

# STUDI ANALISA TEMPERATUR MINYAK TRANSFORMATOR

Oleh:

Subur Manullang <sup>1)</sup>

Albertus Siregar <sup>2)</sup>

Johan Hadi <sup>3)</sup>

Universitas Darma Agung, Medan <sup>1,2,3)</sup>

E-mail :

[Subur.simanullang@gmail.com](mailto:Subur.simanullang@gmail.com) <sup>1)</sup>

[albertsiregar12@gmail.com](mailto:albertsiregar12@gmail.com) <sup>2)</sup>

[johanhadi@gmail.com](mailto:johanhadi@gmail.com) <sup>3)</sup>

## ABSTRACT

*In Power Generation, the transformer is the main component functioning to increase and decrease the voltage according to the needs that will be distributed to the customer. In power plants, step up transformers and step down transformers are generally used. In Steam Power Plants (PLTU), the transformers work continuously 24 hours with maximum load. In this condition, the transformer is required to operate optimally according to its capacity. The occurrence of disturbances in the transformer can cause disturbances in the distribution of power to the load and can even cause the turbines to stop/trip. Therefore, we need to carry out periodic testing and analysis of the transformer. Testing using the Thermography method gives us information on the condition of the transformer. From these data we can conclude that the condition of the transformer and motor is feasible for operation or maintenance is necessary.*

**Keywords : Thermography, Transformer Oil, Insulation**

## ABSTRAK

Pada Pembangkitan Tenaga Listrik, transformator merupakan komponen utama yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan kebutuhan yang akan disalurkan ke pelanggan. Pada pembangkit listrik umumnya digunakan Transformator step up dan Transformator step down. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), transformator bekerja secara kontinu 24 jam dengan beban maksimum. Pada kondisi ini transformator dituntut beroperasi dengan maksimal sesuai kapasitasnya. Terjadinya gangguan pada transformator dapat menyebabkan gangguan pada penyaluran daya ke beban bahkan dapat menyebabkan turbin-generator berhenti/trip. Oleh karena itu, kita perlu melakukan pengujian dan analisa berkala terhadap transformator tersebut. Pengujian menggunakan metode *Thermography* memberikan kita informasi kondisi transformator. Dari data tersebut kita dapat menyimpulkan kondisi transformator dan motor apakah layak operasi atau perlu dilakukan pemeliharaan.

Kata kunci : Thermography, Minyak Transformator, Isolasi

## 1. PENDAHULUAN

Transformator adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk menaikkan

dan menurunkan tegangan sesuai dengan kebutuhan. Prinsip kerja Transformator adalah memindahkan daya dari kumparan primer ke

kumparan sekunder maupun sebaliknya melalui peristiwa medan elektromagnetik. Umumnya, Transformator sebagai peralatan listrik yang digunakan untuk menaikkan tegangan output generator 13,8 KV menjadi tegangan 150 KV sebagai tegangan sistem interkoneksi bekerja secara kontinu 24 jam.

Untuk menganalisa kondisi transformator digunakan thermography. Salah satu metode yang saat ini sering digunakan untuk menganalisa Transformator adalah menggunakan metode Thermography Analysis. Penggunaan alat Thermograph pada pembangkit listrik saat ini sangat penting untuk menjaga keandalan suatu sistem pembangkitan listrik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### **Transformator Tenaga:- Konstruksi Bagian-bagian Transformator:- Inti besi**

Inti besi dibuat dari lempengan besi tipis yang berisolasi sebagai jalan fluksi yang timbul disebabkan arus listrik yang mengalir pada kumparan. Dibuat dalam bentuk lempengan tipis adalah untuk mengurangi panas dalam hal ini sebagai rugi-rugi besi yang ditimbulkan oleh arus Eddy. Rugi-rugi arus eddy dan histerisis timbul pada inti trafo disebabkan oleh arah bolak balik dari proses magnetisasi yang terjadi.

