

## BAB IV

### PEMBAHASAN DAN HASIL

#### 4.1 Spesifikasi Transformator Distribusi 20 MVA

Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tentang pengaruh kenaikan temperatur transformator distribusi dengan sistem pendingin ONAN (*oil natural air natural*) dan ONAF (*oil natural air forced*). Transformator distribusi yang digunakan dalam penelitian berkapasitas 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1



**Gambar 4.1** Transformator Distribusi 20 MVA  
*Sumber : PT Trafoindo Prima Perkasa*

Data spesifikasi transformator distribusi 20 MVA yang digunakan untuk penelitian ditunjukkan pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1 spesifikasi transformator distribusi**

SPECIFICATION			
KVA	20000	BIL HV	120
PRIM VOL	20000	BIL LV	75
D=1&Y=2	1	ET	59.43311595
SEC VOL	6600	PRIM(1)	22000
D=1&Y=2&Z=3	2	PRIM(2)	21000
N2	102	PRIM(3)	20000
FREQ	50	PRIM(4)	19000
WFe	14500	PRIM(5)	18000
WCu	130000	I PRIM	333.3333333
Zo	10	I LINE PRIM	577.3502692
Io	1.3	I SEC	1749.54627
TAPPING	5	I LINE SEC	1749.54627
		E TAP1	370
T TAP1 (4-5)	17	E TAP2	353
T TAP2 (2-3)	16	E TAP3	337
T TAP3 (5-6)	17	E TAP4	320
T TAP4 (1-2)	17	E TAP5	303

**Sumber : PT. Trafoindo Prima Perkasa**

Transformator distribusi berfungsi sebagai penurun tegangan (*step down*), dengan tegangan nomial yang diturunkan dari 20 kV ke 6,6 kV. Panas yang timbul pada jaringan distribusi dapat menyebabkan tegangan input pada transformator tidak sesuai dengan kapasitasnya, maka pada transformator distribusi dilengkapi dengan 5 *tap changer* pada sisi tegangan primer. Sesuai dengan standart SPLN 50: 1997, kapasitas transformator dengan daya 20 MVA mempunyai rugi-rugi besi 14500 watt dan rugi-rugi tembaga 130000 watt. Pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah sering terjadi gangguan yang menyebabkan kerusakan pada transformator. Salah satu contoh gangguan adalah gangguan tegangan lebih pada jaringan distribusi. Penentuan tingkat isolasi impuls dasar BIL (*Basic Impulse Insulation Level*) yang didefinisikan sebagai referensi dalam tegangan puncak impuls dengan gelombang dasar. BIL pada transformator untuk tegangan nominal 20kV adalah 125 kV dan untuk tegangan sekunder dengan nominal 6,6 kV adalah 75 kV.

Arus pada sisi primer 333 amper dan pada sisi sekunder 1749 amper. Arus tersebut mengalir melalui kumparan. Jenis penghantar yang digunakan pada transformator distribusi adalah CU (tembaga). Pada sisi primer kumparan yang digunakan berbentuk *flat* dan pada sisi sekunder kumpara berbentuk *sheet*. Setian kumparan dilapisi isolasi kertas dengan ketebalan 0,08 cm pada sisi primer dan 0,025 cm. Dimensi tanki pada transformator distribusi berukuran (3740 x 1080) mm. radiator merupakan siklus mengalirkan minyak untuk didinginkan udara dari luar. Radiator pada transformator distribusi tingginya 2100 mm. *Coil* pada transformator distribusi berbentuk lingkaran, dengan ukuran diameter bobbin 490 mm dan diameter core 475 mm.

## 4.2 Perhitungan kenaikan temperatur transformator distribusi 20 MVA

Rugi-rugi yang menimbulkan panas pada transformator sebelumnya dirancang dengan kenaikan temperatur sekitar 55°C, yang mempunyai arti bahwa perubahan temperatur kumparan rata-rata dan titik panas (*hot-spot*) yang diperbolehkan adalah 55°C (maksimum). Dengan perkembangan teknologi isolasi, maka saat ini dikembangkan suatu transformator distribusi dengan kenaikan 65°C. kenaikan temperatur pada transformator distribusi dipengaruhi oleh kenaikan temperatur minyak, kenaikan temperatur isolasi dan kenaikan temperatur kumparan.

### 4.2.1 Kenaikan Temperatur Minyak

Menurut SPLN 8-2 : 1991, Kenaikan temperatur minyak bagian atas pada beban penuh adalah 50°C, dengan menganggap bahwa minyak mempunyai sifat perambatan panas yang homogeny, maka temperatur seluruh permukaan minyak dianggap mempunyai kenaikan temperatur yang sama yaitu 50°C.

### 4.2.2 Kenaikan Temperatur Minyak Isolasi

Untuk menghitung kenaikan temperatur isolasi digunakan persamaan (2-24) dan persamaan (2-25). adapun data-data yang diperlukan untuk menghitung kenaikan temperatur isolasi adalah sebagai berikut :

## 1. Sisi Tegangan Tinggi

Rugi tembaga ( $P_{cu}$ )	: 130000 watt
Tebal isolasi ( $d$ )	: 0,18 cm
Konduktivitas panas ( $k_i$ )	: 0,00336 watt.cm <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>
Luas permukaan tembaga, ( $A$ )	: 3.037.434 cm <sup>2</sup>

Dari data-data di atas dapat dihitung tahanan panas isolasi,  $R_h$  dengan menggunakan persamaan (2-25) :

$$R_h = \frac{d}{k_i \times A}$$

$$R_h = \frac{0,18 \text{ cm}}{0,00336 \text{ watt.cm}^{-1}\text{°C}^{-1} \times 3.037.434 \text{ cm}^2}$$

$$= 0,0000176321 \text{ °C watt}^{-1}$$

Kenaikan temperatur isolasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-24):

$$t_{di} = R_h \times P_{cu}$$

$$t_{di} = 0,0000176321 \text{ °C watt}^{-1} \times 130000 \text{ watt}$$

$$= 2,292 \text{ °C}$$

## 2. Sisi teggangan rendah

Rugi tembaga ( $P_{cu}$ )	: 130000 watt
Tebal isolasi ( $d$ )	: 0,04 cm
Konduktivitas panas ( $k_i$ )	: 0,00336 watt.cm <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>
Luas permukaan tembaga, ( $A$ )	: 378.304 cm <sup>2</sup>

Dari data-data di atas dapat dihitung tahanan panas isolasi,  $R_h$  dengan menggunakan persamaan (2-25) :

$$R_h = \frac{d}{k_i \times A}$$

$$R_h = \frac{0,04 \text{ cm}}{0,00336 \text{ watt.cm}^{-1}\text{°C}^{-1} \times 378.304 \text{ cm}^2}$$

$$= 0,0000314687\text{°C watt}^{-1}$$

Kenaikan temperatur isolasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-24):

$$t_{dt} = R_h \times P_{cu}$$

$$\begin{aligned} t_{dt} &= 0,0000314687^\circ\text{C watt}^{-1} \times 130000 \text{ watt} \\ &= 4,090^\circ\text{C} \end{aligned}$$

#### 4.2.3 Kenaikan Temperatur kumparan

Data-data yang diperlukan untuk menghitung kenaikan temperatur kumparan adalah sebagai berikut :

##### 1. Sisi tegangan tinggi

Dimensi kumparan : 5 (0,315 x 1,4) cm

Tebal isolasi ( d ) : 0,08 cm

Konduktivitas panas (  $k_i$  ) : 0,00336 watt.cm<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>

Kerapatan arus ( J ) : 377,9 A/cm<sup>-1</sup>

Ketebalan per cm diukur dalam arah sepanjang lapisan kumparan adalah :

$$\begin{aligned} a &= \frac{(5 \times 1,315)}{(5 \times 0,315) + (10 \times 0,003) + (5 \times 0,08)} \\ &= 0,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

Ketebalan tembaga per cm diukur dalam arah melintang lapisan kumparan :

$$\begin{aligned} b &= \frac{(5 \times 1,4)}{(5 \times 1,4) + (10 \times 0,003) + (5 \times 0,08)} \\ &= 0,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor ruang, } a \times b &= 0,7 \times 0,9 \\ &= 0,63 \text{ cm} \end{aligned}$$

Konduktivitas panas rata-rata kumparan dalam sepanjang lapisan dengan menggunakan persamaan (2-27) :

$$k_a = \frac{k_i}{1-a}$$

$$k_a = \frac{0,00336}{1-0,7}$$

$$k_a = 0,011 \text{ watt.cm}^{-1}\text{C}^{-1}$$

kondutivitas panas rata-rata dalam arah sepanjang jarak lintas lapisan kumparan dengan menggunakan persamaan (2-28):

$$k_b = \frac{ki}{1-b}$$

$$k_b = \frac{0,00336}{1 - 0,9}$$

$$K_b = 0,033 \text{ watt.cm}^{-1}\text{C}^{-1}$$

lebar kumparan :

$$l = [(5 \times 0,315) + (10 \times 0,03) + (5 \times 0,08)]$$

$$= 2,275 \text{ cm}$$

Tebal kumparan :

$$w = [1,4 + (5 \times 0,03) + (5 \times 0,08)]$$

$$= 1,59 \text{ cm}$$

kenaikan temperatur kumparan pada transformator distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-26) :

$$t_{dk} = \frac{(n \times 10^{-6}) J \times (lw) \times (ab)}{8 [ k_a \left[ \frac{w}{l} \right] + k_b \left[ \frac{l}{w} \right] ]}$$

$$t_{dk} = \frac{(0,826 \times 10^{-6}) \Omega\text{cm} \times (377,9 \text{ Acm}^{-2})^2 \times (1,59 \text{ cm} \times 2,27 \text{ cm}) \times (0,63 \text{ cm})}{8 [ (0,011 \text{ watt.cm}^{-1}\text{C}^{-1} \times 3,6093) + (0,033 \text{ watt.cm}^{-1}\text{C}^{-1} \times 1,42767) ]}$$

$$= 0,6071^\circ\text{C}$$

## 2. Sisi tegangan rendah

Dimensi kumparan : (0,065 x 53) cm

Tebal isolasi : 0,08 cm

Kondutivitas panas : 0,00336 watt.cm<sup>-1</sup>C<sup>-1</sup>

Kerapatan arus : 319,2 A/cm<sup>-1</sup>

Ketebalan per cm diukur dalam arah sepanjang lapisan kumparan adalah :

$$a = \frac{0,065}{0,065 + (2 \times 0,00215) + 0,08}$$

$$= 0,044 \text{ cm}$$

Ketebalan tembaga per cm diukur dalam arah melintang lapisan kumparan :

