

ANALISA BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 3 FASA PADA PENYULANG 1 PT. PLN (PERSERO) ULK TARAKAN

Achmad Budiman¹, Andi Munair²

^{1,2}Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹achmad1177@gmail.com

²munaerr_je@gmail.com

Abstract— *In the distribution of electrical energy to customers, sometimes not all of the energy generated reaches the customer due to losses incurred in the transformer. In this study the authors conducted a focused analysis on the 3 phase distribution transformer on feeder 1 located at PT. PLN (Persero) ULK Tarakan to determine the effect of the unbalanced 3 phase distribution transformer load on current, power losses and transformer efficiency. From the results of the calculation of data analysis that of the 38 transformers that can be said to be balanced that still meet the IEEE standard requirements there are 19 transformers for the morning and 12 transformers for the evening. While that can be said to be unbalanced that does not meet IEEE standards there are 19 transformers for the morning and 26 transformers for the evening. Efficiency will be greater if the incoming power and the outgoing power does not have a large difference or efficiency will be greater if the losses (losses) power is getting smaller but vice versa. Power losses due to neutral currents flowing in neutral conductors can be reduced if the cross-sectional area is enlarged, but a large cost is required.*

Keywords— *3 phase transformer, load imbalance, and neutral current*

Intisari— Transformator merupakan salah satu perangkat listrik yang berperan penting dalam pendistribusian energi listrik ke pelanggan. Dalam pendistribusian energi listrik ke pelanggan, terkadang tidak semua energi yang dibangkitkan sampai ke pelanggan karena adanya rugi-rugi yang terjadi pada transformator. Pada penelitian ini penulis melakukan analisa yang terfokus di transformator distribusi 3 fasa pada penyulang 1 yang terdapat di PT. PLN (Persero) ULK Tarakan untuk mengetahui pengaruh ketidakseimbangan beban transformator distribusi 3 fasa terhadap arus, rugi-rugi daya dan efisiensi transformator. Dari hasil perhitungan analisa data bahwa dari ke-38 transformator yang dapat dikatakan seimbang yang masih memenuhi syarat standar IEEE ada 19 transformator untuk pagi harinya dan 12 transformator untuk malam harinya. Sedangkan yang dapat dikatakan tidak seimbang yang sudah tidak memenuhi standar IEEE ada 19 transformator untuk pagi harinya dan ada 26 transformator untuk malam harinya. Efisiensi akan semakin besar apabila daya masuk dan daya keluar tidak mempunyai selisih yang besar atau efisiensi akan besar apabila rugi-rugi (*losses*) daya semakin kecil namun sebaliknya. Rugi-rugi (*losses*) daya akibat arus netral yang mengalir pada penghantar netral dapat dikurangi bila luas penampang di perbesar, namun diperlukan biaya yang besar

Kata Kunci— *Transformator 3 fasa, ketidakseimbangan beban, dan arus netral*

I. PENDAHULUAN

Seiring pesatnya pembangunan di Kota Tarakan diberbagai bidang maka dari itu dituntut adanya sarana

dan prasarana yang dapat mendukung, yaitu sumber tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun kebutuhan industri. Karena sumber tenaga listrik mudah untuk disalurkan dan dikonversikan kedalam bentuk tenaga lainnya[1]. Penyediaan tenaga listrik yang baik dan stabil merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik[2].

Transformator merupakan salah satu perangkat listrik yang berperan penting dalam pendistribusian energi listrik ke pelanggan[3]. Dalam pendistribusian energi listrik ke pelanggan, terkadang tidak semua energi yang dibangkitkan sampai ke pelanggan karena adanya rugi-rugi yang terjadi pada transformator[4]. Pada dasarnya dilakukan pembagian beban yang secara merata, karena adanya ketidakseimbangan waktu penggunaan beban dan kapasitas beban akan menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada persediaan tenaga listrik pada transformator distribusi.

Ketidakseimbangan beban yang dimaksudkan adalah ketidakseimbangan beban antar fasa (fasa R, fasa S dan fasa T) menyebabkan arus mengalir dipenghantar netral transformator. Arus yang mengalir di penghantar netral transformator distribusi ini dikatakan sebagai rugi-rugi (*losses*) daya.

II. LANDASAN TEORI

A. Transformator Distribusi

Transformator distribusi adalah suatu peralatan listrik utama yang berperan penting untuk penyaluran daya listrik dalam suatu sistem distribusi, yang berfungsi untuk menurunkan tegangan distribusi primer yang merupakan tegangan menengah menjadi tegangan rendah pada sisi sekunder[5]. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator *step down* 20/0.4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 V, karena terjadi *drop voltage* maka tegangan rak TR dibuat diatas 380 V agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 V. Pada kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer di hubungkan ke sumber listrik bolak-balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan feromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks)[6]. Karena arus yang mengalir merupakan arus bolak-balik maka garis-garis gaya magnet (fluks) terbentuk pada inti yang akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah-ubah[7]. Jika arus yang mengalir berbentuk sinusoidal maka garis-garis gaya magnet (fluks) yang terjadi akan berbentuk sinusoidal pula.

