

Analisa Susut Umur Transformator Terhadap Pengaruh Pembebanan Pada PLTU Teluk Sirih Padang

Apolo Halawa^{1*}, Budiman², Yani Ridal³

^{1,2)} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ekasakti, Sumatera Barat

³⁾ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bung Hatta, Sumatera Barat

*Email: apolohalawa678@gmail.com

ABSTRAK

Transformator merupakan suatu alat listrik statis yang dapat memindahkan dan mengubah tegangan dan arus bolak-balik dari suatu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan nilai yang sama maupun berbeda besarnya pada frekuensi yang sama. Hal ini merupakan pekerjaan besar bagi penyedia tenaga listrik dalam hal ini PLTU Teluk Sirih menyuplai energi listrik untuk Sumatera Bagian Selatan. Dimana masing-masing unitnya memiliki transformator daya dan generator yang identik. Kedua transformator tersebut, masing-masing berkapasitas 132 MVA dan generatornya memiliki kapasitas 112 MW. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pembebanan dan suhu terhadap susut umur transformator. Metode penelitian dimulai dengan pencarian literatur dan referensi terkait, diikuti dengan pengumpulan data lapangan dari salah satu trafo yang ada di PLTU Teluk Sirih. Data yang dikumpulkan meliputi arus primer, daya generator, rasio pembebanan, dan suhu lilitan transformator pada waktu tertentu. Setelah data terkumpul, analisis dilakukan dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan untuk menghitung pengaruh pembebanan dan suhu. Arus primer transformator rata-rata didapatkan selama penggunaan 24 jam/hari sebesar 3.499,094 (A). Daya generator rata-rata didapatkan selama penggunaan 24 jam/hari sebesar 83.636,4 (KVA). Rasio pembebanan transformator rata-rata didapatkan selama penggunaan 24 jam sebesar 83,6364 maka perbandingan transformator selama penggunaan selama 24 jam/hari sebesar 0,5768. Suhu lilitan transformator rata-rata didapatkan selama penggunaan 24 jam/hari sebesar 62,121°C, maka didapatkan perbandingan θh 62,121°C x 107,7 dari nilai standar PLN dengan perbandingan sebesar 0,576 %. Susut umur transformator rata-rata didapatkan selama penggunaan 24 jam sebesar 0,016 jam/hari, jika penggunaan transformator selama 365 hari maka di dapatkan susut umur selama beroperasi sebesar 58,4 jam/tahun.

Kata kunci: Pengaruh pembebanan, Suhu lilitan, Susut umur transformator

1. PENDAHULUAN

PLTU Teluk Sirih merupakan salah satu dari sembilan sektor pembangkitan yang menyuplai energi listrik untuk Sumatera Bagian Selatan. PLTU Teluk Sirih terletak pada koordinat Geografi: 01°04'32" LS dan 100°22'36" BT. PLTU Teluk Sirih terletak di desa Teluk Sirih RT 01/RW 04, Kelurahan Teluk Kabung Tengah, Kecamatan Bungus Teluk Kabung, Kota Padang, Sumatera Barat. Lokasinya berjarak $\pm$ 30 km sebelah selatan dari Pusat Kota Padang [1, 2].

PLTU Teluk Sirih memiliki dua unit pembangkitan, di mana masing-masing unitnya memiliki transformator daya dan generator yang identik. Kedua transformator tersebut, masing-masing berkapasitas 132 MVA dan generatornya memiliki kapasitas 112 MW [3]. PLTU Teluk Sirih menyuplai daya ke gardu induk Teluk Sirih yang terhubung ke sistem kelistrikan Sumatera Barat. PLTU Teluk Sirih dapat menghasilkan daya maksimum sebesar 110 MW per unitnya. Dalam pengoperasiannya PLTU Teluk Sirih memikul beban dasar sistem kelistrikan Sumatera Barat [4].

