

# Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator 60 MVA di Gardu Induk 150/20 KV Sanggrahan

Nanang Prayogi<sup>1</sup>, Ida Widiastuti<sup>2</sup>, dan Muhamad Haddin<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung  
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang, 50112  
e-mail: nanangpray24@gmail.com

**Abstrak**— Penelitian ini membahas tentang pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator 60 MVA. Model ditetapkan sebagai sebuah single line diagram GI 150/20 KV dengan 2 unit transformator 60 MVA masing-masing unit 1 dan 3. Parameter yang ditentukan meliputi: tegangan dan beban transformator. Efisiensi transformator diketahui dengan melakukan perhitungan daya semu, rugi tembaga dan rugi total. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi transformator unit 1 saat beban tertinggi siang hari 33,44 MW nilai efisiensi sebesar 99,63%, sedangkan pada saat beban terendah siang 20,17 MW nilai efisiensinya sebesar 99,66%. Efisiensi beban tertinggi malam hari 30,28 MW sebesar 99,64%, sedangkan saat beban terendah malam 99,65%. Efisiensi transformator unit 3 saat beban tertinggi siang hari 33,74 MW sebesar 99,63%, sedangkan pada saat beban terendah siang hari 16,81 MW sebesar 99,64% dan saat beban tertinggi malam hari 30,54 MW nilai efisiensi 99,64%, sedangkan pada saat beban terendah malam hari 22,45 MW efisiensinya sebesar 99,66%.

**Kata kunci:** *Beban puncak, efisiensi, transformator*

**Abstract**— This study discusses the effect of peak load on the efficiency of a 60 MVA transformer. The model is a single-line diagram of GI 150/20 KV with two units of 60 MVA transformer, each unit 1 and 3. Parameters determined include transformer voltage and load. The efficiency of the transformer is known by calculating the apparent power, copper loss and total loss. The results show that the efficiency of the unit 1 transformer at the highest load during the day is 33.44 MW, the efficiency value is 99.63%, while at the lowest load during the day, 20.17 MW, the efficiency value is 99.66%. The highest load efficiency at night is 30.28 MW at 99.64%, while at night, the lowest load is 99.65%. The efficiency of transformer unit 3, when the highest load during the day is 33.74 MW is 99.63%, while the lowest load is 16.81 MW, which is 99.64%. When the highest load is at night, 30.54 MW, the efficiency value is 99.64 %, while at the lowest load at night, 22.45 MW, the efficiency is 99.66%.

**Keywords:** *Peak load, efficiency, transformer*

## I. PENDAHULUAN

Permasalahan yang timbul pada transformator di Gardu Induk 150/20 kV dari suplai tenaga listrik yang terus menerus dan bertambah yang menyebabkan panas dari kumpulan transformator sehingga menghasilkan rugi-rugi yang berupa rugi inti dan rugi tembaga. Rugi-rugi daya yang dihasilkan transformator menimbulkan perbedaan daya masukan dan daya keluaran. Semakin besar rugi-rugi yang ditimbulkan semakin besar daya yang hilang dari trafo tersebut [1]. Berubah-ubahnya beban atau pembebanan yang berlebih juga dapat berakibat menurunnya efisiensi transformator. Solusi terhadap permasalahan tersebut adalah dilakukan pembagian pembebanan yang merata dan pemeliharaan transformator agar transformator dapat bekerja dengan maksimal dan memenuhi standar. Maka peneliti memfokuskan penelitian mengenai pengaruh beban puncak

terhadap efisiensi transformator 60 MVA di Gardu Induk 150/20 KV Sanggrahan.

## II. STUDI PUSTAKA

Dalam mendukung penelitian ini, penulis mengambil beberapa referensi dari penelitian terdahulu, diantaranya :

- a. Penelitian yang bertujuan mengetahui efisiensi transformator 1 dan 2 seperti pada penelitian [1].
- b. Pada penelitian [2] dimana perlunya studi mengenai optimalisasi efisiensi transformator, dengan cara mengestimasi beban sisi sekunder, maka sisi primer dapat diketahui, selanjutnya daya masukan sisi primer dan daya keluaran sisi sekunder dapat ditentukan. Maka, rugi – rugi transformator dapat ditentukan.

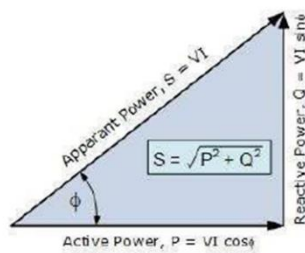
- c. Penelitian yang bertujuan mengetahui pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator seperti pada penelitian [3].

