

Sistem Ketidak Seimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Alat PHB – SR (Peralatan Hubung Bagi Sambungan Rumah) Di PT. PLN Persero ULP Binjai Timur

Muhammad Siddik^{*)}, Hamdani, Beni Satria

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan
Jln. Jend. Gatot Subroto Km 4,5, Sei Sikambing, Medan, Sumatera Utara 20122, Indonesia
email: muhammadsiddik061122@gmail.com

Abstract — *Load imbalance in an electric power distribution system often occurs in the field. This is a single-phase load on Low Voltage Network customers that is not the same due to the large number of additional electrical loads that do not pay attention to system load imbalances. As a result of this imbalance, a current appears in the transformer neutral. The current flowing in the neutral of the transformer causes losses, namely losses due to neutral current in the neutral conductor of the transformer and losses due to neutral current flowing to the ground. By realizing PHB SR (Home Connection Equipment) is able to balance the load on the Low Voltage Network. balance the load on the Low Voltage Network periodically and continuously so as to reduce technical shrinkage (losses), simplify the Connection Field in the technical connection of the Low Voltage Network. Connection in the technical connection of the House Connection (SR) on the pole, improve the aesthetics and neatness of the Network System.*

Abstrak – Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik sering kali terjadi di lapangan. Hal ini merupakan beban satu fasa pada pelanggan Jaringan Tegangan Rendah yang tidak sama akibat banyaknya penambahan beban listrik yang tidak memperhatikan ketidakseimbangan beban sistem. Akibat ketidakseimbangan tersebut muncul arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (susut teknis/rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Dengan merealisasikan PHB SR (Peralatan Hubung Bagi Sambungan Rumah) ini mampu menyeimbangkan beban pada Jaringan Tegangan Rendah secara berkala dan kontinu sehingga dapat mengurangi susut teknis (losses), mempermudah Bidang Penyambungan dalam teknis penyambungan Sambungan Rumah (SR) di Tiang, meningkatkan estetika dan kerapian Sistem Jaringan.

Kata Kunci – Energi Listrik, Ketidakseimbangan Beban, PHB SR.

^{*)} penulis korespondensi : Muhammad Siddik
Email: muhammadsiddik061122@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan kemajuan teknologi. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban-beban yang pada awalnya merata, namun karena perbedaan waktu pemakaian menimbulkan ketidakseimbangan beban [1]. Untuk menjaga stabilitas beban tersebut diperlukan analisis pembebanan yang bertujuan mengidentifikasi ketidakseimbangan beban antar fasa (R, S, T) yang menyebabkan mengalirnya arus pada netral trafo [2]. Arus yang mengalir di netral trafo dapat mengakibatkan losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada

penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Proses pemerataan beban yang ada saat ini cukup sulit dilakukan secara kontinyu dan berkala, tingginya gangguan pembatas arus (NH-Fuse) akibat beban yang tidak seimbang dapat menyebabkan pemadaman aliran listrik [3]. Oleh sebab itu, penulis membuat sebuah alat pembagi yaitu alat PHB SR (Peralatan Hubung Bagi Sambungan Rumah) sebagai pembagi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke Sambungan Rumah (SR).

II. LANDASAN TEORI

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik memiliki pengertian suatu kesatuan dari unit pembangkit listrik, unit transmisi listrik, dan unit distribusi listrik yang menyalurkan listrik dari produsen kepada konsumen dengan dilengkapi sistem proteksi pada kesatuan tersebut, secara umum Sistem Tenaga Listrik dibagi menjadi tiga segmen, yaitu Pembangkitan, Transmisi dan Distribusi [4]. Adapun komponen-komponen jaringan distribusi seperti:

1. Gardu Induk
2. Jaringan Distribusi Primer
3. Gardu Distribusi
4. Jaringan Distribusi Sekunder

B. Penyusutan Energi Pada Jaringan Distribusi

Penyusutan energy pada jaringan distribusi ini dapat dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

1. Penyusutan energy pada penyulang
2. Penyusutan energy pada transformator distribusi
3. Penyusutan energy pada titik sambungan (jointing)

Susut Non-Teknis merupakan susut atau daya yang hilang akibat faktor-faktor non teknis, dalam artian merupakan susut yang benar-benar tidak bisa diperhitungkan penyebab dari susut ini [5].