Penyaluran tenaga listrik baik di jaringan transmisi maupun distribusi, transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal dan terus-menerus. Dalam jaringan distribusi, salah satu peralatan utama yaitu transformator [5]. Trafo adalah peralatan

tenaga listrik yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah, agar tegangan yang dipakai sesuai dengan rating peralatan listrik pelanggan atau beban pada umumnya, dikarenakan trafo merupakan peralatan yang mahal, maka diusahakan agar peralatan ini memiliki umur penggunaan yang panjang [6]. Sistem penyaluran energi listrik yang baik untuk pelayanan kepada konsumen adalah dengan adanya kualitas tegangan baik dan stabil [7].

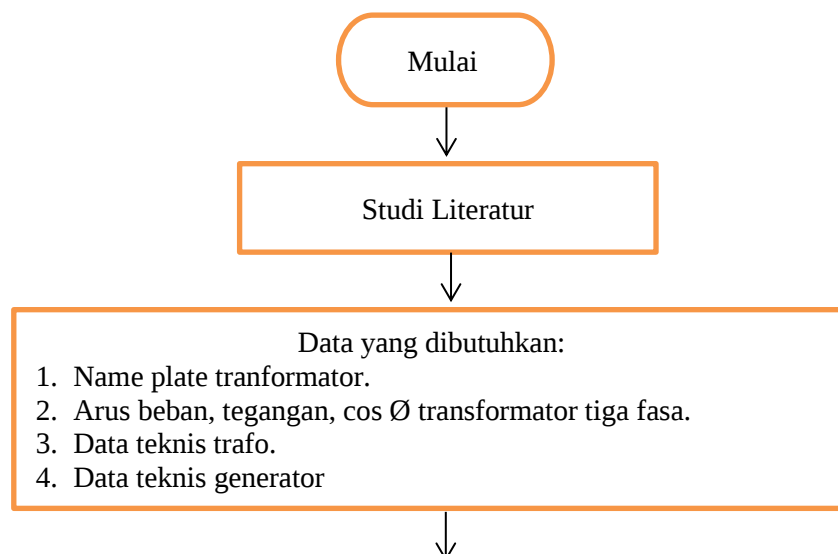
Dalam praktiknya, faktor beban tahunan sistem berkisar antara 60% hingga 80%. Meskipun kelangsungan catu daya dapat diandalkan, namun belum mungkin untuk mempertahankan tegangan tetap pada sistem distribusi karena tegangan jatuh akan terjadi di semua bagian sistem dan akan berubah dengan adanya perubahan beban [8].

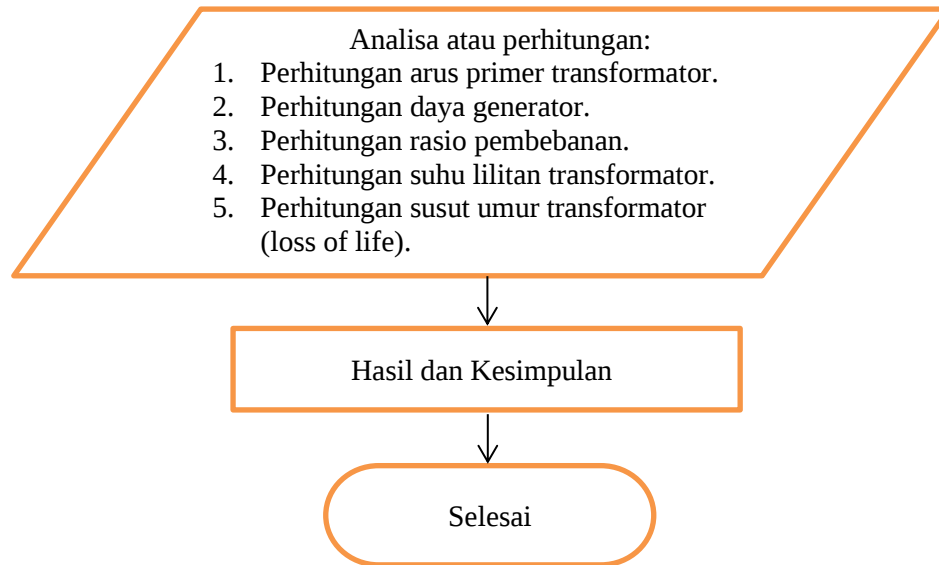
Karena pentingnya fungsi PLTU Teluk Sirih untuk menyuplai daya ke sistem kelistrikan Sumatera Barat maka diperlukan sistem proteksi yang baik untuk peralatan-peralatannya seperti transformator daya. Proteksi utama pada transformator daya yaitu relai differensial. Relai differensial mengamankan transformator saat terjadi gangguan hubung singkat di dalam transformator daya [9, 10]. PLTU Teluk Sirih memiliki relai differensial yang pernah mengalami maloperasi untuk proteksi transformator 138 kV /150 kV dimana relai bekerja saat terjadi gangguan pada bus yang merupakan gangguan di luar daerah pengamanannya (gangguan eksternal) [11].

