

ANALISA SISA UMUR PEMAKAIAN TRANSFORMATOR TIPE RECTIFIER KAPASITAS 20 KV BERDASARKAN PERHITUNGAN PEMBEBANAN DI CHEMICAL PLANT – KARAWANG

Tri Ongko Priyono, Valentina

Abstrak - Era sekarang kebutuhan bahan kimia sangat meningkat terlebih lagi ditinjau dengan adanya pandemi *Covid-19* yang kian pesat. Banyak dalam dunia industri terkhusus industri bahan kimia yang berusaha memasok serta meningkatkan pertumbuhan produksinya jauh melebihi target dari tahun-tahun sebelumnya. Dalam hal inilah kehandalan dan kestabilan sistem tenaga listrik sangat penting untuk diperhatikan agar dapat memberi kenyamanan saat proses produksi berlangsung. Salah satu peralatan listrik yang sangat berpengaruh terhadap berjalannya proses produksi adalah transformator. Berdasarkan Publikasi IEC 60076-7 2005 menetapkan bahwa umur transformator adalah 20.55 tahun atau 180000 jam namun kenyataannya banyak faktor yang mempengaruhi umur transformator sehingga umur transformator tidak sesuai dengan standar yang ada. Jika kondisi seperti ini terus menerus berlangsung suatu waktu komponen-komponen pada transformator akan sampai pada masa batas ketahanan dan nilai keamanan yang diizinkan. Berdasarkan permasalahan diatas maka data pembebanan dan proses perhitungan dengan *mountsinger* dapat dilakukan untuk menganalisa perkiraan umur transformator tipe rectifier dan mengetahui berapa besar pembebanan yang diberikan. Dari data perhitungan dan pembahasan telah didapatkan bahwa perkiraan transformator tipe rectifier yang beroperasi mulai tahun 2008 bisa mencapai 9 tahun dengan susut umur sebesar 77.4% dan mendapatkan harapan untuk tetap beroperasi selama 2 tahun.

Kata kunci: *Transformator*, *IEC 60076-7*, *Mountsinger*, *Rectifier*, *Pembebanan*

Abstract – *The current era of the need for chemicals is ever greater in the pandemic covid-19. Many in the industrial world in particular are the chemical industries that seek to supply and increase production growth far beyond previous years. In this respect, reliability and the stability of electrical systems are vital to attention in order to provide stability to the production process. On of the electrical appliances that has a deep effect on the production process in a transformers. Based on IEC 60076-7-2005, transformers age is 20.55 years old or 180000 hours but in fact many factors are effecting transformers life not standard. If this condition continues the components on transformers will get worse. Base on the above problems the burden data and computation with mountsinger can be done to analyze life transformers rectifier and determine how much of the burden is being give. From rassing and discussions have been obtained that transfoemers type rectifier have operated since 2008 can reach 9 years of age at 77.4% and have hope of staying oprational 2 years.*

Keyword: *Transformator*, *IEC 60076-7*, *Mountsinger*, *Rectifier*, *Burden*

1. PENDAHULUAN

Era sekarang kebutuhan bahan kimia sangat meningkat terlebih lagi dengan ditinjau dengan adanya pandemi *Covid-19* yang kian

pesat. Banyak dalam dunia industri terkhusus industri bahan kimia yang berusaha memasok serta meningkatkan

pertumbuhan produksinya jauh melebihi target dari tahun-tahun sebelumnya. Hal ini ditinjau dengan adanya berbagai berita yang mengatakan bahwa pemasokan listrik yang digunakan untuk kalangan industri terus menerus naik. Dalam hal inilah kehandalan dan kestabilan sistem tenaga listrik sangat penting untuk diperhatikan agar dapat memberi kenyamanan saat proses produksi berlangsung. Hal ini didukung dengan pernyataan yang menyatakan bahwa “Salah satu upaya yang dapat dilakukan demi menjaga kehandalan dan kestabilan sistem tenaga listrik adalah dengan memperhatikan kondisi terhadap peralatan-peralatan tenaga listrik yang digunakan”. Salah satu peralatan listrik yang sangat berpengaruh terhadap berjalannya proses produksi adalah transformator. Dimana dalam dunia industri bahan kimia banyak sekali mengandalkan transformator tipe rectifier sebagai transformator utama dalam proses penguraian elektrolizer oleh arus listrik. Menurut IEEE dalam buku (Harlow, 2011) mendefinisikan transformator sebagai perangkat statis yang digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk mentransfer daya antar sirkuit melalui penggunaan elektromagnetik. Berdasarkan Publikasi IEC 60076-7, 2005 menetapkan bahwa umur transformator adalah 20.55 tahun atau 180000 jam [3] namun pada kenyataannya banyak faktor yang mempengaruhi umur transformator sehingga umur transformator tidak sesuai dengan standar yang ada. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kondisi suatu transformator salah satu penyebab kerusakannya adalah adanya beban yang berlebih secara terus menerus atau kontinu pada transformator sehingga menyebabkan meningkatnya suhu pada lilitan transformator serta berkurangnya tahanan isolasi pada transformator atas dasar hal inilah penyusutan umur yang terjadi pada transformator akan semakin cepat [4]. Jika kondisi seperti ini terus menerus berlangsung dan tidak diperkirakan atau diatasi, suatu waktu komponen-komponen pada transformator akan sampai pada masa

