

ANALISA UNJUK KERJA TRANSFORMATOR TIGA PHASA GARDU INDUK PEMATANGSIANTAR PT PLN (Persero)

Oleh:

Thandy Dutch Millen Pandiangan ¹⁾

Afiqadli ²⁾

Janter Napitupulu ³⁾

Jumari ⁴⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2,3,4)}

E-mail :

thandypandiangan77@gmail.com ¹⁾

afiqadli030@gmail.com ²⁾

jnapitupulu96@gmail.com ³⁾

62jumarieska@gmail.com ⁴⁾

ABSTRACT

Three-phase transformers in substations have an important role in the distribution of electrical energy for the community. In substations, a three-phase transformer is called a power transformer. The transformer must be able to work well so that it can be used for a long time, a transformer that is said to work well is a transformer that can produce power that is appropriate or close to 100% power efficiency stated in the transformer specifications. GI Pematangsiantar as one of the distribution facilities of electrical energy owned by PT PLN (Persero). The Pematangsiantar GI has 3 3 phase transformers to reduce the voltage from 150KV to 20KV to be distributed to the public. Writing this thesis will only focus on the three-phase transformer no. From the research results, the three-phase transformer no. 3 GI Pematangsiantar has a good performance for long-term use. It can be seen from the calculation of the transformer peak load during March – June. Can work with power efficiency range from 98.75% - 99.69%

Keywords: *Three-phase transformer, Efficiency, Substation.*

ABSTRAK

Transformator tiga fasa di Gardu Induk memiliki peran penting dalam pendistribusian energi listrik bagi masyarakat. Di Gardu Induk transformator tiga fasa disebut dengan transformator daya. Transformator harus dapat bekerja dengan baik agar dapat digunakan untuk waktu yang lama, transformator yang dikatakan bekerja dengan baik yaitu transformator yang dapat menghasilkan daya yang sesuai atau mendekati 100% efisiensi daya yang tertera pada spesifikasi transformator. GI Pematangsiantar sebagai salah-satu sarana pendistribusian energi listrik milik PT PLN (Persero). GI Pematangsiantar memiliki 3 buah transformator 3 fasa sebagai penurun tegangan dari 150KV ke 20KV untuk disalurkan ke masyarakat. Penulisan skripsi ini hanya akan berfokus ke transformator tiga fasa yang no 3 saja. Dari hasil penelitian transformator tiga fasa no.3 GI Pematangsiantar memiliki kinerja yang masih baik untuk digunakan dalam jangka waktu yang lama. Dapat dilihat dari hasil perhitungan beban puncak transformator selama bulan Maret – Juni. Dapat bekerja dengan kisaran efisiensi daya dari 98,75% - 99,69%

Kata Kunci : *Transformator tiga fasa, Efisiensi, Gardu Induk.*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik telah menjadi salah satu energi yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Kebutuhan akan ketersediaan tenaga listrik saat ini sangat tinggi dengan banyaknya peralatan rumah tangga maupun industri yang menggunakan tenaga listrik sebagai sumber tenaganya, sehingga diperlukan suatu sistem yang handal namun tetap ekonomis. Sehingga untuk menunjang permintaan energi yang tinggi ini harus diimbangi dengan peningkatan kualitas energi listrik yang disalurkan.

Ke-efisienan suatu transformator dapat dilihat dari penurunan daya maksimal yang dapat dikeluarkan oleh transformator tersebut. Faktor yang dapat mempengaruhi penurunan efisiensi sebuah transformator diantaranya usia transformator, beban pengguna yang diberikan kepada transformator, pengaruh suhu transformator, dan seberapa sering terjadi beban berlebih pada transformator.

Sistem kelistrikan pada Gardu Induk Pematangsiantar ditopang oleh 3 transformator daya, yaitu TD 1 (Transformator Daya satu) dengan kapasitas 30 MVA, TD 2 (Transformator Daya dua) dengan kapasitas 60 MVA, dan TD 3 (Transformator Daya tiga) dengan kapasitas 60 MVA. Pada kesempatan ini peneliti akan melakukan penelitian untuk mengetahui berapa persen per-100% efisiensi daya maksimal yang dapat dikeluarkan oleh TD no.3 dengan menghitung beban puncak hariannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA.

Pada umumnya transformator terdiri dari sebuah inti, yang terbuat dari lapisan besi dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Besar tegangan akan tergantung dari jumlah belitan pada kedua kumparan itu. Biasanya

kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelitkan seputar “kaki” inti transformator.

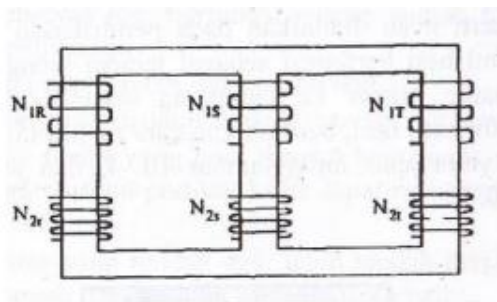
Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut Interbus Transformator (IBT). Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV disebut juga trafo distribusi. Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan / proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung di sisi netral 20 kV nya.

a. Transformator 3 Phasa

Transformator 3 phasa secara prinsip sama dengan sebuah transformator satu phasa, perbedaan yang paling mendasar adalah pada sistem kelistrikannya yaitu sistem satu phasa dan tiga phasa. Sehingga transformator 3 phasa bisa dihubungkan bintang, segitiga, atau zig-zag. Transformator 3 phasa banyak digunakan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik karena pertimbangan ekonomis. Transformator 3 phasa banyak sekali mengurangi berat dan lebar kerangka, sehingga harganya dapat dikurangi bila dibandingkan dengan penggabungan 3 buah transformator 1 phasa dengan rating daya yang sama.