Pembebanan dan suhu sangat mempengaruhi umur transformator, terutama melalui efeknya terhadap keawetan isolasi dan kinerja komponen internal. Saat transformator dibebani melebihi kapasitasnya, arus yang lebih tinggi menghasilkan panas berlebih, yang mempercepat degradasi isolasi [12]. Demikian pula, suhu lingkungan yang tinggi mempercepat proses oksidasi minyak isolasi, yang menyebabkan penurunan kualitas isolasi dan memperpendek umur transformator. Setiap kenaikan suhu sekitar 8-10°C dapat mengurangi umur isolasi hingga separuhnya [13]. Kombinasi beban tinggi dan suhu lingkungan yang tinggi mempercepat penuaan transformator secara drastis, berpotensi mengakibatkan kegagalan dini. Untuk memperpanjang umur transformator, pengelolaan beban yang efektif, sistem pendingin yang memadai, dan pemantauan kondisi sangat penting untuk menjaga suhu dan pembebanan dalam batas aman.

2. METODE PENELITIAN

Adapun alur penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.





Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

2.1. Jenis Penelitian

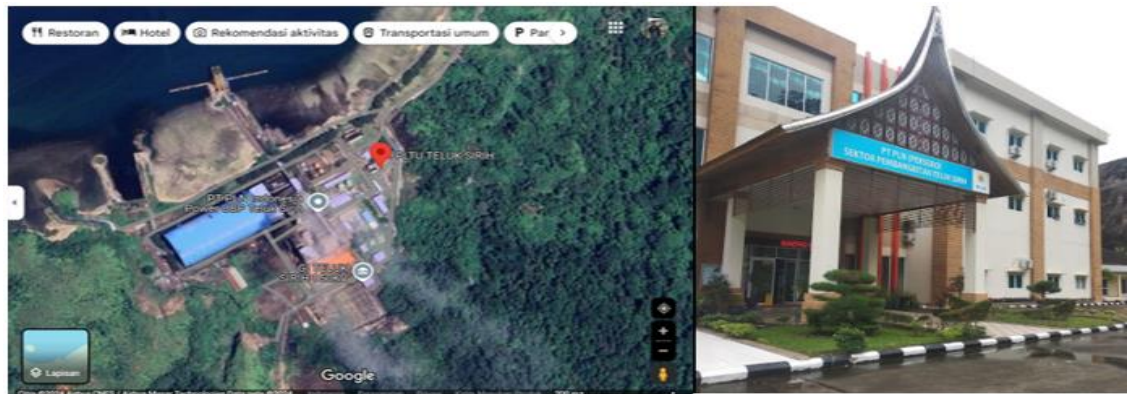
Jenis penelitian yang dilakukan adalah jenis kuantitatif pengumpulan data dengan cara perhitungan Arus primer transformator, daya generator, rasio pembebanan, suhu lilitan transformator, susut umur transformator (loss of life) hingga diketahui susut umur transformator.

