

STUDI KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN RUGI-RUGI PADA TRAFODISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) UNIT LAYANAN PELANGGAN (ULP) KUPANG

Ade Manu Gah^{1*}, Ambrosius Tino², dan Funansia Donis³

^{1,2} Politeknik Negeri Kupang

Jl. Adisucipto Penfui 139

*E-mail:adekpg@gmail.com

Abstrak

Keseimbangan beban memiliki pengaruh yang cukup signifikan dalam efektifitas penyaluran tenaga listrik dari sumber (PLN) ke konsumen. Ketidakseimbangan beban dapat mengakibatkan munculnya arus netral yang mengalir pada penghantar dan berdampak pada hilangnya energi dalam penyaluran. Pada studi ini, analisa kondisi ketidakseimbangan beban dilakukan diTrafo distribusi di PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Kupang yang sering mengalami fenomena munculnya arus netral. Adapun gardu-gardu yang dipilih untuk analisa adalah gardu KU 94, KS 97, KS 031 dan KS 141. Pengukuran dan analisa terhadap gardu-gardu tersebut, dilakukan pada kondisi siang dan malam hari. Berdasarkan hasil analisa, ketidakseimbangan beban tertinggi terdapat pada gardu KS 097 di pengukuran hari ke-6 dengan presentase 114 % pada kondisi siang hari. Gardu KS 031 memiliki ketidakseimbangan yang cukup baik (<20%) baik pada kondisi siang dan malam hari.

Kata kunci: Losses, Arus Netral, Ketidakseimbanganbeban, PLN ULP Kupang.

1. PENDAHULUAN

Kehandalan dan efisiensi sistem kelistrikan merupakan hal yang krusial dalam penyaluran energi ke konsumen baik domestik maupun industri. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik, perencanaan sistem harus mempertimbangkan keseimbangan beban-beban per-fasa sedemikian rupa agar dapat tercapai keseimbangan arus pada saluran-salurannya. Fakta dilapangan menunjukkan pada awal pengaturan jaringan, pembagian beban-beban listrik dilakukan secara merata, tetapi seiring berjalannya waktu terjadi penambahan beban yang tidak merata dan diperparah dengan kenyataan adanya perbedaan waktu dalam pemakaian atau pengoperasian beban Hal ini dapat berakibat pada timbulnya ketidakseimbangan beban tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S dan fasa T). Akibat dari ketidakseimbangan beban tersebut adalah munculnya arus di netral transformator. Arus yang mengalir di netral transformator ini menyebabkan muncul *losses* (rugi-rugi) pada penghantar netral transformator dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Kedua *losses* ini menyebabkan menurunnya kemampuan sistem dalam melayani beban dan memperparah rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekunder secara keseluruhan. Kerugian yang terjadi akibat beban yang tidak seimbang akan berdampak kerugian pada pihak

konsumen maupun pihak PLN.

Trafo distribusi di PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Kupang sering sekali mengalami fenomena munculnya arus netral di sisi sekunder. Munculnya arus di netral dapat disebabkan karena terjadinya ketidakseimbangan atau tidak meratanya beban yang terdistribusi yang kemudian berakibat pada munculnya *losses* (rugi – rugi).

2. METODE PENELITIAN

Jaringan distribusi adalah jaringan yang menghubungkan gardu induk dengan konsumen, terdiri atas jaringan distribusi primer dengan Tegangan Menengah (TM) dan jaringan distribusi sekunder dengan Tegangan Rendah (TR). Ketiga adalah jaringan yang disebut instalasi pemanfaatan, yaitu jaringan yang menghubungkan sumber tenaga listrik dengan peralatan pemanfaatan tenaga listrik.

Batas maksimum pembebanan ditentukan oleh kemampuan hantaran arus dari jaringan, kapasitas transformator dan jatuh tegangan maksimum yang diizinkan pada ujung jaringan yang ditetapkan dalam Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 1: 1995 adalah maksimum +5% dan minimum -10% tegangan nominal.

2.1. Teknik Analisa Data

Teknik analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik deskriptif, yaitu dengan cara mendeskripsikan data-data beban fasa (R,S,T dan N) yang diperoleh dari lokasi penelitian.

