

# Optimasi Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi Terhadap Penurunan Rugi Energi dengan Metode Seimbang Beban Seharian

Muh. Hanif Haris<sup>a)</sup>, Ahmad Rizal Sultan<sup>a)</sup>

(Artikel diterima: bulan September 2020, direvisi: bulan Oktober 2020)

**Abstract:** One of the problems that often arise in distribution systems is load imbalance in meeting electric power needs. If there is a load imbalance in the 3 phase system, the neutral wire in the transformer will be energized. This will cause losses or can be said as unused energy and does not turn into rupiah. For this reason, it is necessary to balance the load of the distribution substations so that the losses that occur do not get bigger. Based on SPLN SE 17: 2014, it is said that the large percentage of load imbalance in distribution substations that can still be tolerated is below 20%, while for distribution substations with an imbalance percentage above 20%, load balancing is necessary. Based on the Transformer Report of PT. PLN (Persero) ULP Maros, the percentage of load imbalance at the GT.MBS027 substation before load balancing is 44.783% and after load balancing there is a decrease in the percentage of imbalance to 6.867%. Likewise, the total value of energy losses before balancing is 80.802 kWh per day. After the load balancing is done, the amount of losses decreases to 2.95 kWh per day. So that you can save 77,852 kWh every day. If converted to a span of 30 days, it can be saved at a power of 900 kVA of Rp. 3,157,677.12 and at a power of 1300 kVA and above it can be saved of Rp. 3,426,920.47.

**Keywords :** unbalanced load, neutral current, losses, transformer, substations.

## 1. Pendahuluan

Dalam melakukan penyeimbangan beban gardu akan digunakan metode Seimbang Beban Seharian (SBS) dimana beban gardu akan diukur selama 24 jam penuh dengan rentang pengukuran setiap 30 menit sehingga memudahkan dalam melakukan pemetaan beban untuk dipindahkan nantinya.

Sesuai dengan latar belakang yang telah diuraikan, maka hal-hal yang akan ditekankan pada pembahasan selanjutnya meliputi:

1. Berapa persentase ketidakseimbangan yang terjadi pada gardu distribusi GT.MBS027 sebelum penyeimbangan beban?
2. Berapa persentase ketidakseimbangan yang terjadi pada gardu distribusi GT.MBS027 setelah penyeimbangan beban?
3. Bagaimana pengaruh penyeimbangan beban terhadap penekanan rugi daya dan rugi energi/losses?

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam kegiatan ini yaitu:

1. Menghitung persentase ketidakseimbangan yang terjadi pada gardu distribusi GT.MBS027 sebelum penyeimbangan beban.
2. Menghitung persentase ketidakseimbangan yang terjadi pada gardu distribusi GT.MBS027 setelah penyeimbangan beban.
3. Menentukan pengaruh penyeimbangan beban terhadap penekanan rugi daya dan rugi energi/losses.

## 2. Tinjauan Pustaka

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

$$S = \sqrt{3} V I \quad (2 - 1)$$

dengan:

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi primer transformator (kV)

I = arus jala-jala (A)

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

persamaan :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} V} \quad (2 - 2)$$

dengan:

I<sub>FL</sub> = arus beban penuh (A)

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi sekunder transformator (kV)

Untuk menghitung persentase pembebanan, menggunakan rumus:

$$\%I = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (2 - 3)$$

dengan:

%I = persentase pembebanan

I<sub>(rata-rata)</sub> = Nilai arus rata-rata dari ketiga fasa (A)

I<sub>FL</sub> = arus beban penuh (A)

Beban tidak seimbang adalah masalah umum yang dihadapi pada sistem 3 fasa, hal ini diakibatkan karena yang mendominasi adalah pelanggan 1 fasa dari pada pelanggan 3 fasa. Walaupun demikian dengan banyaknya pelanggan 3 fasa tetap tidak menjamin keseimbangan fasa. Apabila terjadi ketidakseimbangan beban pada sistem 3 fasa maka kawat netral akan dialiri arus dan perbedaan sudut beban per fasa adalah tidak sama dengan 120° beban transformator yang tidak seimbang akan muncul arus netral. Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana:

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

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan tidak seimbang tidak dipenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3:

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

\* Korespondensi: hanifharis83@gmail.com

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, PNU.  
Jalan Perintis Kemerdekaan Km 10 Makassar 90245

satu sama lain.