2.2. Alat ukur Yang Digunakan

Dalam analisis susut umur transformator terhadap pengaruh pembebanan pada PLTU Teluk Sirih Padang, beberapa alat yang digunakan meliputi alat ukur arus dan tegangan, seperti multi meter dan clamp meter, untuk memantau parameter listrik yang berpengaruh terhadap transformator. Selain itu, alat perekam data seperti data logger diperlukan untuk mencatat data operasional selama periode pembebanan. Alat pengujian seperti hipot tester dan insulation resistance tester juga digunakan untuk mengevaluasi kesehatan isolasi transformator. Terakhir, perangkat lunak analisis data dapat digunakan untuk mengolah dan menganalisis data yang dikumpulkan, sehingga menghasilkan informasi yang akurat mengenai susut umur dan kinerja transformator dalam kondisi pembebanan yang berbeda.

2.3. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PLTU teluk Sirih Padang yang berada di Teluk Kabung Tengah, Kec. Bungus Tlk Kabung, Kota Padang Sumatera Barat.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

2.4. Tahapan Analisa Data

Ada beberapa langkah untuk dapat penganalisis data dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- 1. Perhitungan Arus Primer Transformator.
- 2. Perhitungan Daya Generator.
- 3. Perhitungan Rasio Pembebanan.
- 4. Perhitungan Suhu Lilitan Transformator.
- 5. Perhitungan Susut Umur Transformator (loss of life)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Teluk Sirih 2x112 MW terletak di desa Teluk Kabung Tengah, Kecamatan Bungus, Kota Padang Sumatra Barat. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik.

Table 1. Data transformator PLTU Teluk Sirih

No	PARAMETER	SPESIFIKASI
1.	Tipe	PX-064-NOBB
2.	Tahun Pembuatan	2019
2.	Kapasitas Daya	145 MVA
3.	Tegangan	13,8 kV/150kV
4.	Jeni Pendingin	Onan
5.	Frekuensi	50 HZ
6.	Phase	3
7.	Simbol	YNd1
8.	Tingkat Isolasi	HV LI 750 AC 325

Table 2. Tap charger terminal tegangan disisi 150 kV

TEMINAL TEGANGAN TINGGI				
Tap	Tegangan (volt)	Arus (Apere)	Daya semu (MVA)	Koneksi
1.	173,25	483,21	145	1N-1
2.	171,28	488,76	145	1N-2
3.	169,31	494,44	145	1N-3
4.	167,34	500,26	145	1N-4

5.	165,37	506,22	145	1N-5
6.	163,40	512,32	145	1N-6
7.	161,43	518,56	145	1N-7
8.	159,46	524,97	145	1N-8
9.A	157,50	531,53	145	1N-9
9.B	157,50	531,53	145	1N-K
9.C	157,50	531,53	145	1N-1
10.	155,53	538,26	145	1N-2

Table 3. Tap changer terminal tegangan disisi 13,8 Kv

LOW VOLTAGE –TERMINALS : R-S-T				
Tegangan (Volt)		Arus (Ampere)	Daya keluar (MVA)	
TAP	13800	3502	145	
	VOLT		IMPEDANCE (%)	
	HV	LV	87	145
1.	173250	13800	7,75	12.32
2.	157500	13800	7,32	12.32
3.	141750	13800	7,21	12.22

Table 4. Tap changer terminal tegangan disisi 13,8 Kv

LOW VOLTAGE –TERMINALS : R-S-T				
Tegangan (Volt)		Arus (Ampere)	Daya keluar (MVA)	
Tap	13800	3502	145	
	Volt		Impedance (%)	
	HV	LV	87	145
1.	173250	13800	7,75	12.32
2.	157500	13800	7,32	12.32
3.	141750	13800	7,21	12.22