A. Transformator

Transformator adalah alat yang digunakan untuk mentransfer energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lain dengan induksi elektromagnetik [4].

B. Daya Listrik

Listrik satu fasa hanya ada satu daya listrik yaitu daya nyata dalam watt. Namun dalam listrik tiga fasa mempunyai 3 daya listrik yaitu daya nyata, daya semu dan daya reaktif. Hubungan antara daya nyata, daya reaktif, dan daya semu dapat digambarkan dengan segitiga siku-siku, di mana sisi miring adalah daya semu, satu sisi siku adalah daya nyata, dan sisi lainnya adalah daya reaktif [5], seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Segitiga Daya

Daya aktif (P) adalah daya aktual yang dibutuhkan oleh beban listrik. Satuan daya aktif adalah Watt (W) [6], seperti pada persamaan (1).

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \tag{1}$$

Daya reaktif merupakan daya yang menyebabkan kerugian-kerugian daya atau daya yang menurunkan nilai cos phi (faktor daya). Besar kecilnya daya reaktif tergantung dari banyaknya alat-alat listrik yang menghasilkan daya reaktif. Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata (watt) dengan daya semu (VA), daya reaktif dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$Q = V \times I \sin \phi \tag{2}$$

Daya semu adalah daya yang dihasilkan oleh perhitungan listrik sebelum beban listrik diterapkan. Daya semu atau daya total (S) atau dalam bahasa Inggris daya semu adalah hasil dari perkalian tegangan efektif (V) dan arus efektif (I). Maka daya semu dihitung dengan persamaan (3).

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ atau } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{3}$$

dengan :

- P = daya nyata (watt)
- Q = daya reaktif (var)
- S = daya semu (va)
- V = tegangan (volt)
- I = arus (ampere)

$\phi$  = beda sudut

C. Rugi – rugi Transformator

Rugi-rugi trafo dibagi menjadi dua jenis, antara lain rugi-rugi inti transformator dan rugi-rugi tembaga pada belitan primer dan sekunder. Kawat tembaga dengan luas penampang yang besar dapat mengurangi rugi-rugi tembaga sehingga dapat memperlancar aliran arus listrik pada trafo tanpa beban [5]. Persamaan untuk besarnya daya dapat dilihat pada persamaan (4).

$$P = \sqrt{3} V I \cos \phi \tag{4}$$

Dari persamaan (4), maka untuk perhitungan daya semu menggunakan persamaan (5) :

$$S = \sqrt{3} V I \tag{5}$$

Maka untuk  $\cos \phi$  mencari persamaan(6).

$$\cos \phi = \frac{P(W)}{S(VA)} \tag{6}$$

Tujuan dari perancangan sistem kelistrikan adalah untuk meminimalkan berbagai rugi-rugi atau rugi-rugi daya, walaupun persentasenya tampak kecil, tetapi pada transformator yang lebih besar rugi-ruginya juga lebih tinggi [5]. Rugi-rugi transformator sebagai berikut :

a) Rugi-rugi Tembaga (Pcu)

Rugi tembaga terjadi karena adanya arus listrik yang mengalir pada kawat tembaga, dituliskan dengan persamaan (7).

$$P_{cu} = I^2 \cdot R \tag{7}$$

dengan :

- $P_{cu}$  = Rugi-rugi tembaga (watt)
- I = Arus yang mengalir pada kawat tembaga (A)
- R = Tahanan kawat tembaga (ohm)

Berubah-ubanya arus beban menyebabkan rugi-rugi tembaga yang berubah-ubah nilainya. Nilai rugi-rugi tembaga untuk setiap perubahan beban dapat dituliskan dengan persamaan (8).

$$P_{t2} = \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^2 \times P_{t1} \tag{8}$$

- $P_{t2}$  = Rugi-rugi saat pembebanan tertentu (kW)
- $P_{t1}$  = Rugi-rugi tembaga beban puncak (kW)
- $S_2$  = Beban yang dioperasikan (kVA)
- $S_1$  = Nilai pengenalan (kVA)

b) Rugi- rugi Besi (Pi)

Tidak seperti rugi-rugi tembaga, rugi-rugi inti besi selalu konstan dalam kondisi normal, terlepas dari nilai perubahan beban. Nilai rugi-rugi besi biasanya tertera pada papan nama masing-masing transformator daya.

c) Efisiensi Transformator

Pada trafo terdapat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga yang akan mempengaruhi efisiensi transformator. Nilai efisiensi keseluruhan ( $\eta$ ) dapat ditulis seperti pada persamaan (9).