Beberapa contoh dari penyebab susut non teknis ini adalah adanya pencurian listrik. Penyebab lain yang sering terjadi juga adalah karena adanya kesalahan dalam pencatatan nilai. Lebih jelas parameter yang harus diperhatikan yang seringkali menjadi penyebab timbulnya susut non teknis adalah sebagai berikut [6]:

1. Pengukuran Energi Listrik
2. Pencatatan Meter Pelanggan
3. Pemakaian sendiri
4. Prosedur perhitungan dan pelaporan susut
5. Kontak pelanggan
6. Komposisi Jaringan

Sementara susut teknis merupakan susut yang terjadi karena memang ketidaksempurnaan sistem, dengan kata lain susut yang sudah pasti ada dan biasanya dapat dibuat model

perhitungannya [7]. Secara umum rumusan perhitungan susut teknis berasal dari rumus berikut:

$$P_{\text{susut}} = I^2 R_{\text{kabel}}$$

I = besar arus yang mengalir di jaringan (Ampere)

R = besar hambatan dalam penghantar (Ω)

Kemudian besar hambatan kabel tersebut didefinisikan dengan persamaan

$$R = \rho \times l / A$$

R = Hambatan dalam penghantar (Ω)

ρ = hambatan jenis penghantar (Ω meter)

l = Panjang Penghantar (meter)

A = luas penampang penghantar (meter²)

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa secara sederhana rugi-rugi jaringan diakibatkan oleh besar arus yang mengalir, ini dipengaruhi terutama oleh pusat-pusat beban, semakin banyak beban yang bekerja maka akan semakin besar pula arus yang mengalir di jaringan [8]. Kemudian juga disebabkan oleh penghantar juga akan lebih kecil.

III. METODE PENELITIAN

A. Data Teknis

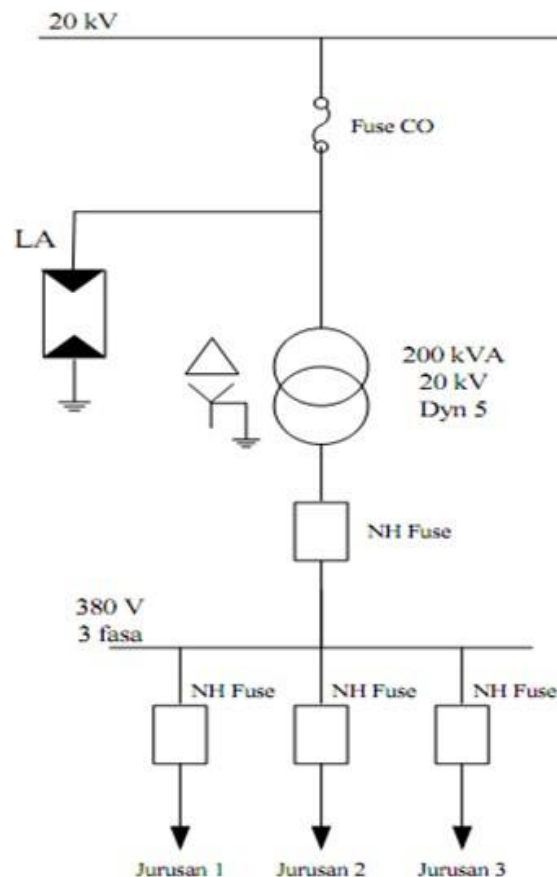
Data teknis yang dilakukan dalam penelitian ini berupa data-data profil Gardu Distribusi dan Jaringan Tegangan Rendah. Dimana penelitian ini diambil berdasarkan hasil evaluasi, sehingga dijadikan sampel penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk dapat mengetahui ketidak seimbangan pada Jaringan Tegangan Rendah dan berapa besarnya energi yang hilang / susut dari Jaringan Tegangan Rendah yang menyuplai energi hingga ke masyarakat pengguna energi listrik.