$$b = \frac{53}{53 + (2 \times 0,00215) + 0,08}$$

$$= 0,99 \text{ cm}$$

$$\text{Faktor ruang, } a \times b = 0,044 \times 0,99$$

$$= 0,0396 \text{ cm}$$

Konduktivitas panas rata-rata kumparan dalam sepanjang lapisan dengan menggunakan persamaan (2-27) :

$$k_a = \frac{ki}{1-a}$$

$$k_a = \frac{0,00336}{1 - 0,044}$$

$$k_a = 0,00351 \text{ watt.cm}^{-1}\text{C}^{-1}$$

konduktivitas panas rata-rata dalam arah sepanjang jarak lintas lapisan kumparan dengan menggunakan persamaan (2-28):

$$k_b = \frac{ki}{1-b}$$

$$k_b = \frac{0,00336}{1 - 0,99}$$

$$k_b = 0,033 \text{ watt.cm}^{-1}\text{C}^{-1}$$

lebar kumparan :

$$l = [0,065 + (2 \times 0,00215) + 0,08]$$

$$= 0,185 \text{ cm}$$

Tebal kumparan :

$$\begin{aligned} w &= [53 + (2 \times 0,00215) + 0,08] \\ &= 53,12 \text{ cm} \end{aligned}$$

kenaikan temperatur kumparan pada transformator distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-26) :

$$\begin{aligned} t_{dk} &= \frac{(n \times 10^{-6}) J \times (lw) \times (ab)}{8 [k_a \left[ \frac{w}{l} \right] + k_b \left[ \frac{l}{w} \right]]} \\ t_{dk} &= \frac{(0,826 \times 10^{-6}) \Omega \text{cm} \times (319,2 \text{ Acm}^{-2})^2 \times (53,12 \text{ cm} \times 0,185 \text{ cm}) \times (0,0396)}{8 [(0,00351 \text{ watt.cm}^{-1}\text{C}^{-1} \times 278,135) + (0,033 \text{ watt.cm}^{-1}\text{C}^{-1} \times 0,00348)]} \\ &= 0,032^\circ\text{C} \end{aligned}$$

#### 4.2.4 Kenaikan temperatur transformator dan titik panas pada transformator

##### 1. Sisi tegangan tinggi

Kenaikan temperatur transformator berdasarkan sifat termal adalah penjumlahan dari kenaikan temperatur isolasi, minyak pendingin dan kenaikan temperatur kumparan dengan menggunakan persamaan (2-32) :

$$\begin{aligned} T_m &= t_{di} + t_{dm} + t_{dk} \\ T_m &= 2,2921 + 50 + 0,6071 \\ &= 52,89^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Titik panas pada transformator dapat dihitung berdasarkan sifat termal pada suhu lingkungan  $28^\circ\text{C}$  dapat dihitung dengan persamaan (2-33):

$$\begin{aligned} T_{d0} &= t_d + t_{d\text{minyak}} \\ T_{d0} &= 28 + 52,8992^\circ\text{C} \\ &= 80,89^\circ\text{C} \end{aligned}$$

##### 2. Sisi tegangan rendah

Kenaikan temperatur transformator berdasarkan sifat termal adalah penjumlahan dari kenaikan temperatur isolasi, minyak pendingin dan kenaikan temperatur kumparan dengan menggunakan persamaan (2-32) :

$$\begin{aligned} T_m &= t_{di} + t_d + t_d \\ T_m &= 4,0901 + 50 + 0,0325 \\ &= 54,12 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Titik panas pada transformator dapat dihitung berdasarkan sifat termal pada suhu lingkungan 30°C dapat dihitung dengan persamaan (2-33):

$$\begin{aligned} T_{d0} &= t_{da} + T_m \\ T_{d0} &= 28 + 54,1226 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 82,12 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

#### 4.2.5 Analisis hasil perhitungan

Pada transformator distribusi 20 MVA dapat dianalisis untuk pengaruh karakteristik pada beban 50% sampai 100% pada kenaikan suhu 50°C dan rata-rata suhu lingkungan 28°C dengan menggunakan Microsoft Excel ditunjukkan pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Kenaikan Temperatur Minyak Sisi Tegangan Tinggi**

No	Beban (%)	Total Losses (watt)	NoLoad Losses (watt)	Load Losses (watt)	$T_{di}$ (°C)	$T_{dm}$ (°C)	$T_{dk}$ (°C)	Kenaikan $T_m$ (°C)	Titik Panas (°C)
1	100	144500	14500	130000	2,29	50	0,6072	52,89	80,89
2	95	130411	14500	123500	2,18	50	0,6072	52,78	80,78
3	90	117045	14500	117000	2,06	50	0,6072	52,67	80,67
4	85	104401	14500	110500	1,95	50	0,6072	52,55	80,55
5	80	92480	14500	104000	1,85	50	0,6072	52,44	80,44
6	75	81281	14500	97500	1,83	50	0,6072	52,32	80,32
7	70	70805	14500	91000	1,72	50	0,6072	52,21	80,21
8	65	61051	14500	84500	1,60	50	0,6072	52,09	80,09
9	60	52020	14500	78000	1,49	50	0,6072	52,98	80,98
10	55	43711	14500	71500	1,38	50	0,6072	51,86	80,86
11	50	36125	14500	65000	1,26	50	0,6072	51,75	80,75

**Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Kenaikan Temperatur Minyak Sisi Tegangan Rendah**

No	Beban (%)	Total Losses (watt)	NoLoad Losses (watt)	Load Losses (watt)	$T_{di}$ (°C)	$T_{dm}$ (°C)	$T_{dk}$ (°C)	Kenaikan $T_m$ (°C)	Titik Panas (°C)
1	100	144500	14535	130000	4,09	50	0,0040	54,09	82,09
2	95	130411	14535	123500	3,88	50	0,0040	53,89	81,89
3	90	117045	14535	117000	3,68	50	0,0040	53,68	81,68
4	85	104401	14535	110500	3,47	50	0,0040	53,48	81,48
5	80	92480	14535	104000	3,27	50	0,0040	53,28	81,27
6	75	81281	14535	97500	3,06	50	0,0040	53,07	81,07
7	70	70805	14535	91000	2,86	50	0,0040	52,87	80,86
8	65	61051	14535	84500	2,65	50	0,0040	52,66	80,66
9	60	52020	14535	78000	2,45	50	0,0040	52,46	80,45
10	55	43711	14535	71500	2,25	50	0,0040	52,25	80,25
11	50	36125	14535	65000	1,26	50	0,0040	52,05	80,04

Dari Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 dapat dianalisis secara perhitungan karakteristik beban berpengaruh pada temperatur transformator. Saat kondisi beban penuh kenaikan temperaturnya semakin tinggi dari pada kondisi beban 50%. Perhitungan tersebut berdasarkan material yang digunakan pada transformator distribusi dengan desain sistem pendingin ONAN. Dapat di kategorikan hasil perhitungan desain pada transformator diatribusi sesuai dengan standart IEC 60076-2, kondisi minyak maksimal tidak melebihi suhu 60°C.

### 4.3 Metode Pengujian Kenaikan Suhu Minyak

Pada pengujian kenaikan suhu dibagi menjadi dua pengujian yaitu pengujian kenaikan suhu pada minyak dan tahanan kumparan panas. Sebelum dilakukan pengujian tersebut, terlebih dahulu dilakukan pengujian rutin. Pengujian

#### 4.3.1 Pengujian Rutin Transformator

Sebelum transformator diuji kenaikan suhunya, terlebih dahulu dilakukan pengujian rutin untuk mendapatkan hasil yang baik dan sesuai dengan spesifikasi terutama pada

kerugian transformator tersebut. Karena besarnya hasil pengujian rugi-rugi tersebut akan mempengaruhi hasil pengujian kenaikan suhu.

Pengujian rutin yang pertama adalah pengujian tahanan isolasi, dilakukan untuk mengetahui besarnya tahanan isolasi pada transformator, alat pengujian yang digunakan adalah magger, Hasil pengujian tahanan isolasi ditunjukkan pada Tabel 4.4

**Tabel 4.4 Hasil pengujian tahanan isolasi**

Terminal	Hasil Uji	Standar Minimal
HV- G	2500 M $\Omega$	670 M $\Omega$
LV- G	2150 M $\Omega$	230 M $\Omega$
HV- LV	4530 M $\Omega$	670 M $\Omega$

Berdasarkan hasil pengujian tahanan isolasi dapat di analisis bahwa tahanan isolasi pada transformator distribusi 20 MVA nilainya masih melebihi dari standar yang ditetapkan PT Trafoindo Prima Perkasa.

Pengujian rutin yang kedua adalah pengujian perbandingan tegangan. Pengujian perbandingan tegangan dilakukan berdasarkan arah vektor grup pada transformator. alat pengujian yang digunakan adalah *TTR (Transformator Turn Ratio)*. Hasil pengujian perbandingan tegangan ditunjukkan pada Tabel 4.5

**Tabel 4.5 Pengujian perbandingan tegangan**

TAP	1	2	3	4	5
Hasil	1,837	1,793	1,750	1,706	1,662
Min	1,828	1,784	1,741	1,697	1,654
maks	1,846	1,802	1,758	1,741	1,670

Berdasarkan pengujian perbandingan Hitung semua hasil perhitungan dari tap satu sampai dengan tap lima dan pada perhitungan berlaku nilai toleransi  $\pm 0,5\%$ . Hasil yang diperoleh menunjukkan rasio perbandingan tidak melebihi toleransi dari PT Trafoindo Prima Perkasa.

Pengujian rutin yang ketiga adalah pengujian resistansi kumparan. Pengujian resistansi kumparan bertujuan untuk mencari nilai tahanan kumparan primer dan sekunder. Serta untuk mengetahui keseimbangan antar fase dari transformator. alat pengujian yang

digunakan adalah *measurement or winding resistance*. Hasil pengujian tahanan kumparan konduktor dapat ditunjukkan Tabel 4.6

**Tabel 4.6 Pengujian tahanan konduktor kumparan**

Sisi primer	Sisi sekunder
0,1010 $\Omega$	0,008148 $\Omega$

Kesimpulan hasil pengujian tahanan kumparan adalah keseimbangan antara ketiga fasanya yaitu tidak lebih dan tidak kurang 3 % dari rata-rata pengukuran.

Pengujian rutin yang keempat adalah pengujian rugi-rugi. Pengujian rugi rugi bertujuan untuk mengetahui rugi besi dan rugi tembaga saat beban nol transformator terhadap kapasitas. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.7

**Tabel 4.7 Pengujian rugi-rugi**

Parameter	Hasil uji	spesifikasi
Rugi inti	8456 watt	14500 watt
Rugi tembaga 75 <sup>0</sup> C	148710 watt	130000 watt

Kesimpulan hasil pengujian untuk rugi rugi inti dan rugi tembaga tidak masuk dari standar yang ditetapkan oleh PT Trafoindo Prima Perkasa berdasarkan SPLN 50/97, sehingga perlu dilakukan pengantian untuk semua material dari inti besi dan tembaganya.

