

STUDI PENUAAN TRANSFORMATOR BHT01 TIPE KERING RSG-GAS

Yan Bony Marsahala

ABSTRAK

STUDI PENUAAN TRANSFORMATOR BHT01 TIPE KERING RSG-GAS. Studi ini dilakukan untuk mengkaji kinerja, taksiran penuaan, percepatan proses penuaan, dan upaya memperlambat proses penuaan *transformator*. Metode pembahasan dilakukan melalui pengumpulan data, pengukuran dan studi literatur, mencakup deskripsi, dasar rangkaian *transformator*, temperatur, beban *transformator*, dan laju kegagalan. Dari hasil pembahasan diperoleh bahwa *transformator* jenis ini, instalasinya harus ditempatkan dalam ruangan dengan temperatur udara maksimum 30 °C atau 10 °C hingga 15 °C lebih kecil dari temperatur titik belitan *transformator* terpanas. Daya maksimum disarankan tidak melebihi 80 % dari kapasitas maksimum trafo atau 1280 KVA. Kondisi terpasang *transformator* BHT01 hanya menanggung beban maksimum 640 KVA (40 % dari kapasitas) yang diperoleh pada saat operasi reaktor. Pada kondisi ini pula, temperatur ruangan trafo adalah 27 °C. Dengan demikian bilamana kondisi tersebut dapat dipertahankan terus melalui perawatan yang baik, maka diprediksi bahwa *transformator* laik dioperasikan hingga 30 tahun.

Kata kunci: Penuaan, *transformator* tipe kering.

ABSTRACT

AGING STUDY FOR DRY TYPE TRANSFORMER BHT01 RSG-GAS. This study was done in order to investigate the performance of aging predictions, aging acceleration, and also to decelerate a transformer aging processes. Methods for discussion are data collections, measurement, and literature studies, involving of basic circuit of transformer, temperature, transformer loads, and failure rate. By the discussion results it is found that this type of transformer must be installed in a room with ambient temperatures 30 °C or 10 °C up to 15 °C, at which it is less than highest temperature of the spot transformer windings. The maximum load desired is not more than 80% of its maximum capacity or 1280 KVA. The installed transformer BHT01 is only allowed to endure a maximum load of 640 KVA (40 % of capacity) that is reached during reactor operation. At this condition, transformer ambient temperature is 27 °C. Thereby, if that condition can be maintained by the proper maintenances, the transformer life time may be predicted up to 30 years old.

Keyword: Aging, dry type transformer.

PENDAHULUAN

Penuaan (*aging*) didefinisikan sebagai suatu proses perubahan struktur dan karakteristik komponen, dan sistem-sistem yang terjadi secara *gradual* seiring waktu dan penggunaan. Penuaan tidak dapat dihindari, namun prosesnya dapat diperlambat. Oleh karena itu, penuaan *transformator* RSG-GAS memasuki 20 tahun operasi menjadi hal penting yang perlu dikaji agar proses penuaan yang sedang dan akan berlangsung terus dapat diperlambat. Upaya apa saja yang dapat dilakukan untuk memperlambat proses penuaan tersebut patut dipelajari lebih jauh agar sistem listrik sebagai sarana pendukung operasi reaktor dapat bertahan setidaknya sampai masa dekomisioning. Studi penuaan *transformator*, mencakup berbagai hal dimulai dari jenis *transformator*, faktor-faktor yang mengakibatkan terjadinya proses penuaan, dampak penuaan *transformator* terhadap sistem listrik, hingga alternatif upaya yang mungkin ditempuh untuk mengurangi kecepatan proses penuaan tersebut. *Transformator* dimaksud dalam tulisan ini adalah *transformator* daya BHT01 tipe kering yang digunakan memasok jalur distribusi *Train A* pada sistem listrik RSG-GAS.