Karena garis-garis gaya magnet (fluks) tersebut yang mana pada intinya terdapat lilitan primer dan lilitan sekunder maka pada inti primer dan sekunder tersebut akan timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi, tetapi arah dari GGL induksi primer berlawanan dengan arah GGL induksi sekunder sedangkan frekuensi masing-masing tegangan tersebut sama dengan frekuensi sumbernya.

B. Standar Nilai Ketidakseimbangan (IEEE std.446-1980)

Nilai ketidakseimbangan arus bisa dinyatakan dalam bentuk persentase (%) sesuai dengan standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineer*) Std. 446-1980 (*IEEE Recommended Practice For Emergency Standby Power System For Industrial and Commercial Application*) yaitu sebesar 5% sampai 20%. Adapun standar dan batas toleransi terlihat pada Tabel. 1

Tabel 1. Standar atau batas toleransi ketidakseimbangan beban

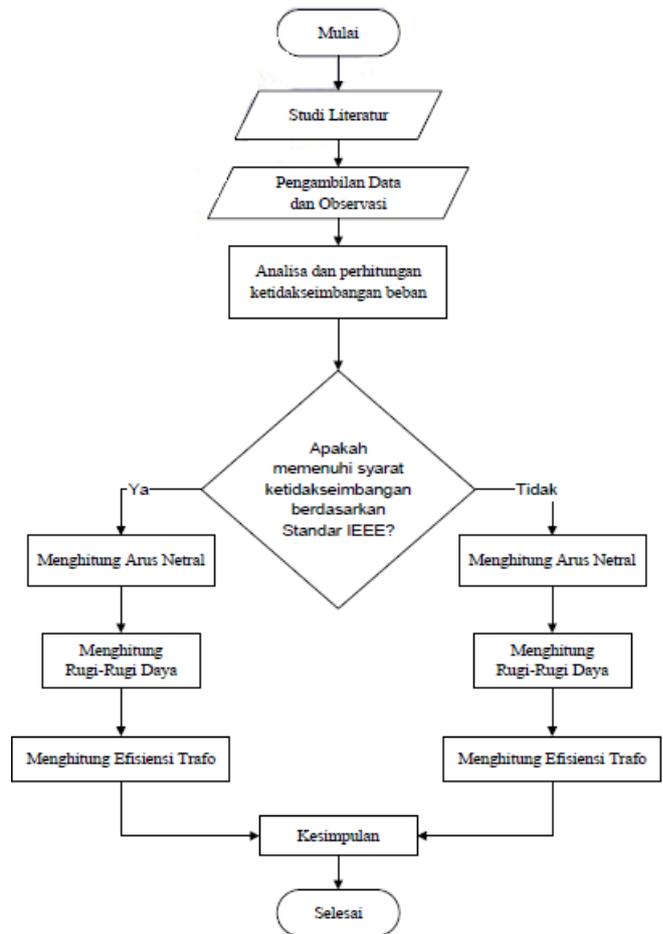
No.	Parameter	Maksimum
1	Regulasi tegangan keadaan mantap	+5,-10 s/d +10%,-15% (ANSI C84,1-1970) adalah +6,-13%
2	Gangguan Tegangan Drop tegangan sementara tegangan lebih transient	-25% s/d -30% Tidak lebih dari 0,5 s -100% dengan lama 4 s/d 20 ms +150% s/d 200% tidak boleh dari 0,2 ms
3	Distorsi tegangan Harmonik	3%-5% (beban linier)
4	Noise	Tidak ada standar
5	Variasi frekuensi	50 Hz ± 0,5 Hz sampai 1 Hz
6	Perubahan frekuensi	Sekitar 1 Hz
7	Ketidakseimbangan beban	5% s/d 20% mak. Pada setiap fasa
8	Ketidakseimbangan tegangan 3	2,5% s/d 5%
9	Faktor daya	0,18 s/d 0,9
10	Kapasitas beban	0,75 s/d 0,85 (beban terpasang)

Keterangan:

- 1,2,5,6 Tegangan pada sumber daya
- 3,4,7 Dihasilkan dari interaksi antara sumber dan beban
- 8,9,10 Tergantung pada jumlah beban

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Proses Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sistem Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) ULK Tarakan

PT. PLN (Persero) ULK Tarakan memiliki 10 Penyulang yang terhubung dari pembangkit ke beban, dari 10 Penyulang dalam penelitian ini hanya akan membahas tentang beban transformator distribusi yang terdapat pada Penyulang 1 PT. PLN (Persero) ULK Tarakan. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil data dan observasi dilapangan, setelah itu dilanjutkan dengan menganalisis pembebanan yang terjadi di Penyulang 1. Apakah pembebanan yang terjadi pada pagi hari sama dengan pembebanan yang terjadi pada malam hari.