Pengujian rutin yang kelima adalah pengujian ketahanan transformator. pengujian ketahanan transformator bertujuan untuk mengetahui mutu isolasi dan daya tahan transformator terhadap tegangan tembus isolasi. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.8

**Tabel 4.8 Pengujian ketahanan Isolasi**

Jenis Tegangan Uji	Hasil Pengujian
Tegangan Aplied HV(50kV-1s), LV(3kV-1s)	Tahan
Tegangan induksi 2 X tegangan nominal antar phasa	Tahan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian ketahanan tegangan terapan dan induksi yaitu transformator tidak mengalami kegagalan dalam pengujian berdasarkan standart yang ditetapkan oleh PT Trafoindo Prima Perkasa.

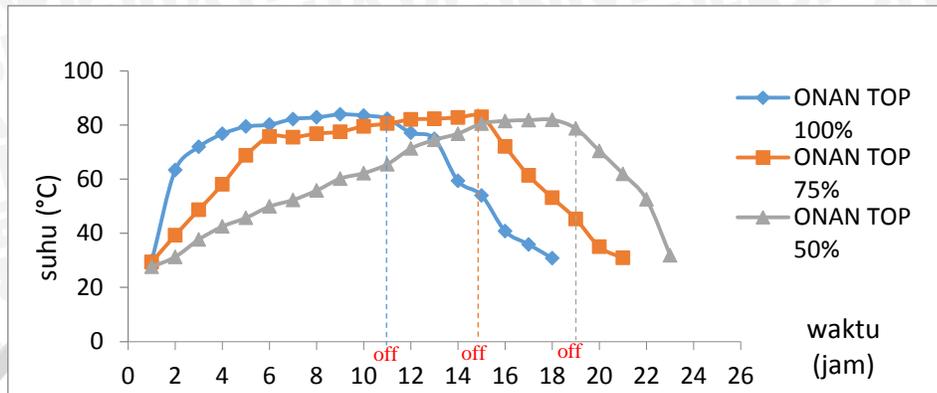
#### 4.3.2 Pengujian Kenaikan Suhu (*Temperatur Rise Test*)

Pengujian suhu pada minyak yang dilakukan analisa adalah pengujian minyak bagian atas (*Top Oil*) menurut standar IEC 60076. Pengujian minyak bagian atas merupakan hasil rata-rata dari temperatur minyak bagian atas dan bagian tengah pada sirip-sirip radiator. Pengujian minyak bagian atas pada transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dengan karakteristik pembebanan 100%, 75% dan 50% ditunjukkan pada tabel 4.9

**Tabel 4.9 kenaikan suhu minyak bagian atas dengan karakteristik pembebanan**

measuring time (jam)	ONAN Karakteristik Pembebanan (°C)			ONAF Karakteristik Pembebanan (°C)		
	TOP 100%	TOP 75%	TOP 50%	TOP 100%	TOP 75%	TOP 50%
1	29.7	29.4	27.6	29.5	27.6	27.4
2	63.4	39.3	31.3	39.8	29.9	28.7
3	71.9	48.7	37.7	48.5	34.2	33.7
4	76.7	58.1	42.5	54	41.8	37.5
5	79.4	68.7	45.7	60.3	45.4	41.4
6	80.1	75.7	49.9	64.3	49.4	44
7	82.2	75.5	52.3	68.5	52.8	47.2
8	82.8	76.8	55.8	71	56.4	49.3
9	83.9	77.5	60.2	71.7	60.2	52.6
10	83.5	79.5	62.2	72.4	62.2	56.3
11	82.3	80.5	65.5	73.1	65.5	60.3
12	77.1	82	71.3	69.4	68.5	61.8
13	74.9	82.3	74.5	59.3	71.6	63.8
14	59.3	82.7	76.8	53	72.5	65
15	54	83	80.5	46	72.9	67.8
16	40.8	72.0	81.5	36.5	62.1	70.1
17	35.9	61.3	81.8		52.7	72
18	30.8	53.1	81.9		43.1	72.6
19		45.3	78.7		33.7	73.5
20		35.0	70.4			57.2
21		30.9	62			43.6
22			52.5			34
23			31.9			

Dari hasil pengujian kenaikan suhu minyak bagian atas (*Top Oil*) berdasarkan Tabel 4.9 pada transformator distribusi 20 MVA pada sistem pendingin ONAN (*Oil Natural Air Natural*) dengan karakteristik pembebanan ditunjukkan pada Gambar 4.2



**Gambar 4.2 Kenaikan suhu minyak bagian atas pada sistem pendingin ONAN**

Berdasarkan Gambar 4.2 kenaikan suhu minyak pada transformator distribusi 20 MVA dipengaruhi dengan karakteristik pembebanan. Pada kondisi 1 jam pertama pembebanan 100% suhu  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $29,7^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% suhu  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $29,4^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% suhu  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $2,76^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 2 jam berikutnya pembebanan 100% suhu  $29,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $63,4^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% suhu  $29,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $39,3^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% suhu  $27,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $31,3^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 3 jam berikutnya pembebanan 100% suhu  $63,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $71,9^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% suhu  $39,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $48,7^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% suhu  $31,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $37,7^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 4 jam berikutnya pembebanan 100% suhu  $71,9^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $79,4^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% suhu  $48,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $58,1^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% suhu  $37,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $42,5^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 5 jam berikutnya pembebanan 100% suhu  $75,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $79,4^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% suhu  $58,1^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $68,7^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% suhu  $42,5^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $45,7^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 6 jam berikutnya pembebanan 100% suhu  $79,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $80,1^{\circ}\text{C}$  merupakan batas suhu mengalami kenaikan suhu secara pelan, pembebanan 75% suhu  $68,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $75,7^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% suhu  $45,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $49,9^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 7 jam berikutnya pembebanan 100% suhu  $80,1^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $82,2^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% suhu  $75,7^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $75,5^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% suhu  $49,9^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $52,3^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 8 jam berikutnya pembebanan 100% suhu  $82,2^{\circ}\text{C}$  turun

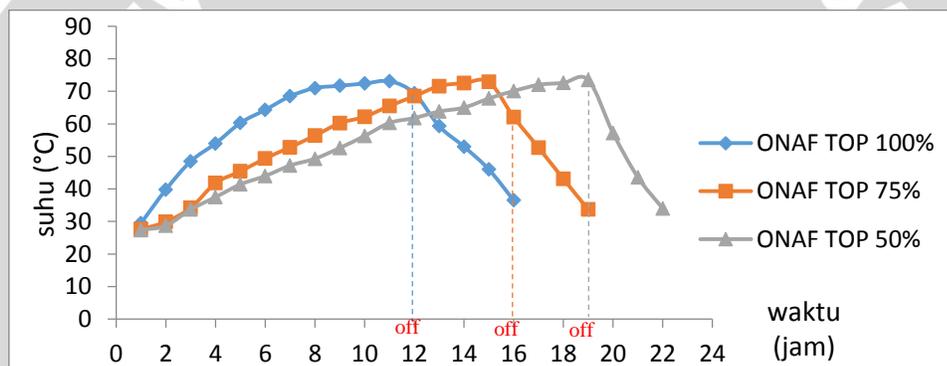
menjadi 82,8°C, pembebanan 75% suhu 75,5°C naik menjadi 76,8°C, dan pembebanan 50% suhu 52,3°C naik menjadi 55,8°C. Pada kondisi 9 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 82,8°C naik menjadi 83,9°C, pembebanan 75% suhu 76,8°C naik menjadi 77,5°C, dan pembebanan 50% suhu 55,8°C naik menjadi 60,2°C. Pada kondisi 10 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 83,9°C turun menjadi 83,5°C, pembebanan 75% suhu 77,5°C naik menjadi 79,5°C, dan pembebanan 50% suhu 60,2°C naik menjadi 62,2°C.

Pada kondisi 11 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 83,5°C turun menjadi 82,3°C, pembebanan 75% suhu 79,5°C naik menjadi 80,5°C merupakan batas suhu mengalami kenaikan suhu secara pelan, dan pembebanan 50% suhu 62,2°C naik menjadi 65,5°C. Pada kondisi 12 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 82,3°C turun menjadi 77,1°C, pembebanan 75% suhu 80,5°C naik menjadi 82,0°C kemudian beban dilepas, dan pembebanan 50% suhu 65,5°C naik menjadi 71,3°C. Pada kondisi 13 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 77,1°C turun menjadi 74,9°C, pembebanan 75% suhu 82,0°C naik menjadi 82,3°C, dan pembebanan 50% suhu 71,3°C naik menjadi 74,5°C. Pada kondisi 14 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 74,9°C turun menjadi 59,3°C, pembebanan 75% suhu 82,3°C naik menjadi 82,7°C, dan pembebanan 50% suhu 74,5°C naik menjadi 76,8°C. Pada kondisi 15 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 59,3°C turun menjadi 54,0°C, pembebanan 75% suhu 82,7°C naik menjadi 83,0°C, dan pembebanan 50% suhu 76,8°C naik menjadi 80,5°C merupakan batas suhu mengalami kenaikan suhu secara pelan.

Pada kondisi 16 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 54,0°C turun menjadi 40,8°C, pembebanan 75% suhu 83,0°C turun menjadi 72,0°C kemudian beban dilepas, dan pembebanan 50% suhu 80,5°C naik menjadi 81,5°C. Pada kondisi 17 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 40,8°C turun menjadi 35,9°C, pembebanan 75% suhu 72,0°C turun menjadi 61,3°C, dan pembebanan 50% suhu 81,5°C naik menjadi 81,8°C. Pada kondisi 18 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 35,9°C turun menjadi 30,8°C, pembebanan 75% suhu 61,3°C turun menjadi 53,1°C, dan pembebanan 50% suhu 81,8°C naik menjadi 81,9°C. Pada kondisi 19 jam berikutnya pembebanan 75% suhu 53,1°C turun menjadi 45,3°C, dan pembebanan 50% suhu 81,9°C turun menjadi 78,7°C. Pada kondisi 20 jam berikutnya pembebanan 75% suhu 45,3°C turun menjadi 35,0°C, dan pembebanan 50% suhu 78,7°C turun menjadi 70,4°C kemudian beban dilepas.

