

ANALISA PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP SUSUT UMUR TRANSFORMATOR TENAGA (STUDI KASUS TRAFU GTG 1.3 PLTGU TAMBAK LOROK SEMARANG)

oleh:
Nama : Purnama Sigid
NIM : L2F306046

Abstrak - Transformator Tenaga didesain dengan suhu sekitar 20°C tetapi beroperasi pada suhu lingkungan 30°C di Indonesia, maka trafo tersebut harus disesuaikan pembebanannya. Semakin tinggi suhu setempat semakin pendek operasional dan semakin besar susut umur dari transformator tenaga tersebut. Susut umur transformator dipengaruhi oleh isolasi belitan trafo dan minyak trafo. Salah satu kerusakan atau kegagalan isolasi dari minyak trafo diakibatkan dari perubahan suhu atau suhu sekitar pada transformator tenaga terendam minyak tersebut. Pemanasan pada belitan trafo dapat mengakibatkan isolasi menjadi rusak dan kenaikan temperatur minyak akan mengubah sifat serta komposisi minyak trafo. Apabila perubahan-perubahan tersebut dibiarkan akan mengakibatkan nilai isolasi dari minyak menurun.

Pada tugas akhir ini meneliti pengaruh pembebanan transformator tenaga terhadap susut umur, pengaruh suhu lingkungan terhadap susut umur trafo, dan menganalisis susut umur trafo tenaga GTG 1.3 PLGU Tambak Lorok Semarang dengan mengacu pada standar IEC 354 tahun 1972

Hasil penelitian diperoleh pembebanan yang mengakibatkan susut umur minimal 0,24 pu/hari adalah apabila transformator tenaga di bebani 80%. Dengan transformator standar IEC 354 suhu lingkungan 20°C menghasilkan susut trafo minimal 1 pu/hari pada beban 100%. Berdasar data pembebanan tahun 2008 susut umur trafo tenaga GTG 1.3 PLGU Tambak Lorok Semarang dengan pembebanan maksimum tanggal 6 September menghasilkan susut umur 0,1268 pu/hr.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Di masa sekarang kebutuhan listrik semakin meningkat sejalan dengan berkembangnya teknologi. Perkembangan yang pesat ini harus diikuti dengan perbaikan kualitas dan keandalan energi listrik yang dihasilkan.

Salah satu peralatan yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik yaitu transformator tenaga. Fungsi transformator tenaga ini adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan) ^[9]. Oleh karena itu transformator merupakan peralatan yang sangat penting maka diusahakan agar peralatan ini berusia panjang dan dapat lebih lama dipergunakan. Beberapa faktor terjadinya berkurangnya umur atau kerusakan transformator pada isolasinya karena pengaruh thermal adalah suhu sekitar (*ambient temperatur*), suhu minyak trafo dan pola pembebanan terhadap transformator tersebut.

1.1 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk menganalisis pengaruh pembebanan terhadap umur transformator tenaga/daya.
2. Pengaruh suhu sekitar terhadap umur transformator tenaga/tenaga.
3. Mengetahui susut umur transformator tenaga terendam minyak

1.2 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dalam penyusunan tugas akhir menentukan susut umur trafo tenaga berdasarkan perubahan beban dan suhu ini adalah :

- a. Transformator tenaga menggunakan pendingin minyak
- b. Tugas Akhir ini hanya menganalisis pengaruh suhu sekitar dan perubahan pembebanan transformator tenaga terhadap umur trafo.
- c. Kualitas minyak trafo tidak dibahas dalam tugas akhir ini.
- d. Tidak membahas pembebanan darurat.
- e. Penelitian pada transformator type pemasangan luar GTG 1.3 PLTGU Tambak Lorok Semarang

2. Dasar Teori

2.1 Pengertian Transformator

Transformator merupakan peralatan mesin listrik statis yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik sehingga dapat memindahkan energi dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain tanpa merubah frekuensi. Penggunaan yang sangat sederhana dan andal itu merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

Transformator dapat dibagi menurut fungsi / pemakaian seperti:

- Transformator Mesin (Pembangkit)
- Transformator Gardu Induk
- Transformator Distribusi

Penggunaan transformator pada sistem penyaluran tenaga listrik dapat dibagi :

- a. Trafo penaik tegangan (*Step up*) atau disebut trafo daya, untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi.
- b. Trafo penurun tegangan (*Step down*), dapat disebut trafo distribusi, untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
- c. Trafo instrumen, untuk pengukuran yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus, dipakai menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran.