B. Data Spesifikasi Transformator Distribusi PT. PLN (Persero) ULK Tarakan

Data spesifikasi transformator distribusi ini di ambil dari PT. PLN (Persero) ULK Tarakan. Beberapa merek transformator distribusi 3 fasa yang terdapat di Penyulang 1 di setiap gardu memiliki daya yang berbeda-beda serta pertumbuhan beban di daerah ini pun sangat pesat sehingga gardu distribusi yang terdapat di Penyulang 1 semuanya berjumlah 38 gardu yang memiliki kapasitas mulai dari 25, 50, 100, 160 sampai 200 kVA. Semakin meningkatnya pertumbuhan beban maka semakin tinggi juga kapasitas daya yang dibutuhkan pada gardu distribusi. Data spesifikasi transformator yang berada di

Penyulang 1 PT. PLN (Persero) ULK Tarakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Prakiraan Konsumsi Energi Listrik Kabupaten Berau

No.	No. Gardu	Daya (KVA)	Jurusan	Tegangan Primer (KV)
1	SDM 17	160 3P	2	20
2	SDM 19	200 3P	1	20
3	SDM 20	200 3P	3	20
4	KBG 21	200 3P	2	20
5	SDM 22	200 3P	2	20
6	KRA 23	200 3P	3	20
7	SDM 24	200 3P	3	20
8	KBG 28	200 3P	3	20
9	KRA 29	200 3P	3	20
10	KRA 39	160 3P	2	20
11	PAM 47	200 3P	1	20
12	SDM 49	200 3P	2	20
13	PNP 54	200 3P	3	20
14	KPB 65	200 3P	2	20
15	KBG 101	100 3P	1	20
16	KRA 127	200 3P	3	20
17	THM 134	200 3P	2	20
18	KBG 144	200 3P	2	20
19	KBG 159	100 3P	1	20
20	KBG 160	50 3P	1	20
21	KBG 168	160 3P	2	20
22	SDM 183	200 3P	1	20
23	KRA 197	160 3P	2	20
24	KRA 201	200 3P	2	20
25	KBG 220	200 3P	2	20
26	SDM 221	100 3 P	1	20
27	SDM 222	160 3P	2	20
28	KBG 238	200 3P	3	20
29	KPB 245	160 3P	2	20
30	GDS 252	200 3P	1	20
31	GNB 256	160 3P	1	20
32	SDM 286	100 3P	1	20
33	KRA 292	100 3P	2	20
34	KRA 299	25 3P	1	20
35	KBG 311	160 3P	2	20
36	KRA 312	160 3P	2	20
37	KBG 330	100 3P	1	20
38	KBG 336	100 3P	1	20

Tabel 3. Data Spesifikasi transformator distribusi pada penyulang 1

Tegangan Sekunder (V)	Arus Primer	Arus Sekunder	Cos φ	Sin φ
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	2,88	144,35	0,85	0,53

400	1,44	72	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	2,89	144,35	0,85	0,53
400	4,64	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,68	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	2,88	144,35	0,85	0,53
400	2,88	144,35	0,85	0,53
400	0,72	36	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	2,88	144,35	0,85	0,53
400	2,88	144,35	0,85	0,53

C. Data Pengukuran Transformator Distribusi

Data pengukuran transformator distribusi yang di peroleh dari PT. PLN (Persero) ULK Tarakan pada Penyulang 1 terdapat data pengukuran pagi dan data pengukuran malam, data pengukuran dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. Data pengukuran transformator pada pagi hari

No. Gardu	S kVA	TEGANGAN		IN A	TOTAL BEBAN		
		L-L V	L-N V		R A	S A	T A
		KBG 168	160	379	220	126	169
KRA 127	200	386	222	169	136	191	53
KBG 220	200	385	223	133	170	148	34
KRA 292	100	386	223	88	94	72	25
KRA 29	200	390	224	188	157	187	41
KRA 39	160	385	223	102	70	90	29
KBG 159	100	386	223	53	57	44	15
KBG 101	100	379	222	82	84	58	32
KRA 23	200	383	221	150	123	108	39
PAM 47	200	383	226	237	245	236	10
THM 134	200	387	221	215	164	209	52
KRA 197	160	381	223	133	112	146	30
KBG 21	200	382	224	170	160	130	42
KBG 336	100	382	226	113	58	62	56
KRA 312	160	387	223	98	114	49	64
GNB 256	160	384	225	80	97	123	40
SDM 183	200	387	222	36	28	32	10
KBG 160	50	383	222	44	37	49	13
GDS 252	200	386	224	190	198	207	15
KRA 299	25	385	226	20	36	29	17
KBG 144	200	391	226	131	170	122	50
KBG 238	200	389	222	217	172	185	49
KRA 201	200	392	225	158	154	146	16
PNP 54	200	383	221	115	117	107	16
KBG 311	160	382	221	106	129	133	32
KBG 330	100	386	222	14	27	6	26
KPB 245	160	385	222	83	84	80	5
KPB 65	200	385	222	103	107	81	35
SDM 19	200	393	224	94	87	127	38
SDM 20	200	382	221	128	92	176	75
SDM 221	100	386	223	8	32	37	30
SDM 49	200	383	221	98	102	75	25
SDM 22	160	383	221	103	130	131	35
SDM 24	200	385	223	158	137	172	37
SDM 222	160	386	223	64	111	57	56
SDM 17	160	384	222	204	199	179	25
SDM 286	100	383	222	153	122	134	32
KBG 28	200	390	227	87	98	82	17