Table 5. Rugi-rugi daya pada transformator

Losses (Kw)		
TAP	No Load Loss @ 100 % Ur	54.164 (kw)
TAP	Load Loss @ 145 Mva Tap 9,75 C	338.881 (kw)
CURRENT TRANSFORMER		
1.	CT1 800/1A	30VA CLASS 5P40
2.	CT2 800/1A	30VA CLASS 5P40
3.	CT3 600/1A	30VA CLASS 0.2s
4.	CT4 600/1A	30VA CLASS 0.2s
5.	CT5 600/2A	30VA CLASS 0.5
6.	CT6 400-800/1A	30VA CLASS 5P20
7.	CT7 400-800/1A	30VA CLASS5P20

Table 6. Data generator PLTU Teluk Sirih

No	Parameter	Spesifikasi
1.	Jenis	QFJ-112-2
2.	Kapasitas	112MW
3.	Efisiensi	98,4%

4.	Standar	GB/T 7064
5.	Tegangan Tertingkat	13800 V
6.	Saat Ini Diperingkat	5512 A
7.	Faktor Daya	0,85
8.	Koneksi	Y
9.	Kecepatan	3000 Rrm
10.	Frekuensi	50 Hz
11.	Fase	3
12.	Rasio Sirkuit Pendek	0,63
13.	Resistensi Dc Terhadap	0,00957 Ω
14.	D.C Ketahanan Terhadap Pemulihan Eksitasi 15°C	0,294 Ω
15.	Reaktansi Kebocoran Stator Xe (P.U)	0,142
16.	Arus Eksitasi Tertingkat Pada Beban Penuh	789,5A
17.	Tegangan Eksitasi Tertingkat Pada Beban Penuh	339 V
18.	Arus Eksitasi Pada Tanpa Beban	339,5A

Table 7. Data Beban Transformator Yang Di Dapatkan Pada Saat Operasi Transformator Selama 24 Jam Pada PLTU Teluk Sirih.

3.2 Perhitungan

No	Jam	Is (A)
1	08.00	314
2	09.00	317
3	10.00	316
4	11.00	318
5	12.00	319
6	13.00	320
7	14.00	321
8	15.00	321
9	16.00	322
10	17.00	323
11	18.00	321
12	19.00	323
13	20.00	323
14	21.00	325
15	22.00	323
16	23.00	324
17	00.00	323
18	01.00	330
19	02.00	327
20	03.00	327
21	04.00	326
22	05.00	325
23	06.00	320
24	07.00	318

- **Perhitungan Arus Primer Transformator**

Perbandingan transformasi transformator adalah:

$$a = \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P}$$

$$\text{Maka perbandingan transformasi trafo } \frac{V_P}{V_S} = \frac{13,8 \text{ KV}}{150 \text{ KV}} = 0,092$$

Kita contohkan perhitungan pada jam 08.00 berikut.

Pada jam 08.00

$$I_S = 314 \text{ A}$$

$$a = 0,092$$

$$I_P = \frac{I_S}{a} = \frac{314}{0,092} = 3.413,043 \text{ A}$$

Untuk perhitungan jam berikutnya dapat kita lihat pada tabel 8 berikut.

Table 8. Hasil perhitungan daya generator

No	Jam	Is (A)	Ip (A)
1.	08.00	314	3413,043
2.	09.00	317	3445,652
3.	10.00	316	3434,783
4.	11.00	318	3456,522
5.	12.00	319	3467,391
6.	13.00	320	3478,261
7.	14.00	321	3489,13
8.	15.00	321	3489,13
9.	16.00	322	3500
10.	17.00	323	3510,87
11.	18.00	321	3489,13
12.	19.00	323	3510,87
13.	20.00	323	3510,87
14.	21.00	325	3532,609
15.	22.00	323	3510,87
16.	23.00	324	3521,739
17.	00.00	323	3510,87
18.	01.00	330	3586,957
19.	02.00	327	3554,348
20.	03.00	327	3554,348
21.	04.00	326	3543,478
22.	05.00	325	3532,609
23.	06.00	320	3478,261
24.	07.00	318	3456,522
Rata - rata		Beban	3.499,094

