

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Jeri Arnando¹⁾, Amir Hamzah²⁾, Feranita³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
E-mail : jeri.arnando@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The increasing user of electrical energy so PT PLN (Persero) is required to design a balanced distribution of electric power in each phase, in order to meet the needs of efficient electricity. However, there is often a load imbalance in the distribution of electric power. This study analyzes the effect of load imbalance on distribution transformer efficiency by using the calculation method of percentage loading, load imbalance, losses and efficiency of the transformer. From the results of the study it was found that the lowest efficiency occurs when the load imbalance is high. So that in this condition the neutral wire will have a current and cause losses where the value is proportional to the value of the neutral current. These energy losses will lead to lower transformer efficiency. From the results of research that has been carried out on the distribution transformer of PLN (Persero) ST 009 on October 29, 2021 with data obtained at 21.00, the load imbalance is 10.88% with a neutral current of 96 A and at 22.00, the load imbalance- it is 7.2% and the neutral current is worth 74 A. So the losses that occur at 21.00 are greater than at 22.00 which results in efficiency at 21.00 being smaller than at 22.00 with efficiency values of 94.41% each. compared to 95.04%.

Keywords: Load Unbalance, Loss, Transformer Efficiency.

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu energi yang sangat diperlukan oleh semua manusia. Salah satunya di Indonesia, listrik menjadi kebutuhan yang utama untuk membantu segala jenis kegiatan manusia, untuk kehidupan sehari-hari ataupun untuk kebutuhan dalam industri. Indonesia saat ini sedang melangsungkan pembangunan di segala bidang, karena meningkatnya tingkat pembangunan di Indonesia maka pihak PT. PLN (Persero) dituntut untuk menjamin ketersediaan tenaga listrik yang stabil. Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang digunakan untuk menyalurkan daya atau tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya dari tegangan rendah ke tegangan tinggi. Ketidakseimbangan beban merupakan hal yang pasti terjadi pada distribusi tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban disebabkan oleh adanya pemakaian oleh pengguna listrik yang berlebihan antara fasa yang satu dengan yang lain. Perbedaan pelayanan beban pada transformator ini yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan pada transformator terjadi. Salah satu dampak apabila ketidakseimbangan beban terus terjadi selama waktu tertentu maka dapat memperpendek umur transformator juga menyebabkan panas yang berlebihan pada transformator.

Pada transformator akibat adanya arus netral yang mengalir pada penghantar transformator dapat mengakibatkan rugi-rugi dan efisiensi yang menurun. Namun jika dilakukan pemeliharaan secara berkala pada setiap transformator tersebut maka kualitasnya akan tetap terjaga, seperti mengganti minyak pada transformator dan melakukan pengecekan pada setiap gardu-gardunya. Oleh karena itu dalam pendistribusian tenaga listrik ketidakseimbangan beban harus di minimalisir demi mencapai efisiensi penyaluran yang optimal.

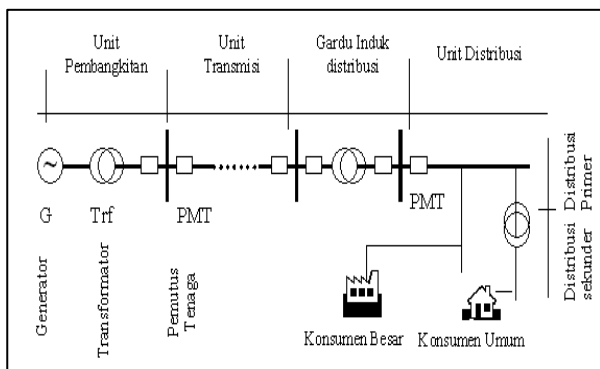
II. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik menuju konsumen. Jadi fungsi dari sistem saluran distribusi tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa pelanggan (tempat) dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Proses penyaluran daya listrik terdiri dari tiga sistem yaitu sistem pembangkitan, transmisi dan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik 11 kV sampai 24 kV oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 150 kV, 275 kV dan 500 kV. Kemudian akan disalurkan melalui saluran transmisi, tujuan menaikkan tegangan yaitu untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Saluran transmisi yang ada di Indonesia pada umumnya memiliki tegangan 150 kV dan 500 kV.