batas ketahanan dan nilai keamanan yang diizinkan. Pada akhirnya akan terjadi gangguan yang tidak diinginkan secara tiba-tiba seperti trafo akan terbakar atau meledak. Mengingat kerja keras dari suatu transformator terkhusus transformator tipe rectifier bagi dunia industri bahan kimia, maka diusahakan agar peralatan ini berusia panjang dan dapat lebih lama dipergunakan maka transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem pembebanan serta peralatan yang benar, baik dan tepat.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Transformator

Transformator merupakan alat statis yang digunakan untuk menyalurkan tegangan dari suatu rangkaian lain tanpa adanya perubahan frekuensi transformator [5]. Transformator juga memiliki kemampuan untuk mengubah tegangan menjadi lebih rendah atau menjadi lebih tinggi, kemampuan ini diperoleh dikarenakan transformator memiliki dua macam belitan yaitu belitan primer dan belitan sekunder [4]. Belitan primer merupakan belitan yang menerima daya aktif dari sumber rangkaian listrik sedangkan belitan sekunder adalah belitan yang menyalurkan daya aktif ke rangkaian beban [6].

2.2 Perhitungan Susut Umur Transformator

Susut umur yang disebabkan oleh operasi harian atau bulanan pada suhu panas setempat 98 °C dapat dinyatakan dalam satuan bulanan, harian atau jam. Jika beban dan suhu sekitar konstan selama satu periode maka susut umur relatif sesuai dengan persamaan (2.1) sebagai berikut:

$$Susut\ umur\ 24\ jam = (t1 \times X1) + (t2 \times X2) + \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

t = Perbedaan waktu tiap jam (jam)

x = Nilai relatif beban (p.u)

2.3 Perhitungan Presentase Beban (%)

Presentase pembebanan sangat penting untuk diketahui, dimana melalui presentase pembebanan ini dapat menjadi tolak ukur seberapa besar pembebanan yang dilakukan oleh transformator. Dalam mencari presentase pembebanan sebuah transformator dapat menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$\text{Besarnya presentase beban (\%)} = \frac{\text{Beban trafo (KVA)}}{\text{Kapasitas trafo (KVA)}} \times 100\%$$

2.4 Menentukan Faktor Pembebanan

Menurut IEC 354, transformator di Indonesia dirancang untuk bekerja pada temperatur sekitar tidak melebihi 40°C dan pada temperatur rata-rata harian 30°C serta temperatur rata-rata tahunan 30°C. *International electrotechnical commission* (IEC) menetapkan umur transformator 20 tahun atau setara 7300 hari apabila di bebani 100% dari nilai rating daya transformator pada temperatur sekitar 30°C, sehingga susut umur normal adalah 0,0137% per hari [13]. Susut umur karena temperatur titik panas

oleh peneliti-peneliti sebelumnya yang memberikan hasil yang berlainan. Ini disebabkan karena penelitian sebelumnya memiliki ukuran nilai akhir umur harap yang berbeda-beda.

