

# Analisa Susut Energi Akibat Ketidakseimbangan Beban Di ULP Dukuh Kupang

Fajrin Nafiani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya  
Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118

Telp. (031) 5931800

<sup>2</sup>PT. PLN (PERSERO) UP3 Surabaya Selatan  
E-mail: fajrinririn1998@gmail.com

## ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban mengakibatkan beban pada setiap penyulang di PLN UP3 Surabaya Selatan menjadi tidak merata, hal tersebut dikarenakan terdapat arus netral pada penghantar netral yang diakibatkan oleh besarnya nilai beban pada salah satu fasa (R, S, T). Dalam penelitian ini, peneliti melakukan perhitungan ketidakseimbangan beban akibat rugi-rugi serta menganalisis besarnya nilai arus netral pada transformator distribusi saat beban tidak seimbang. Energi yang hilang saat susut energi menyebabkan kerugian pada jaringan distribusi sehingga terjadi ketidakseimbangan beban. Beban tidak seimbang yang terjadi pada seluruh penyulang yang ada di ULP Dukuh Kupang berjumlah 33 gardu distribusi. Dalam penelitian ini perhitungan tarif yang digunakan adalah LWBP (Luar Waktu Beban Puncak), karena pengukuran dilakukan pada siang hari saja. Jumlah susut energi (losses) yang diakibatkan oleh ketidakseimbangan beban dalam 1 hari adalah 1009,02 kWh sehingga kerugian yang dialami jika dihitung dalam rupiah sebesar Rp. 1.044.33.90, jika dalam 1 bulan kerugiannya sebesar Rp. 31.330.017 dan Rp. 381.181.873,50 dalam 1 tahun.

*Kata Kunci: beban netral, ketidakseimbangan beban, susut energi.*

## 1. PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya zaman, kebutuhan energi listrik akan semakin bertambah baik untuk kebutuhan industri, masyarakat, dan lain sebagainya. Dalam kondisi ini, PLN berusaha untuk menyediakan pasokan listrik yang stabil dan merata yaitu berupa energi listrik yang didistribusikan dapat dimanfaatkan secara menyeluruh atau bahkan tidak kehilangan (susut) energi pada jaringan distribusi menuju pelanggan. Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan susut energi (*losses*) pada jaringan distribusi, di antaranya ketidakseimbangan beban pada transformator pada sistem distribusi. Gardu distribusi adalah salah satu bagian dari sistem distribusi yang melayani pemakai listrik secara langsung dengan menyebarkan energi listrik secara merata sesuai yang dibutuhkan pelanggan [1]. Ketidakseimbangan beban pada transformator pasti akan terjadi pada sebuah gardu distribusi yang diakibatkan karena adanya penumpukan beban pada salah satu penghantar fasa sehingga mengakibatkan terjadinya susut energi (*losses*), dimana terdapat arus netral yang menuju ke penghantar netral dan arus netral yang menuju ke bumi [2].

Perbedaan arus antar fasa (R, S, dan T) akibat beban tidak seimbang diperkenankan bernilai kurang dari 25% [3], jika nilai persentase ketidakseimbangan beban berada lebih dari 25% keatas maka gardu distribusi pada transformator tersebut harus dilakukan penyeimbangan atau penyusutan. Menurut peneliti, ketidakseimbangan beban yang terjadi pada setiap penyulang yang ada di ULP Dukuh Kupang berada diantara kisaran 25 persen

keatas sehingga diperlukan penyeimbangan. Oleh karena itu, peneliti akan melakukan analisis tentang "Analisa Susut Energi Akibat Ketidakseimbangan Beban Di ULP Dukuh Kupang".

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Ketidakseimbangan beban [2] adalah suatu keadaan dimana sebuah beban pada transformator tidak merata pada masing-masing fasa, yang dimaksud tidak merata ialah jumlah arus pada fasa R, S, dan juga T tidak sama dengan 0 sehingga memunculkan arus netral. Menurut SPLN 12:1978, ketidakseimbangan beban akibat perbedaan pada arus antar fasa tidak boleh melebihi 25 persen, dimana yang artinya ketidakseimbangan beban pada transformator hanya diperbolehkan jika terjadi dibawah 25 persen [3].