TEORI

Transformator adalah sebuah mesin listrik yang dapat memindahkan tenaga listrik dari satu belitan primer ke belitan sekunder, disertai dengan perubahan arus dan tegangan. Pemindahan tenaga listrik ini terjadi tanpa melalui hubungan langsung antar belitan tersebut. Prinsip pemindahan tenaga listrik pada *transformator* berdasarkan teori Michael Faraday, yang dikenal dengan Teori Induksi Elektromagnetik. Dalam percobaan

Faraday dijelaskan, pada sebuah inti besi lunak yang tertutup dibelit oleh belitan yang dinamakan belitan primer dan belitan sekunder, dimana belitan primer dihubungkan langsung dengan sumber listrik, sedangkan belitan sekunder dihubungkan dengan beban. Dampak penuaan biasanya membicarakan hal-hal mengenai sesuatu yang tak diinginkan ataupun tentang kegagalan. Namun, pada dasarnya penyebab fenomena penuaan adalah frekuensi kondisi kerja (*service condition*) mencakup pergerakan dari bagian mekanisme penuaan yang menimbulkan dampak tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan, bahwa:

$$\begin{matrix} \text{kondisi} & + & \text{mekanisme} & & \text{menyebabkan} \\ \text{kerja} & & \text{penuaan} & = & \text{dampak yang} \\ & & & & \text{tak diinginkan} \\ & & & & \text{atau kegagalan} \end{matrix}$$

Operasional Trafo

Transformator BHT01 bekerja sebagai *transformator* 3 fasa hubung bintang yang pada kapasitas penuh memiliki *rating* sebagai berikut, yaitu: $P_{3\phi Y} = 1600$ KVA; $V_{3\phi} = 400$ Volt; Frek. = 50 Hz; dan faktor daya ($\text{Cos } \phi$) = 0.8. Daya *transformator* 3 fasa ini dirumuskan sebagai:

$$P_{3\phi Y} = \sqrt{3} \times V_{3\phi} \times I_L \times \eta \times \text{Cos } \phi, \dots\dots\dots 1)$$

dimana:

- $P_{3\phi Y}$ = daya tiga fasa hubung bintang,
- $V_{3\phi}$ = tegangan tiga fasa 400 Volt,
- I_L = arus *line* (beban).

Sehingga dari persamaan di atas, dapat dihitung arus beban pada kapasitas penuh adalah:

$$I_L = \frac{P_{3\phi Y}}{\sqrt{3} \times V_{3\phi} \times \eta \times \text{Cos } \phi}, \dots\dots\dots 2)$$

Dengan mensubstitusi harga parameter trafo pada persamaan 2), maka diperoleh arus beban penuh, $I_L = \frac{1600000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.8} = 2886.75$ Amper

Arus Beban Maksimum
=> **Pada belitan sekunder**

Arus beban maksimum adalah arus beban tertinggi yang mungkin dipikul oleh *transformator* karena operasional dari beban terpasang pada saat reaktor beroperasi.

- teoritis (berdasarkan beban terpasang)
 $I_{mt} = kd \times I_{tot} = 0.7 \times 2,470 = 1729$ A.
- hasil pengukuran pada saat operasi reaktor, $I_{mp} = 812.56$ Amper.

Perbandingan arus beban maksimum terhadap kapasitas trafo

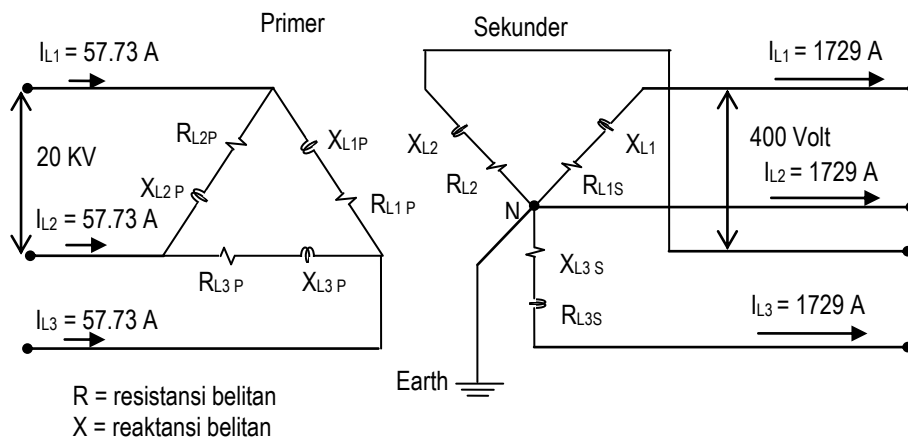
- teoritis = $(1729 / 2886.75) \times 100 \% = 59.89 \%$.
- hasil pengukuran = $(812.56 / 2886.75) \times 100 \% = 28.24 \%$.