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

Dalam menentukan persentase ketidakseimbangan beban, maka terlebih dahulu dicari koefisien kesetimbangan dimana:

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad (2 - 4)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \quad (2 - 5)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (2 - 6)$$

Sehingga persentase ketidakseimbangan dapat dicari dengan rumus berikut.

$$\%KS = \frac{|a-1|+|b-1|+|c-1|}{3} \times 100\% \quad (2 - 7)$$

Dimana:

%KS = Persentase Ketidakeimbangan Beban

a = koefisien beban fasa R

b = koefisien beban fasa S

c = koefisien beban fasa T

I<sub>R</sub> = arus pada fasa R

I<sub>S</sub> = arus pada fasa S

I<sub>T</sub> = arus pada fasa T

Akibat pembebanan di tiap fasa yang tidak seimbang, maka akan mengalir arus pada penghantar netral. Jika dihantarkan 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:

$$P_N = I_N^2 R_N \quad (2 - 8)$$

Dimana:

P<sub>N</sub> = rugi yang timbul pada penghantar netral (watt)

I<sub>N</sub> = arus yang mengalir melalui kawat netral (A)

R<sub>N</sub> = tahanan pada kawat netral (Ω)

Sedangkan losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$P_G = I_G^2 R_G \quad (2 - 9)$$

Dimana:

P<sub>G</sub> = Rugi akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I<sub>G</sub> = Arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R<sub>G</sub> = Tahanan pembumian netral trafo (Ohm)

### 3. Metode Penelitian

Penelitian ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi ini dilakukan Penyulang Bosowa Unit Layanan Pelanggan Maros PT PLN (Persero) yang berlokasi di Jalan Jenderal Sudirman Nomor 5, Kelurahan Alliritengae, Kecamatan Turikale, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan yang pada tanggal 18 Juni 2020 sampai tanggal 27 Juni 2020.

## 4. Pembahasan

### 4.1 Pengumpulan Data

Data Teknis Gardu Distribusi GT.MBS027 sebagai berikut.

- Buatan Pabrik : PT. Trafoindo Prima Perkasa
- Merk : Trafindo
- Daya : 100 kVA
- Tegangan TM:18.000-21.000 V
- Tegangan TR : 400 V
- Arus TM : 2.89 A
- Arus TR : 144.34 A
- Impedansi : 4%
- Frekuensi : 50Hz

### 4.2 Analisa Data Penelitian Sebelum Penyeimbangan Gardu

Tabel 1. Pengukuran Beban Gardu Sebelum Penyeimbangan

JURUSAN	1			
WAKTU	R (A)	S (A)	T (A)	N (A)
a	b	c	d	e
00,00	91,89	49,66	30,9	54,11
00,30	85,83	44,54	28,76	51,04
01,00	82,02	42,85	28,35	48,09
01,30	80,56	38,95	29,62	46,98
02,00	74,01	40,36	27,62	41,51
02,30	65,71	40	28,3	33,15
03,00	61,45	38,14	26,01	31,2
03,30	62,07	39,07	26,81	31
04,00	58,57	40,27	28,17	26,51
04,30	61,83	37,17	23,46	33,68
05,00	63,71	38,34	22,33	36,14
05,30	64,03	37,74	22,46	36,42
06,00	66,9	32,35	12,67	47,55
06,30	67,42	31,39	11,27	49,27
07,00	64,81	24,84	13,26	46,85
07,30	54,51	20,16	15,61	36,84
08,00	51,43	19,03	14,88	34,66
08,30	61,47	23,05	21,98	38,97
09,00	54,46	27,59	26,18	27,6
09,30	74,25	28,1	27,04	46,69
a	b	c	d	e
10,00	70,14	29,56	27,28	41,77
10,30	62,49	27,33	27,49	35,08
11,00	64,4	27,63	26,81	37,19
11,30	63,53	20,67	27,94	39,73
12,00	65,17	21,11	26,57	41,6
12,30	66,42	23,49	27,53	41,06
13,00	66,43	23,53	27,79	40,94
13,30	71,5	29,01	25,62	44,28
14,00	72,67	25,97	26,93	46,23
14,30	74,98	23,63	30,78	48,17
15,00	77,95	27,12	33,18	48,09
15,30	85,46	33,43	36,61	50,52
16,00	86,05	29,97	32,52	54,85
16,30	86,51	27,93	33,84	55,86
17,00	88,82	28,79	43,46	54,2
17,30	103,76	25,12	25,99	78,21