Dalam penelitian Jayabadi et. al [4] menyebutkan bahwa besarnya arus netral pada transformator bergantung pada hasil penjumlahan dari arus ketiga fasa. Keadaan tersebut akan menimbulkan rugi-rugi pada ketiga trafo sehingga temperatur akan akan meningkat. Susut energi (*losses*) merupakan gangguan pada jaringan distribusi yang pasti terjadi pada transformator. Energi yang hilang saat susut energi (*losses*) dalam jaringan distribusi berasal dari gardu induk menuju ke konsumen. Hilangnya energi tersebut perlu di perkirakan agar kerugian yang disebabkan tidak terlalu besar [5].

Pada penelitian sebelumnya dijelaskan bahwa beban tidak seimbang terjadi pada gardu penyulang yang cukup banyak sehingga kerugian yang terjadi juga lebih banyak. Diharapkan beban tidak seimbang pada trafo di gardu distribusi pada penelitian ini tidak terlalu banyak dan dapat mengurangi kerugian yang terjadi pada penelitian sebelumnya.

### 3. TRANSFORMATOR

Transformator atau trafo adalah salah satu bagian dari sistem distribusi yang memiliki peran penting dimana sebagai alat yang mengatur tegangan (V) arus bolak balik menurut prinsip induksi elektromagnetik [6]. Dalam sistem tenaga listrik sebuah transformator dibutuhkan untuk mengirimkan daya listrik jarak jauh sesuai dengan kebutuhan akan tegangan listrik

Pada dasarnya prinsip kerja trafo terdapat 2 lilitan kawat yang saling berhubungan yaitu lilitan primer dan sekunder [7]. Lilitan kawat yang terisolasi tersebut akan dihubungkan pada sebuah besi yaitu *core* (inti besi). Medan magnet atau fluks magnetik akan terdapat pada lilitan primer jika dialiri arus AC. Besar arus listrik akan berpengaruh pada medan magnet, jika nilai arusnya tinggi maka medan magnetnya juga akan tinggi.

### 4. ARUS BEBAN PENUH (FULL LOAD)

Arus yang terdapat di penghantar fasa akan mengakibatkan munculnya rugi-rugi energi [8]. Untuk mengetahui nilai arus beban penuh (*full load*) dan arus rata-rata, digunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (2)$$

Dimana  $I_{FL}$  adalah arus *full load* (A), S merupakan kapasitas transformator (kVA), dan V adalah tegangan pada trafo (kV).  $I_{rata-rata}$  adalah arus rata-rata (A),  $I_R$  adalah beban R (A),  $I_S$  adalah beban S (A), dan  $I_T$  adalah beban T (A).

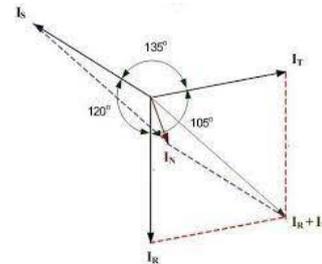
$$\frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan pada persamaan 3, dimana  $I_{rata-rata}$  adalah arus rata-rata (A) dan  $I_{FL}$  adalah arus *full load* (A).

### 5. KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR

Suatu transformator dikatakan mengalami suatu beban tidak seimbang dikarenakan arus pada masing-masing fasa yaitu ketiga fasa R, S, dan T tidak bernilai sama ataupun tidak seimbang yang diakibatkan

besarnya arus pada ketiga fasa tersebut berbeda-beda. Gambar 1 merupakan vektor arus tidak seimbang dimana keadaannya harus memenuhi syarat yaitu sudut pada masing-masing vektor arus tidak bernilai 120° namun nilai besaran vektor arusnya sama, nilai pada ketiga vektor arusnya tidak sama namun sudut pada masing-masing vektornya 120°, dan nilai sudutnya tidak bernilai 120° serta besar vektor arusnya juga tidak sama.



Gambar 1. Vektor Arus Ketidak Seimbangan Beban[1].

Dalam gambar 1 tersebut masing-masing vektor arus R, S, dan T jika dihitung hasilnya bukan bernilai nol atau nilai arus pada ketiga fasa tersebut tidak sama besar sehingga akibat dari perbedaan arus tersebut akan menimbulkan sebuah nilai besaran baru yaitu arus netral ( $I_N$ ) yang nilai besarnya tergantung dari ketiga vektor arusnya [9].