Gbr. 1 Trafo Tiang

Spesifikasi Trafo Tiang :

Gardu : TP 15P
Merk / Tipe : Trafindo / Outdoor
Daya : 200 kVA
Tegangan Kerja : 21/20,5/20/19,5/19 kV // 400 V
Arus : 6,8 – 359 A
Hubungan : Dyn5
Impedansi : 4%
Trafo : 1 x 3 fasa



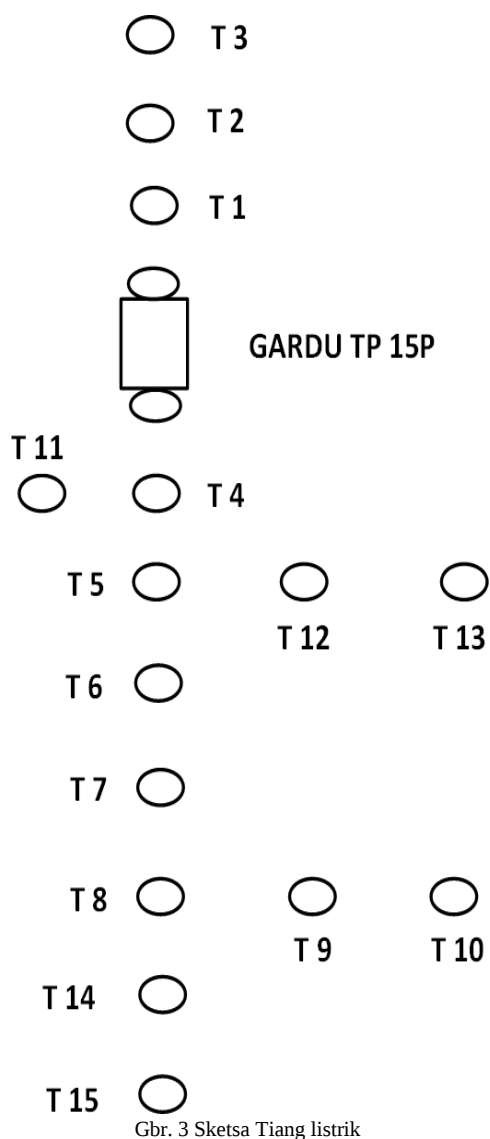
Gbr. 2 Line Pembebanan Trafo (I)

B. Skema Jaringan Tegangan Rendah Awal

TABEL I
DATA PEMBEBANAN TRAFO (I)

Fasa	S(kVA)	Vp-n (V)	I(A)
Pengukuran Malam			
R	50,42	226	223,1
S	37,29	226	165
T	20,57	227	90,6
IN		118,6 A	
IG		62,1 A	
RG		3,8 Ω	
Pengukuran Malam			
R	68,31	225	303,6
S	42,42	226	187,7
T	37,38	226	165,4
IN		131,7 A	
IG		58,9 A	
RG		3,8 Ω	

Ukuran kawat untuk penghantar netral trafo adalah 50 mm² dengan $R = 0,6842 \Omega/\text{km}$, sedangkan untuk kawat penghantar fasanya adalah 70 mm² dengan $R = 0,5049 \Omega/\text{km}$.



		DAYA (VA)				
		900 VA	1300 VA	2200 VA		
T1	8 PELANGGAN	3	1	0		
T2	8 PELANGGAN	0	2	0		
T3	10 PELANGGAN	0	1	3		
T4	15 PELANGGAN	0	3	3		
T5	6 PELANGGAN	2	0	1		
T6	9 PELANGGAN	0	3	2		
T7	5 PELANGGAN	0	3	0		
T8	8 PELANGGAN	0	3	0		
T9	8 PELANGGAN	0	1	1		
T10	6 PELANGGAN	0	3	0		
T11	9 PELANGGAN	0	2	1		
T12	11 PELANGGAN	0	3	1		
T13	7 PELANGGAN	0	1	0		
T14	9 PELANGGAN	0	2	3		
T15	8 PELANGGAN	0	1	1		

Gbr. 4 Jumlah Pelanggan (I)

C. Perhitungan dan Persentase Pembebanan Trafo (I)

$S = 200 \text{ kVA}$, $V = 400 \text{ V}$ (fasa-fasa)

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

$$I_{RataSiang} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{223,1 + 165 + 90,6}{3} = 159,67 \text{ A}$$

$$I_{RataMalam} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{303,6 + 187,7 + 165,4}{3} = 218,90 \text{ A}$$

Persentase Beban Trafo

$$\frac{I_{RataSiang}}{I_{FL}} = \frac{159,67}{288,68} = 55,31\%$$

$$\frac{I_{RataMalam}}{I_{FL}} = \frac{218,90}{288,68} = 75,83\%$$

Waktu beban puncak (WBP) yaitu 75,83%

D. *Perhitungan ketidakseimbangan beban pada Trafo (I) Pada Siang Hari*

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

$$I_R = a \times I, \text{ maka: } a = \frac{I_R}{I} = \frac{223,1}{159,67} = 1,40$$

$$I_s = b \times I, \text{ maka: } a = \frac{I_s}{I} = \frac{165}{159.67} = 1,30$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } a = \frac{I_T}{I} = \frac{90,6}{159,67} = 0,57$$

