
Studi Kelayakan Pengoperasian Lanjut Transformator Daya Berdasarkan Sisa Umur Isolasi Menggunakan Pendekatan Arrhenius

¹M. Ikhsan, ²Tarmizi

¹Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Ar-Raniry

²Program Studi Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala

1m.ikhsan@ar-raniry.ac.id

Abstrak

Peralatan sistem tenaga seperti transformator daya memiliki umur desain yang ditentukan oleh oleh perusahaan manufaktur sehingga dapat beroperasi dalam kurun waktu tertentu. Namun sejalan dengan pemakaiannya dilapangan, umur transformator daya tersebut dapat berkurang atau bertambah dari umur desainnya. Paper ini memaparkan perhitungan sisa umur transformator tua (aging) menggunakan pendekatan Arrhenius yang didasari oleh temperatur saat pemeriksaan lapangan dari beberapa kali inspeksi pada tahun 1982, 2013, dan 2014. Transformator yang diukur dalam studi ini memiliki rating 30 MVA dan digunakan pada lingkungan kilang gas alam cair. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahwa transformator tersebut masih layak untuk dioperasikan hingga 17,8 tahun lagi dengan mengikuti syarat dan ketentuan yang berlaku. Sebagai pendukung keputusan, pemeriksaan eksternal secara visual dan pengukuran earth grounding juga dilakukan.

Kata kunci: Sel transformator daya, umur, Arrhenius, standar IEC, temperatur.

Abstract

Power system equipment such as power transformers are designed by the manufacturer to be able operate until a certain age. However, due to its operation pattern, this age can be extended. The study describes calculation of remaining life of aging power transformer using Arrhenius approach. The assessment is based on top-oil temperature which gathered in field inspections on 1982, 2013, and 2014. The transformer on this study had rating of 30 MVA which operate at LNG refinery environment. From the assessment, it is known that the transformer is still suitable for operation up to 17.8 years with terms and conditions apply. External visual inspection and measurement of earth grounding is also done.

Keywords: power transformer, age, Arrhenius, IEC standard, temperature.

1. Pendahuluan

Peralatan sistem tenaga seperti transformator daya didesain untuk dapat beroperasi dalam kurun waktu tertentu, namun umur peralatan ini pada dasarnya dapat melebihi dari umur desain yang diberikan oleh manufaktur [1]. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi umur transformator adalah pola pengoperasiannya dilapangan serta sistem proteksi yang handal [2]. Artikel ini memaparkan metode perhitungan sisa umur dari peralatan transformator daya menggunakan data temperatur. Transformator ini berada pada kawasan kilang gas alam dan telah melewati umur desainnya yaitu 30 tahun. Perhitungan sisa umur dilakukan berdasarkan data inspeksi yang pernah dilakukan sepanjang pengoperasian transformator daya ini. Temperatur permukaan, rasio pembebanan dan beberapa parameter lain menjadi input fungsi Arrhenius sehingga faktor penuaan dapat diketahui dan sisa umur dapat diprediksi.

2. Metodologi

Perhitungan sisa umur transformator daya umumnya dilakukan dengan menggunakan data berikut [3]:

- Data elektrik yang terdiri dari tahanan isolasi (R_{60} , indeks polarisasi/PI, absortance indeks/ K_a dan tangen delta), arus bocor dan faktor disipasi.
- Data pengetesan minyak yaitu terdiri dari Dissolved Gas Analysis /DGA (H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2), komposisi air (*water content*), furan analysis dan Oil Quality.
- Data respon dielektrik dan derajat polimerisasi yakni arus polarisasi, arus depolarisasi, serta *frequency domain spectroscopy*.
- Data temperatur *hospot* minyak transformator dalam derajat celsius yang dihasilkan oleh belitan transformator

Namun karena kendala di lapangan, data elektrik, data pengetesan minyak, dan data respon dielektrik tidak bisa didapatkan. Data ini hanya bisa diukur apabila transformator berada dalam keadaan mati. Maka dari itu perhitungan sisa umur transformator dalam studi ini hanya dapat diperkirakan berdasarkan data temperatur *hospot* minyak transformator daya yang diakibatkan oleh belitan primer dan sekunder. Standar IEC 60076-7 tahun 2005 menyatakan bahwa, masa pakai transformator akan menurun seiring pemakaiannya, dan tingkat penuaan transformator sangat bergantung terhadap temperatur *hotspot* [4, 5]. Standar IEC 60076-7 dan IEEE C57.91-1995 juga menyebutkan bahwa disorientasi isolasi dapat dituliskan sebagai fungsi waktu dan temperatur yang memenuhi persamaan reaksi Arrhenius [6], secara matematis persamaan ini dapat dituliskan seperti (1):

$$F_{AA} = \text{Exp} \left(\frac{15000 - 15000}{303 - \theta_H + 273} \right) \quad (1)$$