Jadi besar ketidakseimbangan beban sebagai berikut:

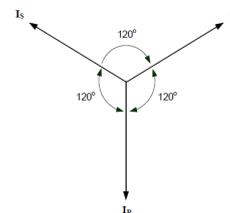
$$I_R = a \cdot I \quad a = I_R / I_{rata-rata} \quad (4)$$

$$I_S = b \cdot I \quad b = I_S / I_{rata-rata} \quad (5)$$

$$I_T = c \cdot I \quad c = I_T / I_{rata-rata} \quad (6)$$

Pada keadaan tidak seimbang maka nilai rata-rata persentase ketidakseimbangan bebannya adalah:

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



Gambar 2. Vektor Arus Keadaan Seimbangan[2].

Beban seimbang adalah sebuah keadaan yang mana besar nilainya sama pada masing-masing vektor arus atau tegangannya. Sudut pada vektor di masing-masing arusnya bernilai 120° pada ketiga sudutnya. Gambar 2

di atas, vektor arus ketika keadaan beban seimbang tidak terdapat arus netral karena dapat dilihat bahwa besar nilai dari seluruh arus R, S, dan T adalah nol.

## 6. SUSUT YANG DIAKIBATKAN ARUS NETRAL PADA TRANSFORMATOR

Beban tidak seimbang yang diakibatkan oleh nilai pada masing-masing beban di fasa R, S, dan T berbeda akan menimbulkan arus netral ( $I_N$ ) pada transformator [9].

- a. Susut (*losses*) akibat beban yang berada pada penghantar netral sehingga menimbulkan kerugian pada trafo [10], yang dirumuskan pada persamaan 8 sebagai berikut:

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

Dimana  $P_N$  adalah susut (*losses*) yang berada di penghantar netral trafo (watt),  $I_N$  adalah beban di netral trafo (A), dan  $R_N$  adalah tahanan penghantar netral trafo ( $\Omega$ ).

- b. Susut (*losses*) yang diakibatkan beban netral yang menuju ke bumi (*ground*) dapat menggunakan perhitungan pada persamaan 9 sebagai berikut:

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

Dimana  $P_G$  adalah susut akibat arus netral yang menuju ke bumi (watt),  $I_G$  adalah arus netral yang mengarah ke bumi (A), dan  $R_G$  adalah tahanan pembumian netral trafo ( $\Omega$ ).

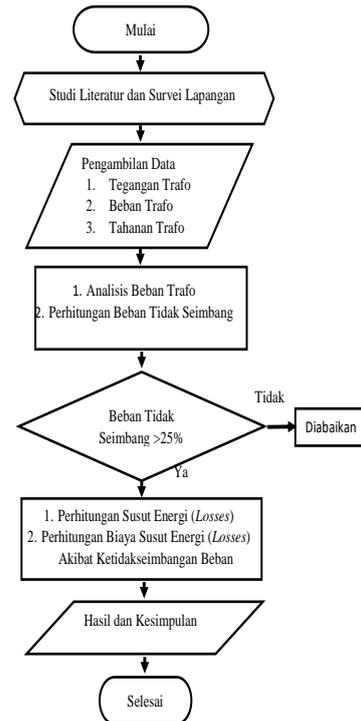
## 7. PERHITUNGAN TARIF TENAGA LISTRIK

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan tarif energi listrik yang digunakan dalam menghitung kerugian yang dialami oleh PLN adalah sebagai berikut:

- LWBP atau Lewat Waktu Beban Puncak, merupakan penggunaan tenaga listrik saat waktu 22.00 sampai 17.00.
- WBP atau Waktu Beban Puncak, adalah penggunaan tenaga listrik saat waktu 17.00 sampai 22.00.

## 8. DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Gambar 3 merupakan tahapan yang akan dilakukan oleh peneliti sebagai berikut.



Gambar 3. Diagram alir penelitian.

Pengambilan data oleh peneliti berupa tegangan trafo, beban trafo, dan tahanan (*ground*) trafo. Mengolah data dengan menganalisis pembebanan trafo, menghitung ketidakseimbangan beban trafo diatas 25% sedangkan jika nilai pada gardu distribusi berada dibawah 25% maka boleh diabaikan, menghitung susut energi karena arus netral yang menuju ke penghantar netral dan pada tanah, lalu menghitung biaya susut energi (*losses*) akibat ketidakseimbangan beban. Kemudian melakukan hasil dan kesimpulan dari seluruh perhitungan apakah ketidakseimbangan beban sudah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan atau belum.