2.5 Perhitungan Temperatur Belitan (θ_c)

Seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, bahwa suhu terhadap belitan sangat berpengaruh besar terhadap penyusutan umur transformator semakin besar suhu yang didapatkan maka isolasi pada transformator akan semakin berkurang, dikarenakan hal itulah temperatur pada belitan wajib diperhatikan. Sangat penting untuk mengetahui suhu setiap belitan pada tiap pembebanan. Persamaan 2.4 dapat memecahkan permasalahan untuk mencari suhu belitan para trafo.

$$\theta_c = \% \text{ pembebanan} \times \text{temperatur belitan tertinggi (100\%)}$$

2.6 Perhitungan Laju Penuaan Relatif

Ambient Temperature(°C)		-25	-20	-10	0	10	20	30	40	
K24	Distribution	ONAN	1,37	1,33	1,25	1,17	1,09	1,00	0,91	0,81
	Power Transformer	ON	1,33	1,30	1,22	1,15	1,08	1,00	0,92	0,82
		OF	1,31	1,28	1,21	1,14	1,08	1,00	0,92	0,83
		OD	1,24	1,22	1,17	1,11	1,06	1,00	0,94	0,87

dapat dilihat pada Tabel 2.3 Standar ini bisa dijadikan acuan dalam memperkirakan usia pemakaian transformator untuk mencari besarnya suhu belitan selama pembebanan 100% atau dapat digunakan persamaan 2.3 sebagai berikut untuk mencari faktor pembebanan.

$$K = \frac{Pr}{Pp} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

Pr : Beban puncak (KVA)

Pp : Beban rata-rata (KVA)

Memang belum ada ketetapan yang diperoleh untuk umur perkiraan yang lebih baik dari yang lainnya. Namun perhitungan ini didasarkan pada jurnal-jurnal terkait dari studi kasus yang sama yang telah dilakukan

Nilai relatif dapat menggunakan rumus *montsinger* dimana rumus ini digunakan untuk memperoleh kecepatan relatif pada titik panas di atas suhu normal (98°C) pada beban normal serta dengan acuan suhu lingkungan dan suhu kumparan [12]. Untuk desain transformator berdasarkan standar IEC 76 dan IEC 354, nilai relatif dari umur pemakaian tergantung pada suhu titik panas. Hubungan suhu ini terhadap operasi dalam suhu sekitar 30°C pada nilai daya nominal transformator memberikan kenaikan suhu

titik panas sebesar 68°C. Berikut merupakan Tabel 2.4 hubungan antara laju penuaan relatif dengan perkiraan umur transformator.

Pada transformator, kecepatan proses penuaan relatif itu secara pendekatan dapat dinyatakan dengan pernyataan 2.5 sebagai berikut:

$$X = 2^{(\theta_c - 98)/6} \dots\dots\dots (2.5)$$

θ (°C)	ζ (p.u)	Perkiraan Umur (Tahun)
80	0,125	>20
86	0,25	>20
92	0,5	>20
98	1	20
104	2	10
110	4	5
116	8	2,5
122	16	1,25
128	32	0,625
134	64	0,5125
140	128	0,15625

Keterangan:

θ_c = Temperatur belitan bagian terpanas (°C)

98°C = Temperatur sebagai dasar disain umur yang wajar (20-30 tahun)

X = Nilai relatif beban (p.u = per unit)

2.7 Umur Transformator

Pemakaian transformator sepanjang waktu mengakibatkan naiknya beban transformator. Untuk itu sangat penting dilakukan evaluasi pada kondisi transformator yang beroperasi serta dilakukan langkah pemeliharaan dan perbaikan. Selain itu perkiraan pada umur

transformator juga sangat diperhatikan untuk menjaga keandalan sistem. Hal-hal yang harus diperhatikan untuk memperkirakan umur dari sebuah transformator antara lain:

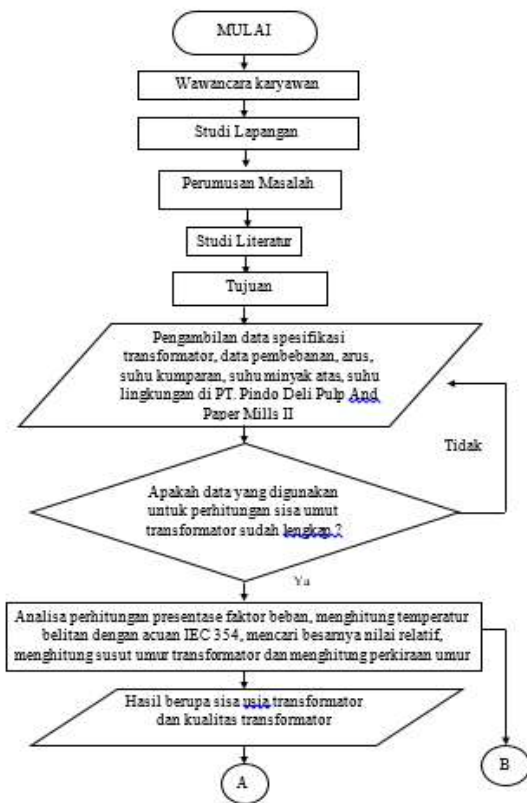
1. Kenaikan beban yang dihadapi. Pada umumnya beban puncak terus naik sehingga transformator bisa saja mengalami kerusakan dan perlu diganti.
2. Gangguan pada jaringan distribusi. Bila sebuah transformator terhubung secara langsung dengan auto recloser dan jumlah gangguan yang didapat pertahun tinggi. Maka hal ini juga mempengaruhi umur dari transformator.
3. Fluktualisasi beban, hal ini dapat menyebabkan tegangan keluaran transformator berubah sehingga dapat menimbulkan karbonisasi dalam minyak transformator.
4. Jam operasi yang perlu dicatat dan diperhatikan

