

Studi Analisa Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Lingkungan Terhadap Susut Umur Tranformator Daya Pada Gardu Induk Garuda Sakti

Kurniawan*, Firdaus**

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: kurn.wan12@gmail.com

ABSTRACT

Power transformers is an essential equipment in the distribution of electricity to a substation, thus cultivated a power transformer to function in accordance with its design lifespan. The loss of life power transformers is affected by several important parameters. The Parameters is end of the hot spot temperature, loading operations and environment temperature. The method is gathering the data, data processing, and analysis. The results of the study showed a third hotspot temperature transformer in Garuda Sakti substations still within safe limits set by International Electrotechnical Commission (IEC) standard. Loading has a considerable effect on the final value of the hotspot temperature than the ambient temperature. Loss of life transformers in Garuda Sakti substations each totaled 0.00017 % of transformer 1, 0.0004 % of transformers 2 and 0.00023 % of transformer 4.

Keyword : power transformer, hot spot temperature, loss of life

I. PENDAHULUAN

Perkembangan kebutuhan listrik yang pesat pada saat ini harus diikuti dengan pengoptimalan peralatan sistem tenaga listrik agar energi listrik dapat terus disalurkan secara kontiniu dan tidak terputus kepada konsumen listrik. Salah satu komponen peralatan yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik yaitu transformator daya. Fungsi transformator daya ini adalah untuk mentransformasikan tegangan sesuai dengan kebutuhan beban.

Oleh karena transformator merupakan peralatan yang sangat penting maka diusahakan agar peralatan ini berusia panjang dan dapat lebih lama dipergunakan. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kondisi suatu tranformator. Beberapa faktor penyebab berkurangnya umur tranformator atau penyebab penuaan pada isolasi transformator karena pengaruh thermal adalah temperatur

sekitar, temperatur minyak transformator dan pola pembebanan. Dengan kondisi iklim tropis di Indonesia dan adanya perubahan peningkatan beban, hal ini dapat mengakibatkan peningkatan temperatur tranformator yang berlebihan bahkan bisa sampai melewati batas toleransi yang ada. Berdasarkan standar IEC, transformator dirancang untuk dibebani sepenuhnya selama 24 jam, dengan batas aman temperatur titik panas (*hot spot*) pada belitan mencapai 98°C. Nilai dalam batasan tersebut menjamin transformator tidak mengalami kenaikan susut umur.

Berdasarkan uraian tersebut untuk mengupayakan agar umur dari transformator tetap pada umur normal, maka sebaiknya perlu adanya studi untuk mengetahui efek dan hubungan pembebanan dan temperatur lingkungan terhadap nilai akhir temperatur hot spot transformator yang berakibat pada susut umur (*loss of life*) dari transformator tersebut.

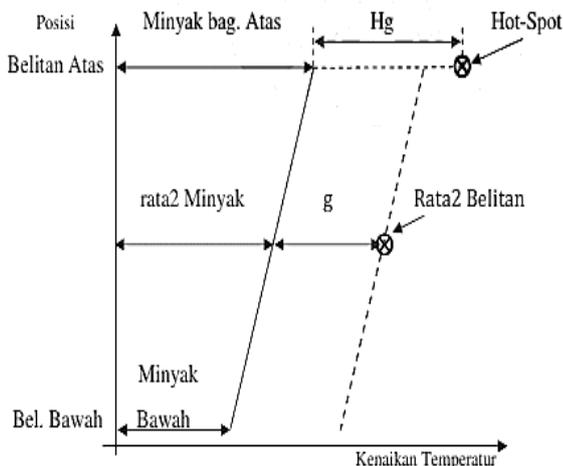
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaruh Temperatur Pada Transformator

Salah satu kerugian pada saat transformator beroperasi pada kondisi temperatur lebih adalah terjadinya penuaan isolasi. Komponen yang paling penting dari sistem isolasi adalah isolasi kertas pada belitan dan *coil* yang tidak mudah diganti. maka dari itu, umur isolasi kertas (*cellulosic material*) menjadi faktor pembatas dalam operasi transformator.

2.2 Karakteristik Thermal Transformator

Kenaikan temperatur dapat diasumsikan dengan diagram temperatur sederhana seperti ditunjukkan gambar



Gambar 1. Model Thermal Transformator

Kenaikan Temperatur Hot spot dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Delta\theta_H = H.g.K^{2m} \quad (1)$$

Dimana :

H = Faktor hot-spot yang disebabkan akibat rugi eddy pada belitan akhir

g = Selisih antara temperatur rata-rata belitan dengan temperatur rata2 minyak pada rating beban

K = Faktor Beban (suplai beban / rating beban)

m = Konstanta yang tergantung dari metode pendinginan.