Dimana θ_H merupakan temperatur pada titik terpanas/*hotspot* dalam satuan $^{\circ}\text{C}$ yang secara teoritis berada pada belitan. Temperatur *hotspot* dapat diukur secara langsung menggunakan termometer khusus. Jika tidak memungkinkan untuk diukur secara langsung maka dapat diketahui secara tidak langsung menggunakan persamaan emipris (2):

$$\theta_H = t + Hg_r \cdot K^2 \quad (2)$$

Dimana t adalah temperatur permukaan minyak (*top-oil temperature*). F_{AA} seperti ditunjukkan (1) dapat digunakan untuk mengetahui kecepatan penuaan transformator. Untuk mengetahui prakiraan sisa umur dari suatu transformator, maka perlu dipahami terlebih dahulu mengenai *normal insulation life* isolasi sesuai standar IEC 60076-7 maupun IEEE C57.91-1995 seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Umur isolasi transformator normal

Basis	Normal insulation life	
	Jam	Tahun
50% retained tensile strength of insulation	65.000	7,42
25% retained tensile strength of insulation	135.000	15,41
200 retained degree of polymerization in insulation	150.000	17,12
Interpretation of distribution transformer functional life test data	180.000	20,55

Dari nilai temperatur *top-oil temperature* maka perhitungan prakiraan sisa umur dari transformator dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (3):

$$RLA = life_{norm} - \int_x^y life_{act} dt \quad (3)$$

Dimana $life_{norm}$ adalah umur normal isolasi dan $life_{act}$ adalah umur aktual isolasi sebagai fungsi F_{AA} , temperatur *top-oil* θ_h , dan rasio beban transformator. Nilai $life_{norm}$ dari isolasi transformator dapat disesuaikan dengan tabel 1. Sebagai bahan pertimbangan lanjut maka grounding transgromator juga diukur sesuai standar ANSI/IEEE 81-1983.

3. Spesifikasi Transformator Daya

Perhitungan sisa umur yang dilakukan pada studi ini diberlakukan kepada transformator daya yang digunakan pada kilang LNG seperti terlihat pada gambar 1.



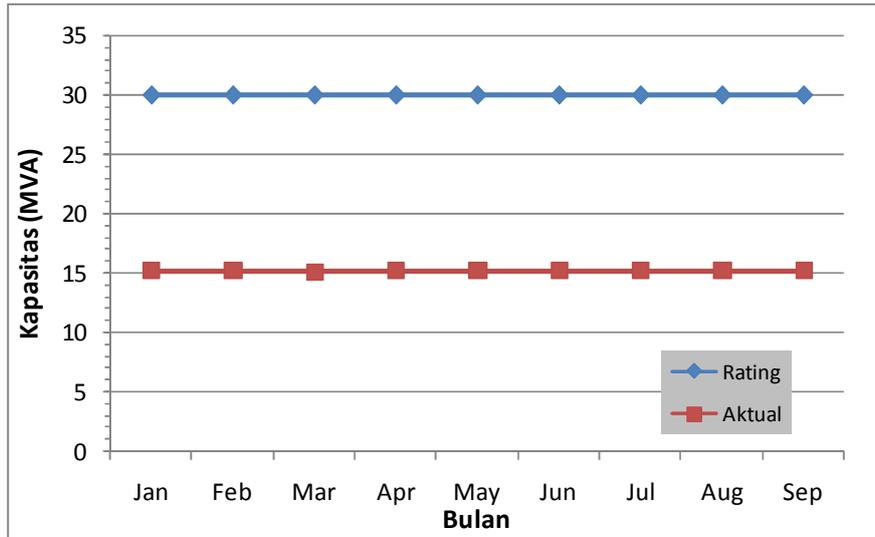
Gambar 1. Transformator daya yang diukur

Adapun spesifikasi transformator tersebut adalah sebagai berikut:

- Pabrik Pembuat : Hitachi Ltd.
- Tahun Pembuatan : 1976
- Tahun Pemakaian : 1976
- Rating daya : 30 MVA
- Rasio tegangan : 34,5 kV / 11,5 kV step-down
- Koneksi : Delta-Wye
- Fasa : 3
- Frekuensi kerja : 50 Hz
- Grup vector : Dyn 11
- Efisiensi : 99,07% (F.L 100%); 99,22% (F.L 75%); 99,33% (F.L 50%)
- Faktor Daya (PF) : 0,8
- Inrush current : 800-1000% ,kurang dari 1 detik
- Resistansi per fasa : H.V 0,75 ; L.V 0,0035

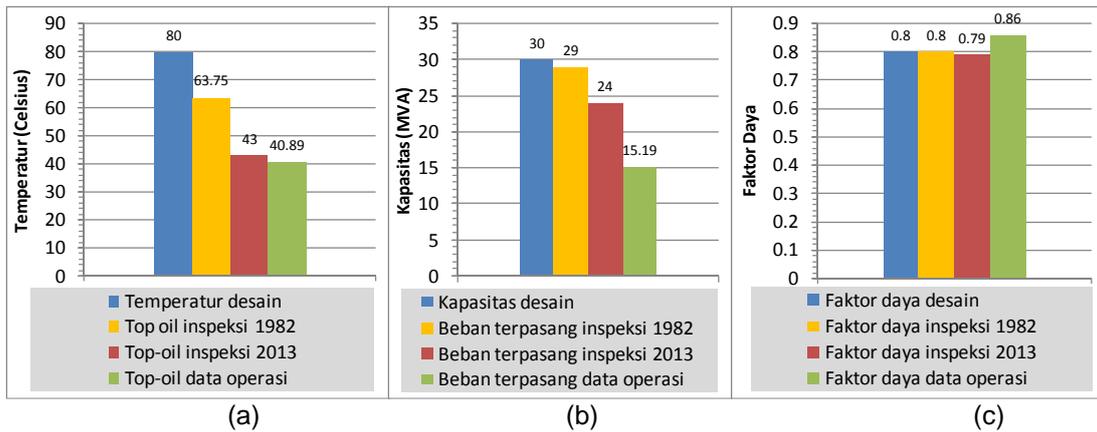
4. Data Desain, Operasi, Inspeksi, dan Perawatan Transformator Daya

Transformator daya yang diukur pada studi ini mulai dioperasikan pada tahun 1976. Berdasarkan riwayat operasinya pada tahun 1982, Hitachi Ltd. selaku pabrik pembuat transformator daya tersebut telah melakukan inspeksi dan pengujian dengan hasil layak operasi [7]. Transformator daya yang digunakan sebelumnya juga tercatat pernah dilakukan inspeksi dan pengujian oleh perusahaan rekanan yang ditunjuk pada tahun 2010 dan 2013 dengan hasil dinyatakan layak dan memenuhi persyaratan keamanan dan keselamatan kerja. Data operasi selama Januari 2014 sampai September 2014 transformator daya dioperasikan dengan kapasitas beban rata-rata 15.19 MVA (faktor pembebanan 0,86) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kapasitas beban transformator daya berdasarkan kondisi operasi

Parameter kelistrikan yang terdiri dari kapasitas (MW), faktor daya ($\cos \phi$) dan temperatur *top-oil* untuk data desain, inspeksi tahun 1982, inspeksi tahun 2013, dan data operasi 2014 ditunjukkan seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Data desain, inspeksi tahun 1982, inspeksi tahun 2013, dan data operasi 2014 (a) temperatur (b) Kapasitas (c) faktor daya.

5. Hasil dan Analisis

a. Pengukuran nilai grounding

Sesuai hasil inspeksi lapangan, transformator daya ini memiliki nilai seperti tertera pada Tabel 3:

Tabel 3. Hasil Inspeksi Transformator Daya

Parameter	Nilai
Umur	38 tahun
Rating	30 MVA
Rata-rata temperatur top-oil	41.66 °C
Rata-rata rasio pembebanan	0.589
Cos Pi	0.858
Grounding	

• Terpasang	titik a	1.49
	titik b	1.50
	titik c	1.53
• Terlepas	titik a	1.39
	titik b	1.41
	titik c	1.41