Karena pembebanan transformator berubah-ubah setiap harinya atau tidak kontinyu sehingga sulit menentukan pola pembebanan hariannya. Maka dalam penelitian ini diasumsikan pola pembebanan hariannya adalah sama. Perhitungan perkiraan umur transformator di bawah ini merupakan persamaan (2.6) hanya memperhitungkan pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain.

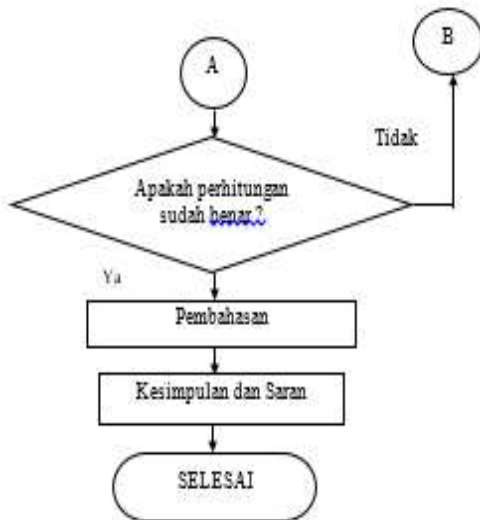
$$n = \frac{\text{umur dasar-tahun periode pemakaian}}{\text{susut umur}} \dots\dots\dots (2.6)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian



Penelitian ini didasarkan pada usaha untuk memperkirakan sisa umur pemakaian



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

transformator dengan mengacu kepada rumusan masalah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Gambar 3.1 merupakan sebuah diagram alur penelitian yang telah

dibuat penulis agar proses penelitian yang dibuat terarah.

3.2 Teknik Pengambilan Data

Data yang diambil diperoleh dari Chemical Plant PT. Pindo Deli Pulp And Paper Mills II. Data yang didapatkan akan menjadi acuan penelitian untuk mengetahui perkiraan sisa umur pemakaian transformator tipe rectifier dan menentukan tindakan yang harus ditempuh pada kondisi transformator yang terlihat dari susut umur transformator

a. Studi Literatur

Mengumpulkan teori-teori serta metode yang terkait dengan rumusan masalah pada penelitian dan mempelajari materi yang dapat bersumber dari artikel, jurnal ilmiah serta melakukan wawancara dengan subjek penelitian dengan tujuan menambah referensi dari penelitian yang dilakukan.

b. Studi Bimbingan

Dalam studi bimbingan penulis melakukan diskusi dan konsultasi mengenai setiap perkembangan terhadap penulisan tugas akhir.

c. Survei Data

Proses pengambilan data yang diambil penulis terbagi menjadi tiga kondisi perbedaan waktu sesuai jadwal jam kerja yang dilakukan tempat penelitian yaitu pada jam 05.00 WIB dengan data teknik pembebanan sebesar 172020 KVA, pada jam 13.00 WIB dengan data teknik pembebanan sebesar 163860 KVA, dan pada jam 21.00 WIB dengan teknik pembebanan sebesar 171710 KVA.

Data suhu minyak diperoleh dari data harian yang telah dihitung dengan besarnya rata-rata suhu yang didapat setiap pukul 05.00 WIB, 13.00 WIB dan 21.00 WIB. Tabel 3.2 menjelaskan rata-rata suhu minyak yang dimiliki transformator pada bulan Maret.