- **Perhitungan Rasio Pembebanan Transformator**

Setelah mendapatkan nilai daya semu dengan nilai daya rating pada perhitungan sebelumnya, maka rasio beban dapat diketahui menggunakan rumus:

$$K = S / S_r$$

S_r = Daya rating Transformator (MVA)

Pada jam 08.00

$$S = 81,579 \text{ MVA}$$

$$K = (81,579 \text{ MVA}) / (145 \text{ MVA})$$

$$= 0,5626$$

Untuk perhitungan di jam berikutnya dapat kita lihat pada tabel 9 berikut ini.

Table 9. Hasil Perhitungan Rasio Pembebanan Transformator Selama 24 Jam

No	Jam	S (MVA)	K
1.	08.00	81,579	0,5626
2.	09.00	82,359	0,56799
3.	10.00	82,099	0,5662
4.	11.00	82,618	0,5697
5.	12.00	82,878	0,5715
6.	13.00	83,138	0,5733
7.	14.00	83,398	0,5751
8.	15.00	83,398	0,5751
9.	16.00	83,658	0,5769
10.	17.00	83,917	0,5787
11.	18.00	83,398	0,5751
12.	19.00	83,917	0,5787
13.	20.00	83,917	0,5787
14.	21.00	84,437	0,5823
15.	22.00	83,917	0,5787
16.	23.00	84,177	0,5805
17.	00.00	83,917	0,5787
18.	01.00	85,736	0,5912
19.	02.00	84,957	0,5859
20.	03.00	84,957	0,5859
21.	04.00	84,697	0,5841
22.	05.00	84,437	0,5823
23.	06.00	83,138	0,5733
24.	07.00	82,618	0,5697
Rata - rata		83,6364	0,5768

• **Perhitungan Suhu Lilitan Transformator**

$$\theta_h = K \times 107,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Standar PLN di mana suhu lilitan transformator adalah (107,7 °C)

Pada jam 08.00

$$\theta_h = 0,5626 \times 107 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 60,593 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$X_n = 2 (60,593 - 98^{\circ}\text{C}) / 6$$

$$= 2^{(-6,23)}$$

$$= 0,013 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Untuk perhitungan di jam berikutnya dapat kita lihat pada tabel 9 berikut ini.

Table 10. Hasil perhitungan suhu lilitan transformator selama 24 jam

No	Jam	K	θ (°C)	$(\theta h-98) /6$	Xn
1.	08.00	0,5626	60,593	-6,23	0,013
2.	09.00	0,5679	61,172	-6,13	0,014
3	10.00	0,5662	60,979	-6,17	0,013
4.	11.00	0,5697	61,365	-6,10	0,014
5.	12.00	0,5715	61,558	-6,07	0,014
6.	13.00	0,5733	61,751	-6,04	0,015
7.	14.00	0,575	61,944	-6,00	0,015
8.	15.00	0,575	61,944	-6,00	0,015
9.	16.00	0,5769	62,137	-5,97	0,015
10.	17.00	0,5787	62,330	-5,94	0,016
11.	18.00	0,575	61,944	-6,00	0,015
12.	19.00	0,5787	62,330	-5,94	0,016
13.	20.00	0,5787	62,330	-5,94	0,016
14.	21.00	0,5823	62,716	-5,88	0,016
15.	22.00	0,5787	62,330	-5,94	0,016
16.	23.00	0,5805	62,523	-5,91	0,016
17.	00.00	0,5787	62,330	-5,94	0,016
18.	01.00	0,5912	63,681	-5,71	0,018
19.	02.00	0,5859	63,102	-5,81	0,017
20.	03.00	0,5859	63,102	-5,81	0,017
21.	04.00	0,5841	62,909	-5,84	0,017
22.	05.00	0,5823	62,716	-5,88	0,016
23.	06.00	0,5733	61,751	-6,04	0,015
24.	07.00	0,5697	61,365	-6,10	0,014
Rata - rata			62,121	-5,97972	0,015901