$$\eta = (P_{out} / P_{in}) \times 100\% \quad (9)$$

dengan :

$P_{out}$  = Daya keluaran

$P_{in}$  = Daya masukan

Karena efisiensi transformator sangat tinggi, pengukuran efisiensi tidak pernah dilakukan secara langsung dengan mengukur daya input dan output. Bahkan jika pengukuran dilakukan dengan wattmeter dengan akurasi 1%, efisiensi lebih besar dari 100% masih dapat dicapai, jika efisiensi transformator adalah 99%. Oleh karena itu, pengukuran efisiensi transformator tidak pernah dilakukan di lapangan, tetapi selalu dilakukan di laboratorium atau pabrik dengan mengukur rugi-rugi transformator, dimana daya masukan adalah daya keluaran ditambah rugi-rugi [4].

Adapun rugi-rugi transformator terdiri dari beban nol yang merupakan rugi besi ( $P_i$ ) dan rugi tembaga ( $P_{cu}$ ) pada  $P_{out}$ . Dengan demikian efisiensi transformator dapat ditulis seperti pada persamaan (10) sampai (13).

$$\eta = \frac{P_{in} - (P_{cu} + P_i)}{P_{in}} 100\% \quad (10)$$

$$\eta = \frac{P_{in} - \Sigma \text{rugi}}{P_{in}} 100\% \quad (11)$$

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi}}{P_{in}} 100\% \quad (12)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Sigma \text{rugi}} 100\% \quad (13)$$

dengan :

$P_{out}$ = Daya keluar

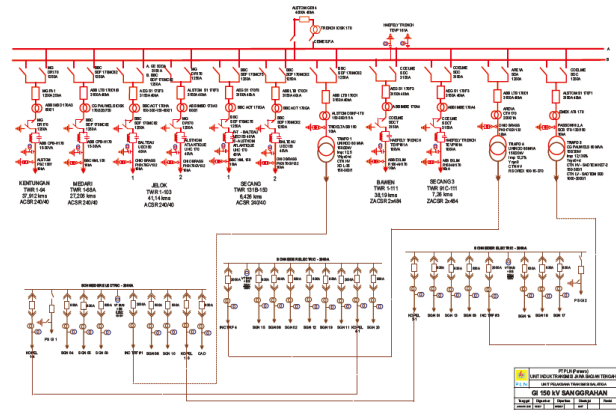
$\Sigma \text{rugi} = P_i + P_{cu}$

III. METODE

A. Model Penelitian

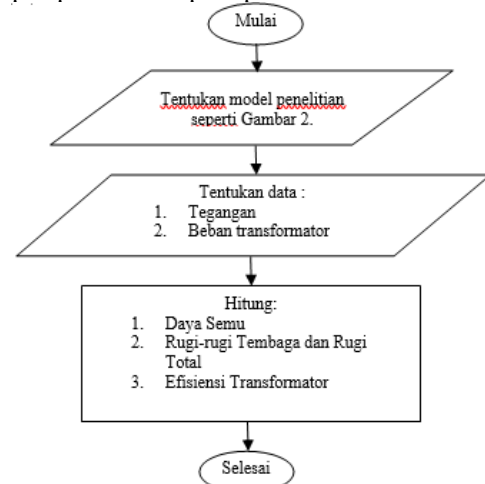
Penelitian ini untuk menghitung efisiensi 2 unit transformator 60 MVA yang ada di Gardu Induk 150/20 Kv menggunakan metode kuantitatif. Yang dimaksud dengan metode kuantitatif adalah metode yang datanya berupa angka-angka, pengolahannya berupa perhitungan, dan perhitungannya disajikan dalam bentuk tabel atau grafik.

Tahapan yang dilakukan adalah menghitung efisiensi transformator secara manual, menentukan model penelitian yaitu berupa single line diagram gardu induk seperti pada Gambar 2, kemudian parameter yang ditentukan berupa : data tegangan, beban, dan arus transformator



Gambar 2. Single line diagram GI 150/20 kV Sangrahan

Tahapan penelitian seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

B. Data Tegangan, Beban, dan Arus Transformator

Penelitian ini dilakukan pengambilan data yang berupa data tegangan, beban, dan arus pada transformator dari tanggal 1 sampai 31 Agustus 2022. Berikut data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 sampai 4.