Transformator terdiri dari :

- a. Bagian Utama.
 - Inti besi
 - Kumparan Transformator
 - Minyak Transformator
 - Bushing
 - Tangki Konservator
- b. Peralatan Bantu.
 - Pendingin
 - Tap Changer
 - Alat pernapasan (*Dehydrating Breather*)
 - Indikator-indikator : *Thermometer*, permukaan minyak
- c. Peralatan Proteksi.
 - Rele Bucholz
 - Pengaman tekanan lebih (*Explosive Membrane*) / *Bursting Plate*
 - Rele tekanan lebih (*Sudden Pressure Relay*)
 - Rele pengaman tangki
- d. Peralatan Tambahan untuk Pengaman Transformator.
 - Pemadam kebakaran (transformator - transformator besar)
 - Rele Differensial (*Differential Relay*)
 - Rele arus lebih (*Over current Relay*)
 - Rele hubung tanah (*Ground Fault Relay*)
 - Rele thermis (*Thermal Relay*)
 - Arrester

2.1.1 Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

Di dalam sebuah transformator terdapat dua komponen yang secara aktif “membangkitkan” energi panas, yaitu besi (inti) dan tembaga (kumparan). Bila energi panas tidak disalurkan melalui suatu sistem pendinginan akan mengakibatkan besi maupun tembaga akan mencapai suhu yang tinggi, yang akan merusak nilai isolasinya. Untuk maksud pendinginan itu, kumparan dan inti dimasukkan ke dalam suatu jenis minyak, yang dinamakan minyak

transformator. Minyak itu mempunyai fungsi ganda, yaitu pendinginan dan isolasi. Fungsi isolasi ini mengakibatkan berbagai ukuran dapat diperkecil. Perlu dikemukakan bahwa minyak transformator harus memiliki mutu yang tinggi dan senantiasa berada dalam keadaan bersih. Disebabkan energi panas yang dibangkitkan dari inti maupun kumparan, suhu minyak akan naik. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan pada minyak transformator. Lagi pula dalam jangka panjang waktu yang lama akan terbentuk berbagai pengotoran yang akan menurunkan mutu minyak transformator. Hal-hal ini dapat mengakibatkan kemampuan pendinginan maupun isolasi minyak akan menurun. Selanjutnya dapat pula terjadi bahwa hawa lembab yang sebagaimana halnya terjadi di daerah tropis, mengakibatkan masuknya air didalam minyak transformator.

Bila suhu minyak transformator yang sedang dioperasikan diukur, akan tampak bahwa suhu minyak itu akan tergantung pada tinggi pengukuran pada bak. Suhu tertinggi akan ditemukan pada sekitar 70 – 80% tinggi bejana.

Minyak trafo sebagai bahan isolasi sekaligus sebagai media penghantar panas dari bagian yang panas (belitan dan inti) ke dinding tangki atau radiator pendingin memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Berat Jenis (*Specific gravity*) 0,85 sampai 0,90 pada suhu 13,5° C
- Kekentalan (*Viscosity*) cukup rendah untuk memperlancar sirkulasi dari bagian yang panas ke bagian yang dingin, yaitu 100 sampai 110 Saybolts second pada 40° C
- Titik didih tidak kurang dari 135° C
- Titik beku tidak lebih dari -45° C
- Tegangan tembus tidak kurang dari 30 kV per 2,5 mm atau 120 kV/1 cm.
- Koefisien muai 0,00065 per 1° C
- Titik api (*flash point*) 180° C sampai 190° C
- Titik nyala (*burning point*) 205° C
- Kelembaban terhadap uap air (*moisture*) nihil

2.1.2 Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi (di dalam transformator). Maka untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat/ sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator.

Media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa:

1. Udara/gas
2. Minyak
3. Air
4. Dan lain sebagainya.

Sedangkan pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara:

1. Alamiiah (natural)
2. Tekanan/paksaan

Pada cara alamiiah (natural), pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk

mempercepat perpindahan panas dari media tersebut ke udara luar diperlukan bidang perpindahan panas yang lebih luas antara media (minyak-udara/gas), dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (*Radiator*).

Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara natural/alamiah tersebut dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara dan air. Cara ini disebut pendingin paksa (*Forced*).