Tetapi transformator 3 phasa juga mempunyai kekurangan, diantaranya bila salah satu phasa mengalami kerusakan, maka seluruh transformator harus dipindahkan (diganti), tetapi bila transformator terdiri dari tiga buah transformator satu phasa, bila salah satu phasa transformator mengalami kerusakan. Sistem masih bisa dioperasikan dengan sistem “open delta”.

Gambar 1 Jumlah Belitan Transformator 3 Phasa



Transformator tiga fasa memiliki enam buah kumparan. Tiga buah kumparan primer dengan jumlah lilitan N_1 dihubungkan dengan sumber tegangan primer VR, VS dan VT. Tiga buah kumparan sekunder dengan jumlah lilitan N_2 dihubungkan dengan sumber tegangan primer Vr , Vs dan Vt . Untuk masing-masing fasa, rasio transformasi tegangannya sama dengan rasio transformasi transformator satu fasa. Tetapi untuk tegangan line-to-line, transformator tiga fasa akan mengikuti jenis konfigurasi hubungan kumparannya.

b. Efisiensi Transformator

Efisiensi adalah perbandingan daya keluaran dan daya masukan. Atau dapat dikatakan hasil bagi antara energi sekunder dengan energi primeryang dinyatakan dalam persen. Untuk mencari efisiensi transformator, nilai primer dibawa ke sekunder. Efisiensi transformator dinyatakan dalam η . Besar efisiensi dapat di rumuskan sebagai berikut :Berikut rumus efisiensi transformator :

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

c. Rugi Tembaga

Rugi tembaga adalah rugi tidak tetap (variable losses),dipengaruhi oleh besarnya beban. Besarnya rugi tembaga yang dihasilkan adalah sebesar:

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

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dalam waktu 1 bulan di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Pematangsiantar Jl. Sangnawaluh, KM.4,5 Pematangsiantar, Marihat Baris, Kec. Siantar, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara.

a. Metode Pengolahan Data

Pada peneilitain ini akan dilakukan perhitungan untuk mencari nilai efisiensi transformator, daya semu yang, rugi tembaga (P_{cu}), dan daya yang dikeluarkan oleh transformator tiga fasa Gardu Induk Pematangsiantar.

Segitiga daya 3 fasa :

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

$$S = V \times I \times \sqrt{3}$$

$$Q = V \times I \times \sin \phi \times \sqrt{3}$$

Daya semu (S)

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = \sqrt{3} \times 20.1 \times 489$$

$$S = 17.024 \text{ MVA}$$

Untuk menghitung nilai dari $\cos \phi$, dihitung dengan persamaan:

$$\cos \varphi = \frac{P (MW)}{S (MVA)}$$

$$\cos \varphi = \frac{14300 MW}{17024 MVA}$$

$$\cos \varphi = 0,839$$

P_{cu1} = rugi tembaga beban penuh sebesar 220 KW

$$P_{cu2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{cu1}$$

$$P_{cu2} = \left(\frac{17024}{60000}\right)^2 \times 220 \text{ KW}$$

$$P_{cu2} = 17.711 \text{ KW}$$

Rugi Total = Rugi Inti + Rugi Tembaga

$$= 38 \text{ KW} + 17.711 \text{ KW}$$

$$= 46.346 \text{ KW}$$

Daya output atau daya yang dihasilkan oleh transformator melalui hasil transformasi dapat dihitung dengan di bawah ini :

$$P_{out} = V_2 \times I_2 \times \cos \varphi$$

$$P_{out} = 20,1 \times 489 \times 0.839$$

$$P_{out} = 8.246 \text{ MW}$$

Untuk mencari efisiensi nilai primer dibawa ke sekunder

$$\eta = \frac{V_2 I_2 \cos \varphi}{V_2 I_2 \cos \varphi + \sum rugi} \times 100\%$$

Maka, efisiensi dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + \sum rugi} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{8246}{8246 + 55,711} \times 100\%$$

$$\eta = 99,328\%$$

Maka diperoleh besar efisiensi transformator daya no.3 untuk tanggal 1 Maret 2022 adalah sebesar 99.328%. Dengan cara yang sama seperti cara diatas, dapat diperoleh besar daya semu (S), cos φ , rugi tembaga dan rugi total, sehingga didapatkan efisiensi rata-rata/bulan (η) dari bulan Maret 2022 sampai bulan Juni 2022.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Perhitungan Data

Transformator Bulan Maret

Tabel 1 Hasil perhitungan rugi-rugi dan efisiensi transformator di bulan Maret (pukul 07:00-16:00)