Setelah itu melakukan pengukuran beban fasa (R,S,T dan N) untuk membuat perbandingan dengan standar ketidakseimbangan beban yang telah ditetapkan oleh PLN dan menghitung rugi-rugi arus netral berdasarkan hasil pengukuran rugi-rugi pada penghantar netral trafo dan rugi-rugi akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah.

2. 2. Daya Pada Saluran Distribusi

Daya (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 :

$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

Dimana :

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

Daya yang sampai pada ujung terima akan lebih kecil dari P 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:

$$I_R = a \cdot I \quad (2)$$

$$I_S = b \cdot I \quad (3)$$

$$I_T = c \cdot I \quad (4)$$

dimana I_R , I_S dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T. Sementara itu a,b dan c merupakan koefisien yang menyatakan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa.

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai

:

$$P = (a + b + c) \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (5)$$

Jika Persamaan P = (a + b + c) . V . I .cos φ dan persamaan P =3. V . I .cos φ menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \quad (6)$$

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

2.3. Arus Beban Penuh

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (7)$$

dimana :

- S = Daya transformator (kVA)
- V = Tegangan sisi primer transformator (V)
- I = Arus jala-jala (A)

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

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (8)$$

dimana :

- I_{FL} = Arus beban penuh (A)
- S = Daya transformator (kVA)
- V = Tegangan sisi sekunder transformator (V)

2.4. Ketidakseimbangan Beban Trafo

Ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi selalu terjadi karena ketidaksamaan pemakaian energi listrik. Terdapat dua keadaan pada beban trafo, yaitu keadaan seimbang dan keadaan tidak seimbang.

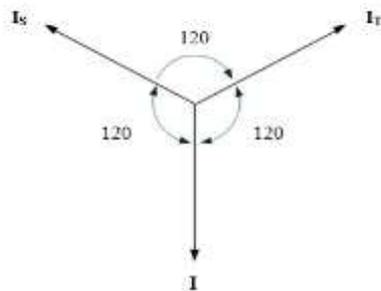
Keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

- Ketiga vektor arus atau tegangan sama besar
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120^o satu sama lain

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang 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.



Gaambar 1. Vektor Diagram Arus Seimbang

2.5. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \tag{9}$$

Besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata, maka koefisien a, b, dan c diperoleh dengan :

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \tag{10}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \tag{11}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \tag{12}$$

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

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{(|a-1| + |b-1| + |c-1|)}{3} \times 100 \% \tag{13}$$

2.6. Rugi-Rugi Arus Netral pada Trafo

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan rugi-rugi (*losses*). *Losses* pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \tag{14}$$

dimana :

P_N = *Losses* pada penghantar netral trafo (Watt)

I_N = Arus pada netral trafo (A)

R_N = Tahanan penghantar netral trafo (Ω)

Sehingga daya aktif transformator dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = S \times \cos \varphi \tag{15}$$

dimana :

P = daya aktif transformator (Watt)

S = daya semu transformator (kVA)

$\cos \varphi = 0,85$

Presentase rugi-rugi daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator terhadap daya aktif trafo adalah :

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 \% \tag{16}$$

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

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \tag{17}$$

dimana :

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

I_G = Arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G = Tahanan pembumian netral trafo (Ω)

Presentase rugi-rugi daya akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah (*ground*) terhadap daya aktif trafo adalah :

$$\%P_G = \frac{P_G}{P} \times 100 \% \tag{18}$$

Standar ketidakseimbangan arus antar fasa pada trafo distribusi, yaitu : < 10 %

, artinya trafo tersebut dalam keadaan baik; 10 % - <20 %, artinya trafo tersebut dalam keadaan cukup baik; 20 % - < 25 %, artinya trafo tersebut dalam keadaan kurang baik; ≥ 25 %, artinya trafo tersebut dalam keadaan tidak baik atau buruk. Dalam keadaan ≥ 25 %, maka trafo tersebut perlu perhatian dari pihak PLN.