Macam-macam sistem pendingin transformator berdasarkan media dan cara pengalirannya dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Macam-macam Sistem Pendingin

No	Macam Sistem Pendingin *)	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

*) Menurut IEC tahun 1976

2.2 Hukum Dasar

2.2.1 Hukum Induksi Faraday

Berdasarkan Hukum Faraday yang menyatakan bahwa integral garis suatu gaya listrik melalui garis lengkung yang tertutup adalah berbanding lurus dengan perubahan persatuan waktu daripada arus induksi (*flux*) yang dilingkari oleh garis lengkung itu.

Sedangkan arus induksi itu didefinisikan sebagai integral permukaan daripada induksi magnet melalui suatu luasan yang dibatasi oleh garis lengkung tersebut. Bila arah yang dianggap positif dari arus induksi mempunyai tertib siklis kanan dengan arah yang dianggap positif bagi integral garis gaya listrik maka perbandingan lurus itu mempunyai tanda negatif.

$$\int_0 \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

- dimana: E = gaya listrik karena induksi (Volt/m)
 dl = unsur panjang keliling (m)
 dt = unsur waktu waktu (detik)
 B = induksi magnet/kerapatan *flux* (Tesla)
 dA = unsur luas A (m²)

$\vec{}$ = tanda selaku besaran vektor

Apabila persamaan 2.1 disederhanakan maka:

$$\int \vec{E} = -N \frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\int \vec{E} = -N \frac{d\phi}{dt}$$

dimana: E = Gaya Gerak Listrik (GGL), dalam Volt

N = jumlah belitan

ϕ = arus induksi (*flux*), dalam Weber

Sehingga apabila sisi primer diberi sumber tegangan V_1 yang berbentuk sinusoidal maka pada saat yang pertama akan mengalir arus I_0 yang sinusoidal pula. Gaya Gerak Magnet (GGM) $N_1 I_0$ akan menghasilkan flux ϕ pada inti besi, karena arus I_0 merupakan gelombang sinusoidal maka flux ϕ juga merupakan gelombang sinusoidal.

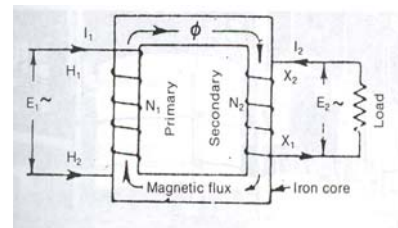
$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

dimana: Φ_m = flux maksimum

ω = frekuensi sudut (= $2\pi f$)

2.3 Prinsip Kerja

Apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak balik I_1 pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, arus I_1 menimbulkan fluks magnet yang berubah-ubah pada intinya. Akibat adanya fluks magnet yang berubah-ubah, pada kumparan primer akan timbul GGL induksi e_p .



Gambar 2.1 Prinsip Dasar dari Transformator.

Besarnya GGL induksi pada kumparan primer adalah:

$$e_p = -N_p \frac{d\phi}{dt}$$

Fluks magnet yang menginduksikan GGL induksi e_p juga dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (mutual fluks). Dengan demikian fluks tersebut menginduksikan GGL induksi e_s pada kumparan sekunder.

Besarnya GGL induksi pada kumparan sekunder adalah:

$$e_s = -N_s \frac{d\phi}{dt}$$

GGL induksi kumparan primer maksimum adalah $(e_p)_{maks} = N_p \omega \phi_m$ dan besarnya tegangan efektif (e_p) dapat dihitung dengan persamaan,

$$e_p = \frac{(E_p)_{\text{maks}}}{\sqrt{2}}$$

$$e_p = \frac{N_p \omega \phi_m}{\sqrt{2}}$$

$$e_p = \frac{2\pi f N_p \phi_m \sqrt{2}}{2}$$

$$e_p = 3,14 \cdot 1,41 f N_p \phi_m$$

$$e_p = 4,44 f N_p \phi_m$$

Dengan cara yang sama, maka akan didapatkan

$$e_s = 4,44 f N_s \phi_m$$

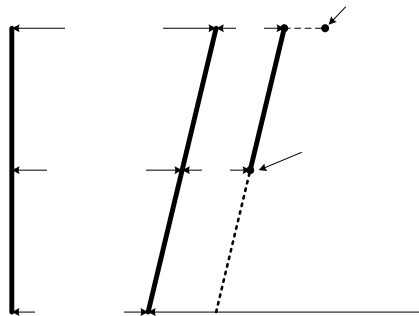
3. Pengaruh Pembebanan Pada Transformator Tenaga

3.1 Penentuan Kenaikkan Temperatur

3.1.1 Pengasumsian dengan diagram thermal

Kenaikkan temperatur dapat diasumsikan dengan diagram thermal sederhana, seperti ditunjukkan gambar 3.2 Gambar ini dapat dipahami karena merupakan diagram penyederhanaan dari distribusi yang lebih rumit.