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

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

$$\frac{\{|1,4-1|+|1,3-1|+|0,57-1|\}}{3} \times 100\% = 28.67\%$$

E. Perhitungan ketidakseimbangan beban pada Trafo (I)
Pada Malam Hari

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

$$I_R = a \times I, \text{ maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{303,6}{218,9} = 1,39$$

$$I_s = b \times I, \text{ maka: } a = \frac{I_s}{I} = \frac{187,7}{218,9} = 0,86$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } a = \frac{I_T}{I} = \frac{165,4}{218,9} = 0,75$$

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

$$\frac{\{1,39-1\} + \{0,86-1\} + \{0,75-1\}}{3} \times 100\% = 26\%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa baik pada siang hari maupun malam hari, ketidakseimbangan beban cukup tinggi ($> 25\%$), hal ini disebabkan karena penggunaan beban yang tidak merata antar Pelanggan.

F. Perhitungan Susut Teknis (Losses) (I) Pada Siang Hari

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

$$PN = (IN)^2 \cdot RN = (118,6)^2 \cdot 0,6842$$

$$= 9623,92 \text{ Watt} \approx 9,62 \text{ kW}$$

Dimana daya aktif trafo (P) : $P = S \cdot \cos \phi$, dimana $\cos \phi$ yang digunakan adalah 0,85 $P = 200 \cdot 0,85 = 170 \text{ kW}$ Sehingga

persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{9,62}{170} \times 100\% = 5,66\%$$

Losses akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya, yaitu: $PG = (IG)^2 \cdot RG = (62,1)^2 \cdot 3,8 = 146554,4 \text{ Watt} \approx 14,65 \text{ kW}$. Dengan demikian persentase losses akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah adalah:

$$\%P_G = \frac{P_G}{P} \times 100\% = \frac{14,65}{170} \times 100\% = 8,62\%$$

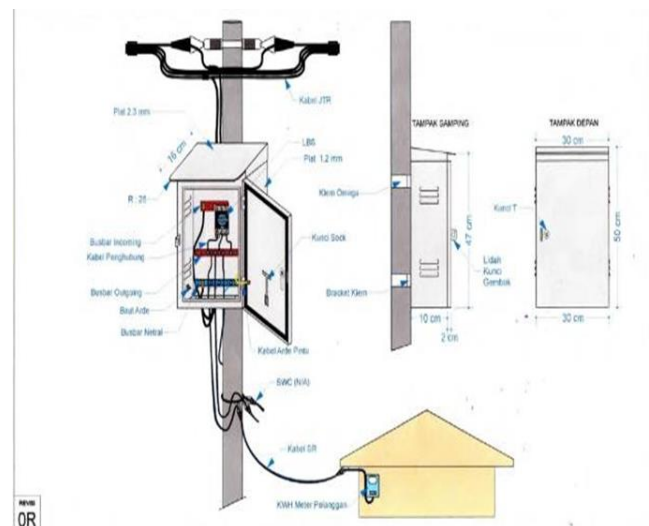
G. Perhitungan Susut Teknis (Losses) (I) Pada alam Hari

Losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu: $PN = (IN)^2 \cdot RN = (131,76)^2 \cdot 0,6842 = 11867,37 \text{ Watt} \approx 11,87 \text{ kW}$. Sehingga persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