18,00	103,46	26,59	30,25	75,11
18,30	91,58	30,04	35,6	58,96
19,00	98,21	39,34	34,73	61,31
19,30	109,74	47,38	32,53	70,96
20,00	115,03	51,72	30,74	76,27
20,30	109,77	49,17	37,34	67,3
21,00	106,63	52,65	34,71	64,84
21,30	102,21	51,26	34,65	60,98
22,00	104,3	56,03	30,53	64,89
22,30	103,96	56,85	28,29	66,19
23,00	101,21	51,23	29,27	63,86
23,30	96,99	52,87	29,96	59,01
Rata-Rata	79,09	35,06	27,80	48,87
I <sub>G</sub>	27,34 A			
R <sub>G</sub>	3,6 Ω			

Pada tabel 1 diatas memperlihatkan hasil pengukuran beban pada fasa R, S, dan T selama 24 jam penuh dengan rentang pengukuran adalah 30 menit sehingga dihasilkan 48 kali pengukuran selama 24 jam.

Besar pembebanan transformator berdasarkan persamaan (2-2) yaitu :

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

$$= \frac{100000}{\sqrt{3} 400}$$

$$= 144,34 A$$

Setelah itu, mencari arus rata-rata dengan menggunakan rumus:

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

$$= \frac{79,09 + 35,06 + 27,8}{3}$$

$$= 47,317 A$$

Sehingga, rata-rata pembebanan transformator dalam waktu sehari penuh yaitu :

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

$$\%I = \frac{47,317}{144,34} \times 100\%$$

$$\%I = 32,78\%$$

Untuk mencari persentase ketidakseimbangan, maka selanjutnya mencari koefisien beban fasa R, S, dan T sebagai berikut.

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$= \frac{79,09}{47,317}$$

$$= 1,6715$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}$$

$$= \frac{35,06}{47,317}$$

$$= 0,741$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

$$= \frac{27,8}{47,317}$$

$$= 0,587$$

Sehingga persentase ketidakseimbangan beban gardu sebelum dilakukan penyeimbangan beban adalah:

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

$$= \frac{|0,6715| + |0,259| + |0,413|}{3} \times 100\%$$

$$= 44,783\%$$

Dari hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan diatas maka nilai persentase ketidakseimbangan gardu rata-rata sehari yaitu 44,783%. Persentase ketidakseimbangan tersebut masuk dalam kategori buruk dimana persentase ketidakseimbangannya adalah >25% berdasarkan Standar PLN Keseimbangan Beban Tranformator SE 17:2014.

Selanjutnya adalah mencari rugi-rugi daya yang terjadi pada gardu sebelum penyeimbangan beban dilakukan. Data yang dikumpulkan adalah sebagai berikut:

P = 0.03 Ωmm<sup>2</sup>/m (penghantar berbahan dasar aluminium)

l = 440 m (11 tiang JTR x 40 m)

A = 50 mm<sup>2</sup>

Mencari tahanan pada penghantar netral

$$R_N = \rho \frac{l}{A}$$

$$R_N = 0,264 \Omega$$

Mencari Rugi daya pada penghantar netral pada jam 00.00 WITA yaitu sebagai berikut.

$$P_{netral} = I_{netral}^2 \cdot R_{netral}$$

$$P_{netral} = 0,770 kW$$

Mencari Rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah yaitu sebagai berikut.

$$P_{ground} = I_{ground}^2 \cdot R_{ground}$$

$$P_{ground} = 2,691 kW$$

Kemudian untuk mencari nilai rugi-rugi daya yang timbul pada saat dilakukan pengukuran sebelum penyeimbangan beban selama sehari penuh maka tabel pengukuran sebelum penyeimbangan beban GT.MBS027 harus dihitung per 30 menit selama 24 jam. Dari data yang dikumpulkan dapat diketahui jumlah rugi energi kWh dengan mengalikan setiap rugi daya dengan 30 menit atau 0.5 jam, dikarenakan pengukuran berada dalam interval waktu 30 menit. Contoh rugi energi kWh pada pukul 00.00 WITA adalah sebagai berikut.