Kenaikkan temperatur top oil yang diukur selama pengujian kenaikan temperatur, berbeda dengan minyak yang meninggalkan kumparan, minyak pada top oil adalah campuran sebagian dari minyak yang bersirkulasi pada sepanjang kumparan.



Gambar 3.1 Diagram Thermal

3.1.2 Kondisi Untuk Nilai Daya Tertentu

3.1.2.1 Sirkulasi Minyak Alami

Kenaikkan temperatur rata-rata kumparan (diukur dengan tahanan) = 65 °C

Kenaikkan temperatur top oil ($\Delta\theta_{br}$) = 55 °C

Kenaikkan temperatur rata-rata minyak = 44 °C

Perbedaan antara kenaikan temperatur rata-rata kumparan dan kenaikan rata-rata temperatur minyak $\Delta\theta_{wo} = 21$ °C

Kenaikkan temperatur hot spot ($\Delta\theta_{cr}$) disusun sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{cr} &= \Delta\theta_b + 1,1 \Delta\theta_{wo} \\ &= 55 + 23 \\ &= 78 \text{ °C} \end{aligned} \quad (3.1)$$

3.1.2.2 Sirkulasi Minyak Paksaan

Kenaikkan temperatur hot spot ($\Delta\theta_{cr}$) disusun sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{cr} = \Delta\theta_b + (\theta_{cr} - \theta_b) \quad (3.2)$$

$$= 40 + 38$$

$$= 78 \text{ °C}$$

3.1.3 Kondisi Untuk Beban Stabil

3.1.3.1 Kenaikkan Temperatur Top Oil

Kenaikkan temperatur ini sepadan dengan kenaikan temperatur top oil pada nilai daya yang dikalikan ratio dari total kerugian dengan eksponen x:

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right) \quad (3.3)$$

Keterangan :

d = ratio rugi

x = kontanta

x = 0,9 (ONAN dan ONAF)*

x = 1,0 (OFAF dan OFWF)

$\Delta\theta_{br}$ = suhu

Untuk $\Delta\theta_{br} = 55$ °C untuk ON, dan $\Delta\theta_{br} = 40$ °C

untuk OF.

* spesifikasi dalam sub bab 41.7.1 publikasi IEC 76 (1967), karena mengikuti tabel tunggal yang diatur untuk digunakan pada kedua jenis pendinginan dengan kesalahan yang tidak lebih dari ± 2 %.

Nilai d secara relatif tidak penting pada beban tinggi, hanya memberikan secara garis besar tinggi atau rendahnya kenaikan temperatur dalam prakteknya. Lebih dari itu ini dikompensasi untuk seberapa besar korespondensinya dengan naik atau turunnya temperatur minyak pada beban rendah.

3.1.3.2 Kenaikkan Temperatur Hot Spot

Kenaikkan temperatur hot spot $\Delta\theta_c$ unttuk beban yang stabil dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y} \quad (3.4)$$

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right) + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

Keterangan :

$\Delta\theta_{cr} = 78$ °C

y = kontanta

y = 0,8 (ONAN dan ONAF)

y = 0,9 (OFAF dan OFWF)

$\Delta\theta_{br}$ = suhu

Untuk $\Delta\theta_{br} = 55$ °C untuk ON, dan $\Delta\theta_{br} = 40$ °C

untuk OF.

3.1.4 Kondisi Untuk Beban Yang Berubah-ubah

3.1.4.1 Kenaikkan Temperatur Top Oil

Kenaikkan temperatur top oil $\Delta\theta_{on}$ pada waktu t setelah pemberian beban adalah sangat mendekati untuk kenaikan eksponensial sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + (\Delta\theta_{ou} - \Delta\theta_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/\tau}) \quad (3.5)$$

Dengan:

$\Delta\theta_{o(n-1)}$ adalah kenaikan temperatur awal minyak.

$\Delta\theta_{ou}$ adalah kenaikan temperatur akhir minyak yang telah distabilkan, berhubungan dengan beban seperti dihitung dalam sub bab sebelumnya..