Pada kondisi 21 jam berikutnya pembebanan 75% suhu 35,0°C turun menjadi 30,9°C, dan pembebanan 50% suhu 70,4°C turun menjadi 62,0°C. Pada kondisi 22 jam berikutnya pembebanan 50% suhu 62,0°C turun menjadi 52,5°C. Pada kondisi 23 jam berikutnya pembebanan 50% suhu 52,5°C turun menjadi 31,9°C. pada setingan alarm untuk kenaikan suhu minyak bagian atas pada PT. Trafoindo Prima Perkasa adalah 85°C dan akan memutuskan dalam beroperasi (*trip*) pada suhu 95°C. Setingan untuk minyak berdasarkan *IEEE Satandard publication 1* tentang isolasi kelas A tidak boleh melebihi 105°C.

Berdasarkan hasil pengujian kenaikan suhu minyak bagian atas (*Top Oil*) berdasarkan Tabel 4.9 pada transformator distribusi 20 MVA pada sistem pendingin ONAF (*Oil Natural Air Forced*) dengan karakteristik pembebanan ditunjukkan pada Gambar 4.3



**Gambar 4.3 Kenaikan suhu minyak bagian atas pada sistem pendingin ONAF**

Berdasarkan Gambar 4.3 pada transformator distribusi 20 MVA dipengaruhi karakteristik pembebanan 100%, merupakan perbandingan sistem pendingin ONAN dan ONAF. Pada kondisi 1 jam pertama pembebanan 100% suhu 0°C naik menjadi 29,5°C, pembebanan 75% suhu 0°C naik menjadi 27,6°C, dan pembebanan 50% suhu 0°C naik menjadi 27,4°C. Pada kondisi 2 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 29,5°C naik menjadi 39,8°C, pembebanan 75% suhu 27,6°C naik menjadi 29,8°C, dan pembebanan 50% suhu 27,4°C naik menjadi 28,7°C. Pada kondisi 3 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 29,8°C naik menjadi 48,5°C, pembebanan 75% suhu 29,8°C naik menjadi 34,2°C, dan pembebanan 50% suhu 28,7°C naik menjadi 33,7°C. Pada kondisi 4 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 48,5°C naik menjadi 54,0°C, pembebanan 75% suhu 34,2°C naik menjadi 41,8°C, dan pembebanan 50% suhu 33,7°C naik menjadi 37,5°C. Pada kondisi 5

jam berikutnya pembebanan 100% suhu 54,0°C naik menjadi 60,3°C, pembebanan 75% suhu 41,8°C naik menjadi 45,4°C, dan pembebanan 50% suhu 37,5°C naik menjadi 41,4°C.

Pada kondisi 6 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 60,3°C naik menjadi 64,3°C, pembebanan 75% suhu 45,4°C naik menjadi 49,4°C, dan pembebanan 50% suhu 41,4°C naik menjadi 44,0°C. Pada kondisi 7 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 64,3°C naik menjadi 68,5°C, pembebanan 75% suhu 49,4°C naik menjadi 52,8°C, dan pembebanan 50% suhu 44,0°C naik menjadi 47,2°C. Pada kondisi 8 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 68,5°C naik menjadi 71,0°C, pembebanan 75% suhu 52,8°C naik menjadi 56,4°C merupakan batas suhu mengalami kenaikan suhu secara pelan, dan pembebanan 50% suhu 47,2°C naik menjadi 49,3°C. Pada kondisi 9 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 71,0°C naik menjadi 71,7°C, pembebanan 75% suhu 56,4°C naik menjadi 60,2°C, dan pembebanan 50% suhu 49,3°C naik menjadi 52,6°C. Pada kondisi 10 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 71,7°C naik menjadi 72,4°C, pembebanan 75% suhu 60,2°C naik menjadi 62,2°C, dan pembebanan 50% suhu 52,6°C naik menjadi 56,3°C.

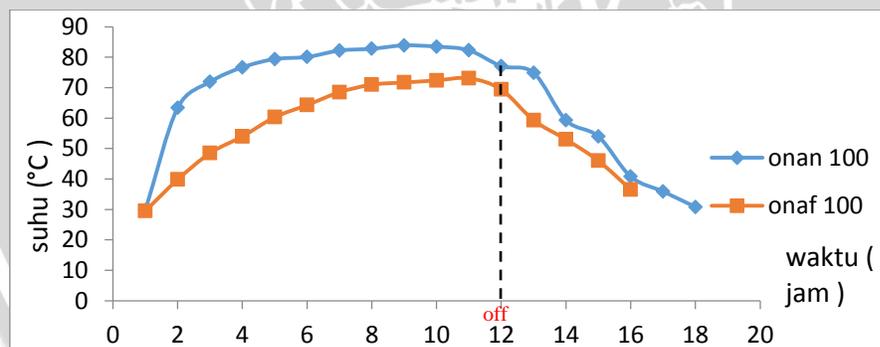
Pada kondisi 11 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 72,4°C naik menjadi 73,1°C, pembebanan 75% suhu 62,2°C naik menjadi 65,5°C, dan pembebanan 50% suhu 56,3°C naik menjadi 60,3°C. Pada kondisi 12 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 73,1°C turun menjadi 69,4°C kemudian beban dilepas, pembebanan 75% suhu 65,5°C naik menjadi 68,5°C, dan pembebanan 50% suhu 60,3°C naik menjadi 61,8°C. Pada kondisi 13 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 69,4°C turun menjadi 59,3°C, pembebanan 75% suhu 68,5°C naik menjadi 71,6°C merupakan batas suhu mengalami kenaikan suhu secara pelan, dan pembebanan 50% suhu 61,8°C naik menjadi 63,8°C. Pada kondisi 14 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 59,3°C turun menjadi 53,0°C, pembebanan 75% suhu 71,6°C naik menjadi 72,5°C, dan pembebanan 50% suhu 63,8°C naik menjadi 65,0°C. Pada kondisi 15 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 53,0°C turun menjadi 46,0°C, pembebanan 75% suhu 72,5°C naik menjadi 72,9°C, dan pembebanan 50% suhu 65,0°C naik menjadi 67,8°C.

Pada kondisi 16 jam berikutnya pembebanan 100% suhu 46,0°C turun menjadi 36,5°C, pembebanan 75% suhu 72,9°C turun menjadi 62,1°C kemudian beban dilepas, dan pembebanan 50% suhu 65,0°C naik menjadi 70,1°C. Pada kondisi 17 jam berikutnya

pembebanan 75% suhu  $33,1^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $24,0^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% suhu  $40,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $42,0^{\circ}\text{C}$  merupakan batas suhu mengalami kenaikan suhu secara pelan. Pada kondisi 18 jam berikutnya pembebanan 75% suhu  $24,0^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $43,1^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% suhu  $42,0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $72,6^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 19 jam berikutnya pembebanan 75% suhu  $43,1^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $33,7^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% suhu  $72,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $73,5^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 20 jam berikutnya pembebanan 50% suhu  $73,5^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $57,2^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 21 jam berikutnya pembebanan 50% suhu  $57,2^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $43,6^{\circ}\text{C}$  kemudian beban dilepas. Pada kondisi 22 jam berikutnya pembebanan 50% suhu  $43,6^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $34,0^{\circ}\text{C}$ . pada setingan alarm untuk kenaikan suhu minyak bagian atas pada PT. Trafoindo Prima Perkasa adalah  $85^{\circ}\text{C}$  dan akan memutuskan dalam beroperasi (*trip*) pada suhu  $95^{\circ}\text{C}$ . Setingan untuk minyak berdasarkan *IEEE Satandart publication 1* tentang isolasi kelas A tidak boleh melebihi  $105^{\circ}\text{C}$ .

Berdasarkan hasil pengujian kenaikan suhu minyak bagian atas yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 pada transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dengan karakteristik pembebanan 100% ditunjukkan pada Gambar 4.4



**Gambar 4.4 Kenaikan suhu minyak bagian atas dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dengan karakteristik pembebanan 100%**

Berdasarkan Gambar 4.4 pada transformator distribusi 20 MVA pengujian kenaikan suhu minyak bagian atas dipengaruhi karakteristik pembebanan 100%. Pada kondisi 1 jam pertama dengan sistem pendingin ONAN suhu  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $29,7^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $29,5^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 2 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $29,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $63,4^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $29,5^{\circ}\text{C}$

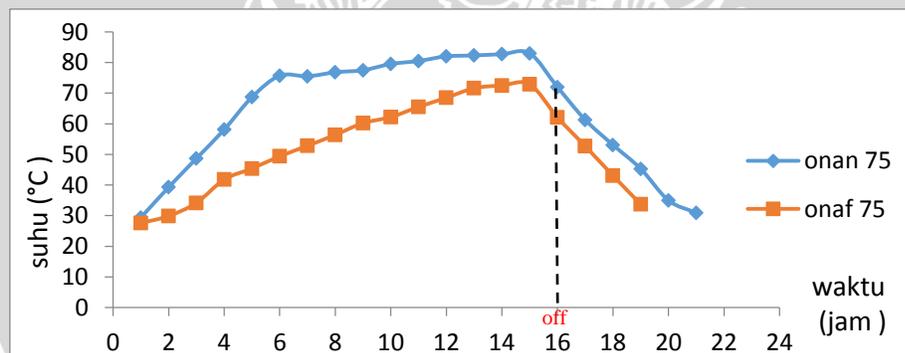
naik menjadi 39,8°C. Pada kondisi 3 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 63,4°C naik menjadi 71,9°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 39,8°C naik menjadi 48,5°C. Pada kondisi 4 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 71,9°C naik menjadi 76,7°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 48,5°C naik menjadi 54,0°C. Pada kondisi 5 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 76,7°C naik menjadi 79,4°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 54,0°C naik menjadi 60,3°C.

Pada kondisi 6 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 79,4°C naik menjadi 80,1°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 60,3°C naik menjadi 64,3°C. Pada kondisi 7 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 80,1°C naik menjadi 82,2°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 64,3°C naik menjadi 68,5°C. Pada kondisi 8 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 82,2°C naik menjadi 82,8°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 68,5°C naik menjadi 71,0°C. Pada kondisi 9 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 82,8°C naik menjadi 83,9°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 71,0°C naik menjadi 71,7°C. Pada kondisi 10 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 83,9°C turun menjadi 83,5°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 71,7°C naik menjadi 72,4°C.

Pada kondisi 11 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 83,5°C naik menjadi 82,3°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 72,4°C naik menjadi 73,1°C. Pada kondisi 12 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu 73,1°C turun menjadi 69,4°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu 82,3°C turun menjadi 77,1°C. Pada kondisi 13 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu 69,4°C turun menjadi 59,3°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu 77,1°C turun menjadi 74,9°C. Pada kondisi 14 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu 59,3°C turun menjadi 53,0°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu 74,9°C turun menjadi 59,3°C. Pada kondisi 15 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu 53,0°C turun menjadi 46,0°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu 59,3°C turun menjadi 54,0°C.