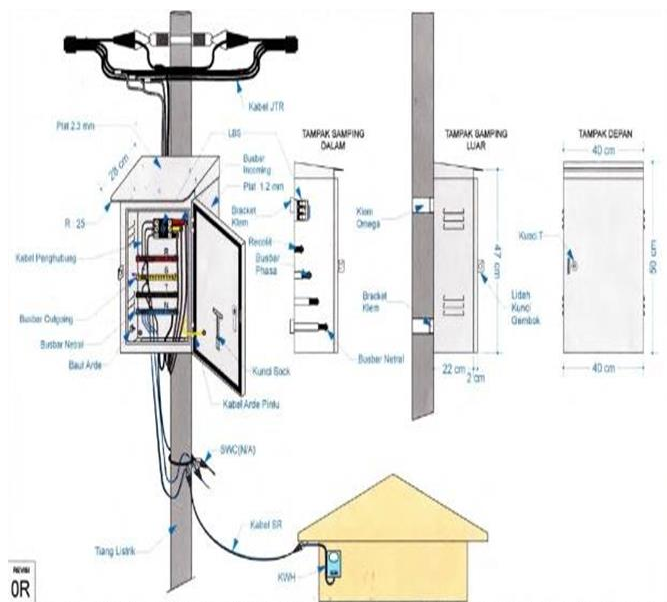
adalah: $\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{11,87}{170} \times 100\% = 6,98\%$

Losses akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya, yaitu: $PG = (IG)^2 \cdot RG = (58,9)^2 \cdot 3,8 = 13183 \text{ Watt} \approx 13,18 \text{ kW}$. Dengan demikian persentase losses akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah adalah:

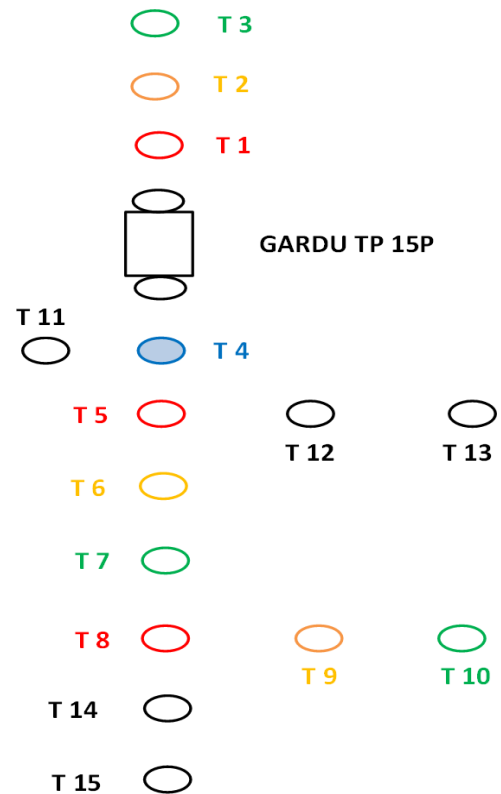
$$\%P_G = \frac{P_G}{P} \times 100\% = \frac{13.18}{170} \times 100\% = 7,75\%$$



Gbr. 5 PHB-SR 1 fasa



Gbr. 6 PHB-SR 3 fasa



Gbr. 7 Sketsa Tiang Listrik (II)

TABEL I
PERBANDINGAN KINERJA KOMPUTER A DAN KOMPUTER B

Komputer	Waktu Proses	Ketelitian	Memori
A	100 ms	90 %	250 KB
B	125 ms	95 %	400 KB

H. *Teknis*

- a. PHB SR terdiri atas PHB 1 fasa dan PHB 3 fasa
- b. HB 3 fasa berfungsi sebagai tempat manuver beban (pemindahan SR dari fasa tinggi ke fasa rendah)
- c. PHB SR 1 fasa dipasang di setiap tiang, dengan urutan tiang ke-1 dikoneksikan ke fasa R, tiang ke-2 dikoneksikan ke fasa S, tiang ke-3 dikoneksikan ke fasa T, tiang ke-4 dipasang PHB SR 3 fasa (berfungsi untuk manuver beban), tiang ke 5 dan selanjutnya dipasang PHB SR 1 fasa secara berurutan mengikuti fasa
- d. Pindahkan kabel Sambungan Rumah (SR) ke PHB SR, kemudian lakukan pengukuran disetiap jurusan pada PHB-TR
- e. Setelah mendapatkan pengukuran siang dan malam lakukan manuver beban di PHB SR 3 fasa
- f. Diperoleh hasil pemerataan beban yang ideal ($< 20\%$)
- g. Beban sifatnya tidak stabil, dalam kurun waktu tertentu beban tersebut akan bertambah. Jika kondisi pemerataan beban kembali tidak ideal maka lakukan manuver beban. Dengan adanya PHB SR ini, pemindahan beban-beban di Jaringan Tegangan Rendah akan lebih efektif, efisien dan mudah.