τ = kontanta waktu minyak dalam jam

$\tau = 3$ (ONAN dan ONAF)

$\tau = 2$ (OFAF dan OFWF)

t = waktu dalam jam

3.1.4.2 Kenaikkan Temperatur Hot spot

Kenaikkan temperatur hot spot pada waktu tertentu sebelum kondisi distabilkan adalah mendekati perkiraan dengan asumsi bahwa kenaikan temperatur hot spot di atas kenaikan temperatur top oil yang terbentuk dengan seketika.

Kenaikkan temperatur hot spot pada waktu tertentu sama dengan:

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y} \quad (3.6)$$

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right) + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

3.2 Penuaan Relatif Isolasi Belitan Trafo

Untuk setiap peralatan yang mempunyai tugas memberikan pelayanan, akan mempunyai suatu batas umur dimana peralatan tersebut tidak dapat dipakai lagi.

Umur perkiraan transformator tenaga disini didefinisikan sehubungan dengan timbulnya panas yang diakibatkan adanya pembebanan, sehingga transformator tersebut mengalami kegagalan dalam melaksanakan fungsinya.

Memang belum diperoleh cara untuk menetapkan perhitungan umur perkiraan yang lebih baik dari yang lainnya. Dalam hal ini telah banyak percobaan-percobaan yang dilakukan untuk menentukan umur perkiraan tetapi mempunyai hasil yang berlainan. Ini disebabkan karena percobaan-percobaan yang dilakukan mempunyai ukuran nilai akhir umur yang berbeda-beda.

3.2.1 Hukum Deterioration

Umur isolasi dipengaruhi oleh deterioration seiring dengan panas dan waktu, dijelaskan dalam hukum arhenius sebagai berikut:

$$\text{Umur} = e^{[A+(B/T)]} \quad (3.7)$$

Dengan:

A dan B konstan (diperoleh dari pengujian beberapa material isolasi yang tersedia)
T adalah temperatur mutlak

Dalam cakupan 80 °C sampai dengan 140 °C hukum ini dapat dinyatakan lebih sesuai hubungannya dengan Montsinger sebagai berikut:

$$\text{Umur} = e^{-\theta p} \quad (3.8)$$

Dengan:

p konstan

θ adalah temperatur, dalam °C

3.2.2 Nilai Relatif Dari Umur Pemakaian

Hubungan Montsinger sekarang telah digunakan untuk memperoleh nilai relatif dari umur pemakaian pada temperatur θ_c , dibanding dengan nilai normal dari umur pemakaian pada temperatur θ_{cr} .

$$V = \frac{\text{Laju penggunaan umur saat } \theta_c}{\text{Laju penggunaan umur saat } \theta_{cr}} = 2^{(\theta_c - \theta_{cr})/6} \quad (3.9)$$

Persamaan 3.9 bila diubah dalam bentuk \log_{10} akan menjadi:

$$V = 10^{(\theta_c - 98)/19.93} \quad (3.10)$$

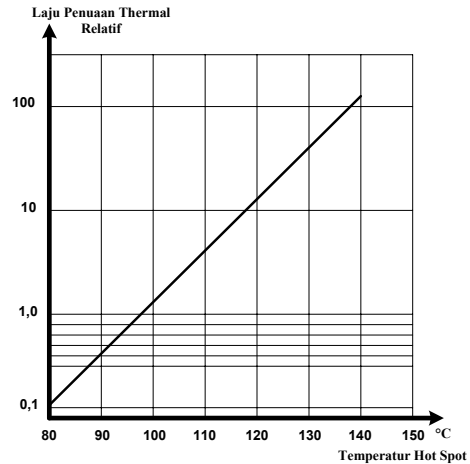
$$\theta_c = 98 + 19.93 \log_{10} V$$

Dengan:

V = nilai relatif dari umur pemakaian

$\theta_{cr} = 98$ °C menurut publikasi IEC 76 (1967).

Setelah diperoleh harga hot-spot yang terjadi akibat pembebanan pada transformator dan bila nilai suhu ini dihubungkan dengan faktor penuaan isolasi maka dapat diketahui bentuk kurva faktor penuaan dari isolasi belitan yang dipergunakan.