Tabel 1. Data Beban Puncak Siang Transformator 1  
Transformator 1 Pukul 10:00

Tgl	Sisi 150 kv						Sisi 20 kv		
	kV	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T
1	20,5	104	107	109	25,2	8	726	759	746
2	20,5	100	103	104	24	8	704	716	719
3	20,3	86	92	94	21,1	6,5	595	629	638
4	20,3	146	153	149	24,7	11,3	1014	1058	1030
5	20,6	102	100	102	26	8	752	751	793
6	20,5	101	100	102	25	8	751	756	791
7	20,3	93	97	99	23,4	6,3	660	687	696
8	20,3	104	110	110	25	8	861	790	772
9	20,3	110	113	112	24,5	7,8	891	780	772
10	20,4	111	110	111	24	7,1	890	786	781
11	20,4	112	110	110	25	8	856	800	780
12	20,4	111	110	109	25	8	831	801	786
13	20,3	106	111	111	25,9	8	733	766	760
14	20,3	93	97	98	23	6	661	694	701
15	20,2	104	108	107	25,9	7,9	749	779	779
16	20,5	105	111	110	26,2	8,4	752	793	788
17	20,5	83	88	88	22	6	608	641	641
18	20,7	105	110	109	25,6	8	745	786	780
19	20,3	105	108	109	25,6	7,8	747	768	770
20	20,6	100	105	106	25	7	713	743	738

21	20,4	119	126	130	32	4	762	731	771
22	20,5	103	107	106	25,6	8,3	749	767	764
23	20,5	105	107	106	25,4	8,2	755	750	748
24	20,4	104	109	111	27,3	6,5	760	789	802
25	20,5	108	111	111	26,1	8,4	745	771	764
26	20,4	105	109	109	26	8	753	784	782
27	20,4	108	111	110	25	7,8	734	755	751
28	20,5	93	97	97	23,4	6	663	685	687
29	20,2	101	104	104	25	7	723	743	745
30	20,2	106	116	112	26,6	7,7	755	820	787
31	20,4	107	110	111	25,8	7,8	757	774	782

Tabel 2. Data Beban Puncak Malam Transformator 1

Tgl	Transformator 1 Pukul 19:00								
	Sisi 150 kv					Sisi 20 kv			
	kV	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T
1	20,6	127	125	132	32	5	875	905	912
2	20,6	125	132	136	32	5	883	912	932
3	20,5	125	132	137	32,8	4,8	876	882	947
4	20,5	126	131	136	32,5	4,6	873	904	936
5	20,7	124	130	135	32	4	871	905	940
6	20,5	122	128	134	32,1	4,4	856	890	933
7	20,6	121	127	132	31,7	4,2	861	904	934
8	20,6	123	129	133	32	5	882	919	930
9	20,3	109	107	104	32,5	4,4	876	918	947
10	20,5	121	127	121	32	4	881	910	935
11	20,5	123	131	136	32	4	880	925	955
12	20,4	123	128	133	32,3	4,5	831	837	816
13	20,4	118	125	131	31,4	4	860	898	937
14	20,4	119	124	129	31	4	851	887	923
15	20,3	121	124	130	31,8	4,2	860	877	930
16	20,3	119	126	130	31,6	4,1	876	920	944
17	20,5	112	118	123	30	4	800	844	823
18	20,3	120	125	132	32	4,1	859	894	939
19	20,6	121	127	132	32,1	4,4	872	910	950
20	20,2	120	126	131	32	4	876	914	942
21	20,3	121	125	131	31,5	3,1	850	880	918
22	20,5	123	127	132	32,1	4,5	887	916	950
23	20,6	122	128	133	32	4	880	912	948
24	20,3	122	127	132	32,4	4,5	871	901	941
25	20,4	119	124	129	31,7	4,3	847	883	919
26	20,4	121	126	131	32	4	885	912	945
27	20,4	120	126	132	31,3	4,1	881	918	931
28	20,6	115	120	124	30,4	3,8	810	842	875
29	20,6	115	123	129	31	4	853	880	917
30	20,6	123	127	133	32,2	4,4	860	893	928
31	20,4	125	129	134	32,4	4,4	862	895	930