Tenaga listrik yang dikeluarkan melalui saluran transmisi akan sampai ke Gardu Induk dan tegangannya akan diturunkan melalui transformator penurun tegangan. Disinilah tegangannya akan berubah menjadi tegangan menengah, keluaran dari gardu induk inilah yang disebut dengan saluran distribusi tegangan menengah atau saluran distribusi primer. Untuk proses penyaluran saluran distribusi di tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Gambaran Umum Sistem Distribusi Tenaga Listrik (Purba, 2013)

2.2 Transformator

Transformator merupakan suatu alat elektromagnetik yang sederhana untuk mengubah suatu tegangan bolak balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain, dari tingkat yang tinggi menjadi rendah dan yang rendah menjadi tinggi. Umumnya transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputar “kaki” inti transformator.

Secara umum dapat dibedakan dua jenis transformator menurut konstruksinya, yaitu tipe inti dan tipe cangkang. Pada tipe inti terdapat dua kaki dan masing-masing kaki dibelit oleh satu

kumparan. Sedangkan tipe cangkang mempunyai tiga buah kaki dan hanya kaki yang tengahnya dibelit oleh kedua kumparan.

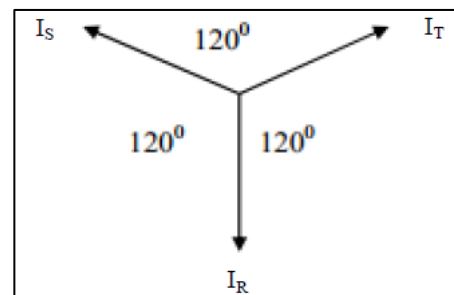
2.3 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas dua kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibatnya adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, kekuatan medan magnet tersebut dipengaruhi besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listrik semakin besar juga medan magnetnya. Dengan demikian maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan beban.

2.4 Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

- Ketiga vektor arus / tegangan adalah sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain, seperti yang terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Vektro Diagram Arus Dalam Keadaan Seimbang (Ahmad, 2021)

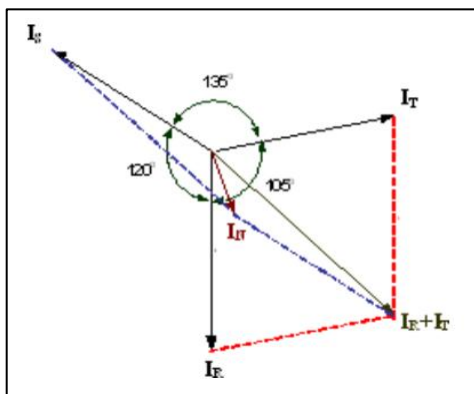
Gambar 2 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Dimana beban tiga fasa

tahanan yang sama besarnya, besarnya arus saluran I_R I_S I_T mengalir melalui masing masing elemen apabila salah satu titik fasa di hubungkan dari saluran dengan tahanan beban masing-masing. Dimana ketiga arus penghantar atau arus fasa mempunyai besar yang sama, karena beban dalam hubungan bintang adalah seimbang. Oleh karena itu dalam hal beban keadaan seimbang penghantar netral tidak di aliri arus listrik, maka sistem empat kawat ini dapat disederhanakan menjadi sistem tiga kawat I_R I_S I_T karena penghantar netral tidak di aliri arus listrik.

Ini hanya mungkin bila terdapat beban yang seimbang, artinya semua tahanan beban adalah sama besar dan sistem sumber yang bersifat simetris atau sesuai. Dan disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R I_S I_T) adalah sama dengan nol dan sudut yang terbentuk adalah 120° , sehingga tidak muncul arus netral. Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan setimbang tidak terpenuhi.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu :

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi memebentuk sudut 120° satu sama lain .
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain Seperti yang terlihat pada gambar 3.