Tabel 5. Data Pengukuran Transformator pada malam hari

No. GARDU	S kVA	TEGANGAN N		IN A	TOTAL BEBAN		
		L-L V	L-N V		R A	S A	T A
KBG 21	200	384	225	209	170	170	46
KRA 23	200	385	228	188	177	112	80
PAM 47	200	391	229	203	210	212	13
KRA 29	200	388	226	156	186	228	67
KBG 101	100	386	225	136	125	137	15
KRA 39	160	381	222	125	92	80	50
KRA 127	200	381	222	171	194	104	89
KBG 160	50	381	222	49	44	69	23
KRA 201	200	382	222	271	218	220	57
KBG 168	160	382	222	130	194	209	80
THM 134	200	385	224	225	178	230	56
KBG 159	100	388	227	76	92	69	22
KRA 197	160	381	221	263	209	269	61
GDS 252	200	385	221	120	122	130	14
KBG 311	160	386	223	141	169	194	49
KRA 312	160	382	222	119	126	64	65
KBG 330	100	385	224	22	29	10	15
KBG 336	100	385	223	121	53	70	56
SDM 49	200	383	222	98	76	77	28
PNP 54	200	384	223	180	190	179	12
KBG 144	200	382	223	229	183	154	62
SDM 183	200	385	223	50	30	40	20
KBG 238	200	386	225	234	232	248	20
SDM 221	100	383	224	11	20	25	11
GNB 256	160	381	223	20	22	15	9
SDM 286	100	379	221	61	77	105	40
KRA 292	100	385	223	107	98	91	19
KRA 299	25	382	221	17	30	25	13
SDM 17	160	382	221	194	183	162	30
KPB 245	160	386	224	156	154	107	60
KPB 65	200	380	223	171	194	104	76
SDM 19	200	395	224	198	102	168	86
SDM 20	200	381	221	201	165	199	34
SDM 22	160	383	222	122	113	167	55
KBG 220	200	386	222	133	139	157	25
KBG 28	200	383	221	146	179	178	30
SDM 222	160	385	227	106	135	85	44
SDM 24	200	382	223	165	110	180	68

D. Data Perhitungan Transformator Distribusi

Dari data pengukuran kita dapat menghitung analisis beban puncak, segitiga daya, analisis ketidakseimbangan beban, analisis akibat dari ketidakseimbangan beban, analisis rugi-rugi (*losses*) daya dan efisiensi transformator distribusi pada gardu SDM 17 yang terdapat pada Penyulang 1.

E. Analisis Beban Puncak Transformator

Dalam analisis beban ini perlu diketahui terlebih dahulu arus beban penuh dengan menggunakan persamaan berikut dan nilai dari Tabel (3) adalah:

$$I_{FL} = \frac{S}{V_{L-L}} = \frac{160.000}{400} = 400 A$$

dengan:

I_F = Arus beban penuh pada beban 3 fasa (A)

S = Daya pada transformator (VA)

V_{L-L} = Tegangan pada sisi sekunder transformator pada tabel spesifikasi (V)

Untuk mencari arus rata-rata dengan persamaan (2.3) adalah:

1. Pada pagi hari (nilai dari tabel 4)

$$I_{rata-rata} = \frac{(I_R \times \sqrt{3}) + (I_S \times \sqrt{3}) + I_T \times \sqrt{3}}{3} = \frac{(204 \times \sqrt{3}) + (199 \times \sqrt{3}) + (179 \times \sqrt{3})}{3} = 336,02 A$$

2. Pada Malam hari (nilai dari tabel 5)

$$I_{rata-rata} = \frac{(I_R \times \sqrt{3}) + (I_S \times \sqrt{3}) + I_T \times \sqrt{3}}{3} = \frac{(194 \times \sqrt{3}) + (183 \times \sqrt{3}) + (162 \times \sqrt{3})}{3} = 311,19 A$$

Jadi persentase pembebanan dapat dihitung dengan persamaan adalah:

- a. Pagi hari :

$$\frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{336,02}{400} \times 100\% = 84\%$$

- b. Malam hari :

$$\frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{311,19}{400} \times 100\% = 77,80\%$$

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa beban puncak terjadi pada pagi hari yaitu 84%.