=> **Pada belitan primer**

Dari persamaan 6) diperoleh bahwa perbandingan trafo, $a = E_2/E_1$, sehingga dengan mensubstitusi harga tegangan pada sisi primer dan sisi sekunder diperoleh:

$a = 400/20000 = 0.02$, sehingga besar arus yang mengalir pada belitan primer adalah $a \times$ arus yang mengalir pada belitan sekunder, sehingga: arus beban pada kapasitas penuh menjadi:

$I_{LP} = a \times I_L = 0.02 \times 2886.75 = 57.73$ A.



Gambar 1 Rangkaian *transformator* 3 fasa delta-bintang

Penuaan Transformator

Semua *transformator* yang digunakan di lingkungan RSG-GAS merupakan peralatan yang telah lolos uji pabrik dengan jaminan masa pakai tertentu yang ditentukan oleh pabrik berdasarkan hasil pengujian laju kegagalan (λ) peralatan dalam satu tahun operasi (8600 jam). Dengan demikian dipastikan bahwa setiap unit peralatan dilengkapi dengan deskripsi dan spesifikasi sebelum alat dimaksud dilepas ke pasar.

Dalam artian bila suatu *transformator* dengan spesifikasi dan laju kegagalan tertentu digunakan sesuai dengan persyaratan operasional yang tersirat pada spesifikasinya, maka peralatan itu akan bekerja dengan baik sesuai fungsinya hingga perioda waktu masa pakainya dilampaui.

Bila masa pakainya berakhir, maka tidak ada jaminan bahwa peralatan dimaksud masih laik operasi atau tidak. Namun fakta dilapangan bisa mengatakan lain, tergantung

bagaimana peralatan tersebut diperlakukan. Tentu saja perlakuan yang baik dan benar akan menjamin peralatan mampu bekerja optimal. Sebaliknya bilamana perlakuan terhadap peralatan dimaksud buruk, maka masa laik operasi yang diberikan pabrik tidak menjamin bahwa peralatan itu dapat bekerja sesuai fungsinya pada perioda masa pakainya. Pada kondisi demikian, disebut bahwa peralatan dimaksud mengalami percepatan penuaan.

Dari uraian di atas, bila suatu peralatan dapat mengalami percepatan penuaan, maka sebaliknya peralatan dapat juga diperlambat penuaannya, sehingga masa laik pakainya akan bertambah. Pada kondisi demikian disebut peralatan mengalami perpanjangan usia. Perpanjangan usia peralatan dapat terjadi hanya karena peralatan itu menerima perlakuan operasional dan perawatan yang baik dan benar, sehingga upaya memperlambat proses penuaan peralatan dapat didefinisikan sebagai:

Tindakan memperlakukan peralatan berdasarkan spesifikasi, dioperasikan berdasarkan prosedur operasi yang benar sesuai rating kerjanya serta mendapatkan perawatan berkala sesuai standar perawatan dan oleh tenaga rawat terampil.

