP) sebesar 17493,54 kWh atau total kehilangan energi sebesar 46596,24 kWh/bln. Setelah Penyeimbangan Beban Transformator kehilangan energi pada waktu beban puncak (WBP) sebesar 9006,18 kWh dan pada waktu diluar beban puncak (LWBP) sebesar 3767,46 kWh atau total kehilangan energi sebesar 12773,64 kWh/bln. Jadi, saving kwh dari penyeimbangan beban transformator pada waktu beban puncak (WBP) sebesar 20096,52 kWh dan pada saat luar waktu beban puncak (LWBP) sebesar 13726,08 kWh atau total saving kwh sebesar 33822,6 kWh/bln. Efisiensi biaya dari penyeimbangan beban transformator pada gardu Depan Kantor Rayon PT PLN (Persero) Rayon Kayu Aro terhadap *losses* yang mengalir pada penghantar netral sebesar Rp. 33.278.342,-. sedangkan *losses* yang mengalir ke tanah sebesar Rp. 14.383.113,-. dengan total sebesar Rp. 47.661.455,-.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jefri, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Trafo Distribusi 20 KV", Sei. Pakning, 2013.
- [2] Mangatar, Afrijon Simanjuntak, "Penyeimbangan Beban untuk Menekan Losses pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah", Padang, 2013.
- [3] Moh, Dahlan, "Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi", 2005.
- [4] Nazar, Dani Surya, "Analisis Keseimbangan Beban untuk Mengurangi Losses pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah pada Gardu G.05.T KDL (100 kVA) Pasar Basung PT PLN (Persero) Wilayah Sumatera Barat Cabang Padang Ranting Pariaman", Padang, 2012.
- [5] PT PLN (Persero), "Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi Metode SBS (Seimbang Beban Seharisan)", Padang, Maret, 2013.
- [6] Santoso, Sri Budi, "Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi Metode SBS (Seimbang Beban Seharisan)", Sulawesi.
- [7] Sudaryatno Sudirham, Dr., "Pengaruh dari Ketidakseimbangan Arus Terhadap Susut Daya Pada Saluran", Bandung: ITB, Tim Kerjasama PLN-ITB, 1991.
- [8] Sukmandi, Tejo, "Perhitungan Dan Analisis Keseimbangan Beban Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Rugi-Rugi Daya", jurusan Teknik Elektro UNDIP, Semarang, 2009.
- [9] Suswanto, Daman, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Universitas Negeri Padang, Padang, Bab. II, 2009.