2.7. Pemilihan Gardu Distribusi

Gardu distribusi KU (Kupang Utara) merupakan gardu yang bertempat di bagian Utara Kota Kupang, sedangkan gardu distribusi KS (Kupang Selatan) merupakan gardu yang bertempat di bagian Selatan Kota Kupang.

Alasan penulis melakukan penelitian di gardu KU 094 karena sesuai dengan data beban yang terlampir, bahwa pada tanggal 30 Agustus 2018

gardu KU 094 memiliki presentase ketidakseimbangan beban yang baik, karena di bawah < 10 % yaitu 2,88 %. Selanjutnya dipilih gardu KS 097 karena sesuai dengan data beban yang terlampir, bahwa pada tanggal 14 Januari 2019 gardu KS 097 memiliki presentase ketidakseimbangan beban yang tidak baik, karena di atas > 25 % yaitu 38,74 %. Berikutnya dipilih gardu KS 031 karena sesuai dengan data beban yang terlampir, bahwa pada tanggal 27 Februari 2019 gardu KS 031 memiliki presentase ketidakseimbangan beban yang cukup baik, karena di bawah < 20 % yaitu 16,81 % dan dipilihnya gardu KS 141 karena sesuai dengan data beban yang terlampir, bahwa pada tanggal 21 Desember 2018 gardu KS 141 memiliki presentase ketidakseimbangan beban yang tidak baik, karena di atas > 25 % yaitu 52,55 %.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran beban dilakukan pada 4 gardu distribusi, yaitu KU 094, KS 097, KS 031 dan KS 141 selama satu minggu.

Pengukuran beban pada siang hari dilakukan saat waktu beban puncak, yaitu dari jam 10.00 – 10.50 WITA dan pengukuran beban pada malam hari dilakukan saat waktu beban puncak, yaitu dari jam 18.30 – 19.20 WITA.

3.1 Perhitungan arus rata-rata Siang

Untuk perhitungan arus rata-rata siang ($I_{rata-rata}$ siang) menggunakan rumus sebagai berikut :

Salah satu contohnya pada gardu KU 094 :

Gardu KU 094

$$I_{rata-rata} = \frac{I_r + I_s + I_t}{3}$$

$$= \frac{36 + 77,4 + 73}{3}$$

$$= \frac{186,4}{3}$$

$$= 62,13 \text{ A}$$

Tabel 1. Perhitungan arus beban pada siang hari di Gardu KU 094

NO	NOMOR GARDU	Pengukuran Hari Ke-																						
		1			2			3			4			5			6			7				
		I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t		
1	KU094	36	77,4	73	62,13	45,4	85,6	75,3	68,77	50,3	74,4	60,3	61,67	43,3	63	60,7	55,67	47	60	51	55,33	25,64	54,7	39,4
2	KS097	39	59	41	46,33	65,3	39,6	15,53	40,14	29,8	30	20,5	26,77	44,9	39,5	39,2	41,2	39,4	25	25	29,8	19,19	0,59	1,46
3	KS031	82	54	64	66,67	88,3	60	62,9	70,4	81,1	52,2	66,53	79,2	68,6	70	72,61	77	60	63	66,67	76,6	58,3	61,2	65,37
4	KS141	15,5	29,95	23,1	22,85	20,6	2,50	11,74	16,29	3,72	9,92	9,943	10,6	7,78	1,19	6,523	10	4	3	5,667	0,36	3,96	0,98	1,767

Tabel 2. Perhitungan arus beban pada malam

hari di Gardu KU 094

NO	NOMOR GARDU	Pengukuran Hari Ke-																					
		1			2			3			4			5			6			7			
		I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	I _r	I _s	I _t	
1	KU094	27,9	100,6	44,4	57,97	30,5	90	44,5	55	31,7	87	49	55,9	37,2	92	45,9	57,7	32	89	41	54	29,28	84,1
2	KS097	26,6	2,31	7,31	12,07	33,4	17,62	16,42	22,49	33	19	8	20	25,3	7,68	6,01	13	33,4	2,85	14,9	17,05	23,38	2,07
3	KS031	100,3	90	95,6	95,3	102	82	99	94,67	101	91	92	94,67	99,5	97,9	100	102,1	100	92,4	108	102	95	86,4
4	KS141	6,25	3,24	8,34	5,94	0,12	1,57	0,99	0,99	12	4	5	7	9,68	4,14	10,8	8,23	9,54	10,9	8,66	9,71	0,58	7,9