Tanggal	I_2 (Ampere)	Teg (KV)	P_{out} (MW)	S (MVA)	Cos Φ	P_{cu} (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi η (%)
1	489	20.1	8.246	17.024	0.839	17.711	55,711	99,32%
2	434	20	10.008	11.881	1.153	8.626	46,262	99,53%
3	394	20	6.343	13.648	0.805	11.383	49,383	99,22%
4	432	20	8.078	14.964	0.935	13.684	51,648	99,36%
5	637	20	12.459	22.066	0.978	29.755	67,755	99,45%
6	650	20	12.753	22.516	0.981	30.981	68,981	99,46%
7	414	20	7.559	14.341	0.913	12.568	50,568	99,33%
8	507	20	8.882	17.562	0.876	18.848	56,848	99,36%
9	396	20.1	6.749	13.786	0.848	11.614	49,614	99,27%
10	385	20	6.691	13.336	0.869	10.868	48,868	99,27%
11	532	20	9.235	18.429	0.868	20.755	58,755	99,36%

12	674	20	13.277	23.348	0.985	33.416	71,416	99,46%
13	666	20	11.881	23.070	0.892	32.524	70,524	99,40%
14	796	20	15.458	27.574	0.971	46.464	84,464	99,45%
15	594	20	10.680	20.576	0.899	25.872	63,872	99,40%
16	741	20	14.716	25.668	0.993	40.262	78,262	99,48%
17	362	20	10.968	12.540	1.515	9.609	47,609	99,56%
18	486	20	8.660	16.835	0.891	17.319	55,319	99,36%
19	741	20	14.716	25.668	0.993	40.262	78,262	99,48%
20	468	20	8.077	16.211	0.863	16.059	54,059	99,33%
21	741	20	14.716	25.668	0.993	40.262	78,262	99,48%
22	741	20	14.716	25.668	0.993	40.262	78,262	99,48%
23	396	20	6.747	13.717	0.852	11.498	49,498	99,27%
24	385	20	6.691	13.336	0.869	10.868	48,868	99,27%
25	532	20	9.235	18.429	0.868	20.755	58,755	99,36%
26	611	20	11.132	21.165	0.911	7.572	45,572	99,63%
27	601	20	10.385	20.819	0.864	6.590	44,590	99,57%
28	620	20	10.614	21.477	0.856	28.188	66,188	99,38%
29	300	20	4.152	10.392	0.692	6.599	44,599	98,93%
30	300	20	4.152	10.392	0.692	6.599	44,599	98,93%

Tabel diatas menampilkan data dari transformator pada saat siang hari di bulan Maret 2022, meliputi data Ampere (I_2), tegangan (KV), daya keluaran (P_{out}), daya semu (S), faktor daya ($\cos \phi$), rugi tembaga (P_{cu}), rugi total (KW) dan efisiensi transformator (η). Dari data yang diperoleh, rata-rata arus I_2 534 Ampere, rata-rata tegangan 20 kV dengan rata-rata rugi total

2262,973 KW serta rata-rata efisiensi 99,37%. Dan beban tertinggi di tanggal 14 dengan arus keluaran tertinggi 796 Ampere, daya tertinggi 15.458 MW, efisiensi 99,45%. Dan beban terendah di tanggal 29-30, dengan arus keluaran 300 Ampere, daya keluaran 4.152 MW, efisiensi 98.93%

Tabel 2 Hasil perhitungan rugi-rugi dan efisiensi transformator di bulan Maret (pukul 17:00-06:30)

Tanggal	I_2 (Ampere)	Teg (KV)	P_{out} (MW)	S (MVA)	Cos Φ	Pcu (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi η (%)
1	637	20,1	12.355	22.176	0.965	30.052	68,052	99,45%
2	608	20	11.710	21.061	0.963	27.106	65,106	99,44%
3	673	20	12.921	23.313	0.960	33.213	71,213	99,45%
4	590	20	11.257	20.438	0.954	25.526	63,526	99,43%
5	565	20	10.961	19.572	0.970	23.409	61,409	99,44%
6	730	20	13.855	25.287	0.949	39.076	77,076	99,44%
7	610	20	11.541	21.131	0.946	27.287	65,287	99,43%
8	696	20	13.669	24.110	0.982	35.523	73,523	99,46%
9	590	20,1	11.254	20.540	0.949	25.782	63,782	99,43%
10	565	20	10.961	19.572	0.970	23.409	61,409	99,44%
11	730	20	13.855	25.287	0.949	39.076	77,076	99,44%
12	840	20	16.329	29.098	0.972	51.742	89,742	99,45%
13	842	20	16.385	29.167	0.973	51.988	89,988	99,45%
14	512	20	12.124	17.736	1.184	19.223	57,223	99,53%
15	636	20	13.623	22.031	1.071	29.661	67,661	99,50%
16	750	20	15.000	25.980	1.000	41.247	79,247	99,47%
17	703	20	13.849	24.352	0.985	36.240	74,240	99,46%
18	700	20	13.846	24.248	0.989	35.931	73,931	99,46%
19	718	20	14.431	24.872	1.005	37.798	75,798	99,47%
20	732	20	14.420	25.357	0.985	39.293	77,293	99,46%
21	718	20	14.431	24.872	1.005	37.798	75,798	99,47%
22	718	20	14.431	24.872	1.005	37.798	75,798	99,47%
23	590	20	11.257	20.438	0.954	25.526	63,526	99,43%