$$W_{netral} = P_{netral} \times 0,5 \text{ jam}$$

$$W_{netral} = 0,385 kWh$$

$$W_{ground} = P_{ground} \times 0,5 \text{ jam}$$

$$W_{ground} = 2,691 \text{ kW} \times 0,5 \text{ jam}$$

$$W_{ground} = 1,345 \text{ kWh}$$

Keterangan :

$W_{netral}$  = Rugi Energi penghantar netral (kWh)

$W_{ground}$  = Rugi Energi akibat arus netral yang mengalir ke tanah (kWh)

Adapun nilai rugi-rugi yang timbul tiap 30 menit secara lengkap selama 24 jam dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Rugi Daya dan Rugi Energi Sebelum Penyeimbangan

JURUSAN PHASA	Arus pada kawat netral		Arus melalui tanah	
	P (kW)	W (kWh)	P (kW)	W (kWh)
a	b	c	d	e
00,00	0,770	0,385	2,691	1,345
00,30	0,687	0,343	2,691	1,345
01,00	0,608	0,304	2,691	1,345
01,30	0,583	0,292	2,691	1,345
02,00	0,466	0,233	2,691	1,345
02,30	0,287	0,144	2,691	1,345
03,00	0,254	0,127	2,691	1,345
03,30	0,254	0,127	2,691	1,345
04,00	0,192	0,096	2,691	1,345
04,30	0,305	0,153	2,691	1,345
05,00	0,342	0,171	2,691	1,345
05,30	0,342	0,171	2,691	1,345
06,00	0,608	0,304	2,691	1,345
06,30	0,634	0,317	2,691	1,345
07,00	0,583	0,292	2,691	1,345
07,30	0,361	0,181	2,691	1,345
08,00	0,323	0,162	2,691	1,345
08,30	0,402	0,201	2,691	1,345
09,00	0,207	0,103	2,691	1,345
a	b	c	d	e
09,30	0,583	0,292	2,691	1,345
10,00	0,466	0,233	2,691	1,345
10,30	0,323	0,162	2,691	1,345
11,00	0,361	0,181	2,691	1,345
11,30	0,422	0,211	2,691	1,345
12,00	0,466	0,233	2,691	1,345
12,30	0,444	0,222	2,691	1,345
13,00	0,444	0,222	2,691	1,345
13,30	0,511	0,256	2,691	1,345
14,00	0,559	0,279	2,691	1,345
14,30	0,608	0,304	2,691	1,345
15,00	0,608	0,304	2,691	1,345
15,30	0,687	0,343	2,691	1,345
16,00	0,799	0,399	2,691	1,345
16,30	0,828	0,414	2,691	1,345
17,00	0,770	0,385	2,691	1,345
17,30	1,606	0,803	2,691	1,345
18,00	1,485	0,743	2,691	1,345

18,30	0,919	0,459	2,691	1,345
19,00	0,982	0,491	2,691	1,345
19,30	1,331	0,665	2,691	1,345
20,00	1,525	0,762	2,691	1,345
20,30	1,185	0,593	2,691	1,345
21,00	1,115	0,558	2,691	1,345
21,30	0,982	0,491	2,691	1,345
22,00	1,115	0,558	2,691	1,345
22,30	1,150	0,575	2,691	1,345
23,00	1,081	0,541	2,691	1,345
23,30	0,919	0,459	2,691	1,345
JUMLAH	32,484	16,242	129,2	64,56

Dari tabel 2 tersebut dapat diketahui jumlah rugi daya akibat arus yang mengalir pada penghantar netral dalam kurun waktu sehariannya penuh adalah 32,484 kW, sehingga jumlah rugi energinya selama 24 jam adalah 16,242 kWh, sedangkan jumlah rugi energi akibat arus netral yang mengalir ke tanah adalah 129,2 kWh, sehingga jumlah rugi energinya selama 24 jam adalah 64,56 kWh. Adapun total rugi-rugi energi dalam kurun waktu 24 jam penuh adalah :

$$W_{total} = W_{netral} + W_{ground}$$

$$= 16,242 + 64,56$$

$$= 80,802 \text{ kWh}$$

### 4.3 Analisa Data Penelitian Setelah Penyeimbangan Beban

Pengukuran beban gardu dilakukan pada 24 jam dimana perekaman data diatur setiap 30 menit. Data pengukuran beban dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Pengukuran Beban Gardu Setelah Penyeimbangan