F. Analisis Segitiga Daya pada Transformator

Untuk mencari daya semu dengan persamaan sebagai berikut.

1. Pada pagi hari nilai dari tabel 4.

$$S = V_{L-L} \times I_{rata-rata} = 384 \times 336,02 = 129.031,68 VA = 129,03 kVA$$

2. Pada malam hari nilai dari tabel 5.

$$S = V_{L-L} \times I_{rata-rata} = 382 \times 311,19 = 118.874,58 VA = 118,88 kVA$$

S = Daya semu 3 fasa (VA)

V_{L-L} = Tegangan 3 fasa (V)

$I_{rata-rata}$ = Arus rata-rata 3 fasa (A)

Untuk Mencari daya aktif dengan persamaan sebagai berikut :

1. Pada pagi hari nilai dari tabel 3 dan 4

$$P = V_{L-L} \times I_{rata-rata} \times \cos\phi = 384 \times 336,02 \times 0,85 = 109.676,92 W = 109,68 kW$$

2. Pada malam hari dari tabel 3 dan 5

$$P = V_{L-L} \times I_{rata-rata} \times \cos\phi = 382 \times 311,19 \times 0,85 = 101.043,39 W = 101,04 kW$$

G. Analisis Ketidakseimbangan Beban

Dengan persamaan berikut, koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus perfasa dalam keadaan seimbang ($3 \times I$) sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$) dengan persamaan-persamaan berikut:

1. Pada pagi hari nilai dari tabel 4.

$$a = \frac{\sqrt{3} \times I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 204}{336,02} = 1,05$$

$$b = \frac{\sqrt{3} \times I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 199}{336,02} = 1,03$$

$$c = \frac{\sqrt{3} \times I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 179}{336,02} = 0,92$$

Jadi persentase ketidakseimbangan beban dalam(%) adalah :

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

$$= \frac{\{|1,05 - 1|\} + \{|1,03 - 1|\} + \{|0,92 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 5,15\%$$

2. Pada malam hari nilai diambil dari tabel 5.

$$a = \frac{\sqrt{3} I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 194}{311,19} = 1,08$$

$$b = \frac{\sqrt{3} I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 183}{311,19} = 1,02$$

$$c = \frac{\sqrt{3} I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 162}{311,19} = 0,90$$

Jadi persentase ketidakseimbangan beban dalam (%) adalah :

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

$$= \frac{\{|1,08 - 1|\} + \{|1,02 - 1|\} + \{|0,90 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 6,56\%$$

H. Analisis Efisiensi Transformator

Untuk mengetahui nilai efisiensi adalah dengan menggunakan persamaan sebaai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

1. Pada Pagi hari tabel 3 dan 4

$$P_{out} = (a+b+c) V_{L-N} \times I_{L-N} \times \cos\phi$$

$$= (1,05+1,03+0,92)222 \times 194 \times 0,85$$

$$= 109.823,4 W$$

$$= 109,82 kW$$

Jadi efisiensi transformator pada pagi hari adalah :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}} \times 100\%$$

$$= \frac{109,82}{109,82 + 0,0044} \times 100\%$$

$$= 100\%$$

2. Pada malam hari tabel 3 dan 5

$$P_{out} = (a+b+c) V_{L-N} \times I_{L-N} \times \cos\phi$$

$$= 1,08+1,02+0,90 221 \times 179,67 \times 0,85$$

$$= 101.253,02 W$$

$$= 101,25 kW$$

Jadi efisiensi transformator pada malam hari adalah :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{101,25}{P_{out} + P_{losses}} \times 100\%$$

$$= \frac{101,25 + 0,0066}{101,25 + 0,0066} \times 100\%$$

$$= 99,99\%$$

η = Efisiensi transformator (%)
 P_{in} = Daya masuk (W)

P_{out} = Daya keluar (W)

P_{losses} = P_N

Dari hasil perhitungan dengan persamaan diatas kita dapat mengetahui ketidakseimbangan beban yang terjadi pada pagi hari dan malam hari. Ketidakseimbangan beban lebih besar terjadi pada pagi hari karena penggunaan beban pada transformator SDM 17 adalah perkantoran yang dimana beban yang digunakan lebih besar di pagi hari daripada malam harinya. Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7 dengan menggunakan persamaan-persamaan diatas.