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Jaringan

Perbandingan data-data pembebanan Trafo sebelum dan sesudah dipasang PHB-SR untuk dapat melakukan pengukuran dan analisa ketidak seimbangan beban yang menyebabkan susut (losses) yang cukup tinggi pada masing-masing Gardu, antara lain : hasil ukur beban trafo, hasil ukur arus pada penghantar netral, hasil ukur arus pada kawat ground dan panjang Jaringan Tegangan Rendah.

		DAYA (VA)				
		900 VA	1300 VA	2200 VA		
T1	3	5	0	8	PELANGGAN	
T2	2	4	2	8	PELANGGAN	
T3	0	6	4	10	PELANGGAN	
T4	0	5	2	7	PELANGGAN	
	0	2	0	2	PELANGGAN	
	0	3	3	6	PELANGGAN	
T5	2	1	3	6	PELANGGAN	
T6	2	5	2	9	PELANGGAN	
T7	0	5	0	5	PELANGGAN	
T8	1	5	2	8	PELANGGAN	
T9	0	5	3	8	PELANGGAN	
T10	3	3	0	6	PELANGGAN	
T11	0	1	2	9	PELANGGAN	
	0	2	3			
	0	0	1			
T12	0	3	1	11	PELANGGAN	
	0	1	2			
	0	1	2			
T13	0	1	0	7	PELANGGAN	
	0	2	1			
	0	2	0			
T14	0	2	3	9	PELANGGAN	
	0	2	0			
	0	4	0			
T15	0	1	1	8	PELANGGAN	
	0	0	2			
	13	74	40			127

Gbr. 8 Jumlah Pelanggan (II)

TABEL II
DATA PEMBEBANAN TRAFO (I)

Fasa	S(kVA)	Vp-n (V)	I(A)
Pengukuran Malam			

R	35,78	226	158,3
S	37,85	225	168,3
T	33,81	226	149,6
IN		46,6 A	
IG		12,1 A	
RG		3,8Ω	
Pengukuran Malam			
R	52,79	225	234,6
S	48,88	226	216,3
T	46,96	226	207,8
IN		64,1 A	
IG		21,4 A	
RG		3,8 Ω	

B. Perhitungan dan Persentase Pembebanan Trafo (II)

S = 200 kVA , V = 400 V (fasa-fasa)

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

$$I_{RataSiang} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{158,3 + 168,2 + 149,6}{3} = 158,7 \text{ A}$$

$$I_{RataMalam} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{234,6 + 216,3 + 207,8}{3} = 219,57 \text{ A}$$

Persentase Beban Trafo

$$\frac{I_{RataSiang}}{I_{FL}} = \frac{158,7}{288,68} = 54,97\%$$

$$\frac{I_{RataMalam}}{I_{FL}} = \frac{219,57}{288,68} = 76,06\%$$

Waktu Beban Puncak (WBP) yaitu 76,06%.

C. Perhitungan ketidakseimbangan beban pada Trafo (II) Pada Siang Hari

Dengan menggunakan persamaan (6), koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besar arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besar arus rata-rata (Irata).

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{I_R}{I} = \frac{158,3}{158,7} = 0,99$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{I_S}{I} = \frac{168,2}{158,7} = 1,05$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{I_T}{I} = \frac{149,6}{158,7} = 0,94$$

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

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

$$\frac{\{|0,99-1| + |1,05-1| + |0,94-1|\}}{3} \times 100 = 4\%$$

D. Perhitungan ketidakseimbangan beban pada Trafo (II) Pada Malam Hari

Dengan menggunakan persamaan (6), koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besar arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besar arus rata-rata (Irata).

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{I_R}{I} = \frac{234,6}{219,57} = 1,07$$

$$I_S = a \times I, \text{ maka } a = \frac{I_S}{I} = \frac{216,3}{219,57} = 0,98$$

$$I_T = a \times I, \text{ maka } a = \frac{I_T}{I} = \frac{207,8}{219,57} = 0,94$$

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

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

$$\frac{\{|1,07-1| + |0,98-1| + |0,94-1|\}}{3} \times 100\% = 4,6\%$$

Dari perhitungan di atas menunjukkan bahwa baik pada siang hari maupun malam hari, ketidakseimbangan beban cukup rendah (< 25%).