### **Kumparan Transformator**

Kumparan transformator adalah sejumlah lilitan penghantar yang berisolasi membentuk suatu belitan. Belitan ini terdiri dari belitan primer dan belitan sekunder yang terisolasi terhadap inti besi demikian pula terhadap antar belitan dengan menggunakan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Pada

operasional Transformator, faktor thermis penting dianalisa secara berkala. Karena faktor thermis berpengaruh terhadap kapasitas hantar arus pada penyaluran daya [1].

### **Minyak Transformator**

Belitan-belitan dan inti besi pada transformator direndam dalam minyak yang berfungsi sebagai media isolasi dan sekaligus sebagai pendingin. Transformator tenaga yang berkapasitas besar menggunakan minyak ini, karena minyak mempunyai sifat dan berfungsi sebagai isolasi dan media pendingin.

### **Bushing**

Bushing adalah isolator yang berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki Transformator, dimana konduktor tersebut merupakan hubungan antara belitan transformator ke jaringan luar. Pada bushing dilengkapi fasilitas center tap yang digunakan dalam proses yang disebut tapping transformator.

### **Tangki Konservator**

Tangki konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap yang terjadi akibat terjadinya pemanasan pada belitan transformator karena mengalirnya arus beban. Didalam tangki transformator dipasangkan rele bucholz sebagai alat proteksi gasyang terjadi akibat kerusakan minyak disebabkan arus gangguan. Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air yang masuk bersama udara melalui saluran pelepasan, maka masuknya udara kedalam konservator dilengkapi dengan silicagel penyerap uap air pada udara sehingga tidak mencemari udara disekitarnya.

### **Peralatan Bantu Pendingin**

Transformator sebagai peralatan tenaga listrik yang belitannya dialiri arus maka transformator akan mengalami pemanasan yang sebanding dengan arus serta temperatur udara disekeliling transformator tersebut. Jika temperatur luar cukup tinggi dan bebanan pada transformator juga tinggi maka transformator juga akan berkerjadenan temperatur yang tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut transformator dilengkapi dengan sistem pendingin dengan cara mensirkulasikan cairan pendingin. Pada umumnya, sistem pendingin pada transformator menggunakan sistem radiator dengan sirip yang tipis berisi minyak, dibantu dengan hembusan angin kipas sebagai pendingin beroperasi secara otomatis berdasar setting reletemperatur. Dilihat dari sistem pendinginnya, transformator dapat dibagi berdasarkan sistem pendinginnya yaitu sistem pendingin dengan ONAN, ONAF, OFAN, OFAF dan OFWF.

### **Thermometer**

Thermometer adalah alat pengukur tingkat panas transformator untuk mengukur panasnya kumparan primer, kumparan sekunder dan minyak transformator. Thermometer bekerja atas dasar prinsip air raksa (mercuri/Hg) yang tersambung dengan tabung pemuai dan jarum indikator derajat panas. Dapat pula, thermometer dikombinasikan dengan panas dari resistor khusus yang tersambung dengan ct yang terpasang pada salah satu fasa (fasa tengah).

### **Alat ukur permukaan minyak**

Alat ukur permukaan minyak adalah alat penunjukan dari tinggi permukaan minyak pada konservator. Cara pengukuran dapat dilakukan dengan pengukuran langsung dengan cara memasang gelas penduga pada

salah satu sisi konservator untuk dengan mudah mengetahui level minyak. Dapat pula dilakukan dengan merancang konservator yang dilengkapi dengan semacam balon daribahan elastis, diisi dengan udara biasa dan dilengkapi dengan alat pelindung sehingga udara yang masuk kedalam balon tetap dalam kondisi kering dan aman.