3.2. Presentasi Pembebanan Trafo

Untuk perhitungan arus beban penuh pada transformator (I_{FL}) menggunakan rumus sebagai berikut :

Salah satu contohnya adalah perhitungan pada gardu KU 094 di siang hari :

Contoh :

Gardu KU 094

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

$$= \frac{100000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}}$$

$$= 144,33 \text{ A}$$

Kemudian, untuk perhitungan pembebanan trafo menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{Pembelian Trafo} = \frac{I_{rata \text{ siang}}}{I_{FL}}$$

$$= \frac{62,13}{144,33} \times 100 \%$$

$$= 43 \%$$

Tabel 3. Persentasi pembenanan trafo pada siang hari

NO	NOMOR GARDU	KAPASITAS TRAF0	V _{p-p}	IFL	% Pembelian Siang Hari Ke-						
					1	2	3	4	5	6	7
1	KU094	100000	400	144,3	43,0%	47,6%	42,7%	38,6%	38,3%	27,7%	23,3%
2	KS097	100000	400	144,3	32,1%	27,8%	18,5%	28,5%	20,6%	4,9%	5,5%
3	KS031	100000	400	144,3	46,2%	48,8%	46,1%	50,3%	46,2%	45,3%	48,8%
4	KS141	100000	400	144,3	15,8%	8,1%	6,9%	4,5%	3,9%	1,2%	1,8%

Tabel 4. Persentasi pembenanan trafo pada malam hari

NO	NOMOR GARDU	KAPASITAS TRAF0	Vp-p	IFL	% Pembebanan Malam Hari Ke -						
					1	2	3	4	5	6	7
1	KU094	100000	400	144.3	40.2%	38.1%	38.7%	40.0%	37.4%	36.7%	35.4%
2	KS097	100000	400	144.3	8.4%	15.6%	13.9%	9.0%	11.8%	9.8%	8.3%
3	KS031	100000	400	144.3	66.0%	65.6%	65.6%	70.7%	71.3%	67.2%	70.3%
4	KS141	100000	400	144.3	4.1%	0.6%	4.8%	5.7%	6.7%	2.2%	3.4%

3.3. Analisa Ketidakseimbangan beban pada trafo

Untuk perhitungan ketidakseimbangan beban pada trafo, maka diawali dengan mencari koefisien a,b dan c menggunakan rumus sebagai berikut :

Salah satu contohnya pada gardu KU 094 :

Contoh :

Gardu KU 094

$$I_R = a.l$$

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

$$= \frac{36}{62,13}$$

$$= 0,58$$

$$I_S = b.l$$

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

$$= \frac{77,4}{62,13}$$

$$= 1,25$$

$$I_T = c.l$$

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

$$= \frac{73}{62,13}$$

$$= 1,17$$

Tabel 5. Ketidakseimbangan trafo pada siang hari

NO	NOMOR GARDU	Pengukuran Hari Ke -																				
		1			2			3			4			5			6			7		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	KU094	0,58	1,25	1,17	0,66	1,24	1,10	0,82	1,21	0,98	0,78	1,13	1,09	0,85	1,23	0,92	0,64	1,37	0,99	0,74	1,60	0,66
2	KS097	0,84	1,27	0,83	1,63	0,99	0,39	1,11	1,12	0,77	1,09	0,96	0,95	1,32	0,84	0,84	2,71	0,08	0,21	2,43	0,13	0,45
3	KS031	1,23	0,81	0,96	1,25	0,85	0,89	1,22	0,78	1,00	1,09	0,94	0,96	1,16	0,9	0,95	1,17	0,89	0,94	1,08	0,92	1
4	KS141	0,68	1,31	1,01	1,77	0,22	1,01	1,64	0,37	0,99	1,62	1,19	0,18	1,76	0,71	0,53	0,20	2,24	0,53	0,15	2,47	0,39