Standar ANSI/IEEE Std 81-1983 menyatakan bahwa nilai resistansi *grounding* yang diperbolehkan adalah maksimum 5 Ω [8]. Pengukuran *Grounding* dengan *Digital Earth Tester* pada transformator daya menunjukkan nilai resistansi rata-rata 1.455 Ω , jauh dibawah nilai aman maksimum yang direkomendasikan. Dengan demikian, berdasarkan nilai *grounding*-nya transformator daya yang diukur masih berada dalam kategori aman.

b. Perhitungan Remaining Life

Berdasarkan data inspeksi temperatur *top-oil*, maka temperatur *hotspot* θ_H dapat dihitung dengan (4):

$$\theta_H = t + Hg_r \cdot K^y \quad (4)$$

Dimana pembebanan transformator K merupakan rasio kapasitas beban terhadap kapasitas rating seperti ditunjukkan (5):

$$K = \frac{\text{kapasitas beban}}{\text{kapasitas rating}} \quad (5)$$

Hg_r dan y merupakan konstanta yang masing-masingnya bernilai 23 dan 1.6. Maka, temperatur *hot-spot* adalah seperti ditunjukkan (6).

$$\theta_H = 41.66 + 23 \cdot 0.58^{1.6} = 51.54 \quad (6)$$

Sesuai dengan temperatur *hotspot* maka faktor penuaan dapat dihitung seperti persamaan (7).

$$F_{AA} = \text{Exp} \left(\frac{15000 - 15000}{383 - 51.54 + 273} \right) = 0.00086 \quad (7)$$

Dengan menggunakan basis umur 180.000 jam sesuai Tabel 1 dan rasio pembeban 0.589, maka perkiraan sisa umur (remaining life assessment) transformator dapat dihitung menggunakan (8).

$$RLA = \text{lif}_{e_{norm}} - \text{lif}_{e_{act}}(F_{AA}, \theta_H, \text{rasio beban}, \text{umur}) \quad (8)$$

Jika $\text{lif}_{e_{act}}$ dibagi menjadi tiga periode waktu, maka,

$$RLA = \text{lif}_{e_{norm}} - \left(\int_a^b \text{lif}_{e_{act1}} dt + \int_c^d \text{lif}_{e_{act2}} dt + \int_e^f \text{lif}_{e_{act3}} dt \right) \quad (9)$$

Atau dalam bentuk diskrit dapat dituliskan seperti (10),

$$RLA = \text{lif}_{e_{norm}} - \left(\sum_a^b \text{lif}_{e_{act1}} \times t_n + \sum_c^d \text{lif}_{e_{act2}} \times t_n + \sum_e^f \text{lif}_{e_{act3}} \times t_n \right) \quad (10)$$

Dimana:

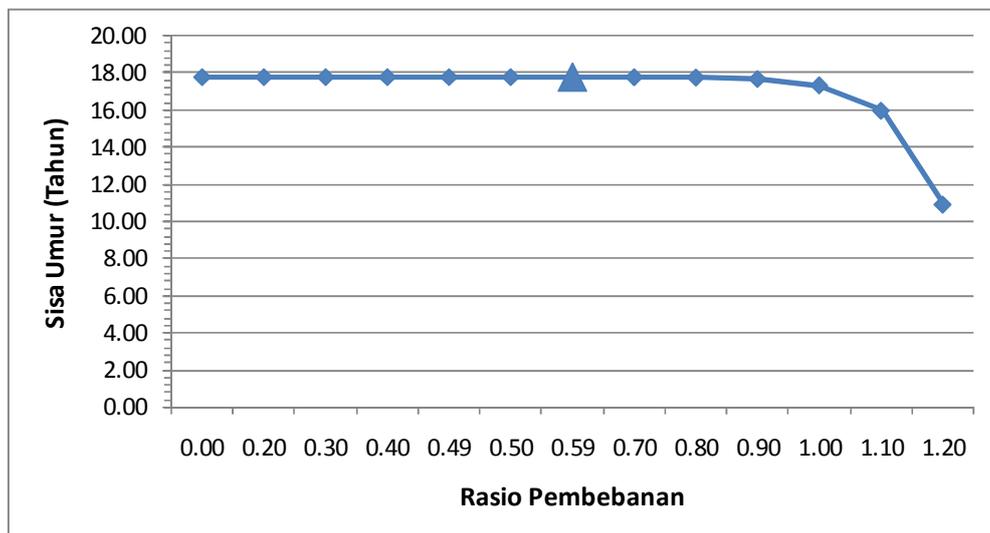
- a : tahun 1976
- b : tahun 2012 akhir
- c : tahun 2013 awal

d : tahun 2013 akhir
 e : tahun 2014 awal
 f : tahun 2014 hingga November
 $life_{act1}$: umur habis transformator terhitung dari tahun 1976-2012 akhir
 $life_{act2}$: umur habis transformator terhitung dari tahun 2013 awal -2013 akhir
 $life_{act3}$: umur habis transformator terhitung dari tahun 2014 awal -2014 November
 t_n : interval waktu

maka,

$$RLA = life_{norm} - 24047.15 - 21.64 - 6.92 = 155924.28 \text{ jam (17.80 tahun)} \quad (11)$$