### **Thermography**

#### **Pengertian Thermography**

Infrared Thermography adalah suatu sistem pemeriksaan NDT (Non Destructive Test) yang menggunakan kamera infra merah untuk memeriksa peralatan listrik dan mekanik. Infrared Thermography banyak digunakan pada pabrik, industri, pertambangan, pembangkit

listrik, pelabuhan, laboratorium, bandara, dll. Seiring berkembangnya teknologi dibidang teknologi dan kelistrikan, penggunaan alat thermograph dikembangkan dalam bentuk digital menggunakan teknologi infra merah dan menggunakan kamera sebagai sensornya. Dengan melakukan pemeriksaan temperatur pada saat peralatan beroperasi akan dapat diketahui nilai temperatur pada titik tertentu dan kondisi peralatan dengan membandingkan temperatur saat beroperasi dengan temperatur operasi normalnya yang sesuai SOP operasi. Dari hasil analisa tersebut bila terdapat penyimpangan (overheating) dapat diprediksi sebagai gejala awal dari suatu kerusakan peralatan.

### **Fungsi infrared thermograph**

Infrared Thermograph merupakan salah satu alat yang digunakan untuk pengambilan data temperatur pada transformator. data tersebut digunakan untuk menentukan nilai nilai temperatur pada titik titik

tertentu sebagai acuan analisa kondisi suatu transformator. pengambilan data menggunakan thermograph lebih akurat dan efisien. Untuk menganalisa titik titik kenaikan temperatur pada transformator dibutuhkan peralatan yang dapat mengambil data akurat dari suatu titik tersebut. Penggunaan thermograph untuk menganalisa kondisi temperatur suatu transformator digunakan untuk menentukan beberapa hal berikut :

### **Menentukan Temperatur Ambient**

Temperatur Ambient merupakan temperatur yang ada disekitar atau di sekeliling dari Transformator, dimana Transformator tersebut ditempatkan untuk beroperasi. Pada Transformator yang menggunakan pendingin udara luar, maka temperatur udara untuk pendinginan diambil dari temperatur di sekitarnya. Temperatur Ambient merupakan faktor penting dalam menentukan kemampuan Transformator saat melayani beban, pada saat temperatur meningkat diwaktu pembebanan, temperatur Ambient harus ditambahkan untuk menentukan temperatur operasi. Temperatur Ambient biasanya dituliskan dengan simbol  $\theta_A$ .

### **Menentukan Batas Kenaikan Temperatur**

Isolasi yang dipakai dalam transformator bisa cepat menjadi buruk apabila dikenai panas pada temperatur diatas  $100^{\circ}\text{C}$  secara terus menerus. Temperatur diatas  $100^{\circ}\text{C}$  ini hanya dapat ditahan dalam selang waktu yang relatif singkat, namun efek kumulatif dan hubungan antara temperatur dengan waktu tidak dapat ditentukan. Kenaikan temperatur pada belitan, inti dan minyak trafo dirancang untuk pemakaian dengan ketinggian tidak lebih dari 1000 meter diatas

permukaan laut. Untuk transformator yang menggunakan media pendingin air, maka temperatur air tidak boleh lebih dari  $25^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk transformator yang menggunakan media pendingin udara, maka temperatur udaranya tidak boleh lebih dari  $40^{\circ}\text{C}$  dan tidak boleh dibawah  $-25^{\circ}\text{C}$  untuk pemasangan luar dan tidak boleh dibawah  $-5^{\circ}\text{C}$  untuk pemasangan dalam. Bila pendinginan dengan udara, temperatur tidak boleh melebihi rata-rata  $30^{\circ}\text{C}$  untuk satu hari. Metode ini disederhanakan dan dibuat sebagai berikut:

1. Temperatur minyak menaik secara linear sepanjang belitan kumparan transformator dari bawah ke atas.
2. Temperatur belitan bertambah secara linear dari bawah keatas, dengan sebuah konstanta perbedaan temperatur  $g$ .
3. Kenaikan temperatur hot spot di bagian atas belitan lebih tinggi daripada rata-rata kenaikan temperature belitan.