24	565	20	10.961	19.572	0.970	23.409	61,409	99,44%
25	730	20	13.855	25.287	0.949	39.076	77,076	99,44%
26	791	20	15.471	27.402	0,978	45.886	83,886	99,46%
27	621	20	11.538	21.512	0.929	28.280	66,,280	99,42%
28	641	20	12.409	22.204	0.968	30.128	68,128	99,69%
29	244	20	9.120	8.452	1.869	4.365	42,365	99,53%
30	244	20	9.120	8.452	1.869	4.365	42,365	99,53%

Tabel diatas menampilkan data dari transformator pada saat malam hari di bulan Maret 2022, meliputi data Ampere (I_2), tegangan (KV), daya keluraran (P_{out}), daya semu (S), faktor daya ($\cos \phi$), rugi tembaga (P_{cu}), rugi total (KW) dan efisiensi transformator (η). Dari data yang diperoleh, rata-rata arus I_2 642 Ampere, rata-rata tegangan 20 kV dengan rata-rata rugi total 69,75631 KW serta rata-rata efisiensi

99,47%. Dan beban tertinggi di tanggal 13 dengan arus keluaran tertinggi 842 Ampere, daya keluaran 16.385 MW, efisiensi 99,45%. Dan beban terendah di tanggal 29-30, dengan arus keluaran 244 Ampere, daya keluran 9.120 MW, efisiensi 99,53%

b. Hasil Perhitungan Data Transformator Bulan Maret

Tabel 3 Hasil perhitungan rugi-rugi dan efisiensi transformator di bulan April (pukul 07:00-16:00)

Tanggal	I_2 (Ampere)	Teg (KV)	P_{out} (MW)	S (MVA)	Cos Φ	Pcu (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi η (%)
1	563	20,8	10.094	20.283	0,862	25.141	63,141	99,37%
2	488	20,8	8.363	17.581	0,824	18.888	56,888	99,32%
3	502	21	8.654	18.259	0,821	20.373	58,373	99,32%
4	525	21	9.812	19.095	0,890	22.282	60,282	99,38%
5	540	21	9.230	19.641	0,814	23.574	61,574	99,33%
6	502	21	8.654	18.259	0,821	20.373	58,373	99,32%
7	495	21	8.659	18.004	0,833	19.808	57,808	99,33%
8	679	20,8	13.388	24.462	0,948	36.568	74,568	99,44%
9	495	20,8	9.235	17.833	0,897	19.434	57,434	99,38%
10	398	21	6.753	14.476	0,808	12.806	50,806	99,25%
11	621	21	12.349	22.587	0,947	31.177	69,177	99,44%
12	538	20,8	9.232	19.382	0,825	22.957	60,957	99,34%
13	523	21	8.654	19.023	0,788	22.114	60,114	99,31%
14	672	21	13.279	24.442	0,941	36.508	74,508	99,44%
15	418	21	6.925	15.203	0,789	14.124	52,124	99,25%
16	422	21	7.018	15.394	0,792	14.481	52,481	99,25%
17	458	20,7	9.063	16.420	0,956	16.476	54,476	99,40%
18	502	21	8.654	18.259	0,821	20.373	58,373	99,32%
19	495	21	8.659	18.004	0,833	19.808	57,808	99,33%
20	558	20,8	9.277	20.102	0,795	24.694	62,694	99,32%
21	494	20,8	8.076	17.797	0,786	19.355	57,355	99,29%
22	544	20,6	9.805	19.410	0,875	23.023	61,023	99,38%
23	499	20,5	9.011	17.718	0,903	19.184	57,184	99,36%
24	575	20,6	11.705	20.516	0,974	25.722	63,722	99,45%
25	458	20,7	9.063	16.420	0,956	16.476	54,476	99,40%
26	538	20,8	9.232	19.382	0,825	22.957	60,957	99,34%
27	523	21	8.654	19.023	0,788	22.114	60,114	99,31%
28	631	21	12.111	22.951	0,914	32.190	70,190	99,42%
29	552	21	9.806	20.077	0,846	24.633	62,633	99,36%

Tabel diatas menampilkan data dari transformator pada saat siang hari di bulan April 2022, meliputi data Ampere (I_2), tegangan (KV), daya keluaran (P_{out}), daya semu (S), faktor daya ($\cos \phi$), rugi tembaga (P_{cu}), rugi total (KW) dan efisiensi transformator (η). Dari data yang diperoleh, rata-rata arus I_2 526 ampere, rata-rata tegangan 20,8 KV dengan rata-rata rugi

total 60,33148 KW serta rata-rata efisiensi 99,35%. Dan beban tertinggi di tanggal 8 dengan arus keluaran tertinggi 679 Ampere, daya keluaran 18.388 MW, efisiensi 99,44%. Beban terendah di tanggal 10 dengan arus keluaran 398 Ampere, daya keluaran 6.753 MW, efisiensi 99.25%.