Tabel 6. Ketidakseimbangan trafo pada malam hari

NO	NOMOR GARDU	Pengukuran Hari Ke -																				
		1			2			3			4			5			6			7		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	KU094	0,48	1,75	0,77	0,55	1,64	0,81	0,57	1,56	0,88	0,64	1,59	0,76	0,59	1,65	0,76	0,55	1,59	0,86	0,56	1,7	0,74
2	KS097	2,20	0,19	0,61	1,49	0,78	0,73	1,65	0,95	0,4	1,9	0,59	0,46	1,96	0,17	0,87	1,65	0,15	1,20	1,79	0,61	0,60
3	KS031	1,05	0,94	1,00	1,09	0,87	1,05	1,07	0,96	0,97	0,96	1,07	1,06	0,90	1,05	0,98	0,89	1,13	1,06	0,85	1,09	
4	KS141	1,05	0,55	1,40	1,13	1,76	1,10	1,71	0,57	0,71	1,18	0,50	1,32	0,98	1,13	0,89	0,19	2,52	0,30	0,06	2,57	0,37

3.4. Presentase Ketidakseimbangan beban Untuk perhitungan presentasi ketidakseimbangan beban , digunakan rumus (13). Salah satu contohnya pada gardu KU 094 untuk kondisi siang hari. Contoh :

% ketidakseimbangan adalah :

$$= \frac{(|0,58-1| + |1,25-1| + |1,17-1|)}{3}$$

$$= \frac{(0,42+0,25+0,17)}{3}$$

$$= 28 \%$$

Tabel 7. Presentasi ketidakseimbangan beban pada siang hari.

NO	NOMOR GARDU	Ketidakseimbangan Beban Siang Hari Ke -						
		1	2	3	4	5	6	7
1	KU094	28.0%	22.7%	13.8%	14.8%	15.3%	24.7%	40.0%
2	KS097	18.2%	41.8%	15.6%	6.0%	21.5%	114.0%	95.1%
3	KS031	15.3%	17.0%	14.6%	6.1%	10.3%	11.5%	5.3%
4	KS141	21.4%	51.9%	42.6%	54.5%	51.0%	82.8%	97.7%

Sesuai dengan Tabel. 7 di atas, maka dapat ditentukan standar ketidakseimbangan beban diantaranya :

a. Gardu KU 094

Pada hari ke-1 dan ke-7 termasuk dalam gardu yang presentase ketidakseimbangan bebannya tidak baik, karena diatas > 25 %. Pada hari ke-2 dan ke-6 presentase ketidakseimbangan bebannya kurang baik, karena dibawah < 25 %. Pada hari ke-3, ke-4 dan ke-5 presentase ketidakseimbangan bebannya cukup baik, karena dibawah < 20 %

b. Gardu KS 097

Pada hari ke-1 dan ke-3 termasuk dalam gardu yang presentase ketidakseimbangan bebannya cukup baik, karena dibawah < 20 %. Pada hari ke-2, ke-6 dan ke-7 presentase ketidakseimbangan bebannya tidak baik, karena diatas > 25 %. Pada hari ke-4 presentase ketidakseimbangan bebannya baik, karena dibawah < 10% dan pada hari ke-5 presentase ketidakseimbangan bebannya kurang baik, karena dibawah < 25 %

- c. Gardu KS 031
Pada hari ke-1, ke-2, ke-3, ke-5 dan ke-6 termasuk dalam gardu yang presentase ketidakseimbangan bebannya cukup baik, karena dibawah < 20 %. Pada hari ke-4 dan ke-7 presentase ketidakseimbangan bebannya baik, karena dibawah < 10 %
- d. Gardu KS 141
Pada hari ke-1 termasuk dalam gardu yang presentase ketidakseimbangan bebannya kurang baik, karena dibawah < 25 %. Pada hari ke-2 sampai hari ke-7 presentase ketidakseimbangan bebannya tidak baik, karena diatas >25 %

Tabel 8. Presentasi ketidakseimbangan beban pada malam hari.