Untuk mempertimbangkan non-linear seperti meningkatnya rugi-rugi pada bagian atas belitan, perbedaan temperatur hot-spot dan temperature minyak bagian atas belitan didefinisikan sebagai  $Hg$ . Faktor  $H$  dari hot-spot menurut IEC 60076-7, untuk transformator distribusi digunakan  $H=1,1$  dan transformator daya digunakan nilai  $H=1,3$ . Sedangkan untuk kenaikan temperatur hot spot dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta\theta_H = H.g.K^{2m}$$

$H$  = Faktor hot-spot yang disebabkan akibat rugi eddy pada belitan akhir  
 $g$  = Selisih antara temperatur rata2 belitan dengan temperatur rata2 minyak pada rating beban.

$K$  = Faktor beban ( suplai beban/ rating beban)

m = Konstanta yang tergantung dari metode pendinginan

Penentuan nilai m (konstanta) tergantung dari metode pendinginan dan terdapat empat metode pendinginan yang digunakan. Diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penentuan nilai m dan n (konstanta) pada perhitungan.

Jenis Pendinginan	m
OA	0.8
FA	0.8
NDFOA	0.8
DFOA	1.0

Sumber : IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Tr

### Menentukan Temperatur Hot-Spot

Perilaku temperatur hot-spot suatu transformator dipengaruhi secara langsung tiga komponen utama yaitu oleh nilai beban pada suatu saat, karakteristik transformator, dan keadaan temperatur ambient pada saat itu. Nilai beban akan menentukan nilai arus yang mengalir pada belitan transformator yang merupakan sumber panas utama yang dapat menyebabkan temperatur hot-spot meningkat. Besarnya peningkatan kenaikan temperatur hot-spot terhadap suatu nilai beban tertentu ditentukan oleh karakteristik internal transformator itu sendiri. Karena tidak ada dua transformator yang benar-benar identik, maka nilai beban yang sama akan berdampak berbeda pada karakteristik termal masing-masing transformator. Temperatur ambient sebagai faktor ketiga, merupakan variabel bebas yang mempengaruhi temperatur hot-spot secara linear.

Berdasarkan model IEEE Annex G, nilai akhir temperatur hot-spot dihitung sebagai penjumlahan empat komponen temperatur yaitu temperatur ambient ( $\theta_A$ ), temperatur minyak bagian bawah

( $\theta_{BO}$ ), perbedaan temperatur antara temperatur minyak terdekat dengan hot-spot belitan dengan temperatur minyak bagian bawah ( $\Delta\theta_{WO/BO}$ ) dan perbedaan temperatur antara kenaikan temperature hot-spot dengan temperatur minyak terdekat dengan hot-spot belitan ( $\Delta\theta_{H/WO}$ ). Ketiga temperatur yang terakhir dipengaruhi oleh beban aktual dan karakteristik internal transformator.

Sesuai penjelasan di atas, nilai akhir temperatur hot-spot dihitung berdasarkan persamaan :

$$\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_{BO} + \Delta\theta_{WO/BO} + \Delta\theta_{H/WO}$$

$\theta_A$  = Temperatur ambient ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\theta_{BO}$  = Temperatur minyak bagian bawah ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta\theta_{WO/BO}$  = Perbedaan temperatur antara temperatur minyak terdekat dengan hot-spot belitan dengan temperatur minyak bagian bawah ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta\theta_{H/W}$  = Perbedaan temperatur antara kenaikan temperature hot-spot dengan temperatur minyak terdekat dengan hot-spot belitan ( $^{\circ}\text{C}$ )