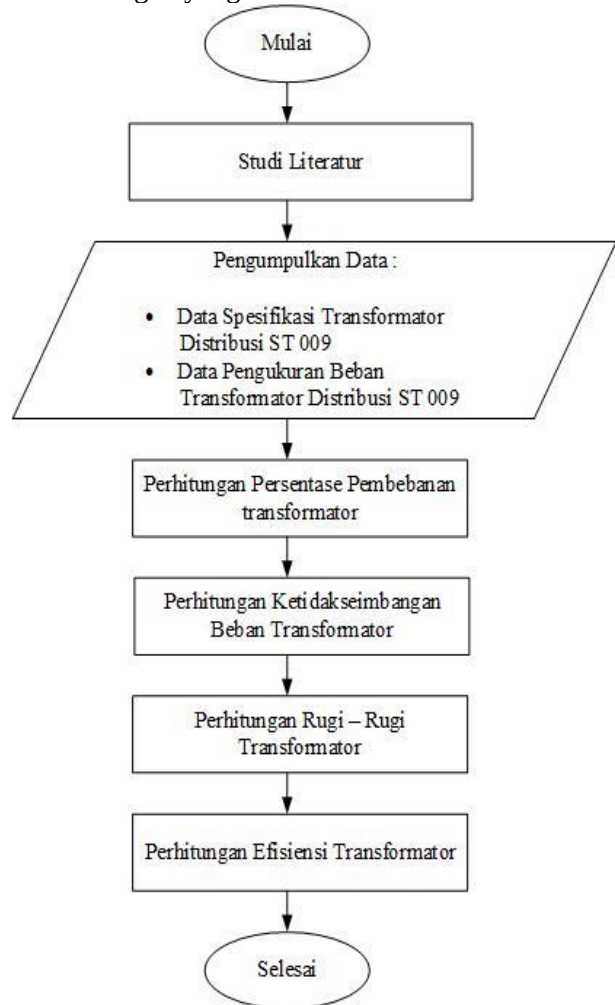
Gambar 3. Vektor Diagram Dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang (Ahmad, 2021)

Gambar 3 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R I_S I_T) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (I_N) yang

besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penulisan ialah metode kuantitatif. Metode kuantitatif merupakan sebuah metode dimana data penelitiannya berupa angka - angka dan analisis memakai statistik. Sehingga dalam hal ini untuk mendapat informasi perlu melakukan beberapa tahapan agar penelitian yang dilakukan dapat sesuai dengan yang dibutuhkan.



Gambar 4. Flowchart Penelitian

Pada penelitian ini, terdapat beberapa perhitungan yang akan dilakukan, diantaranya:

1. Perhitungan pembebanan transformator
2. Perhitungan ketidakseimbangan beban
3. Perhitungan rugi daya akibat arus netral pada penghantar netral
4. Perhitungan efisiensi transformator

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, penulis melakukan pengambilan data di PT.PLN (Persero) ULP Simpang Tiga Pekanbaru. Data pengukuran beban transformator distribusi yang diperoleh adalah hasil pengukuran pada hari Jum'at 29 Oktober 2021 dari pukul 07.00 WIB sampai pukul 06.00 WIB.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Arus

Jam	Arus Fasa (A)			
	R	S	T	N
07.00	114	93	100	62
08.00	109	89	117	73
09.00	103	82	110	70
10.00	101	87	112	62
11.00	121	97	108	68
12.00	117	102	110	49
13.00	139	100	124	70
14.00	153	94	136	81
15.00	150	109	135	76
16.00	162	105	156	85
17.00	160	100	46	81
18.00	224	163	208	92
19.00	256	188	262	107
20.00	245	190	261	102
21.00	263	200	254	96
22.00	221	179	202	74
23.00	170	106	133	70
00.00	171	103	136	77
01.00	169	100	141	81
02.00	165	98	140	80
03.00	166	100	142	81
04.00	168	101	136	76
05.00	182	122	146	80
06.00	124	97	112	60

Dalam melakukan analisa ketidakseimbangan beban maka diperlukan data pengukuran arus setiap fasa diantaranya data arus fasa R, fasa S, fasa T dan pada netral trafo. Adapun pengambilan data tersebut dilakukan dengan cara pengukuran langsung pada trafo ST 009, pada hari jum'at jam 07.00 sampai dengan hari sabtu jam 06.00 dengan interval pengambilan data setiap satu jam.