Tabel 3. Data Beban Puncak Siang Transformator 3

Tgl	Transformator 3 Pukul 10:00								
	Sisi 150 kv					Sisi 20 kv			
	Kv	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T
1	20,6	114	119	112	26	12	809	816	815
2	20,6	118	115	121	29	10	864	869	871
3	20,7	111	114	108	25	11,5	764	778	758
4	20,6	153	155	147	33	15,5	1037	1034	1052
5	21	113	110	116	27	9	770	784	734
6	20,5	91	94	88	21	8	771	786	781
7	20,5	91	94	88	21	8	648	671	657
8	20,8	112	114	107	26	9	762	779	782
9	20,7	110	114	109	25,5	8	782	773	791
10	20,6	111	113	108	26	9	781	771	784
11	20,7	114	112	103	26	9	750	745	722
12	20,6	114	111	104	26	9	651	746	721
13	20,8	107	109	103	24	10	734	756	749
14	20,6	89	86	92	22	7	635	647	640
15	20,7	114	116	110	26	11,2	793	804	801
16	20,7	115	117	111	26	11,6	817	824	826
17	20,6	73	69	71	18	5	524	513	514
18	20,5	116	117	111	26	11	825	824	827

19	20,4	119	122	115	26	11	824	823	817
20	20,7	108	104	108	25	9	741	754	752
21	20,6	109	105	107	23,1	10	741	782	751
22	20,7	117	119	103	26	11	740	791	762
23	20,7	117	120	114	26,5	12	825	850	832
24	20,9	113	115	108	26	10	777	803	788
25	20,8	91	92	87	21	9,5	621	621	628
26	20,8	119	114	120	28	9	799	821	818
27	20,7	111	112	106	24	10	764	768	766
28	20,7	90	91	86	21	8	638	640	631
29	20,7	108	106	112	27	9	763	789	790
30	20,7	88	88	84	20	8	624	625	622
31	20,7	117	120	114	26	11	806	818	829

Tabel 4. Data Beban Puncak Malam Transformator 3

Tgl	Transformator 3 Pukul 19:00								
	Sisi 150 kv					Sisi 20 kv			
	Kv	R	S	T	MW	MVAR	R	S	T
1	20,7	118	121	125	28	8	844	862	837
2	20,8	120	115	122	30	7	850	860	845
3	20,8	120	123	116	29,5	8,5	849	861	839
4	20,7	114	120	111	28	8	786	829	810
5	20,9	119	114	121	29	6	832	843	823
6	21	115	118	111	27,5	8	812	824	803
7	20,8	112	114	107	26,5	7	787	800	778
8	20,9	107	105	113	28	6	756	804	779
9	20,5	118	121	113	28	8	840	856	830
10	20,5	119	122	114	27	7	841	861	842
11	21	120	113	123	30	6	835	849	830
12	21	118	120	112	28	8	862	897	934
13	20,7	115	117	109	27	7	803	823	793
14	20,8	111	105	113	28	5	783	789	773
15	20,8	118	120	111	28	8	825	873	821
16	20,9	115	116	109	27,5	8	812	826	801
17	20,6	98	92	98	24	4	700	691	683
18	20,9	120	21	113	28	8	817	827	813
19	20,9	121	123	115	28	8	838	847	828
20	20,8	119	112	121	30	6	835	852	840
21	20,6	117	120	111	27,5	9	804	811	791
22	20,9	122	123	116	28	8	837	851	841
23	20,9	119	114	121	29	6	826	835	819
24	20,9	121	123	114	29,5	9	835	848	825
25	21	122	123	118	28	8	837	843	833
26	21	121	115	124	30	6	844	860	840
27	20,7	120	113	121	30	7	816	827	811
28	20,9	108	110	102	26	7	765	774	754
29	20,9	115	111	116	29	6	813	828	810
30	21	119	120	112	28	8	824	833	815
31	20,9	117	118	112	28	8	834	846	823

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menghitung Daya Semu

Perhitungan daya semu (MVA) diperlukan untuk menghitung rugi tembaga pada setiap bebannya, untuk menghitung daya semu (MVA) menggunakan persamaan (3).

Sebagai contoh perhitungan data yang digunakan adalah saat beban puncak siang transformator sisi 20 kV tanggal 1. Seperti pada Tabel 1.

$$S = 1,73 \times 20500 \times 759 \text{ (Arus tertinggi dari R,S,T)}$$

$$S = 26,92 \text{ MVA}$$

Untuk mendapatkan nilai  $\cos \phi$  dapat dihitung dengan persamaan (6).

$$\cos \phi = \frac{25,20}{26,92}$$

$$\cos \phi = 0,9$$

Sedangkan untuk menghitung daya nyata (P) menggunakan rumus seperti pada persamaan (1).

$$P = \sqrt{3} \times 20500 \times 759 \times 0,9$$

$$P = 24,23MW$$

### B. Rugi Inti

Rugi inti merupakan rugi-rugi yang ditimbulkan oleh trafo pada saat tidak ada beban (tanpa beban). Dalam kondisi normal, rugi-rugi inti adalah sama (terlepas dari ukuran beban). Menurut SPLN 61:1997 tentang spesifikasi transformator daya tegangan tinggi, transformator memiliki kapasitas rugi inti sebesar 60 MVA atau rugi tembaga tanpa beban (Pi) sebesar 38 KW sedangkan rugi tembaga penuh (Pt1) sebesar 220 Kw [7].