Pada kondisi 16 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu  $46,0^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $36,5^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu  $54,0^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $40,8^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 17 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu dalam kondisi mati dan pada sistem pendingin ONAN suhu  $40,8^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $35,9^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 18 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $7,9^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $2,9^{\circ}\text{C}$ . Dapat disimpulkan bahwa pada sistem pendingin ONAN suhu lebih cepat naik dari pada sistem pendingin ONAF dan pada sistem pendingin ONAF saat kondisi beban mati, suhu akan lebih cepat turun dari pada sistem pendingin ONAN. pada setingan alarm untuk kenaikan suhu minyak bagian atas pada PT. Trafoindo Prima Perkasa adalah  $85^{\circ}\text{C}$  dan akan memutuskan dalam beroperasi (*trip*) pada suhu  $95^{\circ}\text{C}$ . Setingan untuk minyak berdasarkan *IEEE Satandard publication 1* tentang isolasi kelas A tidak boleh melebihi  $105^{\circ}\text{C}$ .

Berdasarkan hasil pengujian kenaikan suhu minyak bagian atas yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 pada transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dengan karakteristik pembebanan 75% ditunjukkan pada Gambar 4.5



**Gambar 4.5 Kenaikan suhu minyak bagian atas dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dengan karakteristik pembebanan 75%**

Berdasarkan Gambar 4.5 pada transformator distribusi 20 MVA pengujian kenaikan suhu minyak bagian atas dipengaruhi karakteristik pembebanan 75%. Pada kondisi 1 jam pertama dengan sistem pendingin ONAN suhu  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $29,4^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $27,6^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 2 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $29,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $39,3^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $27,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $29,9^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 3 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu

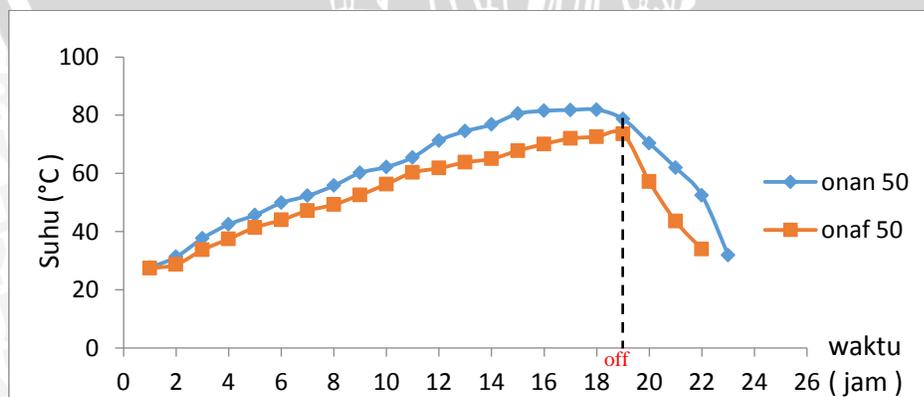
39,3°C naik menjadi 48,7°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 29,9°C naik menjadi 34,2°C. Pada kondisi 4 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 48,7°C naik menjadi 58,1°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 34,2°C naik menjadi 41,8°C. Pada kondisi 5 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 58,1°C naik menjadi 68,7°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 41,8°C naik menjadi 45,4°C.

Pada kondisi 6 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 68,7°C naik menjadi 75,7°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 45,4°C naik menjadi 49,4°C. Pada kondisi 7 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 75,7°C turun menjadi 75,5°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 49,4°C naik menjadi 52,8°C. Pada kondisi 8 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 75,5°C naik menjadi 76,8°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 52,8°C naik menjadi 56,4°C. Pada kondisi 9 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 76,8°C naik menjadi 77,5°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 56,4°C naik menjadi 60,2°C. Pada kondisi 10 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 77,5°C naik menjadi 79,5°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 60,2°C naik menjadi 62,2°C.

Pada kondisi 11 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 79,5°C naik menjadi 80,5°C lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 62,2°C naik menjadi 65,5°C. Pada kondisi 12 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 80,5°C naik menjadi 82,0°C lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 66,6°C naik menjadi 68,5°C. Pada kondisi 13 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 82,0°C naik menjadi 82,3°C lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 68,5°C naik menjadi 71,6°C. Pada kondisi 14 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 82,3°C naik menjadi 82,7°C lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 71,6°C naik menjadi 72,5°C. Pada kondisi 15 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu 82,7°C naik menjadi 83,0°C lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu 72,5°C naik menjadi 72,9°C.

Pada kondisi 16 jam berikutnya kedua beban dilepas dengan sistem pendingin ONAF suhu  $72,9^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $62,1^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu  $82,7^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $72,0^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 17 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu  $62,1^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $52,7^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu  $72,0^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $61,3^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 18 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu  $52,7^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $43,1^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu  $61,3^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $53,1^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 19 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu  $43,1^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $33,7^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu  $53,1^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $45,3^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 20 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $45,3^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $35^{\circ}\text{C}$  dan sistem pendingin ONAF suhu dalam kondisi mati.

Pada kondisi 21 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $35^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $30,9^{\circ}\text{C}$ . Kesimpulannya bahwa pada sistem pendingin ONAN suhu lebih cepat naik dari pada sistem pendingin ONAF dan pada sistem pendingin ONAF saat kondisi beban mati, suhu akan lebih cepat turun dari pada sistem pendingin ONAN. pada setingan alarm untuk kenaikan suhu minyak bagian atas pada PT. Trafoindo Prima Perkasa adalah  $85^{\circ}\text{C}$  dan akan memutus dalam beroperasi (*trip*) pada suhu  $95^{\circ}\text{C}$ . Setingan untuk minyak berdasarkan *IEEE Satandard publication 1* tentang isolasi kelas A tidak boleh melebihi  $105^{\circ}\text{C}$ . Hasil pengujian kenaikan suhu minyak bagian atas yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 pada transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dengan karakteristik pembebanan 50% ditunjukkan pada Gambar 4.6



**Gambar 4.6 Kenaikan suhu minyak bagian atas dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dengan karakteristik pembebanan 50%**

Berdasarkan Gambar 4.6 hasil pengujian kenaikan suhu minyak bagian atas pada transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dipengaruhi karakteristik pembebanan. Pada kondisi 1 jam pertama dengan sistem pendingin ONAN suhu  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $27,6^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $27,4^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 2 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $27,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $31,3^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $27,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $28,7^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 3 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $31,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $37,7^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $28,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $33,7^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 4 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $37,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $42,5^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $33,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $37,5^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 5 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $42,5^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $45,7^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $37,5^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $41,4^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 6 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $45,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $49,9^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $41,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $44^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 7 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $49,9^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $52,3^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $44^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $47,2^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 8 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $52,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $55,8^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $47,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $49,3^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 9 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $55,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $60,2^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $49,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $52,6^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 10 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $60,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $62,2^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $52,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $56,3^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 11 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $62,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $65,5^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik suhu dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $56,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $60,3^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 12 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $65,5^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $71,3^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $60,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $61,8^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 13 jam berikutnya dengan

sistem pendingin ONAN suhu  $71,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $74,5^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $61,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $63,8^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 14 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $74,5^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $76,8^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $63,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $65,0^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 15 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $76,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $80,5^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $65,0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $67,8^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 16 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $80,5^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $81,5^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $67,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $70,1^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 17 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $81,5^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $81,8^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $70,1^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $72^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 18 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $81,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $81,9^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $72^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $72,6^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 19 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN suhu  $81,9^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $78,8^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF suhu  $72,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $73,5^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 20 jam berikutnya kedua beban dilepas dengan sistem pendingin ONAF suhu  $73,5^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $57,2^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu  $78,8^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $70,4^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 21 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu  $57,2^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $43,6^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu  $70,4^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $62^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 22 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF suhu  $43,6^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $34^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN suhu  $62^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $52,5^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 23 jam berikutnya sistem pendingin ONAN suhu  $52,5^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $31,9^{\circ}\text{C}$  dan sistem pendingin ONAF dalam kondisi mati.

Kesimpulannya bahwa pada sistem pendingin ONAN suhu lebih cepat naik dari pada sistem pendingin ONAF dan pada sistem pendingin ONAF saat kondisi beban mati, suhu akan lebih cepat turun dari pada sistem pendingin ONAN. pada setingan alarm untuk kenaikan suhu minyak bagian atas pada PT. Trafoindo Prima Perkasa adalah  $85^{\circ}\text{C}$  dan akan

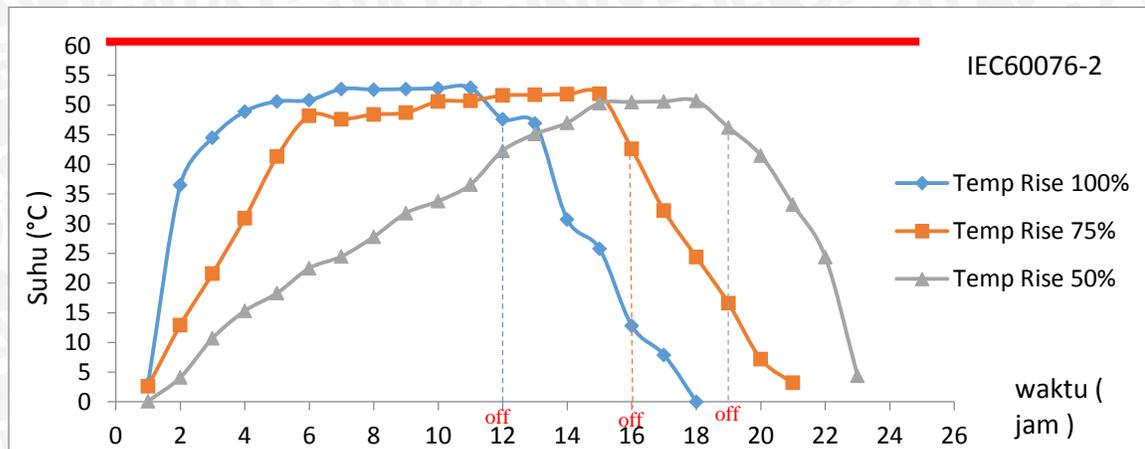
memutus dalam beroperasi (*trip*) pada suhu 95°C. Setingan untuk minyak berdasarkan *IEEE Satandart publication 1* tentang isolasi kelas A tidak boleh melebihi 105°C.