Nilai Faktor H dari hot-spot menurut IEC 60076-7, untuk transformator distribusi digunakan H=1,1 dan transformator daya digunakan nilai H=1,3. Nilai konstanta m dan n berdasarkan beberapa standar :

Tabel 1. Penentuan Konstanta m dan n

| Type Pendingin | IEC | | IEEE | |
|----------------|-----|-----|------|-----|
| | n | m | n | m |
| OA/ONAN | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| FA/ONAF | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,8 |
| NDFOA/OFAF | 1 | 0,8 | 0,9 | 0,8 |
| DFOA/ODAF | 1 | 1 | 1 | 1 |

Berdasarkan model thermal transformator, nilai akhir temperatur hot spot dihitung dengan persamaan :

$$\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_H \quad (2)$$

Dimana :

θ_H = Nilai akhir temperatur hot spot (°C)

θ_A = Temperatur Ambient (°C),

$\Delta\theta_{on}$ = Kenaikan temperatur minyak atas (°C),

$\Delta\theta_H$ = Kenaikan temperatur hotspot (°C).

Persamaan untuk temperatur minyak bagian atas :

$$\theta_{on} = \theta_A + \Delta\theta_{OU} \quad (3)$$

Dimana :

θ_{on} = temperatur minyak atas (°C)

θ_A = Temperatur Ambient (°C)

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

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

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + (\Delta\theta_{OU} - \Delta\theta_{o(n-1)})\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{70}}}\right) \quad (4)$$

Dimana :

$\Delta\theta_{o(n-1)}$ = Kenaikan temperatur minyak bagian atas awal (°C)

$\Delta\theta_{OU}$ = Kenaikan temperatur minyak bagian atas steady state (°C)

t = Durasi dari beban (jam)

τ_{TO} = Waktu konstan minyak (jam), 210 menit (ONAN); 150 menit (ONAF) (Standar: IEC 60076-7)

Sedangkan untuk kenaikan temperatur minyak bagian atas steady state dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Delta\theta_{OU} = \Delta\theta_{OR} \left(\frac{1 + RK^2}{1 + R} \right)^n \quad (5)$$

Dimana:

K = Faktor beban (suplai beban/ rating beban)

R = Rasio dari rugi beban total dibandingkan rugi tanpa beban

n = konstanta

$\Delta\theta_{OR}$ = Kenaikan temperatur minyak bagian atas pada rating beban

Laju penuaan thermal relatif dapat ditentukan dengan persamaan :

$$V = e^{(0,693)(\theta_H - 98)/6} \quad (6)$$

Dimana :

V = Faktor penuaan relatif

θ_H = Temperatur Hotspot (°C)

Susut umur transformator selama 24 jam operasi dapat dirumuskan dengan :

$$L = \sum_{n=1}^N V_n \cdot t_n \quad (7)$$

Dimana :

L = Susut umur

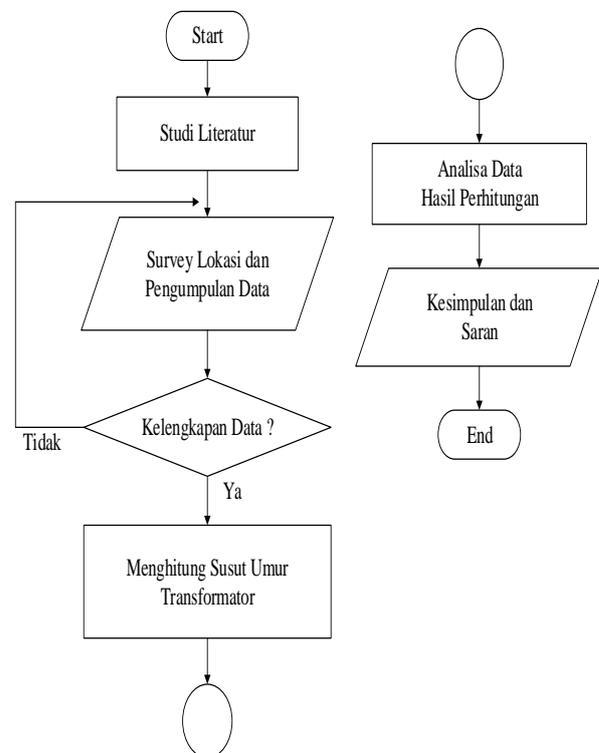
V_n = Faktor penuaan relatif pada waktu ke n

t_n = Interval waktu

III. METODE PENELITIAN

Data transformator yang digunakan pada penelitian adalah data transformator pada gardu induk Garuda Sakti dengan jumlah yang diteliti 3 buah transformator dengan kapasitas masing-masing 2×50 MVA dan 1×60 MVA dan data historis suhu lingkungan kota Pekanbaru.