Dengan demikian, upaya memperlambat proses penuaan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A_d = O_p \cup M_s \cup M_p \dots\dots\dots 3)$$

Dimana:

A_d = perlambatan penuaan,

O_p = operasi prosedural,

M_s = perawatan yang baik, dan

M_p = SDM Terampil

Sehingga agar A_d di atas dapat diperoleh, maka upaya yang dilakukan harus mencakup ketiga unsur pendukung A_d yaitu mengupayakan perbaikan dan atau mempertahankan pengoperasian peralatan berdasarkan prosedur dengan menimbang rating kerja alat, melakukan tindakan perawatan berkala berdasarkan prosedur perawatan, dan melakukan pembinaan

tenagara rawat (teknisi) agar selalu terampil dan ahli dalam melaksanakan tugasnya.

METODOLOGI

Agar upaya pembahasan proses penuaan alat dapat dilaksanakan dengan baik, maka hal pertama yang harus dilakukan adalah mengenal *transformator* BHT dengan baik. Untuk mencapai tujuan dimaksud, maka dilakukan telaah pustaka mempelajari deskripsi dan spesifikasi trafo, teori dasar rangkaian trafo, dan lingkungan sekitar dimana peralatan tersebut dipasang. Dengan demikian langkah-langkah yang harus ditempuh, antara lain adalah:

- mengenali peralatan berdasarkan deskripsi dan spesifikasinya,
- mempelajari faktor-faktor yang menyebabkan penuaan peralatan,
- membahas dampak penuaan peralatan pada kinerja sistem,
- mempelajari temperatur dan kelembaban kondisi udara sekitar,
- pengumpulan data, analisis dan evaluasi data, dan
- menyimpulkan hasil pembahasan dan memberikan saran.

Ruang Lingkup.

Mengingat bahwa *transformator* BHT01 digunakan untuk mendukung operasi reaktor dengan memasok daya beban melalui jalur distribusi Train A, maka pada kesempatan ini akan dibahas hal-hal utama yang paling dominan menentukan sukses tidaknya operasi train A sebagai jalur distribusi, sehingga pembahasan *transformator* BHT01 mencakup tiga hal utama, yaitu:

- riwayat operasional *transformator* sebagai sumber catu daya,
- temperatur ruang/kamar dimana *transformator* berada,
- pembebanan elektrik *transformator*, dan
- perawatan *transformator*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan spesifikasi, *transformator* tipe kering pada kapasitas di atas, didesain untuk mampu bekerja terus-menerus pada kapasitas penuh, dengan temperatur operasional 40 °C dan temperatur ruangan dimana *transformator* ditempatkan tidak lebih dari 32 °C, dalam jangka waktu 30 tahun.

Temperatur:

Temperatur merupakan hal penting dalam menentukan besar beban yang dapat diangkut oleh *transformator* karena temperatur lingkungan dapat memperbesar kenaikan temperatur operasi *transformator*. Pada umumnya *transformator* didesain bekerja secara terus menerus pada beban penuh dengan temperatur sekitar rata-rata 30 °C untuk pendinginan udara pada temperatur lingkungan tidak melebihi 40 °C. Temperatur ini biasanya 10 °C hingga 15 °C lebih kecil dari temperatur belitan.

Bila

T_B = temperatur terpanas belitan *transformator*

T_R = temperatur lingkungan/kamar

T_{Lop} = temperatur lingkungan (operasi beban penuh) = 30 °C

Maka :

$$\Delta T = T_B - T_R \dots\dots\dots 4)$$

$$\Delta T \leq (10 \text{ s/d } 15) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ini merupakan faktor perawatan pencegahan yang penting karena temperatur menentukan penuaan isolasi belitan *transformator*. Beberapa pakar menetapkan ketentuan 8 °C kenaikan temperatur di atas rating temperatur *transformator*, laju penuaan *transformator* isolasi kelas A. Berdasarkan ketentuan tersebut, maka *transformator* dengan kelas isolasi A bila dioperasikan pada suhu tertinggi 8 °C di atas temperatur kerjanya, maka umur *transformator* akan berkurang setengahnya.

Temperatur Belitan Trafo.