4.1 Perhitungan Persentase Pembebanan

Untuk menghitung persentase pembebanan transformator dapat menggunakan persamaan berikut.

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{200 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400} = 288,68 \text{ A}$$

Dalam prakteknya I_{FL} yang bernilai 288,68 A akan digunakan dalam menentukan KHA dari kabel fasa maupun kabel netral. Pada sistem distribusi transformator ST 009 menggunakan kabel jenis AAAC 95 mm² dengan nilai KHA ialah 320 A, nilai KHA tersebut berdasarkan SPLN No. 64 Tahun 1985. Dikarenakan pembebanannya belum mencapai angka KHA dari kabel yg terpasang saat ini, maka untuk kabel netral sendiri seharusnya bisa menggunakan kabel dengan angka KHA yang lebih rendah dibandingkan nilai I_{FL} . Sebab setelah dilakukan pengukuran langsung, nilai tertinggi pada arus netral hanya 107 A.

Dengan menggunakan data pengukuran beban pada fasa R, fasa S dan fasa T yang diperlihatkan pada tabel 1 dapat dihitung nilai arus rata-rata pembebanan trafo pada pukul 07.00.

$$I_{Rata-Rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{114 + 93 + 100}{3} = 102,33 \text{ A}$$

Sehingga didapatkan persentase pembebanan trafopukul 07.00 sebagai berikut.

$$\% \text{ Beban} = \frac{I_{Rata-Rata}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{102,3}{288,68} \times 100\% = 35,53\%$$

Dengan cara yang sama, didapatkan persentase pembebanan trafo pada tanggal 29 oktober 2021 pukul 08.00 WIB hingga tanggal 30 oktober 2021 pukul 06.00 WIB yang mana diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2. Data Perhitungan Pembebanan Transformator

Jam	Arus Fasa (A)				Persentase Pembebanan
	R	S	T	Rata-rata	
07.00	114	93	100	102,33	35,53
08.00	109	89	117	105	36,46
09.00	103	82	110	98,3	34,14
10.00	101	87	112	100	34,72
11.00	121	97	108	108,7	37,73
12.00	117	102	110	109,7	38,08
13.00	139	100	124	121	42,01
14.00	153	94	136	127,7	44,33
15.00	150	109	135	131,3	45,60

Jam	Arus Fasa (A)				Persentase Pembebanan
	R	S	T	Rata-rata	
16.00	162	105	156	141	48,96
17.00	160	100	46	102	35,42
18.00	224	163	208	198,3	68,87
19.00	256	188	262	235,3	81,71
20.00	245	190	261	232	80,56
21.00	263	200	254	239	82,99
22.00	221	179	202	200,7	69,68
23.00	170	106	133	136,3	47,34
00.00	171	103	136	136,7	47,45
01.00	169	100	141	136,7	47,45
02.00	165	98	140	134,3	46,64
03.00	166	100	142	136	47,22
04.00	168	101	136	135	46,88
05.00	182	122	146	150	52,08
06.00	124	97	112	111	38,54

4.2 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Koefisien ketidak seimbangan beban pada pukul 07.00 adalah sebagai berikut:

$$a = \frac{I_R}{I_{Rata-Rata}} = \frac{114}{102,33} = 1,11$$

$$b = \frac{I_S}{I_{Rata-Rata}} = \frac{93}{102,33} = 0,91$$

$$c = \frac{I_T}{I_{Rata-Rata}} = \frac{100}{102,33} = 0,98$$

Persentase ketidakseimbangan beban pada pukul 07.00 WIB sebagai berikut:

$$= \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{288,68 A} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|1,11-1| + |0,91-1| + |0,98-1|\}}{288,68 A} \times 100\%$$

$$= 7,6\%$$

Dengan cara yang sama, bisa didapatkan nilai ketidakseimbangan beban trafo pada tanggal 29 oktober 2021 pukul 08.00 WIB hingga tanggal 30 oktober 2021 pukul 06.00 WIB yang mana diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Data Perhitungan Ketidakseimbangan Transformator