Adapun diagram alir ataupun tahapan-tahapan yang hendak dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

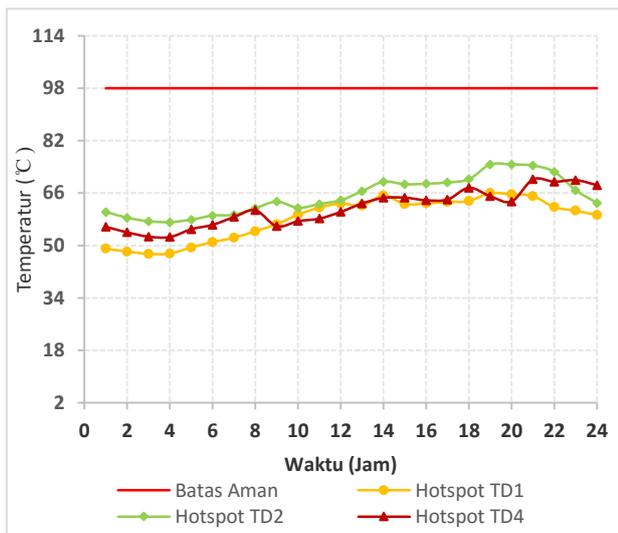


Gambar 2. Flowchart Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan untuk mengetahui apakah temperatur dan susut umur transformator pada gardu induk Garuda Sakti masih dalam batas normal yang ditetapkan oleh SPLN 17A: 1979 dan Publikasi IEC 354:1972 yaitu 98°C untuk batas temperatur hotspot selama 24 jam operasi transformator dan susut umur 0.0137% per hari.

Dengan menggunakan persamaan (1)-(5), maka didapat nilai akhir temperatur hotspot ketiga transformator gardu induk garuda sakti sebagai berikut :

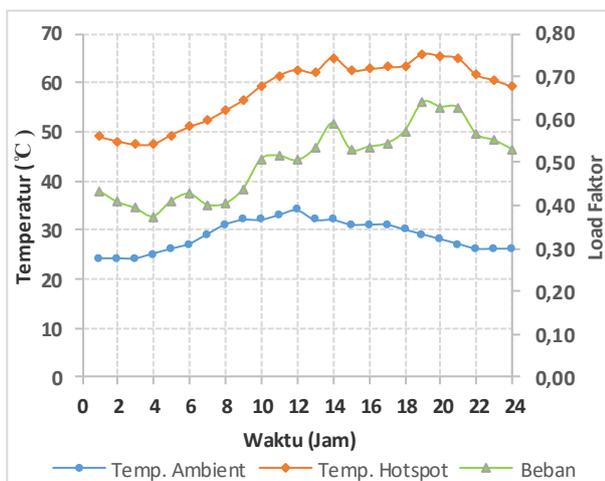


Gambar 3. Grafik Kenaikan Temperatur Hotspot Transformator Terhadap Batas Aman

Dari Gambar 3 diatas, dapat dilihat bahwa temperatur hotspot ketiga transformator gardu induk garuda sakti yaitu transformator 1, 2 dan 4 masih dalam batas normal temperatur hotspot yang ditetapkan oleh SPLN 17A: 1979 dan Publikasi IEC 354:1972 yaitu 98°C selama 24 jam operasi transformator.

Hubungan antara perubahan kenaikan beban, temperatur ambient dan temperatur hotspot pada masing-masing transformator dapat digambarkan sebagai berikut :

4.1 Transformator 1



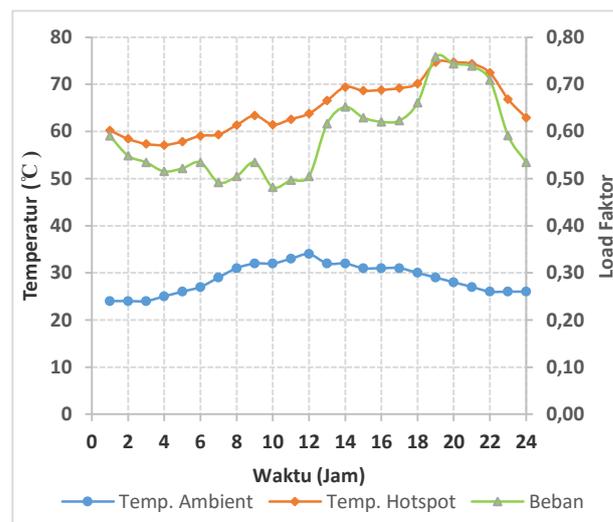
Gambar 4. Korelasi Beban, Temperatur Ambient, dan Hotspot Tranformator 1