Tabel 4 Hasil perhitungan rugi-rugi dan efisiensi transformator di bulan April (pukul 17:00-06:30)

Tanggal	I_2 (Ampere)	Teg (KV)	P_{out} (MW)	S (MVA)	Cos Φ	Pcu (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi η (%)
1	697	20,8	13.961	25.110	0,963	38.531	76,531	99,45%
2	526	20,8	11.712	18.950	1,002	21.945	59,945	99,41%
3	627	21	12.574	22.805	0,955	31.781	69,781	99,44%
4	602	21	11.542	21.896	0,913	29.298	67,298	99,42%
5	637	21	12.694	23.169	0,949	32.804	70,804	99,44%
6	627	21	12.574	22.805	0,955	31.781	69,781	99,44%
7	593	21	12.054	21.569	0,968	28.430	66,430	99,45%
8	612	21	12.170	22.260	0,947	30.281	68,281	99,44%
9	603	21	12.004	21.932	0,948	29.395	67,395	99,44%
10	500	21	9.807	18.186	0,934	20.211	58,211	99,40%
11	598	21	12.118	21.751	0,965	28.912	66,912	99,45%
12	654	21	13.267	23.787	0,966	34.577	72,577	99,45%
13	586	21	11.543	21.314	0,938	27.761	65,761	99,43%
14	634	21	12.701	23.060	0,954	32.496	70,496	99,44%
15	492	21	9.805	17.895	0,949	19.569	57,569	99,41%
16	578	21	11.543	21.023	0,951	27.009	65,009	99,43%
17	589	21	11.775	21.423	0,952	28.046	66,046	99,44%
18	593	21	12.054	21.569	0,968	28.430	66,430	99,45%
19	612	21	12.170	22.260	0,947	30.281	68,281	99,44%
20	641	21	12.693	23.315	0,943	33.219	71,219	99,44%
21	645	20,8	12,691	23.237	0,946	32.997	70,997	99,44%
22	646	21	13.159	23.497	0,970	33.739	71,739	99,45%
23	612	21	12.170	22.260	0,947	30.281	68,281	99,44%
24	612	21	12.170	22.260	0,947	30.281	68,281	99,44%
25	589	21	11.775	21.423	0,952	28.046	66,046	99,44%
26	654	21	13.267	23.787	0,966	34.577	72,577	99,45%
27	586	21	11.543	21.314	0,938	27.761	65,761	99,43%
28	748	20,8	14.998	26.947	0,964	44.375	82,375	99,45%
29	611	21	12.112	22.223	0,944	30.180	68,180	99,44%

Tabel diatas menampilkan data dari transformator pada saat siang hari di bulan April 2022, meliputi data Ampere (I_2), tegangan (KV), daya keluaran (P_{out}), daya semu (S), faktor daya ($\cos \phi$), rugi tembaga (P_{cu}), rugi total (KW) dan efisiensi transformator (η). Dari data yang diperoleh, rata-rata arus I_2 610 ampere, rata-rata

tegangan 20,9 KV dengan rata-rata rugi total 68,24117 kW serta rata-rata efisiensi 99,44%. Dan beban tertinggi di tanggal 28 dengan arus keluaran tertinggi 748 Ampere, daya tertinggi 14.998 MW, efisiensi 99,45%. Dan beban terendah di tanggal 15, dengan arus keluaran 492 Ampere,

daya keluaran 9.805 MW, efisiensi 99,41%.

c. Hasil Perhitungan Data Transformator Bulan Mei

Tabel 5 Hasil perhitungan rugi-rugi dan efisiensi transformator di bulan Mei (pukul 07:00-16:00)

Tanggal	I ₂ (Ampere)	Teg (KV)	P _{out} (MW)	S (MVA)	Cos Φ	P _{cu} (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi η (%)
1	563	20,8	10.094	20.283	0,862	25.141	63,141	99,37%
2	343	20,8	5.479	12.357	0,768	9.331	69,331	98,75%
3	408	20,8	8.079	14.698	0,952	13.201	51,201	99,37%
4	343	20,8	5.479	12.357	0,768	9.331	69,331	98,75%
5	408	20,8	8.079	14.698	0,952	13.201	51,201	99,37%
6	511	21	9.808	18.586	0,914	21.110	59,110	99,40%
7	460	20,8	8.075	16.572	0,844	16.783	54,783	99,32%
8	431	21	7.620	15.676	0,842	15.017	53,017	99,30%
9	555	21	9.755	20.187	0,837	24.903	62,903	99,35%
10	546	21	11.076	19.859	0,966	24.100	62,100	99,44%
11	511	21	9.808	18.586	0,914	21.110	59,110	99,40%
12	555	21	9.755	20.187	0,837	24.903	62,903	99,35%
13	594	21	11.076	21.605	0,888	28.525	66,525	99,40%
14	545	21	9.808	19,823	0,857	24.013	62,013	99,37%
15	546	21	11.076	19.859	0,966	24.100	62,100	99,44%
16	509	21	9.812	18.513	0,918	20.944	58,944	99,40%
17	535	21	9.235	19.459	0,822	23.139	61,139	99,63%
18	546	21	11.076	19.859	0,966	24.100	62,100	99,44%
19	511	21	9.808	18.586	0,914	21.110	59,110	99,40%
20	594	21	11.076	21.605	0,888	28.525	66,525	99,40%
21	545	21	9.808	19,823	0,857	24.013	62,013	99,37%
22	442	21	8.075	16.076	0,870	15.793	53,793	99,33%
23	642	21	13.266	23.351	0,984	33.322	71,322	99,46%
24	588	21	9.236	21.387	0,748	27.952	65,952	99,29%
25	601	21	13.277	21.860	1,062	29.202	67,202	99,49%
26	511	21	9.808	18.586	0,914	21.110	59,110	99,40%
27	546	21	11.076	19.859	0,966	24.100	62,100	99,44%
28	594	21	11.076	21.605	0,888	28.525	66,525	99,40%
29	545	21	9.808	19,823	0,857	24.013	62,013	99,37%
30	695	21	13.266	25.279	0,909	39.051	77,051	99,42%
31	514	21	9.228	18.695	0,855	21.358	59,358	99,36%