### Menentukan Temperatur Minyak Pada Belitan

Beberapa transformator daya dirancang untuk memiliki perbedaan antara hotspot dan rata-rata konduktor lebih besar dari temperatur  $15^{\circ}\text{C}$ . Hal ini akan mengakibatkan kenaikan temperatur belitan rata-rata kurang dari  $65^{\circ}\text{C}$ , karena kenaikan temperatur hot-spot tertinggi pada belitan mempunyai batasan nilai  $80^{\circ}\text{C}$ . Transformator seharusnya tidak dibebani di atas nilai rating nameplate pabrik seharusnya dikonsultasikan untuk informasi tentang keadaan hot-spot tertinggi yang akan digunakan untuk desain transformator. Kondisi ini mungkin ada pada transformator dengan temperatur lebih besar dari  $30^{\circ}\text{C}$  antara temperatur minyak pada bagian atas dan temperatur minyak pada bagian bawah yang dapat diperiksa pada daerah sekitarnya dengan

mengukur temperatur radiator atas dan bawah. Bila mungkin, data hot-spot dan temperatur minyak yang diperoleh dari tes temperatur pabrik harus digunakan dalam menghitung kemampuan beban transformator atau ketika menghitung temperatur untuk beban di atas rating pengenalan (nameplate).

Temperatur minyak pada ketinggian temperatur hot-spot di belitan diberikan dengan persamaan :

$$\theta_{WO} = \theta_{BO} + \Delta\theta_{WO/BO}$$

$\theta_{WO}$  = temperatur minyak terdekat dengan hot-spot belitan (°C)

$\theta_{BO}$  = Temperatur minyak bagian bawah (°C)

$\Delta\theta_{WO/BO}$  = Selisih antara  $\theta_{WO}$  dan  $\theta_{BO}$  (°C)

### Temperatur Minyak Bagian Atas

Temperatur minyak bagian atas (*Top Oil Temperature*) adalah temperatur yang ada pada bagian atas belitan kumparan. Titik terpanas gradient temperatur minyak bagian atas pada keadaan beban penuh harus ditentukan dari tes pabrik atau jika terdapat kekurangan data nilai harus diasumsikan. Pada keadaan beban penuh, temperatur hot-spot tertinggi temperatur minyak bagian atas adalah 110°C, yang merupakan temperatur minyak maksimum diijinkan untuk prakiraan masa guna normal.

Untuk temperatur minyak pada bagian atas dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\theta_{TO} = \theta_A + \Delta\theta_{TO}$$

$\theta_{TO}$  = Temperatur minyak pada bagian atas (°C)

$\Delta\theta_{TO}$  = Kenaikan temperatur minyak pada bagian atas (°C)

$\theta_A$  = Temperatur Ambient (°C)

Kenaikan temperatur minyak pada bagian atas saat waktu perubahan beban dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini :

$$\Delta\theta_{TO} = (\Delta\theta_{TO,U} - \Delta\theta_{TO,i}) [1 - e^{-\frac{t}{\tau_{TO}}}] + \Delta\theta_{TO,i}$$

$\Delta\theta_{TO,U}$  = Kenaikan temperatur minyak pada bagian atas tujuan (°C)

$\Delta\theta_{TO,i}$  = Kenaikan temperatur minyak pada bagian atas awal (°C)

t = Durasi dari beban (menit atau jam)

$\tau_{TO}$  = Waktu konstan minyak, 210 menit (ONAN); 150 menit (ONAF);

Standar: IEC 60076-7

Sedangkan untuk kenaikan temperatur minyak bagian atas (tujuan) dapat

ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta\theta_{TO,U} = \Delta\theta_{TO,R} [K2u.R + 1 / (R + 1)]^n$$

$\Delta\theta_{TO,R}$  = Kenaikan temperatur minyak pada bagian atas rating

R = Rasio dari rugi beban total dibandingkan rugi tanpa beban

K = Faktor beban (suplai beban / rating beban)

n = Konstanta yang tergantung dari metode pendinginan

### Spesifikasi Transformator Yang Akan Diukur:-

#### Main Transformer Unit 1 dan 2

Produksi : TBEA Hengyang Transformer Co., Ltd

Model dan type : SFPZ10-150000/157.5<sup>TH</sup>

Rated capacity : 150000 KVA

Rated Voltage : High Voltage 157.5(+12/-4×1.25%)kV

Low Voltage 13,8 KV

Rated Current : High Voltage 549.9A

Low Voltage : 6275.5A

short circuit impedance : 12.0% (75°C)