Tabel 2. Korelasi beban, temperatur ambient dan hotspot pada transformator 1

| | Beban | Temp. Hotspot | Temp. Ambient |
|---------------|-------|---------------|---------------|
| Beban | 1 | | |
| Temp. Hotspot | 0,93 | 1 | |
| Temp. Ambient | 0,31 | 0,61 | 1 |

Dari gambar 4 diatas dapat dilihat bahwa pada siang hari beban tertinggi terjadi pada pukul 14.00 dengan nilai 0,60 pu dengan temperatur hotspot 65,257°C. Selanjutnya, terjadi lonjakan beban pada pukul 19.00 dengan nilai sebesar 0,64 pu dengan temperatur hotspot sebesar 66,001°C yang sebelumnya beban relatif stabil pada nilai 0,53 pu yang merupakan temperatur hotspot tertinggi dari jam-jam lainnya. Dari Tabel 2 diatas, dapat disimpulkan beban memiliki korelasi yang kuat dengan kenaikan temperatur hotspot yaitu sebesar 0,93. Sedangkan antara temperatur lingkungan dengan temperatur hotspot memiliki hubungan yang sedang sebesar 0,61.

4.2 Transformator 2



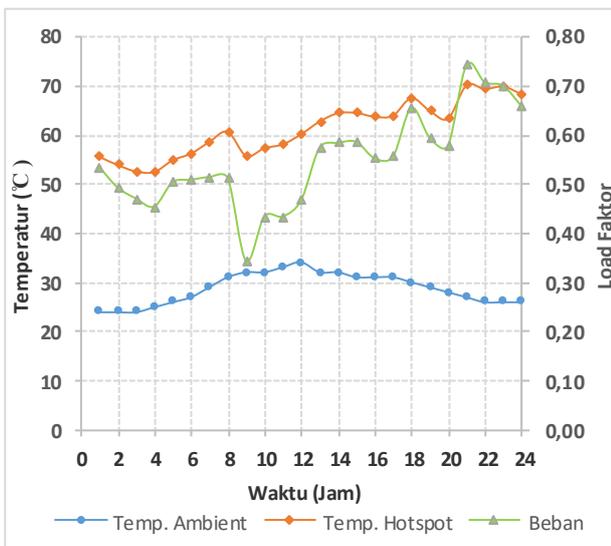
Gambar 5. Korelasi Beban, Temperatur Ambient, dan Hotspot Tranformator 2

Tabel 3. Korelasi beban, temperatur ambient dan hotspot pada transformator 2

| | Beban | Temp. Hotspot | Temp. Ambient |
|---------------|-------|---------------|---------------|
| Beban | 1 | | |
| Temp. Hotspot | 0,90 | 1 | |
| Temp. Ambient | -0,08 | 0,28 | 1 |

Dari gambar 5 diatas, dapat disimpulkan beban memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap nilai akhir temperatur hotspot. Dari Tabel 3 dapat dilihat kenaikan beban memiliki korelasi yang kuat dengan kenaikan temperatur hotspot yaitu sebesar 0,90. Sedangkan antara temperatur lingkungan dengan temperatur hotspot memiliki hubungan yang lemah sebesar 0,28.

4.3 Transformator 4



Gambar 6. Korelasi Beban, Temperatur Ambient, dan Hotspot Tranformator 4

Tabel 4. Korelasi beban, temperatur ambient dan hotspot pada transformator 4

| | Beban | Temp. Hotspot | Temp. Ambient |
|---------------|-------|---------------|---------------|
| Beban | 1 | | |
| Temp. Hotspot | 0,87 | 1 | |
| Temp. Ambient | -0,27 | 0,17 | 1 |

Dari gambar 6 diatas dapat dilihat bahwa beban puncak terjadi pukul 21.00 sebesar 0,74 pu dengan temperatur hotspot sebesar 70,193°C yang merupakan temperatur hotspot tertinggi dari jam-jam lainnya. Dari Tabel 4 diatas, dapat disimpulkan beban memiliki korelasi yang kuat dengan kenaikan temperatur hotspot yaitu sebesar 0,87. Sedangkan antara temperatur lingkungan dengan temperatur hotspot memiliki hubungan yang lemah sebesar 0,17.

Berdasarkan Publikasi IEC 354, yang ditetapkan menjadi standar PLN. (SPLN 17A:1979), umur normal suatu transformator ditetapkan setara 20,55 tahun atau 7500 hari atau 180.000 jam dengan susut umur normal 0,0137% per hari.