TANGGAL	SUHU MINYAK JAM 05	SUHU MINYAK JAM 13.00	SUHU MINYAK JAM 21.00
1 MARET 2021	39 °C	40 °C	39 °C
2 MARET 2021	39 °C	40 °C	39 °C
3 MARET 2021	39 °C	40 °C	39 °C
4 MARET 2021	39 °C	40 °C	38 °C
5 MARET 2021	30 °C	40 °C	37 °C
6 MARET 2021	38 °C	41 °C	40 °C
7 MARET 2021	38 °C	40 °C	39 °C
8 MARET 2021	38 °C	40 °C	38 °C
9 MARET 2021	35 °C	38 °C	39 °C
10 MARET 2021	38 °C	41 °C	39 °C
11 MARET 2021	39 °C	39 °C	39 °C
12 MARET 2021	38 °C	41 °C	39 °C
13 MARET 2021	39 °C	40 °C	40 °C
14 MARET 2021	39 °C	39 °C	39 °C
15 MARET 2021	38 °C	40 °C	40 °C
16 MARET 2021	38 °C	40 °C	39 °C
17 MARET 2021	38 °C	41 °C	40 °C
18 MARET 2021	39 °C	41 °C	38 °C
19 MARET 2021	38 °C	41 °C	40 °C
20 MARET 2021	39 °C	41 °C	39 °C
21 MARET 2021	39 °C	40 °C	39 °C
22 MARET 2021	40 °C	41 °C	40 °C
23 MARET 2021	39 °C	0 °C	40 °C
24 MARET 2021	39 °C	40 °C	40 °C
25 MARET 2021	40 °C	39 °C	39 °C
26 MARET 2021	38 °C	0	30 °C
27 MARET 2021	50 °C	40 °C	39 °C
28 MARET 2021	39 °C	40 °C	40 °C
29 MARET 2021	39 °C	40 °C	40 °C
30 MARET 2021	0	40 °C	0
Rata-rata	37.36°C	37.43°C	37.56°C

TANGGAL	SUHU LINGKUNGAN	TANGGAL	SUHU LINGKUNGAN
1 MARET 2021	34 °C	16 MARET 2021	31 °C
2 MARET 2021	32 °C	17 MARET 2021	32 °C
3 MARET 2021	31 °C	18 MARET 2021	33 °C
4 MARET 2021	32 °C	19 MARET 2021	33 °C
5 MARET 2021	32 °C	20 MARET 2021	32 °C
6 MARET 2021	32 °C	21 MARET 2021	33 °C
7 MARET 2021	31 °C	22 MARET 2021	32 °C
8 MARET 2021	32 °C	23 MARET 2021	32 °C
9 MARET 2021	32 °C	24 MARET 2021	32 °C
10 MARET 2021	32 °C	25 MARET 2021	33 °C
11 MARET 2021	31 °C	26 MARET 2021	34 °C
12 MARET 2021	30 °C	27 MARET 2021	32 °C
13 MARET 2021	30 °C	28 MARET 2021	31 °C
14 MARET 2021	32 °C	29 MARET 2021	31 °C
15 MARET 2021	31 °C	30 MARET 2021	30 °C

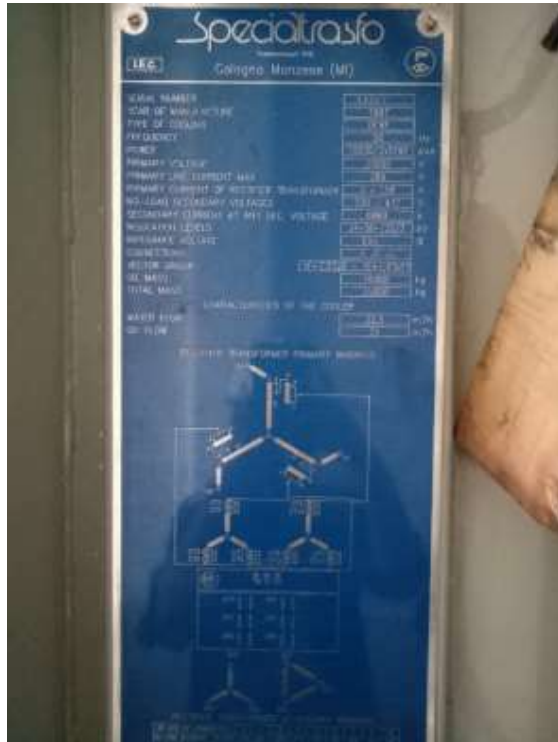
Data suhu lingkungan yang didapatkan adalah data suhu rata-rata yang dapatkan menurut Badan Matereologi dan Geofisika per hari nya selama Bulan Maret. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.3.