## 9. DATA PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Peneliti menggunakan data berupa pembebanan trafo distribusi pada semua penyulang di ULP Dukuh Kupang. Penyulang yang ada di ULP Dukuh Kupang berjumlah 19 penyulang dengan tegangan pada pelanggan yang berbeda-beda seperti pada konsumen tegangan rendah (TR) dan tegangan menengah (TM).

Tabel 1. Pengukuran beban trafo seluruh penyulang.

No	Nomor aset	Kapasitas trafo	Nama penyulang	Arus (A)					Tegangan (V)			Tahanan ( $\Omega$ )
				R	S	T	N	G	R-N	S-N	T-N	
1	BC351	160	Adityawarman	53	45	97	26	0,4	227	228	227	5,7
2	BC1069	200	Bukit Mas	12	10	27	14	0	225	225	226	5,7
3	BC195	200	Bukit Mas	116	27	108	24	0	225	226	226	0
4	BC278	100	Bukit Mas	37	32	15	23	0	225	226	226	0
5	BC011	75	Bumiarjo	3	19	34	24	2,5	229	229	228	24,2
6	BC343	200	Bumiarjo	90	63	21	68	0	228	225	228	3,5
7	BC1084	100	Dukuh Pakis	17	34	16	22	0	223	223	224	21,6
8	BC044	150	Ketintang	22	65	29	19	0,4	227	228	227	32
9	BC049	200	Ketintang	61	140	84	60	0	227	228	227	0
10	BC118	160	Ketintang	17	14	27	9	1,5	227	228	228	11,5
11	BC020	250	Simo Gunung	34	14	15	164	1,2	0	238	237	9,3
12	BC545	160	Simo Gunung	11	67	67	16	0	0	108	130	0
13	BC026	160	Joyoboyo	54	28	21	20	0	227	228	228	25,5
14	BC201	160	Joyoboyo	189	165	172	48	0,6	226	226	226	5
15	BC561	100	Banyu Urip	132	72	66	71	1,5	224	224	224	2,8
16	BC042	160	BLKI	20	140	120	34	3,4	0	169	183	35
17	BC085	250	BLKI	23	52	55	54	0	0	112	86	0
18	BC175	200	BLKI	16	41	57	48	0	0	169	173	25
19	BC207	150	Simo Kwagean	32	88	78	66	0,6	224	222	223	9,3
20	BC225	160	Simo Kwagean	38	49	86	45	0	228	227	226	4,9
21	BC071	160	Menanggal	45	21	67	24	0	225	227	226	25
22	BC498	200	Menanggal	35	71	120	48	2,1	226	237	237	40
23	BC089	160	Diponegoro	17	6	13	23	0	227	227	228	0
24	BC095	200	Diponegoro	66	25	40	32	0	220	220	220	0
25	BC136	160	Injoko	29	55	14	20	0	227	227	228	0
26	BC174	200	Brawijaya	58	103	29	74	2,2	227	227	228	42
27	BC215	160	Brawijaya	20	84	67	20	0	227	228	227	0
28	BC160	160	Setail	59	68	31	21	1,6	226	221	222	13
29	BC204	200	Polda	33	62	85	47	0	219	219	219	0
30	BC291	250	Polda	35	70	24	13	2,3	221	225	224	10
31	BC746	100	Graha Pena	62	53	13	22	0	224	221	225	0
32	BC664	200	Petrokimia	1	48	50	46	1	223	221	225	9,6
33	BC426	250	Kejaksanaan	250	17	7	14	3,6	224	224	225	24,3

Dapat dilihat pada tabel 1 pengukuran beban trafo yang mengalami ketidakseimbangan beban pada seluruh penyulang yang ada di ULP Dukuh Kupang terdapat beberapa arus netral yang melebihi batas normal seperti pada gardu distribusi BC343 di penyulang Bumiarjo dengan nilai 68A, gardu distribusi BC049 dengan nilai 60A di penyulang Ketintang, gardu distribusi BC020 di penyulang Simo Gunung dengan arus 164A, gardu distribusi BC085 di penyulang BLKI dengan nilai 54A, gardu distribusi BC207 dengan arus 66A di penyulang Simo Kwagean, dan gardu distribusi BC174 di penyulang Brawijaya dengan nilai 74A. Untuk nilai resistensi pada penghantar netral trafo sebesar  $0,6842 \Omega/\text{km}$  dengan ukuran kawatnya adalah  $50 \text{ mm}^2$ .