Dengan menggunakan persamaan (6) dan (7), maka didapatkan susut umur ketiga transformator sebagai berikut :

Tabel 5 Susut umur transformator

| Nama Transformator | Susut Umur perhari |
|--------------------|--------------------|
| Transformator 1 | 0,00017% |
| Transformator 2 | 0,0004% |
| Transformator 4 | 0,00023% |

Dari Tabel 5 diatas dapat diketahui bahwa ketiga transformator gardu induk Garuda Sakti masih dalam batas susut umur normal yang ditetapkan oleh Publikasi IEC yaitu 0,0137% perhari. Hal ini disebabkan oleh pembebanan rata-rata ketiga transformator masih dalam batas pembebanan yang ditetapkan oleh PT. PLN yaitu 80% pembebanan ideal atau menurut Publikasi IEC 354 (1991), pembebanan dan suhu lingkungan efektif yang diizinkan untuk memperoleh susut umur normal yaitu pada suhu lingkungan 30°C dengan beban 0,91 pu. Berdasarkan data historis pembebanan gardu induk Garuda Sakti, pembebanan transformator setiap harinya hanya sekitar 0,56 pu perhari dengan beban puncak sekitar 0,71 pu dan temperatur rata-rata/efektif kota Pekanbaru berdasarkan

data historis BMKG hanya sekitar 29°C setiap harinya. Sehingga dari hasil perhitungan diperkirakan umur ketiga transformator masih diatas 20 tahun.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Temperatur hotspot ketiga transformator gardu induk Garuda Sakti masih dalam batas aman yang ditetapkan oleh Publikasi IEC yaitu tidak melebihi 98°C selama 24 jam operasi.
2. Beban memiliki pengaruh yang lebih besar dalam kenaikan temperatur hotspot transformator dibandingkan dengan temperatur lingkungan.
3. Susut umur ketiga transformator gardu induk Garuda Sakti masih dalam batas susut umur normal yang ditetapkan oleh Publikasi IEC yaitu 0,0137% perhari dengan masing-masing bernilai 0,00017% pada trafo 1, 0,0004% pada tranformator 2 dan 0,00023% pada transformator 4.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya untuk menganalisa nilai temperatur hotspot dan susut umur transformator yang lebih akurat maka dapat menggunakan sistem pemodelan simulink pada Matlab.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ghosh, S. 2016. Calculating of The Hot Spot Temperature And Aging of A Transformer. *International Journal of Technical Research and Applications*, 4(1): 140-143.
- [2] Godina, R, E.M.G. Rodrigues, J.C.O. Matias, dan J.P.S Catalao. 2015. Effect of Loads and Other Key Factors on Oil Transformer Ageing: Sustainability Benefits and Challenges. *Energies Journal*, 8: 12147-12186.
- [3] Gouda O.E, G.M. Amer, W.A.A. Salem. 2012. Predicting Transformer Temperature Rise and Loss of Life in The Presence of Harmonic Load

Currents. *Ain Shams Engineering Journal*, 3: 113-121.

- [4] Hardityo, R. 2008. Deteksi Dan Analisis Indikasi Kegagalan Transformator Dengan Metode Analisis Gas Terlarut. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- [5] Hashmi, M. Lehtonen, M., dan Hanninen, S. 2013. Effect of Climate Change on Transformers Loading Conditions in the Future Smart Grid Environment. *Open Journal of Applied Science* (3) : 24 – 29.
- [6] Holtshausen, C.B. 2015. Transformer Thermal Modelling, Load Curve Development and Life Estimation. *R & D Journal of the South African Institution of Mechanical Engineering* 2015, 31, 12-16.
- [7] IEC 354 1991-09 Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformers.
- [8] IEEE Std. C57.91-1995 IEEE Guide for Loading Mineral Oil Immersed Transformers.
- [9] Krisnadi, D.I. 2011. Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Masa Guna Dan Pembebanan Darurat Transformator Daya. *Tesis*. Program Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- [10] Wuwung, J.O. 2010. Pengaruh Pembebanan Terhadap Kenaikan Suhu Pada Belitan Transformator Daya Jenis Terendam Minyak. *Jurnal Tekno*, 07(52): 29-39
- [11] Short, T.A. 2004. *Electric Power Distribution Handbook*. First Edition. CRC Press LLC. Washington D.C.
- [12] SPLN No 17 Tahun 1979 Standart Perusahaan Umum Listrik Negara, 3 Desember 1979. Departemen Pertambangan dan Energi. Jakarta.