Gambar 3.2 Garis umur

3.2.3 Persamaan diagram kerugian umur dalam periode 24 jam

Dapat digolongkan menjadi 3 keadaan yaitu:

3.4.3.1. Operasional pada temperatur konstan

Mempertimbangkan sudut pada diagram temperatur dalam periode 24 jam sesuai untuk t jam pada temperatur konstan θ , dengan komplemen 24 jam sesuai dengan untuk temperatur rendah, kemudian jam pada umur pemakaian disediakan oleh persamaan tV .

3.4.3.2. Durasi operasional yang masih diijinkan pada θ_c

Tabel berikut memberikan nilai-nilai dari t untuk variasi nilai-nilai dari θ_c .

Tabel 3.1 Durasi operasional yang masih diijinkan

Jam per hari	θ_c
24	98
16	101.5
12	104
8	107.5
6	110
4	113.5
3	116
2	119.5
1.5	122
1.0	125.5
0.75	128
0.5	131.5

4. Analisis Perhitungan Transformator

4.1. Pembebanan Transformator Dengan Beban Konstan

4.1.1. Perhitungan-Perhitungan

Untuk mendapatkan pengaruh dari berbagai pembebanan terhadap transformator tenaga maka besarnya beban dibuat konstan menjadi 80%, 90% dan 100%.

Perhitungan – perhitungan untuk beban transformator 80%:

Menentukan Ratio Pembebanan (K)

$$K = \frac{S}{S_r}$$

$$= \frac{80\%}{100\%}$$

$$= 1,0$$

Menentukan Perbandingan Rugi (d)

$$d = \frac{\text{Rugi tembaga pada daya pengenal}}{\text{Rugi beban nol}}$$

$$= \frac{450}{100}$$

$$= 4,5$$

Menentukan Kenaikan Temperatur Ultimate Top Oil

$$\Delta\theta_{ou} = \Delta\theta_{oi} \left[\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right]^x$$

$$\Delta\theta_{ou} = 40 \left[\frac{1 + 4,5(0,8^2)}{1 + 4,5} \right]^1$$

$$= 40 \left[\frac{3,88}{5,5} \right]$$

$$= 28,218 \text{ }^\circ\text{C}$$

Menentukan Kenaikan Temperatur Top Oil (Δθ_{on})

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + (\Delta\theta_{ou} - \Delta\theta_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/\tau^0})$$

$$\Delta\theta_{o1} = 28,218 + (28,218 - 28,218) (1 - e^{-1/2})$$

$$= 28,218 \text{ }^\circ\text{C}$$

Menentukan Selisih Temperatur Antara Hot Spot Dengan Top Oil

$$\Delta\theta_{id} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{or}) K^{2y}$$

$$\Delta\theta_{id} = (78 - 40) (0,8)^{2(0,9)}$$

$$= (38) (0,8)^{1,8}$$

$$= 38 \times 0,669$$

$$= 25,430 \text{ }^\circ\text{C}$$

Menentukan Temperatur Hot Spot

$$\theta_{hn} = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{otd}$$

$$= 32 + 28,218 + 25,430$$

$$= 85,648 \text{ }^\circ\text{C}$$

Menentukan Laju Penuaan Thermal Relatif

$$V = 2^{(\theta_h - 98) / 6}$$

$$= 2^{(85,648 - 98) / 6}$$

$$= 2^{(-12,352) / 6}$$

$$= 0,24$$

Karena bebannya konstan maka besarnya laju penuaan relatif untuk tiap jam perhari sama.

Menghitung Pengurangan Umur

$$L = \frac{h}{3T} \{ V_0 + \sum 4V_{odd} + \sum 2V_{even} + V_n \}$$

$$L = \frac{1}{3 \times 24} \{ 0,24 + 4(0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24) + 2(0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24 + 0,24) + 0,24 \}$$

$$= \frac{1}{72} \{ 17,28 \}$$

$$= 0,24 \text{ pu / hari}$$

Dengan cara yang sama didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.1 Susut umur transformator dari berbagai macam pembebanan

No	Beban (%)	Susut Umur L (pu/hari)
1	100	4.0000
2	90	0.9135
3	80	0.2400

Tabel 4.2 Pengaruh suhu ambient.