Tabel 6. Data hasil perhitungan transformator pada pagi hari

No	No. GARDU	IRATA-RATA (A)	PERSENTASE PEMBEBANAN (%)	RATA-RATA KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN (%)
1	KBG 168	259,81	64,95	10,67
2	KRA 127	286,37	57,27	11,83
3	KBG 220	260,38	52,08	8,72
4	KRA 292	146,65	58,66	9,97
5	KRA 29	307,15	61,43	7,64
6	KRA 39	151,27	37,82	13,23
7	KBG 159	88,91	35,56	9,52
8	KBG 101	129,33	51,73	14,88
9	KRA 23	219,97	43,99	12,07
10	PAM 47	414,54	82,91	1,58
11	THM 134	339,48	67,9	10,88
12	KRA 197	225,74	56,44	9,38
13	KBG 21	265,58	53,12	10,14
14	KBG 336	134,52	53,81	30,33
15	KRA 312	150,69	37,67	29,12
16	GNB 256	173,21	43,3	15,33
17	SDM 183	55,43	11,09	8,33
18	KBG 160	75,06	60,04	9,74
19	GDS 252	343,52	68,7	2,91
20	KRA 299	49,07	78,52	19,61
21	KBG 144	244,22	48,84	13,71
22	KBG 238	331,4	66,28	8,94
23	KRA 201	264,43	52,89	2,91
24	PNP 54	195,72	39,14	3,54
25	KBG 311	212,46	53,12	9,06
26	KBG 330	27,14	10,85	48,23
27	KPB 245	142,61	35,65	1,89
28	KPB 65	168,01	33,6	11
29	SDM 19	177,82	35,56	15,8
30	SDM 20	228,63	45,73	22,22
31	SDM 221	44,46	17,78	45,89
32	SDM 49	158,77	31,75	12,12
33	SDM 22	210,16	52,54	10,07
34	SDM 24	269,62	53,92	7,99
35	SDM 222	133,95	33,49	29,02
36	SDM 17	336,02	84	5,15
37	SDM 286	236,14	94,45	8,15
38	KBG 28	154,15	30,83	6,74

Tabel 7 data hasil perhitungan transformator pada malam hari

No	No. GARDU	IRATA-RATA	PERSENTASE PEMBEBANAN	RATA-RATA KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN
		(A)	(%)	(%)
1	KBG 21	316,97	63,39	9,47
2	KRA 23	275,4	55,08	19,71
3	PAM 47	360,84	72,17	1,71
4	KRA 29	329,09	65,82	13,33
5	KBG 101	229,79	91,91	3,85
6	KRA 39	171,47	42,87	17,51
7	KRA 127	270,78	54,16	22,32
8	KBG 160	93,53	74,82	18,52
9	KRA 201	409,34	81,87	9,78
10	KBG 168	307,73	76,93	17,89
11	THM 134	365,46	73,09	10,43
12	KBG 159	136,83	54,73	10,97
13	KRA 197	427,82	106,95	10,26
14	GDS 252	214,77	42,95	3,23
15	KBG 311	290,98	72,75	10,71
16	KRA 312	178,4	44,6	25,24
17	KBG 330	35,22	14,09	33,88
18	KBG 336	140,87	56,35	32,51
19	SDM 49	144,91	28,98	11,42
20	PNP 54	316,97	63,39	2,55
21	KBG 144	326,78	65,36	14,25
22	SDM 183	69,28	13,86	16,67
23	KBG 238	412,23	82,45	2,8
24	SDM 221	32,33	12,93	27,38
25	GNB 256	32,91	8,23	14,04
26	SDM 286	140,3	56,12	19,75
27	KRA 292	170,9	68,36	5,63
28	KRA 299	41,57	66,51	19,44
29	SDM 17	311,19	77,8	6,56
30	KPB 245	240,76	60,19	15,35
31	KPB 65	270,78	54,16	22,32
32	SDM 19	270,2	54,04	23,08
33	SDM 20	326,2	65,24	8,26
34	SDM 22	232,09	58,02	16,42
35	KBG 220	247,68	49,54	6,53
36	KBG 28	290,41	58,08	8,61
37	SDM 222	188,22	47,05	16,16
38	SDM 24	262,69	52,54	18,32

Tabel 8. Data hasil perhitungan rugi-rugi (*losses*) yang mengalir pada penghantar netral pada transformator yang masih dalam keadaan seimbang