Setelah dilakukan pengujian rutin maka akan dilakukan pengujian kenaikan suhu (*temperatur rise test*) pada transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dengan menggunakan karakteristik beban 100%, 75%, dan 50% berdasarkan IEC 60076 pengujian kenaikan minyak bagian atas (*Top Oil*) dipengaruhi suhu lingkungan untuk temperatur rise. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.10

**Tabel 4.10 Temperature Rise-Minyak dengan karakteristik pembeban**

Measuring time	ONAN Karakteristik Beban ( °C )			ONAF Karakteristik Beban ( °C )		
	100%	75%	50%	100%	75%	50%
1	3	2,6	0,1	2,9	0,8	0,3
2	36,5	12,9	4,1	13,2	3,2	1,7
3	44,5	21,6	10,7	21,3	7,2	6,6
4	48,9	30,9	15,3	26,8	14,6	10,2
5	50,6	41,3	18,3	33	18	14
6	50,8	45	22,5	36,7	22	16,4
7	52,7	47,6	24,5	40,6	25,1	19,4
8	52,6	48,4	27,8	42,2	28,4	21,3
9	52,7	48,7	31,8	43,1	31,8	24,4
10	52,8	50,6	33,8	43,2	33,8	38,2
11	52,9	50,7	36,6	43,3	36,6	31,9
12	47,6	51,6	42,3	39,2	39,4	33,2
13	46,9	51,7	45,1	29,7	42,1	35,1
14	30,7	51,8	47	23,3	42,7	36,1
15	25,8	51,9	50,3	16,8	42,8	38,7
16	12,8	42,6	50,5	7,9	33,1	40,6
17	7,9	32,2	50,6	7,9	24	42
18	2,9	24,4	50,7		14,4	42,2
19		16,6	46,2		4,9	42,3
20		7,2	41,5			27,3
21		3,2	33,2			14,5
22			24,1			6,3
23			4,4			

Dari hasil pengujian kenaikan suhu berdasarkan data hasil pengujian dari Tabel 4.10 untuk masing-masing karakteristik pembebanan transformator diatribusi 20 MVA pada sistem pendingin ONAN (*Oil Natural Air Natural*) ditunjukkan pada Gambar 4.7



**Gambar 4.7** Pengujian kenaikan suhu minyak bagian atas dipengaruhi suhu lingkungan dengan menggunakan sistem pendingin ONAN.

Berdasarkan Gambar 4.7 kenaikan temperatur minyak pada transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dipengaruhi oleh karakteristik beban. Pada kondisi 1 jam pertama pembebanan 100% temperatur rise 0°C naik menjadi 3°C, pembebanan 75% temperatur rise 0°C naik menjadi 2,6°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 0°C naik menjadi 0,1°C. Pada kondisi 2 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 3°C naik menjadi 36,5°C, pembebanan 75% temperatur rise 2,6°C naik menjadi 12,9°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 0,1°C naik menjadi 4,1°C. Pada kondisi 3 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 36,5°C naik menjadi 44,5°C, pembebanan 75% temperatur rise 12,9°C naik menjadi 21,6°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 4,1°C naik menjadi 10,7°C. Pada kondisi 4 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 44,5°C naik menjadi 48,9°C, pembebanan 75% temperatur rise 21,6°C naik menjadi 30,9°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 10,7°C naik menjadi 15,3°C. Pada kondisi 5 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 48,9°C naik menjadi 50,6°C, pembebanan 75% temperatur rise 30,9°C naik menjadi 41,3°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 15,3°C naik menjadi 18,3°C.

Pada kondisi 6 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 50,6°C naik menjadi 50,8°C merupakan batas temperatur rise mengalami kenaikan suhu secara pelan, pembebanan 75% temperatur rise 41,3°C naik menjadi 45°C, dan pembebanan 50%

temperatur rise 18,3°C naik menjadi 22,5°C. Pada kondisi 7 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 50,8°C naik menjadi 52,7°C, pembebanan 75% temperatur rise 45°C naik menjadi 47,6°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 22,5°C naik menjadi 24,5°C. Pada kondisi 8 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 52,7°C turun menjadi 52,6°C, pembebanan 75% temperatur rise 47,6°C naik menjadi 48,4°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 22,5°C naik menjadi 24,5°C. Pada kondisi 9 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 52,6°C naik menjadi 52,8°C, pembebanan 75% temperatur rise 48,4°C naik menjadi 48,7°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 27,8°C naik menjadi 31,8°C. Pada kondisi 10 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 52,8°C naik menjadi 52,9°C, pembebanan 75% temperatur rise 48,7°C naik menjadi 50,6°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 31,8°C naik menjadi 33,8°C.

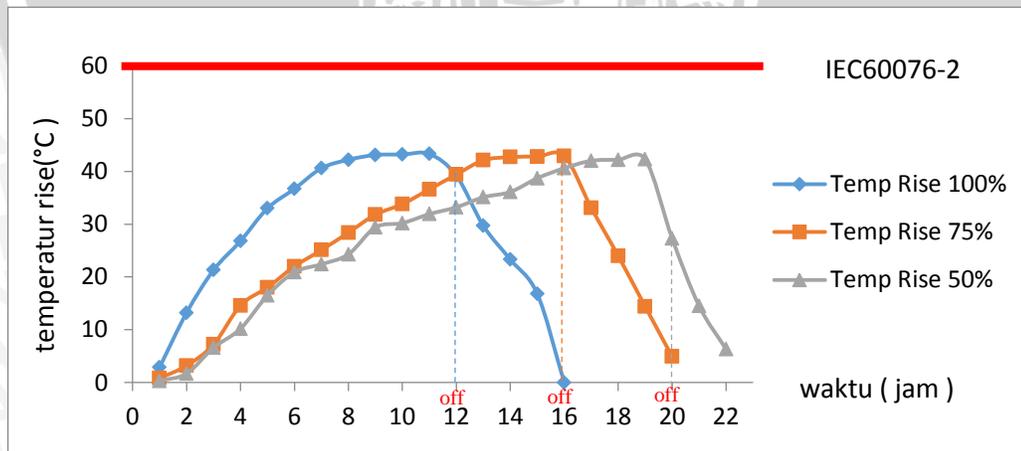
Pada kondisi 11 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 52,8°C naik menjadi 52,9°C, pembebanan 75% temperatur rise 50,6°C naik menjadi 50,7°C merupakan batas temperatur rise mengalami kenaikan suhu secara pelan, dan pembebanan 50% temperatur rise 33,8°C naik menjadi 36,6°C. Pada kondisi 12 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 52,9°C turun menjadi 47,6°C, pembebanan 75% temperatur rise 50,7°C naik menjadi 51,6°C kemudian beban dilepas, dan pembebanan 50% temperatur rise 36,6°C naik menjadi 42,3°C. Pada kondisi 13 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 47,6°C turun menjadi 46,9°C, pembebanan 75% temperatur rise 51,6°C naik menjadi 51,7°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 42,3°C naik menjadi 45,1°C. Pada kondisi 14 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 46,9°C turun menjadi 30,7°C, pembebanan 75% temperatur rise 51,7°C naik menjadi 51,8°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 45,1°C naik menjadi 47°C. Pada kondisi 15 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 30,7°C turun menjadi 25,8°C, pembebanan 75% temperatur rise 51,8°C naik menjadi 51,9°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 47°C naik menjadi 50,3°C merupakan batas temperatur rise mengalami kenaikan suhu secara pelan.

Pada kondisi 16 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 25,8°C turun menjadi 12,8°C, pembebanan 75% temperatur rise 51,9°C turun menjadi 42,6°C kemudian beban dilepas, dan pembebanan 50% temperatur rise 50,3°C naik menjadi 50,5°C. Pada kondisi 17 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 12,8°C turun menjadi 7,9°C,

pembebanan 75% temperatur rise 42,6°C turun menjadi 32,3°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 50,5°C naik menjadi 50,6°C. Pada kondisi 18 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 7,9°C turun menjadi 2,9°C, pembebanan 75% temperatur rise 32,6°C turun menjadi 24,4°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 50,6°C naik menjadi 50,7°C. Pada kondisi 19 jam berikutnya pembebanan 75% temperatur rise 24,4°C turun menjadi 16,6°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 50,7°C turun menjadi 46,2°C. Pada kondisi 20 jam berikutnya pembebanan 75% temperatur rise 16,6°C turun menjadi 7,2°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 46,2°C turun menjadi 41,5°C kemudian beban dilepas.

Pada kondisi 21 jam berikutnya pembebanan 75% temperatur rise 7,2°C turun menjadi 3,2°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 41,5°C turun menjadi 33,2°C. Pada kondisi 22 jam berikutnya pembebanan 50% temperatur rise 33,2°C turun menjadi 24,1°C. Pada kondisi 23 jam berikutnya pembebanan 50% temperatur rise 24,1°C turun menjadi 4,4°C. Pada kondisi berbeban 100% kenaikan temperatur terlihat lebih cepat naik dibandingkan dengan kondisi beban 75% dan 50%. Dalam kondisi ini kenaikan suhu sekitar 50°C sebagai media pendingin transformator. Berdasarkan IEC 60076-2, kenaikan suhu minyak yang diperbolehkan tidak melebihi 60°C.

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.10 dengan karakteristik pembebanan transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAF ditunjukkan pada Gambar 4.8



**Gambar 4.8** Pengujian kenaikan suhu minyak bagian atas dipengaruhi suhu lingkungan dengan menggunakan sistem pendingin ONAF

Berdasarkan Gambar 4.8 kenaikan suhu minyak transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAF. Pada kondisi 1 jam pertama pembebanan 100% temperatur rise  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $2,9^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $0,8^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% temperatur rise  $0^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 2 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise  $2,9^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $13,2^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $0,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $3,2^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% temperatur rise  $0,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $1,7^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 3 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise  $13,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $21,3^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $3,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $7,2^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% temperatur rise  $1,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $6,6^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 4 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise  $21,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $26,8^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $7,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $14,6^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% temperatur rise  $6,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $10,2^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 5 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise  $26,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $33^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $14,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $18^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% temperatur rise  $10,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $14^{\circ}\text{C}$ .