Winding insulation level : A

Vector group : Ynd1

Frequency : 50 Hz

Cooling Mode : ONAN/ONAN/ONAF

No loading lost : 84 KW

Loading lost : 420 KW (75°C)

#### Auxiliary Transformer unit 1 dan 2

Produksi : TBEA Hengyang  
 Transformer Co., Ltd  
 Model dan type : SF-25000/13.8TH  
 Rated capacity : 25000 KVA  
 Rated Voltage : High Voltage  
 13.8±2×2.5%KV  
 Low Voltage 6.3KV  
 Rated Current : High Voltage 1046 A  
 Low Voltage :2291.1A  
 short circuit impedance : 10.5%

Winding insulation level : A  
 Vector group : Dyn11  
 Frequency : 50 Hz  
 Cooling Mode :  
 ONAN/ONAF  
 No loading lost : 84 KW  
 Loading lost : 420 KW (75°C)

### Pengumpulan data temperatur

Tabel 2.Data hasil pengukuran dari pukul 13.00 s/d 00.00

Waktu	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	00.00
Ambien (°C)	25	25.3	26.2	26.4	26.6	26.9	28	30.2	31.3	33.2	33.6	34.2
Top Oil(°C)	66	65	64	64	63	63	64	64	65	67	70	71
AV Wind(°C)	46	45	45	45	44	44	43	43	45	46	47	50
Bottom Oil(°C)	36	36	37	35	35	35	35	35	37	37.9	38.9	40.5
Beban(MW)	105	105	106	107	105	105	104	104	104	105	106	105

Tabel 3. Data hasil pengukuran dari pukul 13.00 s/d 00.00

	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
Ambien (°C)	25	25.3	26.2	26.4	26.6	26.9	28	30.2	31.3	33.2	33.6	34.2
Top Oil(°C)	66	65	64	64	63	63	64	64	65	67	70	71
AV Wind(°C)	46	45	45	45	44	44	43	43	45	46	47	50
Bottom Oil(°C)	36	36	37	35	35	35	35	35	37	37.9	38.9	40.5
Beban(MW)	105	105	106	107	105	105	104	104	104	105	106	105

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisa Kenaikan Temperatur Pada Trafo Tenaga:-

#### Menentukan Nilai Hot-Spot:-

Perhitungan nilai akhir dari hot-spot transformator dihitung per-jam sesuai

dengan pengukuran yang dilakukan dalam periode 1 hari. Menentukan nilai akhir dari Hot-spot sebuah transformator menggunakan rumus :  $\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_{BO} + \Delta\theta_{WO/BO} + \Delta\theta_{H/WO}$ . Apabila akan dihitung nilai akhir hot-spot pada keadaan jam 01.00, maka dapat dilihat data pada tabel keadaan jam 01.00. Data yang langsung dapat dimasukan kedalam persamaan yaitu nilai temperatur Ambient ( $\theta_A$ ) : 25°C. Nilai kenaikan temperatur minyak pada bagian bawah ( $\theta_{BO}$ ) adalah nilai temperatur minyak pada bagian bawah dikurangi nilai temperatur ambient, maka nilai kenaikan temperatur :

$$\Delta\theta_{BO} = 36,9 - 25 = 11,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