### C. Rugi Tembaga dan Rugi Total

Setelah mengetahui nilai daya semu (MVA) maka rugi tembaga pada setiap beban puncak siang dan malam yang terjadi pada transformator dapat dihitung dengan persamaan (8).

$$P_{i2} = \left( \frac{26920}{60000} \right)^2 \times 220$$

$$P_{i2} = 44,28 \text{ kW}$$

$$P_{total} = P_i + P_{i2}$$

$$= 38 + 44,28$$

$$= 82,28 \text{ kW}$$

### D. Efisiensi Transformator Sisi

Sehingga, efisiensi transformator dapat diketahui menggunakan rumus pada persamaan (13).

$$\eta = \frac{24,23}{24,23 + 82,28} \times 100\%$$

$$\eta = 99,661\%$$

### E. Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan efisiensi transformator dapat dilihat pada tabel 5 sampai tabel 8.

Tabel 5. Perhitungan Transformator 1 Jam 10:00

TGL	10:00 WIB				
	MW	MVA	RUGI TEMBAGA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)
1	24,23	26,92	44,28	82,28	99,66152
2	22,95	25,50	39,74	77,74	99,66242
3	20,17	22,41	30,68	68,68	99,66057
4	33,44	37,16	84,37	122,37	99,63541
5	25,43	28,26	48,81	86,81	99,65986
6	25,25	28,05	48,09	86,09	99,66017
7	22,00	24,44	36,51	74,51	99,66243
8	27,21	30,24	55,87	93,87	99,65623
9	28,16	31,29	59,84	97,84	99,65380
10	28,27	31,41	60,29	98,29	99,65350
11	27,19	30,21	55,77	93,77	99,65629
12	26,39	29,33	52,56	90,56	99,65807
13	24,21	26,90	44,22	82,22	99,66153
14	22,16	24,62	37,04	75,04	99,66247
15	24,50	27,22	45,29	83,29	99,66121
16	25,31	28,12	48,34	86,34	99,66007
17	20,46	22,73	31,58	69,58	99,66106
18	25,33	28,15	48,42	86,42	99,66003
19	24,34	27,04	44,69	82,69	99,66140

20	23,83	26,48	42,85	80,85	99,66190
21	24,49	27,21	45,25	83,25	99,66122
22	24,48	27,20	45,22	83,22	99,66123
23	24,10	26,78	43,81	81,81	99,66165
24	25,47	28,30	48,96	86,96	99,65980
25	24,61	27,34	45,69	83,69	99,66107
26	24,90	27,67	46,78	84,78	99,66068
27	23,98	26,65	43,39	81,39	99,66176
28	21,93	24,36	36,28	74,28	99,66241
29	23,43	26,03	41,42	79,42	99,66219
30	25,79	28,66	50,18	88,18	99,65925
31	24,84	27,60	46,55	84,55	99,66077

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh efisiensi transformator saat beban tertinggi siang 33,44 MW yaitu 99,65%, sedangkan saat beban terendah siang 20,17 MW nilai efisiensi sebesar 99,66% maka nilai efisiensi pada transformator sudah memenuhi standar SPLN 61:1997 yang bernilai 99,57%.