Tabel diatas menampilkan data dari transformator pada saat siang hari di bulan Mei 2022, meliputi data Ampere (I₂), tegangan (KV), daya keluaran (P_{out}), daya semu (S), faktor daya (cos φ), rugi tembaga (P_{cu}), rugi total (KW) dan efisiensi transformator (η). Dari data yang diperoleh, rata-rata arus I₂ 517 ampere, rata-rata tegangan 20,9 kV dengan rata-rata rugi total

62,0331 KW serta rata-rata efisiensi 99,36%. Dan beban tertinggi di tanggal 30 dengan arus keluaran tertinggi 695 Ampere, daya keluaran 13.266 MW, efisiensi 99,42%. Dan beban terendah di tanggal 2 dan 4, dengan arus keluaran 343 Ampere, daya keluaran 5.479 MW, efisiensi 98,75%.

**Tabel 6 Hasil perhitungan rugi-rugi dan efisiensi transformator
di bulan Mei (pukul 17:00-06:30)**

Tanggal	I ₂ (Ampere)	Teg (KV)	P _{out} (MW)	S (MVA)	Cos Φ	P _{cu} (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi η (%)
1	697	20,8	13.961	25.110	0,963	38.531	76,531	99,45%
2	684	20,5	14.428	24.286	1,029	36.043	74,043	99,48%
3	535	21	10.785	19.459	0,960	23.139	61,139	99,43%
4	684	20,5	14.428	24.286	1,029	36.043	74,043	99,48%
5	535	21	10.785	19.459	0,960	23.139	61,139	99,43%
6	627	21	12.113	22.805	0,920	31.781	69,781	99,42%
7	606	21	12.115	22.042	0,952	29.690	67,690	99,44%
8	608	21	12.296	22.114	0,963	29.885	67,885	99,45%
9	646	21	12.874	23.497	0,949	33.739	71,739	99,44%
10	768	21	15.579	27.934	0,966	47.685	85,685	99,45%
11	606	21	12.115	22.042	0,952	29.690	67,690	99,44%
12	646	21	12.874	23.497	0,949	33.739	71,739	99,44%
13	768	21	15.579	27.934	0,966	47.685	85,685	99,45%
14	724	21	14.428	26.334	0,949	42.379	80,379	99,44%
15	724	21	14.428	26.334	0,949	42.379	80,379	99,44%
16	720	21	14.999	26.188	0,992	41.910	79,910	99,47%
17	702	21	13.842	25.533	0,939	39.840	77,840	99,44%
18	768	21	15.579	27.934	0,966	47.685	85,685	99,45%
19	768	21	15.579	27.934	0,966	47.685	85,685	99,45%
20	768	21	15.579	27.934	0,966	47.685	85,685	99,45%
21	724	21	14.428	26.334	0,949	42.379	80,379	99,44%
22	753	21	15.575	27.388	0,985	45.839	83,839	99,46%
23	710	21	13.851	25.824	0,929	40.753	78,753	99,43%
24	634	21	12.701	23.060	0,954	32.496	70,496	99,44%
25	611	21	12.112	22.223	0,944	30.180	68,180	99,44%
26	606	21	12.115	22.042	0,952	29.690	67,690	99,44%
27	768	21	15.579	27.934	0,966	47.685	85,685	99,45%
28	768	21	15.579	27.934	0,966	47.685	85,685	99,45%
29	724	21	14.428	26.334	0,949	42.379	80,379	99,44%
30	689	21	13.846	25.061	0,957	38.381	76,381	99,45%
31	693	21	13.854	25.206	0,952	38.826	76,826	99,44%

Tabel diatas menampilkan data dari transformator pada saat malam hari di bulan Mei 2022, meliputi data Ampere (I₂), tegangan (KV), daya keluaran (P_{out}), daya semu (S), faktor daya (cos φ), rugi tembaga (P_{cu}), rugi total dan efisiensi transformator (η). Dari data yang diperoleh, rata-rata arus (I₂) 685 Ampere, rata-rata tegangan 20,9 KV dengan rata-rata rugi total 76,27887 KW serta rata-rata efisiensi 99,45%. Dan

beban tertinggi di tanggal 10, 13, 18, 19, 20, 27 dan 28 dengan arus keluaran tertinggi 768 Ampere, daya keluaran 15.579 MW, efisiensi 99,45%. Dan beban terendah tanggal 3 dan 5, dengan arus keluaran 535 Ampere, daya keluaran 10.785 MW, efisiensi 99,43%

d. Hasil Perhitungan Data

Transformator Bulan Juni

**Tabel 7 Hasil perhitungan rugi-rugi dan efisiensi transformator
di bulan Juni (pukul 07:00-16:00)**

Tanggal	I ₂ (Ampere)	Teg (KV)	P _{out} (MW)	S (MVA)	Cos Φ	P _{cu} (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi η (%)
1	563	20,8	10.094	20.283	0,862	25.141	63,141	99,37%
2	488	20,8	8.363	17.581	0,824	18.888	56,888	99,32%