Waktu	No. GARDU	Arus Netral		P _n		Efisiensi	
		A	Ø	kW	%		
PAGI HARI	KBG 168	37,98	309,6	0,0119	0,0143	99,99	
	KRA 127	47,95	64,79	0,019	0,0203	99,98	
	KBG 220	32,23	291,97	0,0086	0,0101	99,99	
	KRA 292	19,7	223,5	0,0032	0,0067	99,99	
	KRA 29	30,51	89,83	0,0077	0,0076	99,99	
	KRA 39	28	110	0,0065	0,0131	99,99	
	KBG 159	11,53	225,67	0,0011	0,0038	100	
	KBG 101	25,06	212,17	0,0052	0,0125	99,99	
	KRA 23	36,86	168,84	0,0113	0,0157	99,98	
	PAM 47	8,54	262,39	0,0006	0,0004	100	
	THM 134	48,28	94,39	0,0193	0,0173	99,98	
	KRA 197	29,72	65,95	0,0073	0,01	99,99	
	KBG 21	36,06	194,31	0,0108	0,0125	99,99	
	GNB 256	37,51	5,1	0,0116	0,0206	99,98	
	SDM 183	6,93	118,21	0,0004	0,0022	100	
	KBG 160	10,44	63,71	0,0009	0,0037	100	
	GDS 252	14,73	0,16	0,0018	0,0016	100	
	KRA 299	13,89	302,34	0,0016	0,01	99,99	
	KBG 144	44,2	258,05	0,0162	0,0199	99,98	
	KBG 238	40,11	311,91	0,0133	0,0122	99,99	
	KRA 201	10,58	189,08	0,0009	0,0011	100	
	PNP 54	9,16	219,11	0,0007	0,0011	100	
	KBG 311	25,24	336,09	0,0053	0,0076	99,99	
	KPB 245	3,6	222,19	0,0001	0,0002	100	
	KPB 65	24,25	216,43	0,0049	0,0089	99,99	
	SDM 19	37	37,64	0,0113	0,0191	99,98	
	SDM 49	25,24	216,1	0,0053	0,0102	99,99	
	SDM 22	27,51	330,02	0,0063	0,0092	99,99	
	SDM 24	30,51	64,8	0,0077	0,0087	99,99	
	SDM 17	22,91	197,32	0,0043	0,004	100	
	SDM 286	27,07	125,65	0,0061	0,0079	99,99	
	KBG 28	14,18	70,43	0,0017	0,0033	100	
	MALAM HARI	KBG 21	39	148,22	0,0126	0,0122	99,99
		KRA 23	71,14	200,51	0,0419	0,0465	99,95
		PAM 47	8,18	340,44	0,0006	0,0005	100
		KRA 29	62,64	183,71	0,0325	0,0299	99,97
		KBG 101	11,53	83,93	0,0011	0,0015	100
		KRA 39	40,36	163,13	0,0135	0,0243	99,98
KBG 160		22,91	219,1	0,0043	0,0143	99,99	
KRA 201		52,03	146,31	0,0224	0,0169	99,98	
KBG 168		72,67	338,51	0,0437	0,0438	99,96	
THM 134		49,69	83,22	0,0204	0,0171	99,98	
KBG 159		20,42	250,94	0,0035	0,0077	99,99	
KRA 197		57,24	83,01	0,0271	0,0196	99,98	
GDS 252		9,17	197,33	0,0007	0,001	100	
KBG 311		45,92	356,34	0,0175	0,0183	99,98	
SDM 49		21,52	145,91	0,0038	0,0081	99,99	
PNP 54		10,54	263,52	0,0009	0,0009	100	
KBG 144		65,51	170,76	0,0355	0,0335	99,97	
		SDM 183	17,32	118,22	0,0025	0,011	99,99
		KBG 238	15,1	214,81	0,0019	0,0014	100
		GNB 256	6,24	224,29	0,0003	0,003	100
		SDM 286	38,57	187,16	0,0123	0,0273	99,97
		KRA 292	13,89	174,09	0,0016	0,0029	100
		KRA 299	11,35	305,79	0,0011	0,0079	99,99
		SDM 17	28,16	188,43	0,0066	0,0065	99,99
		KPB 245	48,03	206,14	0,0191	0,0242	99,98
		SDM 20	35,04	91,04	0,0102	0,0096	99,99
		SDM 22	50,11	37,16	0,0208	0,0275	99,97
		KBG 220	21,63	194,32	0,0039	0,0048	100
		KBG 28	32,51	326,68	0,0088	0,0093	99,99
KBG 29		43,56	243,54	0,0157	0,0255	99,98	
KBG 30		63,84	256,47	0,0337	0,0396	99,96	

Dari hasil perhitungan didapatkan persentase pembebanan yang ada di Penyulang 1 PT. PLN (Persero) ULK Tarakan. Nilai ketidakseimbangan bisa dinyatakan dalam bentuk persentase (%) sesuai dengan standar IEEE Std. 446 1980 (*IEEE Recommended Practice For Emergency Standby Power System For Industrial and Commercial Application*) nilai toleransi 5% sampai 20%.

Ketidakseimbangan beban yang terjadi pada transformator distribusi dikarenakan beban-beban yang berada di fasa R, fasa S dan fasa T tidak seimbang (memiliki selisih yang jauh). Pada dasarnya dilakukan pembagian beban yang secara merata, karena adanya ketidaksamaan waktu penggunaan beban dan kapasitas beban maka timbullah ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik pada transformator distribusi SDM 17. Untuk mengurangi ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat dilakukan pemerataan beban yang ada di fasa R, fasa S dan fasa T. Akibat terjadinya ketidakseimbangan beban yang terjadi pada fasa R, fasa S dan fasa T di transformator maka timbullah arus netral yang mengalir di penghantar netral. Selain itu timbulah rugi-rugi (*losses*) pada penghantar netral yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9.