No	Suhu (°C)	Susut Umur L (pu/hari)		
		Pembebanan		
		100%	90%	80%
1	20	1.0000	0.2284	0.1595
2	21	1.1225	0.2564	0.1500
3	22	1.2599	0.2877	0.0756
4	23	1.4142	0.3230	0.0849
5	24	1.5874	0.3625	0.0953
6	25	1.7818	0.4069	0.1069
7	26	2.0000	0.4568	0.1200
8	27	2.2449	0.5127	0.1347
9	28	2.5198	0.5755	0.1512
10	29	2.8284	0.6460	0.1697
11	30	3.1748	0.7251	0.1905
12	31	3.5636	0.8139	0.2139
13	32	4.0000	0.9135	0.2400
14	33	4.4898	1.0254	0.2694
15	34	5.0397	1.1510	0.3024
16	35	5.6569	1.2919	0.3395
17	36	6.3496	1.4502	0.3810
18	37	7.1272	1.6278	0.4277
19	38	8.0000	1.8271	0.4801

4.2. Analisa Real Dengan Data Yang Ada

Karena bebannya berubah-ubah didapatkan temperatur yang bervariasi seperti tabel berikut ini:

Tabel 4.3 Hasil perhitungan data 6 September 2008

Jam	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	ONAN OFAF			
			$\Delta\theta_{on}$ (°C)	θ_{hn} (°C)	v	L (pu/hr)
0	100	1	22.8402	74.3099	0.0648	0.1268
1	102	2	23.0894	75.2709	0.0724	
2	72	2	24.6804	68.3620	0.0326	
3	104	2	32.2000	85.2321	0.2288	
4	104	45	34.1765	90.5580	0.4233	
5	95	35	29.8685	81.7740	0.1534	
6	75	25	24.8057	69.5587	0.0374	
7	75	10	23.1789	67.8181	0.0306	
8	100	10	30.5155	82.4203	0.1653	
9	100	10	35.7725	87.6772	0.3035	
10	102	20	31.6134	84.4846	0.2099	
11	102	20	28.6532	81.5244	0.1491	
12	102	5	26.6281	78.8462	0.1094	
13	100	5	25.1524	76.6642	0.0850	
14	100	20	24.4870	76.6544	0.0849	
15	100	20	24.0834	76.2508	0.0811	
16	100	20	23.8386	76.0060	0.0788	
17	101	0	23.5682	75.3881	0.0734	
18	101	30	23.9555	77.3423	0.0920	
19	101	45	24.8794	80.2074	0.1280	
20	101	45	25.4398	80.7677	0.1366	
21	103	30	25.3405	79.4335	0.1171	
22	103	10	24.7903	77.4963	0.0936	
23	103	10	24.4566	77.1626	0.0901	
24	103	10	24.2542	76.9602	0.0880	

4.3. Menentukan Perkiraan Umur

• **Untuk ONAN**

Sisa umur pada tahun ke n = umur dasar - (n x susut umur)

$$2 = \text{umur dasar} - (n \times \text{susut umur})$$

$$2 + (n \times \text{susut umur}) = \text{umur dasar}$$

$$n = \frac{\text{umur dasar} - 2}{\text{susut umur}} = 13,3327 \text{ tahun}$$

• **Untuk ONAN OFAF**

Tabel 4.4 Susut umur beberapa pembebanan

No	Beban	Susut Umur L (pu/hari)	Umur (tahun)
1	100%	4.0000	7.0000
2	90%	0.9135	30.6513
3	80%	0.2400	>>30
4	6/9/08	0.1268	>>>30

4.4. Pembebanan Optimum

Bila transformator didesain dengan standar IEC dengan suhu sekitar 20 °C tetapi beroperasi di Indonesia dimana suhu lingkungan sekitar 30 °C maka trafo tersebut harus disesuaikan kemampuannya, karena pada kondisi ini suhu panas setempat lebih tinggi dari standar atau dengan kata lain trafo tersebut mengalami penurunan kapasitas. Semakin tinggi panas setempat semakin pendek operasional dari transformator tenaga tersebut.

Agar umurnya mencapai yang diharapkan maka besarnya

$$L_{maks} = 1 \text{ pu/hr atau temperatur hotspot} = 98^\circ\text{C}$$

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

$$98 = 32 + 40 \left[\frac{1 + 4,5K^2}{5,5} \right]^1 + (78-40)K^{2 \times 1,8}$$

$$32,7273K^2 + 38K^{1,8} = 58,7273$$

Persamaan diatas dapat diselesaikan dengan menggunakan metode Newton, yaitu sebagai berikut:

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X)}{f'(X)}$$

$$f(K) = 32,7273K^2 + 38K^{1,8} - 58,7273$$

$$f'(K) = 2 \times 32,7273K + 1,8 \times 38K^{0,8}$$

Sehingga K = 0,9064

$$\begin{aligned} \text{Turunnya kapasitas trafo} &= (1 - 0.9064) \times 100\% \\ &= 0,0936 \times 10\% \\ &= 9,36\% \end{aligned}$$

4.5. Analisa Optimum

Berdasarkan Tabel 3.2 yaitu durasi operasional yang masih diijinkan pada suatu transformator, untuk operasi 24 jam besarnya temperatur hotspot adalah 98°C, maka untuk pembebanan 100% dan 90% dapat dihitung pada temperatur maksimal berapa agar menghasilkan temperatur hotspot 98°C.