Jam	Koefisien keseimbangan beban			Persentase Ketidakseimbangan
	a	b	c	
07.00	1,11	0,91	0,98	7,6
08.00	1,04	0,85	1,11	10,16
09.00	1,05	0,83	1,12	11,07
10.00	1,01	0,87	1,12	8,67
11.00	1,11	0,89	0,99	7,57
12.00	1,07	0,93	1,00	4,66
13.00	1,15	0,83	1,02	11,57
14.00	1,20	0,74	1,07	17,58
15.00	1,14	0,83	1,03	11,34
16.00	1,15	0,74	1,11	17,02
17.00	1,57	0,98	0,45	37,91
18.00	1,13	0,82	1,05	11,88
19.00	1,09	0,80	1,11	13,41
20.00	1,06	0,82	1,13	12,07
21.00	1,10	0,84	1,06	10,88
22.00	1,10	0,89	1,01	7,2
23.00	1,25	0,78	0,98	16,46
00.00	1,25	0,75	1,00	16,75
01.00	1,24	0,73	1,03	17,89
02.00	1,23	0,73	1,04	18,03
03.00	1,22	0,74	1,04	17,65
04.00	1,24	0,75	1,01	16,79
05.00	1,21	0,81	0,97	14,22
06.00	1,12	0,87	1,01	8,41

4.3 Perhitungan Rugi – Rugi Transformator

Rugi daya pada penghantar netral transformator pada pukul 07.00 WIB dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$P_N = I_{N^2} \times R_N$$

$$= 62^2 \times 0,57732$$

$$= 2219,22 W$$

Selain rugi penghantar netral adapun rugi-rugi pada trafo meliputi rugi belitan dan rugi inti. Sesuai dengan SPLN No 50 1997 yang diperlihatkan pada tabel 2.2 dan 2.3 sebelumnya, adapun trafo 20 kVA yang dianalisis ini, nilai rugi

belitan-nya adalah 2500 W dan rugi inti-nya adalah 480 W. Sehingga dengan begitu bisa didapatkan rugi-rugi total untuk trafo pada jam 07.00 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_{Rugi\ Total} &= P_N + P_i + P_{CU} \\ &= 2219,22\ W + 315,64\ W + 480\ W \\ &= 3014,86\ W \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan nilai rugi daya pada penghantar netral transformator pada tanggal 29 oktober 2021 pukul 08.00 WIB hingga tanggal 30 oktober 2021 pukul 06.00 WIB yang direkap pada tabel 4.

Tabel 4 Data Perhitungan Rugi-Rugi Transformator

Jam	Rugi Penghantar Netral (W)	Rugi Belitan (W)	Rugi Inti (W)	Rugi-rugi Total (W)
07.00	2219,22	2500	480	5199,22
08.00	3076,54	2500	480	6056,54
09.00	2828,87	2500	480	5808,87
10.00	2219,22	2500	480	5199,22
11.00	2669,53	2500	480	5649,53
12.00	1386,15	2500	480	4366,15
13.00	2828,87	2500	480	5808,87
14.00	3787,80	2500	480	6767,80
15.00	3334,60	2500	480	6314,60
16.00	4171,14	2500	480	7151,14
17.00	3787,80	2500	480	6767,80
18.00	4886,44	2500	480	7866,44
19.00	6609,74	2500	480	9589,74
20.00	6006,44	2500	480	8986,44
21.00	5320,58	2500	480	8300,58
22.00	3161,40	2500	480	6141,40
23.00	2828,87	2500	480	5808,87
00.00	3422,93	2500	480	6402,93
01.00	3787,80	2500	480	6767,80
02.00	3694,85	2500	480	6674,8
03.00	3787,80	2500	480	6767,80
04.00	3334,60	2500	480	6314,60
05.00	3694,85	2500	480	6674,8
06.00	2078,35	2500	480	5058,4