3.3 Spesifikasi Transformator

Transformator yang digunakan pada penelitian adalah transformator dengan tipe rectifier. Dalam dunia industri terkhusus di dunia industri bahan kimia transformator tipe ini sangat diandalkan dan menjadi transformator utama yang harus diperhatikan dikarenakan transformator ini digunakan sebagai sistem elektrolizer senyawa kimia dengan kata lain pembebanan pada

transformator tipe rectifier ini terletak pada besarnya arus yang digunakan oleh rectifier tersebut untuk menghasilkan senyawa kimia yang sesuai dengan besarnya target produksi yang diinginkan. Berikut Gambar 3.3 yang menjadi gambaran transformator tipe rectifier dengan spesifikasi yang

dimiliki.



- Frequency : 50 Hz
- Rated Power : 10 MVA / 10030 kVA
- Voltage Primary : 20000 V
- Voltage Secondary : 437 V
- Current Primary : 289 A
- Current Secondary : 6860 A
- Impedance : 7.80%
- Rugi Beban Nol : 21

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Data dan Pembahasan

Perhitungan pada penelitian ini mengacu pada standar IEC 354 dimana mengatakan bahwa “sebuah transformator akan mengalami umur yang normal apabila berada pada kondisi suhu *hot spot* 98°C pada pembebanan 100% dimana suhu lingkungannya berkisar 30°C”. Mengikuti data pembebanan yang telah didapatkan pada tempat penelitian, maka perlu diketahui berapa besar presentase pembebanan setiap jam nya selama bulan Maret 2021 sebelum menggunakan data

pada Tabel 2.3 . Berikut salah satu contoh perhitungan presentase pembebanan yang telah dilakukan mengikuti persamaan (2.2) yang telah dibahas pada bab sebelumnya.

$$\text{Besarnya presentase beban (\%)} = \frac{\text{Beban trafo (KVA)}}{\text{Kapasitas trafo (KVA)}} \times 100\%$$

$$\text{Besarnya presentase beban (\%)} = \frac{6020}{10000} \times 100 = 60,2\%$$

Dari data diatas telah didapat bahwa presentase pembebanan yang dimiliki pada jam 05.00, jam 13.00 dan jam 21.00 sebesar 53.74 %, 54.62% dan 57.20%. terlihat

Jam	Total Record Beban (KVA)	Presentase Beban (%)
Jam 05.00	172020	53.34
Jam 13.00	163860	54.62
Jam 21.00	171710	57.20

bahwa pembebanan yang tertinggi terjadi pada jam 21.00. Setelah mengitung seluruh presentase pembebanan disetiap jam record, maka untuk tahap selanjutnya adalah melakukan penentuan faktor pembebanan. Penentuan faktor pembebanan ini sangat erat kaitannya terhadap temperatur lingkungan trafo. Sebab menurut standar IEC 345 transformator di Indonesia telah dirancang dengan suhu lingkungan tidak melebihi 40°C CITATION SPL79 \1 1033 [[10]].

Pada data suhu lingkungan menurut BMKG sesuai dengan Tabel 3.3 diperoleh bahwa suhu rata-rata harian Daerah Karawang Barat pada Bulan Maret 2021 yaitu berkisar 30°C - 34°C. Karena penelitian ini menggunakan transformator dengan tipe pendingin OFWF dengan desain standar IEC 76 dan IEC 354 maka suhu sekitar yang digunakan adalah 30°C. Data suhu sekitar ini diambil berdasarkan Tabel 2.2 dengan temperatur *hot spot* normal yang dimiliki sebesar 98°C dan dengan nilai faktor pembebanan sebesar 0.92 (92%) dari rating daya transformator. Maka dapat dikatakan

bahwa pada suhu 30°C akan terjadi temperatur belitan 100% dari rating transformator sebesar 106.5°C. Berikut contoh perhitungan untuk menemukan suhu belitan 100% dengan mengacu pada faktor beban pada Tabel 2.2

$$\frac{92\%}{98^\circ\text{C}} = \frac{100\%}{\theta^\circ\text{C}} = \theta \frac{98 \times 100\%}{92\%} = 106.5^\circ\text{C}$$