## 10. DATA TARIF TENAGA LISTRIK

Dalam penelitian ini perhitungan tarif tenaga listrik menggunakan satu tarif saja, yaitu:

- LWBP = Rp. 1.035/kWh

Penelitian ini menggunakan perhitungan tarif LWBP (Luar Waktu Beban Puncak) yaitu pemakaian energi listrik pada pukul 22.00 sampai 17.00, karena data monitoring beban trafo pada pengukuran pembebanan transformator distribusi dilakukan pada siang hari yaitu pada pukul 8.00 sampai 17.00 sehingga perhitungan tarif tenaga listrik yang digunakan adalah LWBP saja.

## 11. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa Persentase Beban Pada Transformator

Sebelum menghitung ketidakseimbangan beban pada transformator perlu dilakukan perhitungan besar pembebanan pada transformator pada seluruh penyulang. Berikut ini merupakan salah satu contoh perhitungan persentase beban pada trafo yang ada di penyulang Bukit Mas dengan gardu distribusi BC195.

$$S = 200 \text{ KVA}$$

$$V = 400 \text{ V}$$

Menentukan arus *full load* transformator

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

$$I_{FL} = \frac{200000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 288,67$$

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

$$I_{rata-rata} = \frac{116 + 27 + 108}{3}$$

$$I_{rata-rata} = 83,67 \text{ A}$$

Sehingga persentase beban pada trafo adalah:

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

$$\frac{83,67}{288,68} \times 100\% = 29\%$$

Untuk melihat hasil perhitungan persentase beban trafo pada seluruh penyulang yang ada di ULP Dukuh Kupang pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Persentase beban trafo.

No	Nomor aset	Kapasitas trafo	Arus (A)				Arus Beban Penuh (A)	$I_{rata-rata}$ (A)	Persentase beban (%)
			R	S	T	N			
1	BC351	160	53	45	97	26	230,94	65	28%
2	BC1069	200	12	10	27	14	288,68	16,33	6%
3	BC195	200	116	27	108	24	288,68	83,67	29%
4	BC278	100	37	32	15	23	144,34	28	19%
5	BC011	75	3	19	34	24	108,25	18,67	17%
6	BC343	200	90	63	21	68	288,68	58	20%
7	BC1084	100	17	34	16	22	144,34	22,33	15%
8	BC044	150	22	65	29	19	216,51	38,67	18%
9	BC049	200	61	140	84	60	288,68	95	33%
10	BC118	160	17	14	27	9	230,94	19,33	8%
11	BC020	250	34	14	15	164	360,84	21	6%
12	BC545	160	11	67	67	16	230,94	48,33	21%
13	BC026	160	54	28	21	20	230,94	34,33	15%
14	BC201	160	189	165	172	48	230,94	175,33	76%
15	BC561	100	132	72	66	71	144,34	90	62%
16	BC042	160	20	140	120	34	230,94	93,33	40%
17	BC085	250	23	52	55	54	360,84	43,33	12%
18	BC175	200	16	41	57	48	288,68	44	15%
19	BC207	150	32	88	78	66	216,51	66	30%
20	BC225	160	38	49	86	45	230,94	57,67	25%
21	BC071	160	45	21	67	24	288,68	44,33	15%
22	BC498	200	35	71	120	48	230,94	75,33	33%
23	BC089	160	17	6	13	23	230,94	12	47%
24	BC095	200	66	25	40	32	288,68	43,67	15%
25	BC136	160	29	55	14	20	230,94	32,67	14%
26	BC174	200	58	103	29	74	288,68	63,33	22%
27	BC215	160	20	84	67	20	230,94	57	25%
28	BC160	160	59	68	31	21	230,94	52,67	23%
29	BC204	200	33	62	85	47	288,68	60	21%
30	BC291	250	35	70	24	13	360,84	43	12%
31	BC746	100	62	53	13	22	144,34	43	30%
32	BC664	200	1	48	50	46	288,68	33	11%
33	BC426	250	250	17	7	14	360,84	12,67	4%

Jika dilihat dari tabel 2 hasil perhitungan persentase beban trafo hanya pada saat gardu distribusi mengalami ketidakseimbangan beban. Pada beberapa gardu distribusi tersebut terjadi beberapa *underload*, dimana *underload* sendiri merupakan keadaan dimana beban suatu trafo dibawah 40%. Akibatnya sebuah trafo yang mengalami *underload* tersebut tidak akan bekerja secara baik dan kondusif.

**Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator**

Ketidakseimbangan beban pada suatu beban di masing-masing fasa tidak merata sehingga pada trafo akan memunculkan beban netral. Contoh perhitungan ketidakseimbangan beban pada penyulang Adityawarman dengan gardu distribusi BC351 sebagai berikut:

Untuk mencari koefisien a, b, dan c dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$I_R = a \cdot I \quad a = \frac{I_R}{I} = \frac{53}{65} = 0,82$$

$$I_S = b \cdot I \quad a = \frac{I_S}{I} = \frac{45}{65} = 0,69$$

$$I_T = c \cdot I \quad a = \frac{I_T}{I} = \frac{97}{65} = 1,49$$

Sehingga persentase ketidakseimbangan beban yaitu:

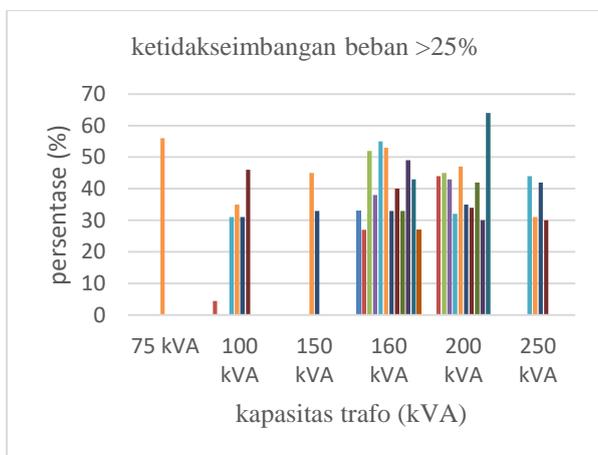
$$\% \text{ketidakseimbangan beban} = \frac{|a-1|+|b-1|+|c-1|}{3} \times 100\%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan beban} = \frac{|-0,18|+|-0,31|+|0,49|}{3} \times 100\%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan beban} = \frac{0,98}{3} \times 100\%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan beban} = 33\%$$

Dapat dilihat bahwa persentase ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi BC351 yang berada di penyulang Adityawarman berada diatas 25%, sehingga perlu dilakukan penyeimbangan. Gambar 4 merupakan diagram ketidakseimbangan beban yang terjadi pada beberapa penyulang yang ada di ULP Dukuh Kupang.



Gambar 4. Diagram ketidakseimbangan beban di ULP Dukuh Kupang.

Gambar 4 di atas memperlihatkan bahwa terdapat 33 gardu distribusi yang mengalami ketidakseimbangan

beban pada seluruh penyulang yang ada di ULP Dukuh Kupang, dimana 33 gardu tersebut memiliki nilai 25% keatas sehingga perlu dilakukan penyusutan.

**Analisa Susut Energi Yang Diakibatkan Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo Dan Ke Tanah (Ground)**

Energi yang hilang saat susut energi (*losses*) dalam jaringan distribusi yang berasal dari gardu induk menuju ke konsumen dianalisis agar kerugian yang disebabkan tidak terlalu besar. Contoh perhitungan susut energi akibat adanya arus netral pada penyulang Bumiarjo dengan gardu distribusi BC011 sebagai berikut:

- Susut energi (*losses*) akibat arus netral yang mengalir ke penghantar netral trafo.

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = (24)^2 \times 0,6842$$

$$P_N = 394,100 \text{ Watt} \approx 0,39 \text{ kW}$$

Untuk mengetahui nilai daya aktif pada trafo, konstanta  $\cos \varphi$  yang digunakan sebesar 0,85.

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$P = 75 \text{ kVA} \times 0,85 = 63,75 \text{ kW}$$

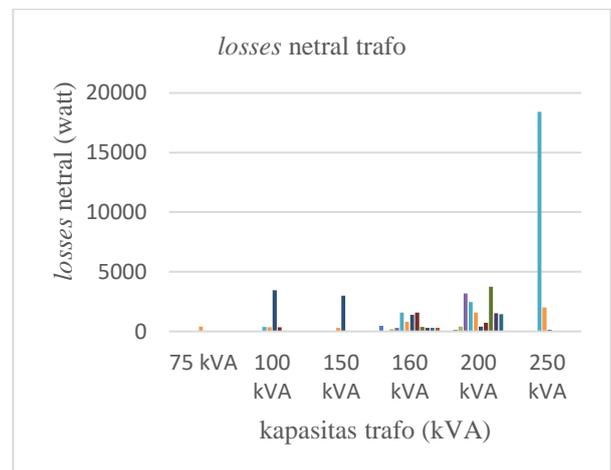
Persentase susut energi (*losses*) akibat arus netral yang mengalir ke penghantar netral trafo.