Dari konstruksi tranformator seperti pada Gambar 2, kondisi temperatur belitan dan ruangan dipengaruhi oleh rugi-rugi belitan dan rugi-rugi inti. Dimana rugi-rugi belitan, dibangkitkan oleh resistansi kawat tembaga belitan, yaitu:

- pada sisi primer terdiri dari R_{L1P} , R_{L2P} , dan R_{L3P} ,
- pada sisi sekunder terdiri dari R_{L1S} , R_{L2S} , dan R_{L3S} .

Sedangkan rugi-rugi inti, dibangkitkan oleh arus Eddy dan histerisis pada inti trafo yang terbuat dari besi lunak. Baik rugi-rugi belitan maupun rugi-rugi inti, keduanya dipengaruhi oleh pembebanan elektrik berupa arus beban I yang mengalir pada setiap fasa yaitu I_{L1P} , I_{L2P} , dan I_{L3P} , pada sisi primer, serta I_{L1S} , I_{L2S} , dan I_{L3S} pada sisi sekunder.

Temperatur Ruang

Temperatur ruang *transformator* dipengaruhi oleh temperatur udara luar, sistem pendinginan dan sirkulasi udara ruangan, dan kebersihan ruangan. Pengaruh panas pada *transformator* sangat penting, dan disarankan melakukan pemeriksaan rutin dan mencatat temperatur udara lingkungan, dan temperatur belitan. Bila temperatur maksimum dicapai, maka beban harus dikurangi.

Kebolehjadian Kegagalan Transformator

Untuk *transformator* dari jenis *dry type*, 0-15,000 Volts, maka laju kegagalannya adalah 0.0036. Diketahui bahwa trafo kering jenis ini didesain untuk mampu bekerja secara terus menerus pada kapasitas penuh, dalam jangka waktu 30 tahun pada kondisi ruangan dengan temperatur 30 °C. Berdasarkan hasil pengujian di atas, maka bila trafo telah dioperasikan 30 tahun, maka kemungkinan trafo gagal hanya $0.0036 \times 30 = 0.1080$ atau 10.8 %.

Penyebab Percepatan Penuaan Transformator

Umumnya faktor yang menyebabkan terjadinya percepatan proses penuaan *transformator* adalah:

- Temperatur lingkungan
 - Pembebanan Elektrik
- frekuensi pembebanan elektrik berupa beban lebih, dan arus hubung singkat yang terjadi melampaui batas kewajaran. Faktor lainnya adalah instalasi peralatan tidak sesuai dengan persyaratan spesifikasinya, misalnya *transformator* bebas perawatan kurang tepat bila dipakai di daerah tropis.

Dampak Penuaan Transformator

Kegagalan fungsi peralatan.

- Penuaan material logam: luas penampang bertambah, sehingga resistansi berkurang, mengakibatkan arus beban naik.
- Kelembaban: Tahanan isolasi belitan berkurang, arus pada belitan naik, kemungkinan terjadi tembus isolasi.
- Korosi material logam: mengakibatkan permukaan tidak rata, sambungan longgar (bad contact), terjadi percikan api, dan dapat merusak permukaan lebih jauh.
- Akumulasi rugi panas dari hasil perkalian resistansi logam terhadap arus yang melaluinya akan bertambah terus seiring dengan bertambahnya waktu sesuai dengan rumus: $W = 0.24 i^2 r t \text{ Joule}$.
- Hilang lentur: berkurangnya elastisitas logam dan isolasi kabel.

Tindakan Memperlambat Proses Penuaan.

Tindakan yang dapat ditempuh dalam upaya memperlambat proses penuaan *transformator* adalah dengan menerapkan prinsip jaminan mutu, yaitu melakukan apa yang tertulis dan menulis apa yang dikerjakan. Teknis pelaksanaan prinsip tersebut dapat dijabarkan melalui upaya berikut:

- Melakukan perawatan pencegahan yang terjadual dengan baik,

- Melakukan perawatan perbaikan sedini mungkin, jangan menunggu akibat kerusakan/kegagalan satu unit peralatan menyebabkan kerusakan/kegagalan pada unit lainnya,
- Bilamana diharuskan melakukan pergantian komponen, maka penggunaan komponen pengganti harus sesuai dengan spesifikasi komponen yang akan diganti,
- Melakukan pengukuran parameter peralatan/sistem sesuai dengan yang diperlukan, dan mengamati kemungkinan munculnya hasil pengukuran radikal,
- Pembebanan Elektrik sedapat mungkin tidak melebihi 80 % kapasitas,
- Mempertahankan keseimbangan beban, dan keseimbangan tegangan,
- Menggunakan alat-alat proteksi sesuai spesifikasi,
- Menghindari kesalahan prosedur operasi,
- Meningkatkan keterampilan dan keahlian tenaga rawat,

Memperlambat proses penuaan transformator BHT01

Sesuai dengan yang dijelaskan di atas, maka upaya yang dapat ditempuh untuk memperlambat proses penuaan *transformator* BHT01, dibagi atas dua bagian utama, yaitu upaya teknis dan upaya non teknis.

1. Upaya Teknis:

- membebani trafo tidak melebihi 1200 KVA, dan bila memungkinkan memberi trafo waktu istirahat dari daya maksimum.
- mempertahankan keseimbangan tegangan 380 V, dengan toleransi tidak lebih 20 V untuk sistem tiga fasa, dan bila trafo digunakan memasok beban-beban satu fasa, harus diupayakan bahwa beban satu fasa tersebut terhubung secara berimbang pada masing-masing fasa.
- menggunakan fuse pemutusan sangat cepat pada sisi sekunder.
- menggunakan MCB dengan setting pemutusan beban lebih tidak melebihi 1 detik.

- menggunakan *lightning arrester* sebagai peoteksi terhadap bahaya sambaran langsung maupun tidak langsung petir.

2. Upaya Non Teknis

Transformator pendinginan udara atau lazim disebut trafo kering yang berdasarkan spesifikasinya adalah bebas perawatan, namun untuk kondisi daerah tropis, hal tersebut tidak mutlak. Sehingga khusus untuk trafo BHT01, diperlukan perawatan rutin memeriksa akumulasi debu pada badan trafo, dan akumulasi debu harus dihilangkan dengan menggunakan *vacum cleaner*.

Dasar perawatan transformator yang perlu:

- menjaga semua bagian *transformator* bersih, dan terlindung dari akumulasi debu, kotoran, dan korosi,
- pengukuran tahanan isolasi belitan,
- inspeksi dan pengujian peralatan pelindung dan alat ukur,
- inspeksi bagian dalam *transformator*,
- inspeksi peralatan bantu seperti kipas pendingin, *lightning arrester*, dan pen-tanahan.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan diperoleh bahwa dalam operasionalnya *transformator* hanya dibebani maksimal 60% dari kapasitasnya atau setara dengan 960 KVA. Hasil peng-

ukuran pada saat operasi reaktor, ternyata beban maksimum yang pernah dicapai hanya 29% dari kapasitasnya atau setara dengan 826 Amper. Dengan demikian bila menggunakan temperatur rerata ruangan trafo pada harga 27 °C maka disimpulkan bahwa kondisi kerja (*service condition*) *transformator* BHT01 sangat baik. Bila kondisi kerja ini dapat dipertahankan terus, diprediksikan bahwa *transformator* BHT01 akan mampu dan laik operasi hingga usianya mencapai 30 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA-TECDOC-792, "Management of research reactor aging", Vienna, Austria, March 1995.
2. KENNETH L. GEBERT, AND KENNETH R. EDWARDS, "Transformer, Principles and Application", Second Edition, American Technical Publishers, INC, Chicago, Illinois, 1974.
3. DAVENPORT, F. W, MAGISON, E. M. YAKUB. YU. A; "Substation Bus Switching Arrangement Their Essential Requirements and Reliability", Electra, Oct. 1969.
4. B.L. THERAJA, "Electrical Technology", S. Chand & Company Ltd, New Delhi 110055, 1979.
5. Hasan Basri, "Sistem Distribusi Daya Listrik", ISTN, Jakarta 1997.