• **Pembebanan 100%**

$$\text{Temperatur hotspot } \theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{otd}$$

Besarnya $\Delta\theta_{on}$ dan $\Delta\theta_{otd}$ sudah dihitung pada sub bab 4.1.1 sehingga,

$$98 = \theta_a + 40 + 38$$

$$\theta_a = 98 - 78$$

$$\theta_a = 20^\circ\text{C}$$

- Pembebanan 90%

Temperatur hotspot $\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{otd}$

Besarnya $\Delta\theta_{on}$ dan $\Delta\theta_{otd}$ sudah dihitung pada sub bab 4.1.1 sehingga,

$$98 = \theta_a + 33,782 + 31,435$$

$$\theta_a = 98 - 65,217$$

$$\theta_a = 32,783^\circ\text{C}$$

Jadi suhu sekitar maksimum agar temperatur hotspot tidak melebihi 98°C untuk pembebanan 100% adalah 20°C dan $32,783^\circ\text{C}$ untuk pembebanan 90%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, mulai dari perhitungan dan analisis, dapat disimpulkan beberapa hal antara lain :

1. Pembebanan transformator berpengaruh terhadap temperatur minyaknya, semakin besar bebannya maka semakin tinggi temperaturnya, semakin rendah kecil bebannya maka semakin rendah temperaturnya.
2. Jenis pendinginan transformator menggunakan ONAN OFAF lebih bagus dibandingkan dengan ONAN, karena apabila temperatur minyak transformator tinggi maka sistem pendinginannya berubah dari ONAN menjadi OFAF.
3. Hasil penelitian diperoleh pembebanan yang mengakibatkan susut umur minimal sebesar 0,24 pu/hari adalah apabila tranformator tenaga dibebani 80%. Dengan transformator standar IEC 354 suhu lingkungan 20°C menghasilkan susut trafo minimal 1 pu/hari pada beban 100%. Berdasar data pembebanan tahun 2008 susut umur trafo tenaga GTG 1. 3 PLGU Tambak Lorok Semarang dengan pembebanan maksimum tanggal 6 September menghasilkan susut umur 0,1268 pu/hari.

5.2 Saran

Beberapa saran yang bisa diberikan untuk pembahasan umur transformator selanjutnya antara lain :

1. Agar penelitian dilakukan di daerah yang transformatornya memikul beban lebih besar dari daya pengenalnya.
2. Agar penelitian dilakukan pada transformator distribusi dan transformator tipe kering.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Arismunandar, S. Kuwahara, *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*, Jilid III, Jakarta : Pradnya Paramita, 1979.
- [2] Bean, Richard L, *Transformers For The Electric Power Industry*,
- [3] IEC, *Loading Guide For Oil Immersed Transformer*, IEC Publication, 1972.
- [4] Kadir, Abdul, *Transformator*, Jakarta : Pradnya Paramita, 1979.
- [5] Perera, KBMI, Estimation of Optimum Transformer Capacity based on Load Curve -, vol 3, No 1, Transactions of IEE Sri Lanka , January 2001.
- [6] PLN, *Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak*, SPLN 17, 1979.
- [7] PLN, *Spesifikasi Transformator Tegangan Tinggi*, SPLN 61, 1985.
- [8] PLN, *Transformator Tenaga*, SPLN 8-1, 1991.
- [9] Sulasno, Ir., *Distribusi Tenaga Listrik*, Badan penerbit UNDIP, Semarang, 2001.
- [10] Tobing, B.L., *Peralatan Tegangan Tinggi*, Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- [11] Winders Jr, John J, *Power Transformers Principles Applications*,
- [12] www.tutempo.net
- [13] www.wikipedia.com



Penulis:

Purnama Sigid
L2F 306046
Teknik Elektro
Universitas Diponegoro Semarang

Mengetahui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Tedjosukmadi, MT

Karnoto, ST MT