Tabel 9. Data hasil perhitungan rugi-rugi (*losses*) yang mengalir pada penghantar netral pada transformator yang sudah tidak dalam keadaan seimbang

Waktu	No. GARDU	Arus Netral		PN		efisiensi
		A	Ø	kW	%	
PAGI HARI	KBG 336	53,11	144,47	0,0234	0,0535	99,95
	KRA 312	58,66	221,87	0,0285	0,0575	99,94
	KBG 330	18,36	246,04	0,0028	0,0313	99,97
	SDM 20	72,99	53,5	0,0441	0,0594	99,94
	SDM 221	26,85	337,49	0,006	0,0409	99,96
	SDM 222	50,86	261,37	0,0214	0,0487	99,95
MALAM HARI	KRA 127	80,99	222,45	0,0543	0,0619	99,94
	KRA 312	58,81	214,13	0,0286	0,0494	99,95
	KBG 330	16,64	229,58	0,0023	0,0199	99,98
	KBG 336	61,3	134,31	0,0311	0,0675	99,93
	SDM 221	12,29	168,84	0,0013	0,0119	99,99
	KPB 65	80,99	222,45	0,0543	0,0621	99,94
	SDM 19	85,06	74	0,0599	0,066	99,93

Arus netral yang mengalir di penghantar netral transformator dapat menimbulkan rugi-rugi (*losses*) daya. Besar kecilnya rugi-rugi (*losses*) dayayang terjadi dipengaruhi oleh besar kecilnya arus netral yang mengalir pada penghantar netral dan dari hasil perhitungan efisiensi juga dapat diketahui untuk memperoleh nilai efisiensi yang besar maka harus diusahakan rugi-rugi (*losses*) daya yang terjadi kecil.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa data dapat diambil kesimpulan seperti berikut:

- A. Waktu Beban Puncak (WBP) terjadi pada pagi hari dimana persentase pembebanan adalah 84% lebih besar daripada persentase pembebanan di malam harinya adalah 77,80%. Dimana penggunaan beban transformator SDM 17 adalah untuk perkantoran yang lebih banyak menggunakan energi listrik dipagi harinya dari pada malam harinya.
- B. Dari ke-38 transformator yang dapat dikatakan seimbang yang masih memenuhi syarat standar IEEE ada 32 transformator untuk pagi harinya dan 31 transformator untuk malam harinya. Sedangkan yang dapat dikatakan tidak seimbang yang sudah tidak memenuhi standar IEEE ada 6 transformator untuk pagi harinya dan ada 7 transformator untuk malam harinya.
- C. Besar kecilnya selisih nilai beban arus pada fasa R, fasa S dan fasa T akan mempengaruhi nilai rata-rata kesetidakseimbangan beban dan nilai arus yang mengalir dipenghantar netral transformator.
- D. Rugi-rugi (*losses*) daya yang terjadi pada transformator akan semakin besar apabila arus yang mengalir di penghantar netral transformator semakin besar dan sebaliknya.
- E. Efisiensi akan semakin besar apabila daya masuk dan daya keluar tidak mempunyai selisih yang besar atau efisiensi akan besar apabila rugi-rugi (*losses*) daya semakin kecil namun sebaliknya.
- F. Rugi-rugi (*losses*) daya akibat arus netral yang mengalir pada penghantar netral dapat dikurangi bila luas penampang di perbesar, namun diperlukan biaya yang besar.

REFERENSI

- [1] Cekdin, Cekmas dan Barlian, Taufik. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.
- [2] Handajadi, Wiwik. (2010). “*Optimalisasi dan Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Peralatan Listrik Untuk Proses Kimia*”. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi SAINS dan Teknologi. Institut SAINS & Teknologi AKPRINDO. Yogyakarta. Hal. A56-A60
- [3] Hidayat, Sopiari Noor. 2017. *Analisa Beban Transformator Distribusi 3 Fasa Pada Feeder 3 PT. PLN Nunukan*. Skripsi. Tarakan: Univ. Borneo Tarakan.
- [4] Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta:Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press)
- [5] Siregar, MHD. Arifin. 2013. *Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru*. Pekanbaru: Univ. Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [6] Suhadi, dkk. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [7] Tanjung, Abrar. 2012. *Analisis Sistem Distribusi 20 kV Untuk Memperbaiki Kinerja dan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Electrical Transient Analysis Program*. Skripsi. Pekanbaru: Univ. Lancang Kuning.
- [8] (2017) kmi. [Online]. Available: www.kmi.co.id standart specification: IEC 60202-1