Tanggal	I ₂ (Ampere)	Teg (KV)	P _{out} (MW)	S (MVA)	Cos Φ	P _{cu} (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi η (%)
3	502	21	8.654	18.259	0,821	20.373	58,373	99,32%
4	525	21	9.812	19.095	0,890	22.282	60,282	99,38%
5	540	21	9.230	19.641	0,814	23.574	61,574	99,33%
6	502	21	8.654	18.259	0,821	20.373	58,373	99,32%
7	495	21	8.659	18.004	0,833	19.808	57,808	99,33%
8	679	20,8	13.388	24.462	0,948	36.568	74,568	99,44%
9	495	20,8	9.235	17.833	0,897	19.434	57,434	99,38%
10	398	21	11.692	8.359	1,399	4.270	42,270	99,63%
11	621	21	12.349	22.587	0,947	31.177	69,177	99,44%
12	538	20,8	9.232	19.382	0,825	22.957	60,957	99,34%
13	523	21	8.654	19.023	0,788	22.114	60,144	99,30%
14	672	21	13.279	24.442	0,941	36.508	73,508	99,44%
15	418	21	6.925	15.203	0,789	14.124	52,124	99,25%
16	422	21	7.036	15.349	0,794	14.397	52,397	99,26%
17	458	20,7	9.063	16.420	0,956	16.476	54,476	99,40%
18	502	21	8.654	18.259	0,821	20.373	58,373	99,32%
19	495	21	8.659	18.004	0,833	19.808	57,808	99,33%
20	558	20,8	9.227	20.102	0,795	24.694	62,694	99,32%
21	494	20,8	8.076	17.797	0,786	19.355	57,355	99,29%
22	544	20,6	9.805	19.410	0,875	23.023	61,023	99,38%
23	499	20,5	9.237	17.718	0,903	19.184	57,184	99,38%
24	575	20,6	11.537	20.516	0,974	25.722	63,722	99,44%
25	458	20,7	9.063	16.420	0,956	16.476	54,476	99,40%
26	538	20,8	9.232	19.382	0,825	22.957	60,957	99,34%
27	523	21	8.654	19.023	0,788	22.114	60,144	99,30%
28	631	21	12.111	22.951	0,914	32.190	70,190	99,42%
29	552	21	9.806	20.077	0,846	24.633	62,633	99,36%

Tabel diatas menampilkan data dari transformator pada saat siang hari di bulan Juni 2022, meliputi data Ampere (I₂), tegangan (KV), daya keluaran (P_{out}), daya semu (S), faktor daya (cos φ), rugi tembaga (P_{cu}), rugi total (KW) dan efisiensi transformator (η). Dari data yang diperoleh, rata-rata arus I₂ 526 Ampere, rata-rata tegangan 20,8 kV dengan rata-rata rugi total

2217,601 KW serta rata-rata efisiensi 99,36%. Dan beban tertinggi di tanggal 8 dengan arus keluaran tertinggi 679 Ampere, daya keluaran 13.388 MW, efisiensi 99,44%. Dan beban terendah di tanggal 10, dengan arus keluaran 398 Ampere, daya keluran 11.692 MW, efisiensi 99,63%.

Tabel 8 Hasil perhitungan rugi-rugi dan efisiensi transformator di bulan Juni (pukul 17:00-06:30)

Tanggal	I ₂ (Ampere)	Teg (KV)	P _{out} (MW)	S (MVA)	Cos Φ	P _{cu} (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi η (%)
1	697	20,8	23.210	25.110	1,601	38.531	76,531	99,67%
2	526	20,8	10.962	18.950	1,002	21.255	59,255	99,46%
3	627	21	12.574	22.805	0,955	31.781	69,781	99,44%
4	602	21	11.542	21.896	0,913	29.298	67,298	99,42%
5	637	21	12.694	23.169	0,949	32.804	70,804	99,44%
6	627	21	12.574	22.805	0,955	31.781	69,781	99,44%
7	593	21	12.054	21.569	0,968	28.430	66,430	99,45%
8	612	21	12.170	22.260	0,947	30.281	68,281	99,44%
9	603	21	12.004	21.932	0,948	29.395	67,395	99,44%
10	500	21	9.807	18.186	0,934	20.211	58,211	99,40%

Tanggal	I ₂ (Ampere)	Teg (KV)	P _{out} (MW)	S (MVA)	Cos Φ	P _{cu} (KW)	Rugi Total (KW)	Efisiensi η (%)
11	598	21	12.118	21.751	0,965	28.912	66,912	99,45%
12	654	21	13.267	23.787	0,966	34.577	72,577	99,45%
13	586	21	11.543	21.314	0,938	27.761	59,761	99,48%
14	634	21	12.701	23.060	0,954	32.496	70,496	99,44%
15	492	21	9.805	17.895	0,949	19.569	57,569	99,41%
16	578	21	11.543	21.023	0,951	27.009	65,009	99,43%
17	589	21	11.775	21.423	0,952	28.046	66,046	99,44%
18	593	21	12.054	21.569	0,968	28.430	66,430	99,45%
19	612	21	12.170	22.260	0,947	30.281	68,281	99,44%
20	641	21	13.259	23.315	0,985	33.219	71,219	99,46%
21	645	20,8	12.691	23.237	0,946	32.997	70,997	99,44%
22	646	21	13.159	23.497	0,970	33.739	71,739	99,45%
23	612	21	12.170	22.260	0,947	30.281	68,281	99,44%
24	612	21	12.170	22.260	0,947	30.281	68,281	99,44%
25	589	21	11.775	21.423	0,952	28.046	66,046	99,44%
26	654	21	13.267	23.787	0,966	34.577	72,577	99,45%
27	586	21	11.543	21.314	0,938	27.761	59,761	99,48%
28	748	20,8	14.998	26.947	0,964	44.375	82,375	99,38%
29	611	21	12.112	22.223	0,944	32.957	70,957	99,41%