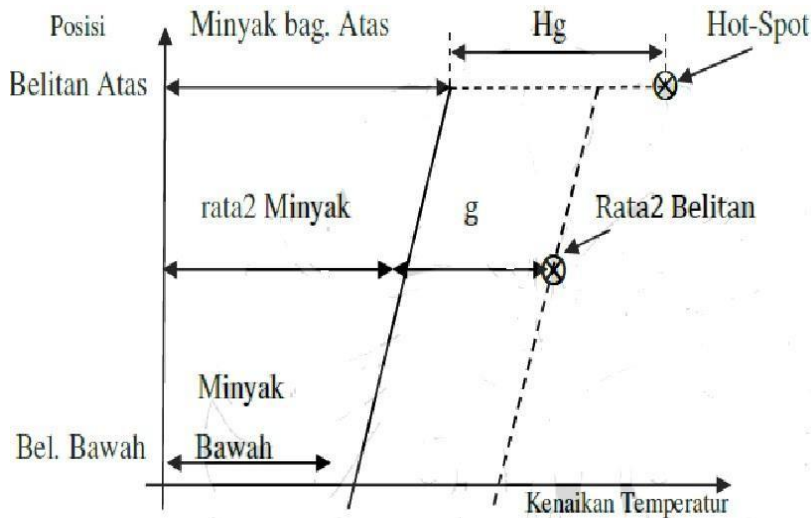
Sedangkan untuk menentukan nilai perbedaan temperatur antara temperatur minyak terdekat dengan hot-spot belitan dengan temperatur minyak pada bagian bawah ( $\Delta\theta_{WO/BO}$ ) adalah dengan mengasumsikan jika temperatur minyak pada bagian atas merupakan temperatur yang tertinggi sehingga nilai ( $\Delta\theta_{WO}$ ) sama dengan temperatur minyak pada bagian atas, maka nilai ( $\Delta\theta_{WO/BO}$ ) merupakan perbedaan antara temperatur minyak pada bagian atas dan temperatur minyak pada bagian bawah. Maka didapat nilai:

$$\Delta\theta_{WO/BO} = 66 - 36,9 = 29,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Menentukan nilai dari perbedaan temperatur antara kenaikan temperatur hotspot dengan temperatur minyak terdekat dengan hot-spot belitan ( $\Delta\theta_{H/WO}$ ) adalah dengan melihat diagram termal transformator (gambar 4-1), saat kita mengasumsikan ( $\theta_{WO}$ ) sama dengan temperatur minyak bagian atas maka

perbedaan temperatur antara temperatur akhir hot-spot dan temperatur minyak bagian atas adalah sama dengan  $\Delta\theta_H$

dan nilainya dapat dicari dengan menggunakan persamaan  $\Delta\theta_H = H.g.K^{2m}$



Gambar 1 : Diagram Termal Transformator

Nilai H merupakan nilai ketentuan untuk transformator tenaga nilai yang disarankan berdasarkan IEC 60076 dan IEC 354 adalah 1,3. Nilai g didapatkan dari selisih antara temperatur rata2 belitan dengan temperatur rata2 minyak pada rating beban, maka nilai  $g = 44,7 - 27,3 = 17,4^\circ\text{C}$ . Nilai K adalah faktor beban yang merupakan perbandingan antara suplai beban dan rating beban, nilai suplai beban dianggap beban seimbang sehingga nilai beban terukur dibagi tiga untuk setiap fasanya. Maka nilai  $K = (315/3) / (167 \times 0,89) = 0,706$ . Nilai m tergantung dari metode pendinginan dan terdapat empat metode pendinginan yang ditunjukkan pada tabel, untuk model ONAN/ONAF

berdasarkan standar IEEE pada tabel 3.1, maka nilai  $m = 0,8$ .

$$\begin{aligned}\Delta\theta_H &= H.g.K^{2m} \\ &= 1,3 \times 17,4 \times 0,706^{(2 \times 0,8)} \\ &= 12,97^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Kemudian dengan nilai-nilai yang telah didapatkan diatas, maka dapat dihitung nilai akhir dari temperatur hot-spot :

$$\begin{aligned}\theta_H &= \theta_A + \Delta\theta_{BO} + \Delta\theta_{WO/BO} + \Delta\theta_{H/WO} \\ &= 25 + 11,9 + 29,1 + 12,97 \\ &= 78,97^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama seperti diatas dihitung nilai akhir dari temperatur hotspot untuk setiap jamnya dalam 1 hari dan hasil perhitungan terdapat dalam Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Perhitungan dengan data hasil pengukuran pukul 01.00 s/d 12.00