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

$$\%P_N = \frac{0,39}{63,75} \times 100\%$$

$$\%P_N = 0,61\%$$

Untuk mengetahui analisa susut energi (*losses*) yang diakibatkan arus netral pada penghantar netral trafo pada seluruh penyulang yang ada di ULP Dukuh Kupang dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Diagram *losses* netral trafo di ULP Dukuh Kupang.

Diagram *losses* netral trafo pada gambar 5 memaparkan bahwa pada trafo 75 kVA hanya terdapat 1 gardu sedangkan trafo 160 kVA terdapat 12 gardu distribusi yang mengalami *losses* netral, pada trafo 100 kVA dan 250 kVA sama-sama terdapat 4 gardu, lalu terdapat 10 gardu pada trafo 200 kVA, dan pada trafo 150 kVA terdapat 2 gardu distribusi yang mengalami

susut energi (*losses*) akibat arus netral yang menuju ke penghantar netral trafo.

- Susut (*losses*) yang diakibatkan beban netral yang menuju ke bumi (*ground*)

$$P_G = I_G^2 \times R_G$$

$$P_G = (2,5)^2 \times 24,2$$

$$P_G = 151,25 \text{ Watt} \approx 0,15 \text{ kW}$$

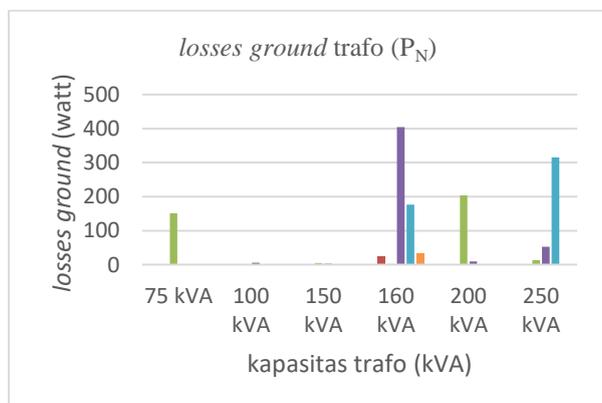
Persentase susut energi (*losses*) akibat beban netral yang menuju ke bumi (*ground*).

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

$$\%P_G = \frac{0,15}{63,75} \times 100\%$$

$$\%P_G = 0,235\%$$

Gambar 5 dan 6 merupakan diagram susut energi (*losses*) yang diakibatkan beban netral yang menuju ke bumi (*ground*) pada seluruh penyulang yang ada di ULP Dukuh Kupang.



Gambar 6. Diagram *losses ground* trafo di ULP Dukuh Kupang.

Dalam gambar 6 terlihat bahwa susut energi (*losses*) yang diakibatkan arus netral menuju ke tanah (*ground*), pada trafo 75 kVA dan 100 kVA hanya terdapat 1 gardu distribusi yang terjadi *losses ground*, pada trafo 150 kVA dan 200 kVA masing-masing terdapat 2 gardu, sedangkan trafo 250 kVA terdapat 3 gardu, dan 6 gardu distribusi pada trafo 160 kVA yang terjadi *losses ground*.

### Analisa Tarif Kerugian Seluruh Susut Energi Akibat Beban Tidak Seimbang pada Trafo Distribusi

Dalam memperkirakan tariff seluruh susut energi akibat beban tidak seimbang pada trafo distribusi dapat menggunakan tarif besaran yaitu:

- LWBP (Luar Waktu Beban Puncak), adalah penggunaan energi listrik saat pukul 22.00 – 17.00 dimana harganya adalah Rp. 1.035/kWh

Contoh perhitungan biaya total susut energi akibat ketidakseimbangan beban pada transformator di penyulang Adityawarman dengan gardu distribusi BC351 sebagai berikut:

- Total *losses* trafo dalam 1 hari (kWh)  
$$\frac{\text{total losses (watt)} \times 19 \text{ jam}}{1000}$$

$$\frac{463,43 \times 19}{1000} = 8,81 \text{ kWh}$$

- Biaya susut energi (*losses*) akibat ketidakseimbangan beban pada trafo  
*total losses trafo dalam 1 hari* × harga LWBP  
8,81 kWh × Rp. 1.035/kWh  
Rp. 9.118,35

Untuk analisis total *losses* trafo dalam 1 hari (kWh) akibat ketidakseimbangan beban pada seluruh penyulang yang ada di ULP Dukuh Kupang sebesar 1009,02 kWh sedangkan biaya susut energi (*losses*) akibat ketidakseimbangan beban pada trafo dalam 1 hari adalah Rp. 1.044.333,90.