JURUSAN PHASA	1			
	R (A)	S (A)	T (A)	N (A)
a	b	c	d	e
00,00	58,83	50,13	51,56	8,08
00,30	56,86	51	47,99	7,81
01,00	49,66	49,01	45,33	4,04
01,30	48,45	48,42	44,69	3,75
02,00	47,31	45,15	45,27	2,10
02,30	45,46	44,55	41,84	3,26
03,00	38,09	43,7	42,12	5,01
03,30	36,19	42,91	41,69	6,20
04,00	39,54	42,41	44,07	3,97
04,30	36,52	42,09	41,18	5,18
05,00	33,53	38,72	41,84	7,27
05,30	33,63	36,38	32,82	3,23
06,00	33,98	34,12	37,74	3,69
06,30	33,83	37,8	36,87	3,60
07,00	36,44	39,06	31,9	6,27
07,30	28,06	31,9	32,11	3,95
08,00	25,43	28,81	38,14	11,40
08,30	26,84	27,98	34,77	7,43
09,00	28,56	31,6	41,73	11,94
09,30	32,76	30,76	38,45	6,91
10,00	33,84	30,83	47,9	15,78

10,30	36,57	36,14	57,81	21,46
11,00	38,6	39,97	56,51	17,27
11,30	36,88	41,83	55,19	16,41
12,00	40,28	37,36	48,19	9,71
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>
12,30	40,67	36,68	41,03	4,18
13,00	41,5	36,64	45,51	7,69
13,30	47,08	38,38	50,82	11,06
14,00	46,52	36,34	46,09	9,97
14,30	50	36,23	44,49	12,00
15,00	47,1	35,56	47,99	12,01
15,30	48,94	32,65	44,17	14,51
16,00	46,81	34,2	52,04	15,88
16,30	46,97	37,44	53,52	14,01
17,00	54,68	36,76	55,93	18,58
17,30	52,36	36,01	53,04	16,70
18,00	57,69	38,31	57,2	19,14
18,30	60,95	43,22	62,27	18,43
19,00	63,51	49,78	64,64	14,33
19,30	67,52	53,84	61	11,85
20,00	65,72	50,42	62,59	14,00
20,30	67,08	50,66	66,88	16,32
21,00	67,21	49,83	65,66	16,66
21,30	64,96	49,38	62,56	14,53
22,00	64,73	48,97	65,81	16,33
22,30	64,87	50,67	63,05	13,38
23,00	62,49	51	67,36	14,55
23,30	57,81	51,94	58,74	6,39
Rata-Rata	46,74	40,99	49,38	10,56
$I_G$	4,9 A			
$R_G$	3,6 $\Omega$			

Dari data beban di atas, dapat ditentukan nilai persentase ketidakseimbangan berdasarkan besar rata-rata nilai arusnya. Adapun nilai arus rata-rata dan koefisien beban pada fasa R, S, dan T adalah sebagai berikut.

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

$$= \frac{46,7 + 41 + 49,4}{3}$$

$$= 45,7 \text{ A}$$

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$= \frac{46,736}{45,701}$$

$$= 1,023$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}$$

$$= \frac{40,990}{45,701}$$

$$= 0,897$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

$$= \frac{49,377}{45,701}$$

$$= 1,080$$

Maka nilai persentase ketidakseimbangan setelah dilakukan penyeimbangan beban adalah:

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

$$= \frac{|1,023-1| + |0,897-1| + |1,080-1|}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{|0,023| + |0,103| + |0,080|}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{0,206}{3} \times 100\%$$

$$= 6,867\%$$

Dari hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan diatas maka nilai persentase ketidakseimbangan gardu rata-rata sehari yaitu 6,867%. Persentase ketidakseimbangan tersebut masuk dalam kategori baik dimana persentase ketidakseimbangannya adalah <10% berdasarkan Standar PLN Keseimbangan Beban Tranformator SE 17:2014.