Waktu	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
K	0.71	0.70	0.74	0.76	0.73	0.65	0.61	0.58	0.66	0.67	0.71	0.67
$\Delta\theta_{BO}$	11.90	11.60	11.00	9.30	9.00	8.70	7.50	5.30	5.70	4.70	5.30	6.30
$\Delta\theta_{WO/BO}$	29.10	28.10	26.80	28.30	27.40	27.40	28.50	28.50	28.00	29.10	31.10	30.50
G	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40
$\Delta\theta_{HS/WO}$	12.97	12.64	13.97	14.66	13.64	11.36	10.14	9.54	11.68	12.00	12.97	12.00
$\theta_{HS}$	78.97	77.64	77.97	78.66	76.64	74.36	74.14	73.54	76.68	79.00	82.97	83.00

Tabel 5. Hasil Perhitungan dengan data hasil pengukuran pukul 13.00 s/d 00.00



Waktu	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
K	0.71	0.70	0.74	0.76	0.73	0.65	0.61	0.58	0.66	0.67	0.71	0.67
$\Delta\theta_{BO}$	11.90	11.60	11.00	9.30	9.00	8.70	7.50	5.30	5.70	4.70	5.30	6.30
$\Delta\theta_{WO/BO}$	29.10	28.10	26.80	28.30	27.40	27.40	28.50	28.50	28.00	29.10	31.10	30.50
G	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40
$\Delta\theta_{HS/wo}$	12.97	12.64	13.97	14.66	13.64	11.36	10.14	9.54	11.68	12.00	12.97	12.00
$\theta_{HS}$	78.97	77.64	77.97	78.66	76.64	74.36	74.14	73.54	76.68	79.00	82.97	83.00

#### 4. SIMPULAN

1. Analisa menggunakan alat thermograph dapat memudahkan kita dalam pengambilan data transformator untuk perhitungan tempereatur hot-spot trafo tenaga

2. Nilai temperatur akhir hot-spot pada transformator merupakan parameter yang penting untuk mendapatkan perkiraan penurunan masa guna dari transformator

3. Nilai temperatur akhir hot-spot sendiri dipengaruhi oleh perubahan temperatur ambient dan perubahan temperatur minyak bagian atas, sementara perubahan temperatur belitan dipengaruhi oleh karakteristik pembebanan yang ditanggung oleh transformator.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. J. Napitupulu, (2016). Studi Faktor Thermis dan Pengaruhnya Pada Kapasitas Hantar Arus Kawat penghantar Saluran Transmisi. Jurnal Sains dan Teknologi ISTP, ISSN : 2356-0878 5(2)

2. Asaad A. Elmoudi. (2006). *Evaluation Of Power System Harmonic Effect OnTransformers*, Helsinki, Helsinki University of Technology.
3. Prasetyo.AW(2006). Laporan pengukuran asset wellless PLTU LABUHAN ANGIN.JAKARTA:PLN PUSLITBANG
4. SPLN (1991), *Transformator Tenaga bagian 2 : Kenaikan Suhu*, PLN.
5. Ishak M. Taufiq, Zhongdong Wang. (2007). *Transformer Hotspot TemperatureCalculation using IEEE Loading Guide*. IEEE.
6. [www.elektro.undip.ac.id/el.../L2/F306046\\_MTA.pdf](http://www.elektro.undip.ac.id/el.../L2/F306046_MTA.pdf)
7. Jannes,(2014).*Laporan thermography analysis Transformator unit 1 dan 2,SIBOLGA:PT PLN PERSERO SPLA*