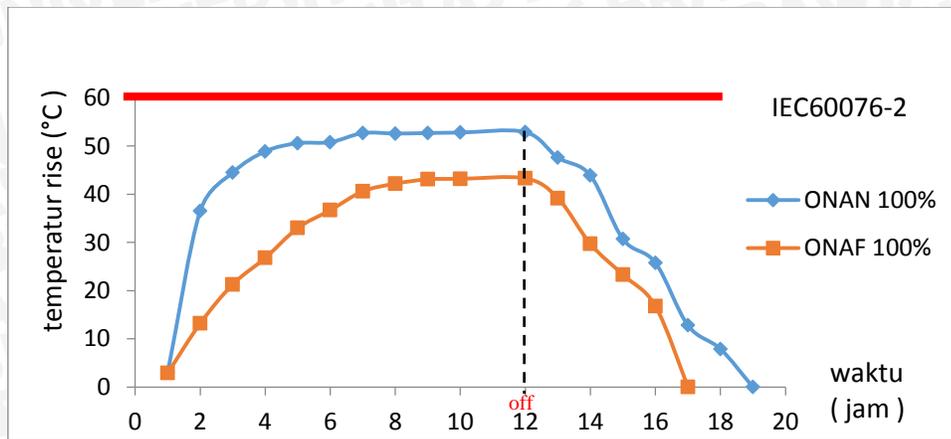
Pada kondisi 6 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise  $33^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $36,7^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $18^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $22^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% temperatur rise  $14^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $16,4^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 7 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise  $36,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $40,6^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $22^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $25,1^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% temperatur rise  $16,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $19,4^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 8 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise  $40,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $42,2^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $25,1^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $28,4^{\circ}\text{C}$  merupakan batas temperatur rise mengalami kenaikan suhu secara pelan, dan pembebanan 50% temperatur rise  $19,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $21,3^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 9 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise  $42,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $43,1^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $28,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $31,8^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% temperatur rise  $21,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $24,4^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 10 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise  $43,1^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $43,2^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $31,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $33,8^{\circ}\text{C}$ , dan pembebanan 50% temperatur rise  $24,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $38,2^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 11 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise  $43,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $43,3^{\circ}\text{C}$ , pembebanan 75% temperatur rise  $33,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $36,6^{\circ}\text{C}$ , dan

pembebanan 50% temperatur rise 28,2°C naik menjadi 31,9°C. Pada kondisi 12 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 43,3°C turun menjadi 39,2°C kemudian beban dilepas, pembebanan 75% temperatur rise 36,6°C naik menjadi 39,4°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 31,9°C naik menjadi 33,2°C. Pada kondisi 13 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 39,2°C turun menjadi 29,7°C, pembebanan 75% temperatur rise 39,4°C naik menjadi 42,1°C merupakan batas temperatur rise mengalami kenaikan suhu secara pelan, dan pembebanan 50% temperatur rise 33,2°C naik menjadi 35,1°C. Pada kondisi 14 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 29,7°C turun menjadi 23,3°C, pembebanan 75% temperatur rise 42,1°C naik menjadi 42,7°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 35,1°C naik menjadi 36,1°C. Pada kondisi 15 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 23,3°C turun menjadi 16,8°C, pembebanan 75% temperatur rise 42,7°C naik menjadi 42,8°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 36,1°C naik menjadi 38,7°C.

Pada kondisi 16 jam berikutnya pembebanan 100% temperatur rise 13,8°C turun menjadi 7,9°C, pembebanan 75% temperatur rise 42,8°C turun menjadi 33,1°C kemudian beban dilepas, dan pembebanan 50% temperatur rise 38,7°C naik menjadi 40,6°C. Pada kondisi 17 jam berikutnya pembebanan 75% temperatur rise 33,1°C turun menjadi 24°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 40,6°C naik menjadi 42°C merupakan batas temperatur rise mengalami kenaikan suhu secara pelan. Pada kondisi 18 jam berikutnya pembebanan 75% temperatur rise 24°C turun menjadi 14,4°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 42°C naik menjadi 42,2°C. Pada kondisi 19 jam berikutnya pembebanan 75% temperatur rise 14°C turun menjadi 4,9°C, dan pembebanan 50% temperatur rise 42,2°C naik menjadi 42,3°C. Pada kondisi 20 jam berikutnya pembebanan 50% temperatur rise 42,3°C turun menjadi 27,3°C. Pada kondisi 21 jam berikutnya pembebanan 50% temperatur rise 27,3°C turun menjadi 14,5°C kemudian beban dilepas. Pada kondisi 22 jam berikutnya pembebanan 50% temperatur rise 14,5°C turun menjadi 6,3°C. Berdasarkan IEC 60076-2, kenaikan suhu minyak yang diperbolehkan tidak melebihi 60°C.

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.10 dengan karakteristik beban 100% transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAF dan ONAF ditunjukkan pada Gambar 4.9



**Gambar 4.9**

Berdasarkan Gambar 4.9 untuk pembebanan 100% pada transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF terlihat perbedaan untuk kenaikan suhu minyak. Pada kondisi 1 jam pertama dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 0°C naik menjadi 3°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 0°C naik menjadi 2,9°C. Pada kondisi 2 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 3°C naik menjadi 36,5°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 2,9°C naik menjadi 13,2°C. Pada kondisi 3 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 36,5°C naik menjadi 44,5°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 13,2°C naik menjadi 21,3°C. Pada kondisi 4 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 44,5°C naik menjadi 48,9°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 21,3°C naik menjadi 26,8°C. Pada kondisi 5 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 48,9°C naik menjadi 50,6°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 26,8°C naik menjadi 33°C.

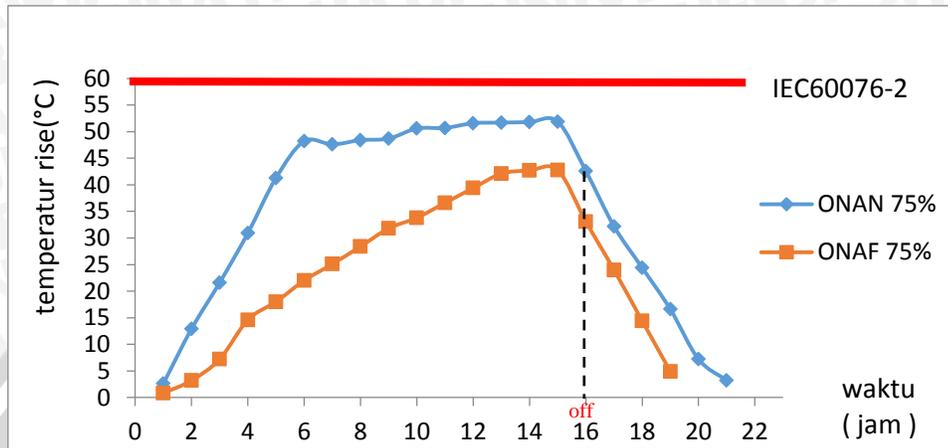
Pada kondisi 6 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 50,6°C naik menjadi 50,8°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 33°C naik menjadi 36,7°C. Pada kondisi 7 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 50,8°C naik menjadi 52,7°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 36,7°C naik menjadi 40,6°C. Pada kondisi 8 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN

temperatur rise 52,7°C naik menjadi 52,6°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 40,6°C naik menjadi 42,2°C. Pada kondisi 9 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 52,6°C naik menjadi 52,7°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 42,2°C naik menjadi 43,1°C. Pada kondisi 10 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 52,7°C naik menjadi 52,8°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 43,1°C naik menjadi 43,2°C.

Pada kondisi 11 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 52,8°C naik menjadi 52,9°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 43,2°C naik menjadi 43,3°C. Pada kondisi 12 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 43,3°C turun menjadi 39,2°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 52,9°C turun menjadi 47,6°C. Pada kondisi 13 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 39,7°C turun menjadi 29,7°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 47,6 °C turun menjadi 46,9°C. Pada kondisi 14 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 29,7°C turun menjadi 23,3°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 46,9 °C turun menjadi 30,7°C. Pada kondisi 15 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 23,3°C turun menjadi 16,8°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 30,7 °C turun menjadi 25,8°C.

Pada kondisi 16 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 16,8°C turun menjadi 7,9°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 25,8 °C turun menjadi 12,8°C. Pada kondisi 17 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 12,8°C turun menjadi 7,9°C. Pada kondisi 18 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 7,9°C turun menjadi 2,9°C. Berdasarkan IEC 60076-2, kenaikan suhu minyak yang diperbolehkan tidak melebihi 60°C, sehingga masih dalam kondisi aman.

Dari hasil pengujian kenaikan suhu berdasarkan data hasil pengujian dari Tabel 4.10 transformator diatribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAF dan ONAN karakteristik pembebanan 75% ditunjukkan pada Gambar 4.10



**Gambar 4.10 Kenaikan suhu minyak bagian atas dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dipengaruhi suhu lingkungan dengan karakteristik pembebanan 75%**

Berdasarkan Gambar 4.10 terlihat temperatur perlahan mulai naik sampai titik jenuh pada minyak. Pada kondisi 1 jam pertama dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 0°C naik menjadi 2,6°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 0°C naik menjadi 0,8°C. Pada kondisi 2 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 2,6°C naik menjadi 12,9°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 0,8°C naik menjadi 3,2°C. Pada kondisi 3 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 12,9°C naik menjadi 21,6°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 3,2°C naik menjadi 7,2°C. Pada kondisi 4 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 21,6°C naik menjadi 30,9°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 7,2°C naik menjadi 14,6°C. Pada kondisi 5 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 30,9°C naik menjadi 41,3°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 14,6°C naik menjadi 18°C.

Pada kondisi 6 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 41,3°C naik menjadi 45°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 18°C naik menjadi 22°C. Pada kondisi 7 jam berikutnya

dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 45,0°C naik menjadi 47,6°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 22°C naik menjadi 25,1°C. Pada kondisi 8 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 47,6°C naik menjadi 48,4°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 25,1°C naik menjadi 28,4°C. Pada kondisi 9 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 48,4°C naik menjadi 48,7°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 28,4°C naik menjadi 31,8°C. Pada kondisi 10 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 48,7°C naik menjadi 50,6°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 31,8°C naik menjadi 33,8°C.

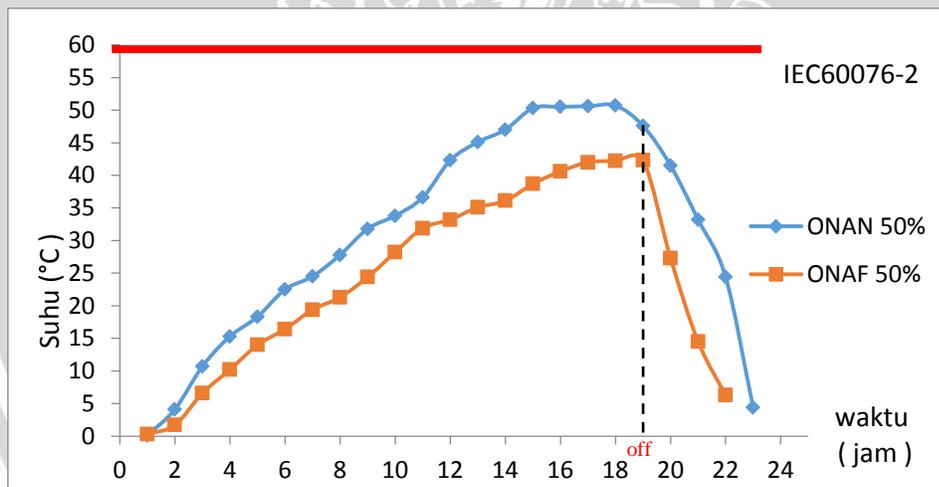
Pada kondisi 11 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 50,6°C naik menjadi 50,7°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 33,8°C naik menjadi 36,6°C. Pada kondisi 12 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 50,7°C naik menjadi 51,6°C lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 36,6°C naik menjadi 39,4°C. Pada kondisi 13 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 50,7°C naik menjadi 51,6°C lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 36,6°C naik menjadi 39,4°C. Pada kondisi 14 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 51,7°C naik menjadi 51,8°C lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 42,1°C naik menjadi 42,7°C. Pada kondisi 15 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 51,8°C naik menjadi 51,9°C lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 42,7°C naik menjadi 42,8°C.