NO	NOMOR GARDU	Ketidakseimbangan Beban Malam Hari Ke -						
		1	2	3	4	5	6	7
1	KU094	50.2%	42.4%	37.1%	39.6%	43.2%	39.0%	46.7%
2	KS097	80.2%	32.4%	43.3%	63.1%	63.9%	56.9%	52.4%
3	KS031	3.7%	8.9%	4.5%	4.4%	6.8%	8.6%	10.3%
4	KS141	30.3%	57.7%	47.6%	33.1%	8.4%	101.1%	104.5%

Sesuai dengan Tabel 4.16 di atas, maka dapat ditentukan standar ketidakseimbangan beban diantaranya :

- a. Gardu KU 094
Pada hari ke-1 sampai hari ke-7 termasuk dalam gardu yang presentase ketidakseimbangan bebannya tidak baik, karena diatas > 25 %
- b. Gardu KS 097
Pada hari ke-1 sampai hari ke-7 termasuk dalam gardu yang presentase ketidakseimbangan bebannya tidak baik, karena diatas > 25 %
- c. Gardu KS 031
Pada hari ke-1 sampai hari ke-6 presentase ketidakseimbangan bebannya baik, karena dibawah < 10 % dan pada hari ke-7 presentase ketidakseimbangan bebannya cukup baik, karena dibawah < 20 %
- d. Gardu KS 141
Pada hari ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, ke-6 dan ke-7 termasuk dalam gardu yang presentase ketidakseimbangan bebannya tidak baik, karena diatas > 25 %. Pada hari ke-5 presentase ketidakseimbangan bebannya baik, karena dibawah < 10 %

3.5. Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Trafo dan Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

Adapun tahanan penghantar netral trafo untuk

tiap gardu adalah sebagai berikut :

Tabel 9. Tahanan Penghantar trafo tiap per no gardu

NO	NOMOR GARDU	ρ Cu	l (m)	A (m ²)	R = ($\rho \times L$) / A
1	KU094	1.68×10^{-8}	8	0.000095	0.00141474
2	KS097	1.68×10^{-8}	8	0.000150	0.00089600
3	KS031	1.68×10^{-8}	8	0.000095	0.00141474
4	KS141	1.68×10^{-8}	8	0.000070	0.00192000

3.5.1. Losses Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Trafo.

Dengan menggunakan rumus (14) maka didapatkan data hasil perhitungan losses pergardu sebagai berikut :

Tabel 10. Losses pada Penghantar Netral Trafo per gardu pada siang hari

NO	NOMOR GARDU	Pengukuran Hari Ke -													
		1		2		3		4		5		6		7	
		Iv	Pn	Iv	Pn	Iv	Pn	Iv	Pn	Iv	Pn	Iv	Pn	Iv	Pn
1	KU094	54	0.0041	43.3	0.0027	34.5	0.0017	22.8	0.00074	31	0.0014	32.1	0.0015	30.8	0.0013
2	KS097	21	0.00040	40.2	0.0014	11.5	0.00012	11.2	0.00011	12.86	0.00014918	19.2	0.000330301	18.46	0.000365
3	KS031	34	0.0016	40.7	0.0023	33.2	0.0016	31.8	0.00143	16	0.00036217	30	0.0013	14	0.00028
4	KS141	11.5	0.00025	17.1	0.00066	11.96	0.00027	4.48	0.000039	5	4.800E-05	0.09	1.5553E-08	12.98	0.000323

Tabel 11. Losses pada Penghantar Netral Trafo per gardu pada malam hari

NO	NOMOR GARDU	Pengukuran Hari Ke -													
		1		2		3		4		5		6		7	
		Iv	Pn	Iv	Pn	Iv	Pn	Iv	Pn	Iv	Pn	Iv	Pn	Iv	Pn
1	KU094	71.6	0.0073	47.2	0.0032	53	0.0040	56.8	0.0046	57	0.0046	52.93	0.0040	56.2	0.0045
2	KS097	23	0.00047	22.4	0.00045	22	0.00045	15.1	0.00020	28.5	0.00073	22.31	0.000445972	14.29	0.000183
3	KS031	69.6	0.0069	70	0.0069	66	0.00616	71.3	0.0072	68.5	0.0066	72.5	0.0074	71.9	0.0073
4	KS141	637	9.33E-05	1.39	4E-06	8	0.00012	7.48	0.00011	6.1	7.14E-05	7.21	9.98095E-05	10.78	0.00023

3.5.2. Presentase Losses Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Trafo.

Dengan menggunakan rumus (15) dan (16) maka presentasi losses akibat keberadaan arus netral pada penghantar netral trafo baik siang maupun malam adalah sebagai berikut:

Tabel 12. Presentasi Losses Pada penghantar Netral Trafo pada siang hari.