Tabel diatas menampilkan data dari transformator pada saat malam hari di bulan Juni 2022, meliputi data Ampere (I₂), tegangan (KV), daya keluaran (P_{out}), daya semu (S), faktor daya (cos φ), rugi tembaga (P_{cu}), rugi total (KW) dan efisiensi transformator (η). Dari data yang diperoleh, rata-rata arus I₂ 610 ampere, rata-rata tegangan 20,9 kV dengan rata-rata rugi total 2109,132 KW serta rata-rata efisiensi 99,45%. Dan beban tertinggi di tanggal 28 dengan arus keluaran tertinggi 748 Ampere, daya keluaran 14.998 MW, efisiensi 99,38%. Dan beban terendah di tanggal 15, dengan arus keluaran 492 Ampere, daya keluaran 9.805 MW, efisiensi 99,41%.

5. SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis yang dilakukan maka dapat diperoleh beberapakesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan diketahui efisiensi kerja transformator tiga fasa no 3 GI Pematangsiantar dari bulan Maret - Juni sebesar 98,75% - 99,69%, daya keluaran 4.152 MW - 23.210 MW, rugi total 42,365 KW - 89,988 KW. Terjadinya perbedaan seperti itu di

akibatkan oleh perbedaan beban pada transformator tiga fasa saat siang dan malam yang mengakibatkan nilai cos φ, rugi-rugi tembaga, rugi total dan efisiensi mengalami perubahan.

2. Beban maksimal transformator tiga fasa no 3 GI Pematangsiantar yang terdapat pada data spesifikasi transformator sebesar 1732 Ampere, dan beban tertinggi transformator selama bulan Maret-Juni 2022 terjadi pada saat malam hari di tanggal 13 di bulan Maret yakni sebesar 842 Ampere. Perubahan beban maksimal yang terjadi pada transformator tiga fasa no 3 GI Pematangsiantar dilakukan untuk menjaga agar transformator dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama, dan juga untuk mengurangi terjadinya kerusakan pada transformator apabila diberikan beban yang mendekati beban maksimalnya secara terus-menerus.

6. DAFTAR PUSTAKA

Aditya Prayoga, Benson Marnatha S, Edison Marulitua S, M. Nahar,

2010. “Teknik Tenaga Listrik TRANSFORMER”. *Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Departemen Teknik Elektro, Depok*.
- Alexander B. Hutajulu, 2016. “Analisis Perbandingan Efisiensi Transformator Tiga Fasa Dengan Belitan Tersier Dan Transformator Tiga Fasa Tanpa Belitan Tersier” (Apilkasi pada Gardu Induk Mabar PT PLN (Persero))”. *Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan*.
- Angga, R. (2019, November 19). *Skemaku.com*. (R. Angga, Editor) "Rumus Efisiensi Trafo Dan Cara Menghitung Efisiensi Trafo": <https://skemaku.com/rumus-efisiensi-trafo-dan-cara-menghitung-efisiensi-trafo/>.
- Bambang Irawan & Wahri Sunanda, 2020. “Unjuk Kerja Transformator Daya Gardu Pada Induk Sistem Kelistrikan Pulau Bangka”. *Laporan Kerja Praktek, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Bangka Belitung, Bangka Kampus Terpadu Balunujuk, Bangka*.
- Dian Novita Br. Simalango, 2022. “Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Transformator Dengan Penambahan Nanopartikel SiO₂ Dan CCl₄”. *Skripsi Sarjana, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan*.
- IEC 60296, 2003. Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear, IEC.
- Janter Napitupulu, Demak Tinambunan, Lego Sitinjak, 2021. “Studi Efisiensi Transformator Tiga Fasa”. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Darma Agung, Medan*.
- PT PLN (Persero) P3B, 2003. *Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga. Jakarta*.
- Rakhman, A. (2020, Desember Sabtu). *Alief Rakhman*. “Relay Proteksi Pada Transformator: <https://rakhman.net/electrical-id/relay-proteksi-pada-transformator/>”.
- Rida Angga, 2015. Prinsip Kerja Transformator. *Jakarta*.
- Ronaldo Saragih, 2017. “Analisis Isolasi Transformator Tenaga Akibat Pengaruh Pembebanan (Studi Kasus Transformator Tenaga 3 Gardu Induk Gas Insulated Switchgear Listrik Medan)”. *Skripsi Sarjana, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan*.
- Suprianto. (2015, Oktober Rabu). *Blog Unnes*. (Suprianto, Editor, & H. T. Rumus, Produser). “Hubungan Transformator Tiga Phasa Dan Rumus”: <https://blog.unnes.ac.id/antosupri/hubungan-transformator-tiga-phasadan-rumus/#:~:text=Hubungan%20segitiga%20adalah%20suatu%20hubungan,dengan%20ujung%20mula%20fasa%20pertama>”.