• Perhitungan Susut Umur Transformator

$$L = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_N$$
$$0,013 + 0,014 + 0,013 + 0,014 + 0,014 + 0,015 + 0,015 + 0,015 +$$
$$0,015 + 0,016 + 0,015 + 0,016 + 0,016 + 0,016 + 0,016 + 0,016 +$$
$$0,016 + 0,018 + 0,017 + 0,017 + 0,017 + 0,016 + 0,015 + 0,014$$
$$L = \frac{\hspace{10em}}{24}$$
$$L = 0,016 \text{ jam/hari}$$

• Dampak Suhu Lilitan Terhadap Umur Transformator

Pengelolaan suhu dan pembebanan yang tepat pada transformator dapat dilakukan melalui penerapan sistem pendingin yang efisien dan penggunaan perangkat pemantau kondisi yang memberikan data real-time mengenai kinerja transformator. Dengan memanfaatkan teknologi seperti sensor suhu dan arus, operator dapat mengidentifikasi kondisi abnormal lebih awal dan mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan untuk mencegah kerusakan. Selain itu, analisis data historis mengenai pola pembebanan dan suhu membantu dalam perencanaan pemeliharaan yang lebih baik, memungkinkan tindakan preventif sebelum terjadinya kegagalan. Secara keseluruhan, pendekatan proaktif dalam memantau dan mengelola suhu lilitan serta pembebanan tidak hanya

meningkatkan umur transformator tetapi juga mendukung keberlanjutan operasional PLTU secara keseluruhan.

- **Analisa**

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat diambil analisa sebagai berikut:

Arus primer transformator rata-rata didapatkan selama penggunaan 24 jam/hari sebesar 3.499,094 (A). Daya generator rata-rata didapatkan selama penggunaan 24 jam/hari sebesar 83.636,4 (KVA). Rasio pembebanan transformator rata-rata didapatkan selama penggunaan 24 jam sebesar 83,6364 maka perbandingan transformator selama penggunaan selama 24 jam/hari sebesar 0,5768. Suhu lilitan transformator rata-rata didapatkan selama penggunaan 24 jam/hari sebesar 62,121°C, maka didapatkan perbandingan θh 62,121°C x 107,7 dari nilai standar PLN dengan perbandingan sebesar 0,576 %. Susut umur transformator rata-rata didapatkan selama penggunaan 24 jam sebesar 0,016 jam/hari, jika penggunaan transformator selama 365 hari maka di dapatkan susut umur selama beroperasi sebesar 58,4 jam/tahun.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Setelah melakukan analisa perhitungan dari data yang diperoleh, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah melakukan analisa perhitungan dari data yang diperoleh, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:
arus primer transformator rata-rata selama 24 jam sebesar 3.499,094 Ampere, daya generator rata-rata selama 24 jam sebesar 83.636,4 KVA (83,6364 MVA), rasio pembebanan transformator rata-rata selama 24 jam 0,5768, suhu lilitan transformator rata-rata selama 24 jam sebesar 62,121 °C.
2. Sehingga didapat kan hasil perhitungan susut umur transformator sebesar 0,016 jam/hari. Jika penggunaan transformator selama 365 hari maka di dapatkan susut umur selama beroperasi sebesar 58,4 jam/tahun.
3. Pembebanan tinggi dan kondisi suhu yang meningkat dapat mempercepat keausan serta mengurangi umur efektif transformator. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengelolaan beban yang baik, seperti memantau beban secara berkala, mendistribusikan beban dengan merata, dan menghindari pembebanan berlebih. Selain itu, penerapan sistem pendingin tambahan dan penggunaan teknologi pemantauan kondisi dapat membantu mengontrol suhu operasional. Penting juga untuk menjadwalkan pemeliharaan rutin dan melatih staf mengenai pengelolaan beban agar lebih peka terhadap potensi masalah. Dengan langkah-langkah ini, diharapkan umur transformator dapat diperpanjang dan kinerjanya tetap optimal.