4.2 Temperatur Belitan (θ_c)

Temperatur belitan pada pembebanan luar beban puncak (LBP)

$$\theta_c = \% \text{Pembebanan} \times \text{Temperatur belitan tertinggi (100\%)}$$

$$\theta_c = 57.34\% \times 106.5^\circ\text{C} = 61.06^\circ\text{C}$$

Temperatur belitan pada pembebanan luar beban puncak (LBP)

$$\theta_c = \% \text{Pembebanan} \times \text{Temperatur belitan tertinggi (100\%)}$$

$$\theta_c = 54.62\% \times 106.5^\circ\text{C} = 58.17^\circ\text{C}$$

$$\theta_c = \theta_c \text{ jam 05.00} + \theta_c \text{ jam 13.00}$$

$$\theta_c = 61.06^\circ\text{C} + 58.17^\circ\text{C} = 119.23^\circ\text{C}$$

Temperatur belitan pada pembebanan jam 21.00 WIB (BP)

$$\theta_c = \% \text{Pembebanan} \times \text{Temperatur belitan tertinggi (100\%)}$$

$$\theta_c = 57.20\% \times 106.5^\circ\text{C} = 60.91^\circ\text{C}$$

Dari perhitungan temperatur belitan diatas maka dapat diketahui bahwa temperatur belitan pada Luar Beban Puncak (LBP) adalah sebesar 119.23 °C dan temperatur

pada belitan Beban Puncak (BP) adalah sebesar 60.91 °C.

4.3 Perhitungan Laju Penuaan Relatif

Setelah mengetahui besarnya temperatur belitan LBP sebesar 119.23% dan BP sebesar 60.91% maka untuk laju penuaan relatif bisa menggunakan rumus montsinger pada persamaan (2.5) sebagai berikut:

1. Laju penuaan relatif LBP (16 jam)

$$X = 2^{(\theta_c - 98)/6}$$

$$X = 2^{(119.23 - 98)/6}$$

$$X = 11.61 \text{ p.u}$$

2. Laju penuaan relatif jam BP (8 jam)

$$X = 2^{(\theta_c - 98)/6}$$

$$X = 2^{(60.91 - 98)/6}$$

$$X = 0.013 \text{ p.u}$$

Jadi, dari tiap-tiap temperatur belitan yang telah didapatkan dan laju penuaan relatif yang telah didapatkan juga, maka untuk mencari susut umur transformator selama 24 jam dapat menggunakan persamaana (2.1) dengan menggunakan perhitungan yang sudah didapatkan.

$$\text{Susut umur 24 jam} = (t_1 \times X_1) + (t_2 \times X_2)$$

$$\text{Susut umur 24 jam} = (16 \times 11.61 \text{ p.u}) + (8 \times 0.013 \text{ p.u})$$

$$\text{Susut umur 24 jam} = 1858.64 \text{ jam} , \text{ atau } \frac{1858.64}{24} = 77.4\%$$

4.4 Perkiraan Susut Umur

Perkiraan sisa umur transformator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6) sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{tahun periode pemakaian}}{\text{susut umur}}$$

Sesuai dengan wawancara yang telah dilakukan diketahui bahwa transformator tipe rectifier telah beroperasi sejak tahun 2008 hingga sekarang, sesuai dengan data yang telah di dapatkan maka dikatakan bahwa pemakaian transformator telah beroperasi selama 13 tahun.

Berdasarkan hasil wawancara tersebut serta perhitungan yang telah dilakukan maka langkah selanjutnya adalah mencari sisa umur dari transformator tersebut. Berikut adalah perkiraan sisa umur yang dimiliki transformator.

$$n = \frac{20 - (2021 - 2008)}{77.4\%} = 9 \text{ tahun}$$

4.5 Analisa

Dari hasil perhitungan yang dilakukan pada transformator tipe rectifier yang memiliki beban 40:70% dapat dilihat bahwa susut umur transformator normal atau tidak banyak pengaruh perubahan umur transformator tipe rectifier.

Dari data perhitungan dan pembahasan yang mengacu pada standar IEC 354 dan IEC 76 telah didapatkan bahwa perkiraan transformator tipe rectifier bisa mencapai 9 tahun mengikuti data pembebanan yang didapat selama bulan maret serta dengan suhu lingkungan sebesar 30°C dari suhu lingkungan yang diambil menurut data maka acuan suhu belitan pada standar IEC 354 dan IEC 76 dapat digunakan menurut jenis pendinginnya yaitu OFWF dengan faktor pembebanan sebesar 92% yang dimana artinya pada faktor pembebanan tersebut telah terjadi pembebanan sebesar 100% sehingga temperatur belitan pada 92% didapatkan sebesar 106.5°C.