## 12. KESIMPULAN

Kesimpulan dari analisis tentang “Analisa Susut Energi Akibat Ketidakseimbangan Beban Di ULP Dukuh Kupang” terdapat 33 gardu distribusi yang mengalami ketidakseimbangan beban dengan total susut energi (*losses*) yang diakibatkan beban netral yang menuju ke penghantar netral dan tanah (*ground*) adalah 51,702 kW dan 1,403 kW. Sedangkan susut energi (*losses*) dalam 1 hari pada ULP Dukuh Kupang adalah 1009,02 kWh. Total kerugian susut energi (*losses*) dalam 1 hari adalah Rp. 1.044.333,90 sedangkan jika 1 bulan yaitu Rp. 31.330.017 dan 1 tahun sebesar Rp. 381.181.873,50.

Peneliti mengharapkan bagi penelitian-penelitian selanjutnya agar dapat memberikan solusi atau cara dalam mengatasi besarnya kerugian susut energi (*losses*) dan mengetahui langkah apa yang akan dilakukan oleh pihak PT. PLN untuk mengurangi kerugian yang dialami. Sebaiknya data pengukuran trafo pada setiap penyulang dilakukan secara menyeluruh yaitu dengan menggunakan dua pengukuran siang dan malam hari, sehingga hasil total kerugian susut energi (*losses*) yang didapatkan dapat maksimal. Peneliti juga mengharapkan dalam proses perencanaan untuk pembangunan trafo distribusi agar lebih memperhitungkan keseimbangan beban yang terjadi sehingga mengurangi nilai beban yang menuju ke penghantar netral.

## PUSTAKA

- A. Hadi, “SISTEM DISTRIBUSI DAYA LISTRIK,” *Publ. Ilm. Univ. Negeri Sriwij.*, pp. 5–33, 2016.
- M. D. Tobi, “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di Pt Pln (Persero) Area Sorong,” *Electro Luceat*, vol. 4, no. 1, p. 5, 2018, doi: 10.32531/jelekn.v4i1.80.
- S. 12 : 1998, “Distribusi 20KV, arus 3 fasa,” *Perusah. List. Negara*.
- D. S. W. Jayabadi, B. Winardi, and M. Facta, “Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo 1 Gi Sronol Terhadap Rugi-Rugi Akibat Arus Netral Dan Suhu Trafo Menggunakan Etap 12.6.0,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 4, pp. 425–431, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/16826>
- S. Samsurizal and H. Fauji, “Studi Susut Energi Pada Penyulang Perunggu Gardu Induk Sutami,” *Sutet*, vol. 10, no. 1, pp. 39–47, 2021, doi: 10.33322/sutet.v10i1.1138.
- J. Sentosa Setiadji, T. Machmudsyah, and Y. Isnanto,

- “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi,” *J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 68–73, 2008, doi: 10.9744/jte.7.2.68-73.
- [7] G. A. K. Sari, “Analisa Pengaruh Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT.PLN (Persero) Rayon Blora,” *Naskah Publ. Tek. Elektro Univ. Muhammadiyah Surakarta*, pp. 1–14, 2018.
- [8] B. Sihotang and I. Handajadi, “Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi 20 Kv Rayon Yogyakarta,” *J. Elektr.*, vol. 2, no. 2, pp. 43–43, 2015.
- [9] M. Dahlan, “Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi,” *Dosen Fak. Tek. Univ. Muria Kudus Sist.*, vol. 1, pp. 1–8, 2012.
- [10] A. Muchyi, “Studi Perkiraan Susut Energi Dan Alternatif Perbaikan Pada Penyulang Leci Di Gardu Induk Jababeka,” *Skripsi Univ. Indones.*, vol. 2, no. 5, p. 255, 2009, [Online]. Available: ???