E. Perhitungan ketidakseimbangan beban pada Trafo (II) Pada Siang Hari

Berdasarkan data tersebut, losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu: $PN = (IN)^2 \cdot RN = (46,6)^2 \cdot 0,6842 = 1485,78 \text{ Watt} \approx 1,486 \text{ kW}$. Sehingga persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{1,486}{170} \times 100\% = 0,87\%$$

Losses akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung besarnya, yaitu: $PG = (IG)^2 RG = (12,1)^2 \cdot 3,8 = 556,36 \text{ Watt} \approx 0,556 \text{ kW}$.

Dengan demikian persentase losses akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah adalah:

$$\%P_G = \frac{P_G}{P} \times 100\% = \frac{0,556}{170} \times 100\% = 0,33\%$$

F. Manfaat Finansial PHB-SR

Mengurangi losses dan penghematan sebesar (berdasarkan data pada pembahasan beban malam hari).

$\Delta PG = PG1 - PG2 = 13,18 \text{ kW} - 1,74 \text{ kW} = 11,44 \text{ kW}$ Asumsi Rp1.352/kWh Dalam 1 (satu bulan) diperoleh penghematan sebesar $11,44 \text{ kW} \times 720 \times \text{Rp}1.352 = \text{Rp} 11.136.153$ $\Delta PN = PN1 - PN2 = 11,87 \text{ kW} - 2,81 \text{ kW} = 9,06 \text{ kW}$ Dalam 1 (satu bulan) diperoleh penghematan sebesar : $9,06 \text{ kW} \times 720 \times \text{Rp} 1.352 = \text{Rp} 8.819.366$. Mengurangi gangguan pembatas arus NH-Fuse, kWh yang hilang akibat pemadaman dan pembelian material akibat kerusakan.

G. Manfaat Non-Finansial PHB-SR

Mempermudah Bidang Penyambungan dalam teknis penyambungan Sambungan Rumah (SR) di Tiang dan Mendukung program *go green* PLN melalui estetika dan kerapian Jaringan Listrik.

V.KESIMPULAN

PHB SR adalah sebuah alat pembagi Sambungan Rumah dari Jaringan Tegangan Rendah yang dipasang pada Tiang Listrik, tempat manuver beban dalam pelaksanaan pemerataan/penyeimbangan. Pada Gradu TP 15P susut teknis (*losses*) akibat timbulnya arus pada kabel netral dan kabel pentanahan mencapai 24,27 kW pada siang hari dan 25,05 kW pada malam hari. Setelah dilakukan pemerataan/ manuver beban turun mencapai 2,04 kW pada siang hari dan 4,55 kW pada malam hari, sehingga susut teknis (*losses*) dapat turun sekitar 80%.

VI.DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Muchtar and Y. Sopian, "Studi Verifikasi Sistem Ketidakseimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Alat PHB-SR (Peralatan Hubung Bagi Sambungan Rumah) Di Wilayah PLN Area Cempaka Putih," *Elektum*, vol. 14, no. 1, pp. 1–8, 2017.
- [2] W. S. Aisah, M. Marwan, and S. Thaha, "Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 Kilovolt Terhadap Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Toddopuli PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Unit Layanan Pelanggan Panakukkang Makassar," in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 2020, pp. 22–28.
- [3] E. Agustina and A. F. Amalia, "Penurunan susut non teknis pada jaringan distribusi menggunakan sistem automatic meter reading di pt. pln (persero)," *J. Teknol. Elektro*, vol. 8, no. 1, p. 142273, 2017.
- [4] H. A. Siahaan, "Analisis Susut Energi Untuk Tindakan Pemeliharaan Jaringan Tegangan Menengah Di Pt Pln (Persero) Ulp Siborongborong," 2022.
- [5] A. Kadir, "Distribusi dan utilisasi tenaga listrik," *Penerbit Univ. Indones. Jakarta*, 2000.
- [6] A. Ramadini, "PENGARUH PERGANTIAN KWH METER PASCABAYAR ANALOG MENJADI KWH METER PASCABAYAR DIGITAL DALAM UPAYA PENURUNAN SUSUT NON TEKNIS PT PLN (PERSERO) ULP SUKARAMI." Politeknik Negeri Sriwijaya, 2021.
- [7] S. N. Indonesia, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)," *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, pp. 1–133, 2011.
- [8] R. Afrianda, S. Samsurizal, and A. A. Nurul, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Studi Gardu PT PLN (PERSERO) Area Bekasi," *Sutet*, vol. 10, no. 1, pp. 29–38, 2020.