Suhu belitan pada pembebanan 100% atau 106.5°C menghasilkan suhu belitan 119.23°C pada jam 05.00 dan jam 13.00 menurut data record dan 60.91°C pada jam 21.00. Terlihat bahwa suhu belitan sudah didapatkan, maka laju penuaan relatif juga dapat dihitung dan mendapatkan 77.4% selama 24 jam yang artinya setiap hari telah terjadi penuaan sebesar 77.4% dengan besaran penuaan inilah masa perkiraan susut umur transformator didapatkan sesuai dengan pernyataan diatas.

Bila umur dasar transformator diasumsikan mengikuti standar IEC 354 dan IEC 76

maka umur dasar yang digunakan adalah 20 tahun, oleh karena itu perhitungan masa beroperasi dari transformator tipe rectifier ini seharusnya adalah pada tahun 2028, namun dari perhitungan ini di dapatkan bahwa analisa transformator dengan susut umur sekitar 77.4% dan pembebanan berkisar 40:70% dengan suhu sekitar sebesar 30°C masa pakai nya bisa melebihi dari tahun yang ditargetkan oleh pabrik.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Besarnya pembebanan tertinggi terjadi pada saat waktu luar beban puncak (LBP) yaitu penggabungan beban pada jam 05.00 WIB dengan nilai 57.20% dengan jam 13.00 WIB dengan beban sebesar 54.62%
2. Dengan diketahui besarnya pembebanan yang dimiliki pada luar beban puncak (LBP) dan beban puncak (BP) maka didapatkan temperatur belitan sebesar 119.23°C namun temperatur tersebut masih dalam batas normal bila dilihat dari record jam 05.00 WIB yang hanya memiliki 61.06°C dan pada jam 13.00 WIB sebesar 58.17 °C.
3. Pada transformator tipe rectifier dengan sistem pendingin OFWF memiliki susut umur sebesar 77.4% dengan besarnya laju penuaan relatif sebesar 11.61 p.u untuk (LBP) dan 0.013 p.u untuk (WB) sehingga didapatkan bahwa perkiraan umur transformator tipe rectifier bisa mencapai 9 tahun mengikuti data pembebanan yang didapat selama bulan maret. Seharusnya masa pakai transformator berakhir pada tahun 2028 dengan mengikuti umur dasar transformator yaitu 20 tahun, namun dengan susut umur yang dimiliki sekitar 77.4 % didapatkan hasil bahwa transformator mengalami perpanjangan pemakaian 2 tahun sehingga dengan kata lain akan berhenti beroperasi pada tahun 2030.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. T. N. A.Sofwan, "ANALISIS SUSUT UMUR TRANSFORMATOR AKIBAT BEBAN LEBIH DENGAN PENAMBAHAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI SISIPAN," *Sinusoida*, vol. XX, p. 1, 2018.
- [2] J. Harlow, *Electrical Power Transformaer Engineering, United States of America*: ISBN 0-8493-1704-5 CRC Press, 2004.
- [3] I. 60076-7, *Loading Guide for Oil Immersed Power Transformer*, Geneva: International Electrotechnical Commission (IEC), 2005.
- [4] H. L. Latupeirissa, "Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20 KV di PT. PLN Cabang Ambon," *Jurnal Simetrik*, vol. 8, p. 2, 2018.
- [5] U. Wiharja, "Transformator," Prodi Teknik Elektro, Jakarta, 2018.
- [6] J. Siburian, "Karateristik Transformator," Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Darma Agung, Medan, 2002.
- [7] P. Utomo, "STUDI ANALISIS KUALITAS TRANSFORMATOR DAYA GARDU INDUK 150 KV SIANTAN," Program Studi Teknik Elektro, 2013.
- [8] P. S. S. ELEKTRIK, *Manual Pemeriksaan dan Perawatan Transformator*, PT. SINTRA SINARINDO ELEKTRIK, 2003.
- [9] I. K. Febrianti, "Analisa Penurunan Faktor Kerja Transformator Daya 30 MVA," *Jurnal Ampere*, vol. 2, p. 1, 2017.
- [10] M. S. A. Krishnan, "Prediction of Transformer Insulation Life With an Effect of Environmental Variabels," *International Journal of Computer Application* , vol. 55, p. 5, Oktober 2012.
- [11] P. H. Hastungkoro, W. Wicaksono and S. T. Widodo, *Transformator*, Klaten, Indonesia: SMK (Saka Mitra Kompetensi), 2011.
- [12] SPLN-17, *Pedoman Transformator Terendam Minyak*, 1979.