NO	NOMOR GARDU	P (kW)	% Losses Siang Hari Ke -						
			1	2	3	4	5	6	7
1	KU094	85	0.0049%	0.0031%	0.0020%	0.0009%	0.0016%	0.0017%	0.0016%
2	KS097	85	0.0005%	0.0017%	0.0001%	0.0001%	0.0002%	0.0004%	0.0004%
3	KS031	85	0.0019%	0.0028%	0.0018%	0.0017%	0.0004%	0.0015%	0.0003%
4	KS141	85	0.0003%	0.0007%	0.0003%	0.00005%	0.0001%	0.00000002%	0.0004%

Tabel 13. Presentasi Losses Pada penghantar Netral Trafo pada malam hari.

NO	NOMOR GARDU	P (kW)	% Losses Malam Hari Ke -					
			1	2	3	4	5	6
1	KU094	85	0.0085%	0.0037%	0.0047%	0.0054%	0.0054%	0.0047%
2	KS097	85	0.0006%	0.0005%	0.0005%	0.0002%	0.0009%	0.0005%
3	KS031	85	0.0081%	0.0082%	0.0073%	0.0085%	0.0078%	0.0087%
4	KS141	85	0.0001%	0.000004%	0.0001%	0.0001%	0.0001%	0.0001%

3.5.3. Presentase Losses Akibat mengalirnya Arus Netral ke tanah.

Dengan menggunakan rumus (17) dan (18) maka losses dan presentasi losses (terhadap daya aktif) akibat keberadaan arus netral pada penghantar netral trafo baik siang maupun malam adalah sebagai berikut:

Tabel 14. Losses Akibat mengalirnya Arus Netral ke tanah kondisi siang hari

NO	NOMOR GARDU	Pengukuran Hari Ke -																				
		1			2			3			4			5			6			7		
		I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a
1	KU094	0.28	16.8	0.0024	0.35	17.8	0.0022	0.28	16.6	0.0024	0.33	12.5	0.0014	0.3	23.5	0.0021	0.33	13	0.0014	0.34	23.5	0.0021
2	KS097	32	1	0.001	2.61	1.2	0.0002	1.57	1.2	0.0003	1.31	1.1	0.0009	1.02	1.2	0.0002	1.04	1	0.0011	0.59	1.2	0.0004
3	KS031	0	14.78	0	0	19	0	0	12.6	0	0	14	0	0	1	0	0	14	0	0	1	0
4	KS141	0.1	2.15	0.00002	0.19	1.4	0.00005	0.15	1.3	0.000029	0	2.15	0	0.06	1.7	0.000061	0.12	2.15	0.000031	0	1.7	0

Tabel 15. Losses Akibat mengalirnya Arus Netral ke tanah kondisi malam hari.

NO	NOMOR GARDU	Pengukuran Hari Ke -																				
		1			2			3			4			5			6			7		
		I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a	I _a	R _a	P _a
1	KU094	1.79	1.1	0.0055	0.4	1.3	0.00021	0.36	1.1	0.00044	0.35	1.1	0.00013	0.28	1.1	0.00016	0.29	1.1	0.00017	0.32	1.2	0.00023
2	KS097	1.79	1.1	0.00332	1.3	1.2	0.0020	2.15	1.1	0.0046	1.48	1.1	0.0024	1.57	1.1	0.0027	0.43	1.1	0.0020	1.33	1.1	0.0019
3	KS031	0	20.9	0	0	20.1	0	0	20.2	0	0	20.9	0	0	20	0	0	21.5	0	0	20.9	0
4	KS141	0.07	1.3	0.000064	0	1.1	0	0.1	1.3	0.000013	0.06	1.3	0.000047	0.07	1.2	0.000059	0.06	1.2	0.000043	0	1.3	0