Mencari Rugi daya pada penghantar netral pada jam 00.00 WITA yaitu sebagai berikut.

$$P_{netral} = I_{netral}^2 \cdot R_{netral}$$

$$P_{netral} = 8^2 \cdot 0,264$$

$$P_{netral} = 0,0169 \text{ kW}$$

Mencari Rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah yaitu sebagai berikut.

$$P_{ground} = I_{ground}^2 \cdot R_{ground}$$

$$P_{ground} = 4,9^2 \cdot 3,6$$

$$P_{ground} = 0,086 \text{ kW}$$

Kemudian untuk mencari nilai rugi-rugi daya yang timbul pada saat dilakukan pengukuran sebelum penyeimbangan beban selama sehari penuh maka tabel pengukuran sebelum penyeimbangan beban GT.MBS027 harus dihitung per 30 menit selama 24 jam. Dari data yang dikumpulkan dapat diketahui jumlah rugi energi kWh dengan mengalikan setiap rugi daya dengan 30 menit atau 0.5 jam, dikarenakan pengukuran berada dalam interval waktu 30 menit. Contoh rugi energi kWh pada pukul 00.00 WITA adalah sebagai berikut.

$$W_{netral} = P_{netral} \times 0,5 \text{ jam}$$

$$W_{netral} = 0,0169 \text{ kW} \times 0,5 \text{ jam}$$

$$W_{netral} = 0,00845 \text{ kWh}$$

$$W_{ground} = P_{ground} \times 0,5 \text{ jam}$$

$$W_{ground} = 0,086 \text{ kW} \times 0,5 \text{ jam}$$

$$W_{ground} = 0,043 \text{ kWh}$$

Keterangan :

$W_{netral}$  = Rugi Energi penghantar netral (kWh)

$W_{ground}$  = Rugi Energi akibat arus netral yang mengalir ke tanah (kWh)

Adapun nilai rugi daya yang timbul tiap 30 menit secara lengkap selama 24 jam dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Rugi Daya dan Rugi Energi Setelah Penyeimbangan

JURUSAN	Arus pada kawat netral		Arus melalui Tanah	
	P (kW)	W (kWh)	P (kW)	W (kWh)
a	b	c	d	e
00,00	0,017	0,008	0,086	0,043
00,30	0,017	0,008	0,086	0,043
01,00	0,004	0,002	0,086	0,043
01,30	0,004	0,002	0,086	0,043
02,00	0,001	0,001	0,086	0,043
02,30	0,002	0,001	0,086	0,043
03,00	0,007	0,003	0,086	0,043
03,30	0,010	0,005	0,086	0,043
04,00	0,004	0,002	0,086	0,043
04,30	0,007	0,003	0,086	0,043
05,00	0,013	0,006	0,086	0,043
05,30	0,002	0,001	0,086	0,043
a	b	c	d	e
06,00	0,004	0,002	0,086	0,043
06,30	0,004	0,002	0,086	0,043
07,00	0,010	0,005	0,086	0,043
07,30	0,004	0,002	0,086	0,043
08,00	0,032	0,016	0,086	0,043
08,30	0,013	0,006	0,086	0,043
09,00	0,038	0,019	0,086	0,043
09,30	0,013	0,006	0,086	0,043
10,00	0,068	0,034	0,086	0,043
10,30	0,116	0,058	0,086	0,043
11,00	0,076	0,038	0,086	0,043
11,30	0,068	0,034	0,086	0,043
12,00	0,026	0,013	0,086	0,043
12,30	0,004	0,002	0,086	0,043
13,00	0,017	0,008	0,086	0,043
13,30	0,032	0,016	0,086	0,043
14,00	0,026	0,013	0,086	0,043
14,30	0,038	0,019	0,086	0,043
15,00	0,038	0,019	0,086	0,043
15,30	0,059	0,030	0,086	0,043
16,00	0,068	0,034	0,086	0,043
16,30	0,052	0,026	0,086	0,043
17,00	0,095	0,048	0,086	0,043
17,30	0,076	0,038	0,086	0,043

18,00	0,095	0,048	0,086	0,043
18,30	0,086	0,043	0,086	0,043
19,00	0,052	0,026	0,086	0,043
19,30	0,038	0,019	0,086	0,043
20,00	0,052	0,026	0,086	0,043
20,30	0,068	0,034	0,086	0,043
21,00	0,076	0,038	0,086	0,043
21,30	0,059	0,030	0,086	0,043
22,00	0,068	0,034	0,086	0,043
a	b	c	d	e
22,30	0,045	0,022	0,086	0,043
23,00	0,059	0,030	0,086	0,043
23,30	0,010	0,005	0,086	0,043
JUMLAH	1,773	0,886	4,128	2,064