4.4 Perhitungan Efisiensi Transformator

Sebelum dapat dihitung efisiensi dari transformator terlebih dahulu dihitung daya output dari transformator dengan menggunakan rumus persamaan 10. Sebagai contoh adapun daya output trafo pada jam 07.00 WIB adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_{OUT} &= P_R + P_S + P_T \\ &= V_R \times I_R \times \cos \varphi + V_S \times I_S \times \cos \varphi + V_T \times I_T \times \cos \varphi \\ &= 230 \times 114 \times 0,85 + 230 \times 93 \times 0,85 + 230 \times 100 \times 0,85 \\ &= 60018,5\ W \end{aligned}$$

Selanjutnya efisiensi trafo pada pukul 07.00 WIB adalah:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\% = \frac{P_{OUT}}{P_{OUT} + P_{Rugi\ Total}} \times 100\% \\ &= \frac{60018,5}{60018,5 + 3014,86} \times 100\% \\ &= 95,22\% \end{aligned}$$

Tabel 5. Data Perhitungan Efisiensi Transformator

Jam	Pout (W)	Rugi total (W)	Pin (W)	Efisiensi %
07.00	60018,50	5199,22	65217,72	92,03
08.00	61582,50	6056,54	67639,04	91,05
09.00	57672,50	5808,87	63481,37	90,85
10.00	58650,00	5199,22	63849,22	91,86
11.00	63733,00	5649,53	69382,53	91,86
12.00	64319,50	4366,15	68685,65	93,64
13.00	70966,50	5808,87	76775,37	92,43
14.00	74876,50	6767,80	81644,30	91,71
15.00	77027,00	6314,60	83341,60	92,42
16.00	82696,50	7151,14	89847,64	92,04
17.00	59823,00	6767,80	66590,80	89,84
18.00	116322,50	7866,44	124188,94	93,67
19.00	138023,00	9589,74	147612,74	93,50
20.00	136068,00	8986,44	145054,44	93,80
21.00	140173,50	8300,58	148474,08	94,41
22.00	117691,00	6141,40	123832,40	95,04
23.00	79959,50	5808,87	85768,37	93,23
00.00	80155,00	6402,93	86557,93	92,60
01.00	80155,00	6767,80	86922,80	92,21
02.00	78786,50	6674,85	85461,35	92,19
03.00	79764,00	6767,80	86531,80	92,18

04.00	79177,50	6314,60	85492,10	92,61
05.00	87975,00	6674,85	94649,85	92,95
06.00	65101,50	5058,35	70159,85	92,79

Sogen, M. D. (2018). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di PT. PLN (PERSERO) Area Sorong.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil perhitungan ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi transformator distribusi dapat diambil sebuah kesimpulan, yaitu persentase ketidakseimbangan pembebanan terbesar terjadi saat pukul 17.00 WIB yaitu 37,91 % dan terkecil terjadi saat pukul 12.00 WIB yaitu 4,66 %, persentase rugi total transformator tertinggi terjadi pada pukul 19.00 WIB yaitu 9589,74 W dan terendah pada pukul 12.00 WIB yaitu 4366,15 W, Persentase efisiensi transformator tertinggi terjadi pada pukul 22.00 WIB yaitu 95,04 % dan terendah pada pukul 17.00 WIB yaitu 89,84 % dan ketidakseimbangan pembebanan terjadi karena pembebanan pada setiap fasa yang tidak merata, disebabkan oleh waktu penggunaan listrik yang tidak bersamaan.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Fahrurrozi*, F. F. (2014). Analisa Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi di Gedung Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Huda, A. A. (2020). *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi pada Gardu CGBB di PT PLN (Persero) Area Bekasi Kota* . Jakarat: Institut Teknologi PLN.
- Pratama, S. (2020). *Evaluasi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral pada Transformator Gardu Distribusi JS5AkVA di PT PLN (Persero) UP3 Bekasi*. Jakarta: Institut Teknologi PLN.
- Rizki, A. (2021). *Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo 200kVA* . Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Saputro, A. E. (2018). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Di PT.PLN (Persero) Rayon Palur Karanganyar.