Tabel 16. Presentasi Losses terhadap Daya aktif akibat mengalirnya Arus Netral ke tanah kondisi siang hari

NO	NOMOR GARDU	P (kW)	% Losses Siang Hari Ke -					
			1	2	3	4	5	6
1	KU094	85	0.0029%	0.0026%	0.0028%	0.0016%	0.0025%	0.0017%
2	KS097	85	0.0120%	0.0096%	0.0035%	0.0022%	0.0015%	0.0013%
3	KS031	85	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
4	KS141	85	0.000025%	0.0001%	0.000034%	0.0000%	0.000007%	0.00004%

Tabel 17. Presentasi Losses terhadap Daya aktif akibat mengalirnya Arus Netral ke tanah kondisi malam hari

NO	NOMOR GARDU	P (kW)	% Losses Malam Hari Ke -						
			1	2	3	4	5	6	7
1	KU094	85	0.0041%	0.00024%	0.0002%	0.00016%	0.0002%	0.0002%	0.0001%
2	KS097	85	0.0041%	0.0024%	0.0054%	0.0028%	0.0032%	0.0002%	0.0023%
3	KS031	85	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
4	KS141	85	0.00001%	0.00000%	0.000015%	0.000006%	0.000007%	0.000005%	0.00000%

PENUTUP

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat dilihat bahwa pada pengukuran siang hari presentase ketidakseimbangan beban tertinggi terdapat pada gardu KS 097 di pengukuran hari ke-6 dengan presentase 114 %.

Pada pengukuran siang hari dan malam hari gardu KS 031 termasuk dalam gardu yang presentasi ketidakseimbangan bebannya cukup baik karena dibawah < 20%. Semakin kecil arus netral yang mengalir ke tanah (I_a) dan semakin kecil arus netral pada penghantar netral trafo (I_N), maka rugi-rugi (losses) pada trafo distribusi akan semakin kecil.

Adapun saran yang diberikan dari penulis tentang hasil penelitian ini adalah dilakukan pemerataan beban ulang sehingga terjadi keseimbangan yang dapat mengurangi atau menghilangkan keberadaan arus netral

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aprianto, dkk. 2012. *Pemeliharaan Trafo Distribusi*. Paper yang dipresentasikan pada Seminar Kerja Praktek. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2]. Buru, J. 2008. *Pengaruh Beban Terhadap Rugi-Rugi (Losses) Transformator Distribusi Pada PT.PLN (Persero) Cabang Kupang*. Kupang: Politeknik Negeri Kupang.
- [3]. Dahlan, Moh. 2009. *Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi*. Jurnal Sains dan Teknologi Universitas Muria Kudus. ISSN: 1979- 6870.
- [4]. Kadir, Abdul. 2010. *Transformator*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [5]. Missa, J. 2013. *Studi Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi KS 69 PT.PLN (Persero) Cabang Kupang*. Kupang: Politeknik Negeri Kupang.
- [6]. Nurhidayat, dkk. 2014. *Analisis Penggunaan Sistem Pendingin ONAN/ ONAF Untuk Meningkatkan Efisiensi Trafo Pada Beban Lebih di PLTA Sutami-Malang*. Jurnal Teknik POMITS, Volume 1, Nomor 1. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [7]. PT. PLN (Persero). 1995. *SPLN 1 Tegangan Standar*. Jakarta: PT.PLN (Persero).

- [8]. PT. PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta: Direksi PT. PLN (Persero).
- [9]. PT. PLN (Persero). 2014. *Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset*. Jakarta: Edaran Direksi PT. PLN (Persero).
- [10]. Sentosa, dkk. 2006. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Trafo Distribusi*. Jurnal Teknik Elektro, Volume 6, Nomor 1. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- [11]. Sulasno. 2009. *Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Sistem Pengaturan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [12]. Syahputra, Ramadoni. 2017. *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: LP3M UMY.
- [13]. Tanjung, A. 2015. *Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20 kV Gardu Induk Teluk Lembu dan PLTMG Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya dan Drop Tegangan*. Jurnal Sains dan Teknologi Industri, Volume 11, Nomor 2. Riau: Universitas Lancang Kuning.