Tabel 6. Perhitungan Transformator 1 Jam 19:00

TGL	19:00 WIB				
	MW	MVA	RUGI TEMBAGA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)
1	29,25	32,50	64,56	102,56	99,65063
2	29,89	33,21	67,42	105,42	99,64859
3	30,23	33,59	68,93	106,93	99,64748
4	29,88	33,20	67,34	105,34	99,64865
5	30,30	33,66	69,25	107,25	99,64725
6	29,78	33,09	66,91	104,91	99,64896
7	29,96	33,29	67,71	105,71	99,64838
8	29,83	33,14	67,13	105,13	99,64880
9	29,93	33,26	67,59	105,59	99,64846
10	29,84	33,16	67,20	105,20	99,64875
11	30,48	33,87	70,10	108,10	99,64661
12	26,59	29,54	53,32	91,32	99,65766
13	29,76	33,07	66,83	104,83	99,64902
14	29,32	32,57	64,84	102,84	99,65042
15	29,39	32,66	65,19	103,19	99,65018
16	29,84	33,15	67,17	105,17	99,64877
17	26,94	29,93	54,75	92,75	99,65688
18	29,68	32,98	66,46	104,46	99,64928
19	30,47	33,86	70,05	108,05	99,64666
20	29,63	32,92	66,22	104,22	99,64945
21	29,02	32,24	63,52	101,52	99,65135
22	30,32	33,69	69,37	107,37	99,64716
23	30,41	33,78	69,75	107,75	99,64687
24	29,74	33,05	66,74	104,74	99,64908
25	29,19	32,43	64,28	102,28	99,65082
26	30,02	33,35	67,97	105,97	99,64819
27	29,57	32,86	65,97	103,97	99,64963
28	28,06	31,18	59,42	97,42	99,65406
29	29,41	32,68	65,27	103,27	99,65013
30	29,76	33,07	66,84	104,84	99,64901
31	29,54	32,82	65,83	103,83	99,64973

Berdasarkan Tabel 6 diperoleh efisiensi transformator saat beban tertinggi malam 30,48 MW yaitu 99,64%, sedangkan saat beban terendah malam 26,59 MW nilai efisiensi sebesar 99,65% maka nilai efisiensi pada transformator sudah memenuhi standar SPLN 61:1997 yang bernilai 99,57%.

Tabel 7. Perhitungan Transformator 3 Jam 10:00

TGL	10:00 WIB				
	MW	MVA	RUGI TEMBAGA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)

	MW	MVA	RUGI TEMBAGA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)
1	26,17	29,08	51,68	89,68	99,65852
2	27,94	31,04	58,88	96,88	99,65441
3	25,07	27,86	47,44	85,44	99,66043
4	33,74	37,49	85,90	123,90	99,63415
5	25,63	28,48	49,58	87,58	99,65952
6	25,09	27,88	47,49	85,49	99,66041
7	21,42	23,80	34,61	72,61	99,66213
8	25,33	28,14	48,39	86,39	99,66004
9	25,49	28,33	49,03	87,03	99,65977
10	25,15	27,94	47,71	85,71	99,66032
11	24,17	26,86	44,08	82,08	99,66157
12	23,93	26,59	43,19	81,19	99,66181
13	24,48	27,20	45,23	83,23	99,66123
14	20,75	23,06	32,49	70,49	99,66147
15	25,91	28,79	50,66	88,66	99,65902
16	26,62	29,58	53,47	91,47	99,65759
17	16,81	18,67	21,31	59,31	99,64834
18	26,40	29,33	52,57	90,57	99,65806
19	26,17	29,08	51,68	89,68	99,65852
20	24,30	27,00	44,55	82,55	99,66144
21	25,08	27,87	47,46	85,46	99,66042
22	25,49	28,33	49,03	87,03	99,65977
23	27,40	30,44	56,62	94,62	99,65579
24	26,13	29,03	51,52	89,52	99,65860
25	20,34	22,60	31,21	69,21	99,66087
26	26,59	29,54	53,34	91,34	99,65766
27	24,75	27,50	46,22	84,22	99,66089
28	20,63	22,92	32,10	70,10	99,66130
29	25,46	28,29	48,91	86,91	99,65982
30	20,14	22,38	30,61	68,61	99,66054
31	26,72	29,69	53,86	91,86	99,65737

Berdasarkan Tabel 7 diperoleh efisiensi transformator saat beban tertinggi siang 33,74 MW yaitu 99,63%, sedangkan saat beban terendah siang 16,81 MW nilai efisiensi sebesar 99,64% maka nilai efisiensi pada transformator sudah memenuhi standar SPLN 61:1997 yang bernilai 99,57%.