Pada kondisi 16 jam berikutnya kedua beban dilepas dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 42,8°C turun menjadi 33,1°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 51,9°C turun menjadi 42,6°C. Pada kondisi 17 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 33,1°C turun menjadi 24°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 42,6°C turun menjadi 32,2°C. Pada kondisi 18 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 24°C turun menjadi 14,4°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem

pendingin ONAN temperatur rise 32,6°C turun menjadi 24,4°C. Pada kondisi 19 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 14,4°C turun menjadi 4,9°C lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 24,4°C turun menjadi 16,6°C.

Pada kondisi 20 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 16,6°C turun menjadi 7,2°C dan sistem pendingin ONAF temperatur rise dalam kondisi mati. Pada kondisi 21 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 7,2°C turun menjadi 3,2°C. kesimpulan yang di peroleh yaitu untuk sistem pendingin OANA temperatur rise nya lebih cepet naik suhu dibandingkan sistem pendingin ONAF. Pada ONAN dan ONAF masih di bawah standar IEC60076-2, artinya masih di perbolehkan untuk beban 75%.

Berdasarkan hasil data hasil pengujian temperatur dari Tabel 4.9 transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendinginan ONAF dan ONAN karakteristik pembebanan 50% ditunjukkan pada Gambar 4.11



**Gambar 4.11 Kenaikan suhu minyak bagian atas dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF dipengaruhi suhu lingkungan dengan karakteristik pembebanan 50%**

Berdasarkan Gambar 4.11 temperatur minyak pada transformator distribusi membutuhkan waktu yang lebih lama, Pada kondisi 1 jam pertama dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 0°C naik menjadi 0,1°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise 0°C naik menjadi 0,3°C. Pada kondisi 2 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise 01,6°C naik menjadi 4,1°C lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin

ONAF temperatur rise  $0,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $1,7^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 3 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $4,1^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $10,7^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $1,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $6,6^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 4 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $10,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $15,3^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $6,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $10,2^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 5 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $15,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $18,3^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $10,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $14^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 6 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $18,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $22,5^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $14^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $16,4^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 7 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $22,5^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $24,5^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $16,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $19,4^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 8 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $24,5^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $27,8^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $19,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $21,3^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 9 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $27,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $31,8^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $21,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $24,4^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 10 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $31,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $33,8^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $24,4^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $38,2^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 11 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $33,8^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $36,6^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik temperatur rise dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $38,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $31,9^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 12 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $36,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $42,3^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $31,9^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $33,2^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 13 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $42,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $45,1^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $33,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $35,1^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 14 jam

berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $45,1^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $47^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $35,1^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $36,1^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 15 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $47^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $50,3^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $36,1^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $38,7^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 16 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $50,3^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $50,5^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $38,7^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $40,6^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 17 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $50,5^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $50,6^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $40,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $42^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 18 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $50,6^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $50,7^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $42^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $42,2^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 19 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $50,7^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $46,2^{\circ}\text{C}$  lebih cepat naik dibandingkan dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $42,2^{\circ}\text{C}$  naik menjadi  $42,3^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 20 jam berikutnya kedua beban dilepas dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $42,2^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $27,3^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $46,2^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $41,5^{\circ}\text{C}$ .

Pada kondisi 21 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $27,3^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $14,5^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $41,5^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $33,2^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 22 jam berikutnya dengan sistem pendingin ONAF temperatur rise  $14,5^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $6,3^{\circ}\text{C}$  lebih cepat turun dibandingkan dengan sistem pendingin ONAN temperatur rise  $33,2^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $24,1^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi 23 jam berikutnya sistem pendingin ONAN temperatur rise  $33,2^{\circ}\text{C}$  turun menjadi  $4,4^{\circ}\text{C}$  dan sistem pendingin ONAF dalam kondisi mati. Minyak sebagai media pendingin dapat dilihat pada karakteristik beban 50% lebih lama di bandingkan dengan karakteristik beban 75% dan 100%. Waktu yang lama di sebabkan karena arus yang mengalir pada karakteristik beban 50% lebih kecil, pada sistem pendingin ONAN batas temperatur minyaknya  $50^{\circ}\text{C}$  dan untuk sistem pendingin ONAF temperatur minyaknya  $40^{\circ}\text{C}$ , perbedaan tersebut karena adanya kipas pada sistem pendingin ONAF.

Dari hasil perhitungan dan pengujian kenaikan temperatur transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF ditunjukkan pada Tabel 4.11

**Tabel 4.11 Perbandingan karakteristik pembebanan antara pengujian dan perhitungan pada temperatur minyak transformator distribusi 20 MVA**

No.	Karakteristik Beban (%)	Perhitungan (°C)	Sistem Pendingin		Standar (°C) IEC 60076-2
			ONAN (°C)	ONAF (°C)	
1	100	52,8	50,8	42,2	60
2	75	52,3	50,7	42,1	
3	50	51,7	50,3	42,0	

Dari Tabel 4.11 hasil perhitungan kenaikan temperatur transformator sedikit lebih tinggi dari hasil pengujian, hal ini disebabkan karena pada pengujian menggunakan temperatur yang sebenarnya dengan mengukur langsung pada sisi transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF. Temperatur minyak pada pengujian dan perhitungan mempunyai nilai temperatur dibawah temperatur standar yang mengacu pada IEC 50076-2, dimana temperatur yang diijinkan di bawah 60°C.

#### 4.4 Metode Pengujian Kenaikan Suhu Tahanan Kumparan kondisi Panas

Pada pengujian kenaikan suhu pada tahanan kumparan pada kondisi panas dilakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur *measurement or winding resistance*. Pengukuran dilakukan saat kumparan dalam kondisi panas pada setiap terminal output dan input setelah pengujian kenaikan suhu pada minyak pada kondisi jenuh pada transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN, menggunakan data sebagai berikut:

1. Pada sisi tegangan tinggi

Tahanan kumparan kondisi dingin	0,05831 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 100 %	0,07172 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 75 %	0,06709 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 50 %	0,05831 ohm

Dengan menggunakan data di atas, maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-21).

$$T_2 = \left( \frac{0,07172}{0,05831} \right) \times (235 + 28 \text{ }^\circ\text{C}) - 235 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 88,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \left( \frac{0,06709}{0,05831} \right) \times (235 + 28 \text{ }^\circ\text{C}) - 235 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 67,61 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \left( \frac{0,05831}{0,05831} \right) \times (235 + 28 \text{ }^\circ\text{C}) - 235 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 57,81 \text{ }^\circ\text{C}$$

## 2. Pada sisi tegangan tinggi

Tahanan kumparan kondisi dingin	0,008148 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 100 %	0,009976 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 75 %	0,009312 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 50 %	0,009012 ohm

Dengan menggunakan data di atas, maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-21).

$$T_2 = \left( \frac{0,009976}{0,008148} \right) \times (235 + 28 \text{ }^\circ\text{C}) - 235 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 87,01 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \left( \frac{0,009312}{0,008148} \right) \times (235 + 28 \text{ }^\circ\text{C}) - 235 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 65,57 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \left( \frac{0,009012}{0,008148} \right) \times (235 + 28 \text{ }^\circ\text{C}) - 235 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 55,88 \text{ }^\circ\text{C}$$

Data hasil pengukuran tahanan kumparan pada kondisi panas pada transformator diatribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAF, sebagai berikut :

1. Pada sisi tegangan tinggi

Tahanan kumparan kondisi dingin	0,05831 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 100 %	0,06637 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 75 %	0,06342 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 50 %	0,06292 ohm

Dengan menggunakan data di atas, maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-21).

$$T_2 = \left( \frac{0,06637}{0,05831} \right) \times (235 + 28 \text{ } ^\circ\text{C}) - 235 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 64,36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \left( \frac{0,06342}{0,05831} \right) \times (235 + 28 \text{ } ^\circ\text{C}) - 235 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 57,82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \left( \frac{0,06292}{0,05831} \right) \times (235 + 28 \text{ } ^\circ\text{C}) - 235 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 53,31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Pada sisi tegangan rendah

Tahanan kumparan kondisi dingin	0,008148 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 100 %	0,009235 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 75 %	0,009035 ohm
Tahanan kumparan kondisi panas pada beban 50 %	0,008836 ohm

Dengan menggunakan data di atas, maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-21).

$$T_2 = \left( \frac{0,009235}{0,008148} \right) \times (235 + 28 \text{ } ^\circ\text{C}) - 235 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 63,09 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = \left( \frac{0,009035}{0,008148} \right) \times (235 + 28 \text{ }^{\circ}\text{C}) - 235 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 56,65 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = \left( \frac{0,008836}{0,008148} \right) \times (235 + 28 \text{ }^{\circ}\text{C}) - 235 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 50,22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Dari hasil pengujian kenaikan suhu pada transformator distribusi 20 MVA dengan sistem pendingin ONAN dan ONAF, tahanan kumparan kondisi panas dengan karakteristik beban ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan 4.13

**Tabel 4.12 Pengujian Tahanan Kumparan kondisi Panas Sisi Tegangan Tinggi**

No.	Karakteristik Beban (%)	Sistem Pendingin		Standar ( °C ) IEC 60076-2
		ONAN ( °C )	ONAF ( °C )	
1	100	88,48	64,36	65
2	75	67,60	57,82	
3	50	57,81	53,31	

**Tabel 4.13 Pengujian Tahanan Kumparan kondisi Panas Sisi Tegangan Rendah**

No.	Karakteristik Beban (%)	Sistem Pendingin		Standar ( °C ) IEC 60076-2
		ONAN ( °C )	ONAF ( °C )	
1	100	87,01	63,09	65
2	75	65,57	56,65	
3	50	55,88	50,22	

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.11 dan 4.12, untuk pengujian tahanan kumparan kondisi panas pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah, untuk sistem pendingin ONAN dengan karakteristik beban 100% dan 75% kenaikan temperaturnya melebihi standar IEC 60076-2. Perbedaan tersebut karena pada sistem pendingin ONAF dibantu kipas sebagai media pendingin panas pada kumparan. Pada sisi kumparan tegangan rendah temperatur untuk karakteristik beban 100% masih melebihi standar IEC60076-2.