4.2. Saran

Setelah melakukan analisa perhitungan dari data yang diperoleh, maka penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengontrolan dan pengukuran secara berkala pada arus primer pada transformator pada PLTU Teluk Sirih, karna merupakan hal yang cukup penting guna memastikan keberlangsungan dan kualitas penyaluran tenaga listrik
2. Agar selalu melakukan pengecekan dengan rutin pada PLTU Teluk Sirih guna menjaga kestabilan pembebanan transformator.
3. Penerapan teknologi pemantauan suhu otomatis menggunakan sensor yang dapat

secara real-time menggabungkan suhu lilitan dan memberikan peringatan dini jika suhu melebihi batas aman. Sistem otomatis ini juga dapat terintegrasi dengan sistem pendingin untuk mengatur aliran udara dan pendingin sesuai kebutuhan. Selain itu, penting untuk melakukan pengelolaan beban yang merata, pemeliharaan rutin, dan pelatihan bagi staf operasional guna memastikan bahwa transformator dapat beroperasi secara optimal dan memperpanjang masa pakainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Dendi and A. Azis, 'Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya 150 Kv Di Pltgu Keramasan Palembang', vol. 9, no. 1.
- [2] K. A. Kodoati, I. F. Lisi, and I. M. Pakiding, 'Analisa Perkiraan Umur Transformator', 2015.
- [3] M. D. Tobi, 'Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi di PT PLN (PERSERO) Area Sorong', *Electro Luceat*, vol. 4, no. 1, p. 5, Jul. 2018, doi: 10.32531/jelekn.v4i1.80.
- [4] A. Maruf and Y. Primadiyono, 'Analisis Pengaruh Pembebanan dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga 60 MVA Unit 1 dan 2 Di GI 150 kV Kalisari', vol. 10, no. 1, 2021.
- [5] I. B. Tiasmoro and P. A. Topan, 'Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Dan Susut Umur Transformator Step Up 6kv / 70kv Di Pltu Sumbawa Barat Unit 1 Dan 2 2×7 Mw PT.PLN (PERSERO) Upk Tambora', *Sci. Technol.*, vol. 5, 2021.
- [6] M. A. Muzar and M. Syukri, 'Analisis Pengaruh Suhu Akibat Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya di Gardu Induk Lambaro'.
- [7] F. Imam, 'Fakultas Teknik Universitas Tridianti Palembang'.
- [8] A. Hidayatullah, 'Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta Padang'.
- [9] J. M. Tambunan, A. Hariyanto, and W. K. Tindra, 'Kerja Pembebanan Dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga 150/20 Kv 60 Mva'.
- [10] M. R. Hidayat and I. Fadilah, 'Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) UP3 Garut', *SUTET*, vol. 13, no. 1, pp. 1–12, Jul. 2023, doi: 10.33322/sutet.v13i1.1799.
- [11] D. R. Diningsih and U. Situmeang, 'Pengaruh Pembebanan Terhadap Umur Transformator Daya #1 150/20 kV Pada Gardu Induk Teluk Lembu PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru', vol. 7, no. 1, 2022.
- [12] C. N. Anshar, 'Studi Analisa Perkiraan Umur Transformator Distribusi 20 KV Akibat Pembebanan', *J. Tek. Komput. Agroteknologi Dan Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 247–253, Jan. 2023, doi: 10.56248/marostek.v1i2.26.
- [13] P. Gultom, I. Danial, and M. Rajagukguk, 'Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20 Kv Akibat Pembebanan Lebih Di Pt.Pln (Persero) Kota Pontianak'.