Tabel 8. Perhitungan Transformator 3 Jam 19:00

TGL	19:00 WIB				
	Sisi 20 KV				
	MW	MVA	RUGI TEMBAGA (kW)	RUGI TOTAL (kW)	EFISIENSI (%)
1	27,78	30,87	58,23	96,23	99,65481
2	27,85	30,95	58,52	96,52	99,65463
3	27,88	30,98	58,66	96,66	99,65455
4	26,72	29,69	53,86	91,86	99,65737
5	27,43	30,48	56,78	94,78	99,65570
6	26,94	29,94	54,77	92,77	99,65687
7	25,91	28,79	50,64	88,64	99,65903
8	26,16	29,07	51,64	89,64	99,65854
9	27,32	30,36	56,32	94,32	99,65597
10	27,48	30,54	56,98	94,98	99,65558
11	27,76	30,84	58,14	96,14	99,65487
12	30,54	33,93	70,36	108,36	99,64642
13	26,53	29,47	53,08	91,08	99,65779
14	25,55	28,39	49,26	87,26	99,65967
15	28,27	31,41	60,31	98,31	99,65349
16	26,88	29,87	54,51	92,51	99,65702
17	22,45	24,95	38,03	76,03	99,66250
18	26,91	29,90	54,64	92,64	99,65694
19	27,56	30,62	57,32	95,32	99,65538
20	27,59	30,66	57,44	95,44	99,65530
21	26,01	28,90	51,05	89,05	99,65883
22	27,69	30,77	57,86	95,86	99,65504
23	27,17	30,19	55,70	93,70	99,65633

24	27,60	30,66	57,45	95,45	99,65529
25	27,56	30,63	57,32	95,32	99,65537
26	28,12	31,24	59,66	97,66	99,65391
27	26,65	29,62	53,60	91,60	99,65752
28	25,19	27,99	47,86	85,86	99,66026
29	26,94	29,94	54,77	92,77	99,65687
30	27,24	30,26	55,97	93,97	99,65618
31	27,53	30,59	57,18	95,18	99,65546

Berdasarkan Tabel 8 diperoleh efisiensi transformator saat beban tertinggi malam 30,54 MW yaitu 99,64%, sedangkan saat beban terendah malam 22,45 MW nilai efisiensi sebesar 99,66% maka nilai efisiensi pada transformator sudah memenuhi standar SPLN 61:1997 yang bernilai 99,57%.

#### F. Analisa Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 5 sampai 8, pembebanan akan berpengaruh terhadap rugi – rugi pada transformator. Dimana rugi – rugi pada transformator juga berpengaruh terhadap nilai efisiensi. Dalam hal ini perubahan rugi tembaga yang terjadi, sedangkan rugi inti nilainya bersifat tetap.

Dari tabel diatas dapat terlihat bahwa saat terjadi perubahan beban pada transformator maka akan berpengaruh pada nilai efisiensi transformator. Sesuai dengan persamaan (13).

#### V. KESIMPULAN

Nilai efisiensi transformator pada gardu induk dipengaruhi pembebanan dan rugi – rugi pada transformator. Semakin besar beban transformator maka semakin besar rugi – rugi, dimana akan berpengaruh pada nilai efisiensi walaupun pengaruhnya tidak terlalu besar. Hasil Hasil menunjukkan efisiensi pada transformator daya unit 1 saat beban tertinggi siang 33,44 MW nilai efisiensi sebesar 99,63% sedangkan pada saat beban terendah siang 20,17 MW nilai efisiensi sebesar 99,66% dan saat beban tertinggi malam 30,28 MW efisiensi sebesar 99,64% sedangkan saat beban terendah malam nilai efisiensi sebesar 99,65%. Efisiensi pada transformator daya unit 3 saat beban tertinggi siang 33,74 MW nilai efisiensi sebesar 99,63% sedangkan pada saat beban terendah siang 16,81 MW nilai efisiensi sebesar 99,64% dan saat beban tertinggi malam 30,54 MW nilai efisiensi 99,64% sedangkan pada saat beban terendah malam 22,45 MW nilai efisiensi sebesar 99,66%.

#### REFERENSI

- [1] T. T. Gultom, "Studi Efisiensi Transformator Daya Di Gardu Induk GIS Listrik," J. Ilm. "Dunia Ilmu," vol. 2, no. 4, pp. 142–148, 2016.
- [2] Dodi Setiabudi, "Analisa Effisiensi Transformator Daya 20 Mya Gardu Induk 150 I(V Jember Teriadap Perkembangan Beban Feeder," J. Rekayasa Teknol., vol. 2, no. 10, pp. 1–104, 2009.
- [3] S. Pamungkas, J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Semarang, "Analisis pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator 60 mva 150/20kv unit 1 dan 2 di gardu induk kaliwungu," vol. 50196, pp. 1–5.
- [4] U. Wiharja, "Ujang Wiharja, MT," 2009.
- [5] E. Trafo, D. Di, and G. Induk, "Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Trafo Daya Di Gardu Induk 150 Kv," 2021.
- [6] T. A. ELGANTORO, "Perhitungan Efisiensi Trafo 60 Mva Di Gardu Induk Mranggen," 2020.
- [7] PT. PLN (Persero), "Spln 61:1997." 1997.