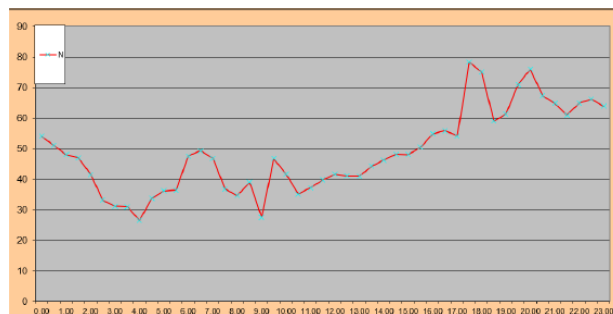
Dari data tabel 4 dapat diketahui jumlah rugi daya akibat arus yang mengalir pada penghantar netral dalam kurun waktu sehari-hari penuh adalah 1,773 kW, sehingga jumlah rugi energinya selama 24 jam adalah 0,886 kWh, sedangkan jumlah rugi energi akibat arus netral yang mengalir ke tanah adalah 4,128 kWh, sehingga jumlah rugi energinya selama 24 jam adalah 2,064 kWh. Adapun total energi dalam kurun waktu 24 jam penuh adalah :

$$W_{total} = W_{netral} + W_{ground}$$

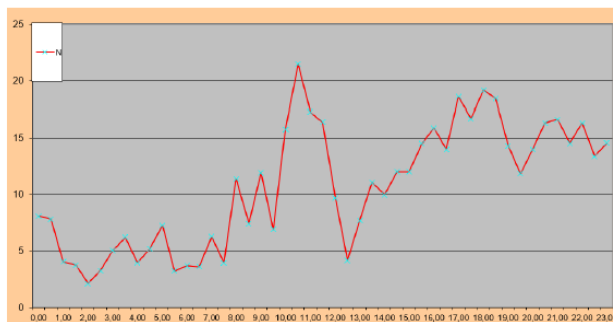
$$= 0,886 + 2,064$$

$$= 2,95 \text{ kWh}$$

Adapun perbandingan ketidakseimbangan beban, arus netral, dan rugi energi sebelum dan setelah penyeimbangan beban dapat dilihat pada grafik-grafik berikut.



Gambar 4.1 Kurva Arus Netral Sebelum Diseimbangkan



Gambar 4.2 Kurva Arus Netral Setelah Diseimbangkan

## 5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik pada penelitian mengenai ketidakseimbangan beban ini adalah sebagai berikut.

- 1) Persentase ketidakseimbangan sebelum dilakukan penyeimbangan pada gardu GT.MBS027 adalah sebesar 44,783% dan termasuk kategori buruk sesuai dengan SPLN SE 17:2014 tentang keseimbangan beban transformator.
- 2) Persentase ketidakseimbangan setelah dilakukan penyeimbangan pada gardu GT.MBS027 adalah sebesar 6,867% dan termasuk kategori baik sesuai dengan SPLN SE 17:2014 tentang keseimbangan beban transformator .
- 3) Total nilai rugi-rugi energi sebelum penyeimbangan pada GT.MBS027 adalah sebesar 80,802 kWh per hari . Setelah dilakukan penyeimbangan beban, jumlah rugi-ruginya turun menjadi 2,95 kWh per hari. Sehingga dapat dihemat sebesar 77,852 kWh setiap harinya. Apabila dirupiahkan pada daya 900 kVA dapat diperoleh sebesar Rp 3,157,677.12 dan pada daya 1300 kVA keatas dapat diperoleh sebesar Rp 3,426,920.47.

---

## Daftar Pustaka

- [1] Sarimun, Wahyudi. (2011). *Buku Saku Pelayanan Teknik (Yantek)*. Edisi Kedua. Depok: Garamond.
- [2] Abdillah, Fazari dkk. 2014. Penyeimbangan Beban Pada Gardu Distribusi Dengan Metode Seimbang Beban Sehari di PT. PLN Area Bukittinggi. Dalam Jurnal Teknik POMITS, Vol :1-6.
- [3] Setiadji, Santoso dkk. 2006. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi. Dalam Jurnal Teknik Elektro, VI (1): 68-73.
- [4] Suswanto, Daman. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
- [5] PT. PLN (Persero) PUSDIKLAT. (2008). Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi. Materi Diklat. Tidak Diterbitkan.
- [6] PT. PLN (Persero). (2014). Surat Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No.0017 Tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset. Materi Diklat. Tidak Diterbitkan.
- [7] SPLN. 2007. Bagian 1. Spesifikasi Transformator Distribusi . Jakarta.