Dengan demikian sisa umur dari *transformator daya* yang diukur diperkirakan masih berumur 17.8 tahun lagi. Bila kapasitas beban bertambah, rasio pembebanan (k) dan temperatur *top-oil* akan meningkat dan umur transformator akan lebih berkurang dari yang telah diprediksi, hal ini terlihat seperti pada Gambar 4. Titik segitiga merupakan sisa umur transformator berdasarkan data inspeksi lapangan Oktober 2014.



Gambar 4. Penurunan sisa umur transformator daya akibat peningkatan rasio beban

c. Rekomendasi

Berdasarkan hasil inspeksi visual di lapangan ditemukan beberapa hal yang perlu mendapatkan perhatian seperti kaca *liquid level meter* dan *thermometer* yang buram (*cloudy*) seperti terlihat pada Gambar 5, *Tag number* yang terhapus dari transformator, karatan pada badan transformator, tumbuhan liar yang menutupi transformator, serta *bonding* pentanahan yang tertimbun tanah. Untuk mendukung operasi transformator yang akan bekerja 17.8 tahun lagi maka beberapa tindakan yang perlu dilakukan diantaranya adalah:

- Penggantian *gasket* dan kaca *thermometer*.
- Memperjelas *tag number* pada *casing* transformator.
- Cat ulang *casing* transformator dan pembersihan *bonding* pentanahan dari tanah agar laju korosi tidak cepat
- Pembersihan tumbuhan liar dari lingkungan transformator secara berkala.
- Evaluasi dan inspeksi ulang transformator dalam periode 3-5 tahun.



Gambar 5. Gasket dan kaca indikator temperatur yang sudah buram.

6. Kesimpulan

Studi ini ditujukan untuk mengetahui sisa umur transformator daya yang telah melewati umur desainnya. Perhitungan dilakukan berdasarkan data pengukuran langsung temperatur *top-oil* di lapangan, serta mengacu kepada standar IEC 60076-7 tahun 2005. Dari studi ini dapat disimpulkan bahwa faktor penuaan (F_{AA}) transformator adalah 0.00086, dan umur sisa peralatan adalah 17.8 tahun. Peralatan transformator daya ini masih layak dan aman untuk digunakan sejauh penggunaan dilapangan sesuai dengan asumsi yang digunakan pada studi ini. Namun demikian, evaluasi dan inspeksi ulang perlu dilakukan dalam periode 3-5 tahun mengingat kondisi peralatan dapat berubah karena perubahan kondisi operasi dan kondisi perawatan.

7. Penghargaan

Penulis ingin berterima kasih kepada PT Perta Arun Gas yang telah mendanai studi ini pada tahun 2014

Referensi

- [1] Arshad, Muhammad; Islam, Syed M.; Khaliq, Abdul. Power transformer aging and life extension. In: *Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2004 International Conference on*. IEEE, 2004. p. 498-501.
- [2] Setayeshmehr, Alireza, et al. A procedure for diagnosis and condition based maintenance for power transformers. In: *Electrical Insulation, 2004. Conference Record of the 2004 IEEE International Symposium on*. IEEE, 2004. p. 504-507.
- [3] Yuan Li; Ming-jie Tang; Jun-Bo Deng; Guan-jun Zhang; Shu-hong Wang, "An approach to aging assessment of power transformer based on multi-parameters," *Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 2012 International Conference on*, vol., no., pp.357,360, 23-27 Sept. 2012
- [4] IEC std 60076-7, Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformer.
- [5] SUSA, D.; NORDMAN, H. IEC 60076-7 loading guide thermal model constants estimation. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2013, 23.7: 946-960.
- [6] IEEE std C57.91-1995, IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformer.
- [7] Sertifikat inspeksi PT Arun NGL No. F3100-a-82001 tanggal 20 Agustus 1982.
- [8] ANSI/IEEE Std 81-1983, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System