

PENGAJIAN KONDISI TRANSFORMATOR BHT03 PADA RSG-GAS MENGUNAKAN METODA *DISSOLVED GAS ANALYSIS*

Teguh Sulistyono

Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) - BATAN

ABSTRAK

PENGAJIAN KONDISI TRANSFORMATOR BHT03 PADA RSG-GAS MENGGUNAKAN METODA *DISSOLVED GAS ANALYSIS*. Transformator BHT03 merupakan transformator distribusi berpendingin minyak yang digunakan pada reaktor RSG-GAS sebagai bagian dari sistem distribusi listrik untuk menurunkan tegangan listrik menengah 20 kV menjadi 400 VAC. Minyak yang terdapat di dalam transformator BHT03 berfungsi sebagai media isolator dan media pendingin agar Transformator BHT03 tidak panas. Dalam kandungan minyak tersebut terdapat kandungan gas-gas yang dapat menyebabkan kegagalan transformator. Kegagalan gas tersebut dikenal sebagai *fault gas* yang dapat menyebabkan kegagalan termal dan kegagalan elektris. Penelitian ini akan membahas hasil uji gas terlarut (*Dissolved Gas Analysis, DGA*) dalam mengidentifikasi indikasi kegagalan yang mungkin terjadi pada Transformator BHT03 dengan menggunakan metode rasio *Roger*. Hasil pengujian menunjukkan minyak Transformator BHT03 sebagai bahan isolasi dan media pendingin masih layak digunakan. Hal ini dibuktikan dengan nilai kandungan gas pada minyak yang meliputi kandungan gas H₂, C₂H₂, C₂H₄, dan CO tidak melebihi standar yang diijinkan oleh IEEE Standard C57.104-1991.

Kata Kunci: *Dissolved Gas Analysis*, kondisi, Transformator BHT03, RSG-GAS

ABSTRACT

ASSESSMENT ON BHT03 TRANSFORMER CONDITION OF RSG-GAS USING DISSOLVED GAS ANALYSIS METHOD. BHT03 transformer is an oil-cooled distribution transformer used in the RSG-GAS reactor as part of electricity distribution system to reduce the medium electricity voltage from 20 kV to 400 VAC. The oil contained in the transformer BHT03 serves as an insulator and as a cooling medium to prevent the heating on the transformer. The oil also contains gases, that can cause the transformer failure or known as the transformer fault gas leading to the thermal and electrical failure. This research will discuss how the Dissolved Gas Analysis (DGA) test can identify the possibility of failures in the transformers using the ratio of Roger. Based on the test results, the BHT03 transformer oil as an insulation and cooling medium is still in good condition to use. The results have been indicated by the gas content in the oil such as H₂, C₂H₂, C₂H₄, and CO, which did not exceed the established standards as stated in the IEEE Standard C57.104-1991.

Keywords: *Dissolved Gas Analysis*, condition, BHT03 Transformer, RSG-GAS

PENDAHULUAN

Transformator daya merupakan salah satu peralatan utama yang diperlukan pada sistem distribusi tenaga listrik. Transformator daya yang terdapat pada sistem kelistrikan reaktor riset RSG-GAS merupakan transformator penurun tegangan type berpendingin minyak yang berperan sebagai penyalur energi listrik. Berdasarkan data komisioning menunjukkan bahwa untuk mendukung kegiatan operasi reaktor RSG-GAS, transformator daya BHT03 ini telah dioperasikan lebih dari 20 tahun.

Selama dioperasikan, berbagai bentuk kondisi beban telah diterima oleh transformator BHT03 dan pengujian tegangan tembus minyak setiap tahunnya telah dilakukan, namun kondisi ini masih sangat memungkinkan terjadinya penurunan kualitas minyak akibat kuantitas kandungan gas minyak transformator mengalami kenaikan, sehingga sifat isolasi pada minyak tersebut tidak berfungsi dengan baik dan dapat menimbulkan masalah yang lebih besar yaitu transformator berhenti bekerja karena GCB (*gas circuit breaker*) mengalami trip. Perihal inilah yang melatarbelakangi perlunya penelitian ini dilakukan. Ruang lingkup kajian adalah analisis kandungan gas pada minyak transformator menggunakan hasil uji DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dengan metode Roger's Ratio. Dengan mengidentifikasi jenis dan jumlah kandungan gas yang terlarut dalam minyak transformator maka dapat memberi informasi akan adanya indikasi kegagalan yang mungkin terjadi pada alat transformator sedini mungkin.

TEORI

Transformator

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. Bagian utama transformator yaitu inti besi, kumparan transformator, minyak transformator, *bushing*, dan tangki konservator. Inti besi pada transformator berfungsi untuk mempermudah jalan fluks, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Kumparan transformator terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus. 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.

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah *bushing* yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo. Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaiian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator. Karena penga-

ruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak pun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila temperatur minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari tangki, sebaliknya apabila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernapasan transformator. Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator meliputi indikator suhu minyak, indikator permukaan minyak dan indikator kedudukan tap. Kenaikan temperatur akan mengkatalis terjadinya oksidasi di dalam minyak transformator. Dengan semakin tingginya pembebanan transformator maka reaksi kimia yang terjadi didalam minyak transformator akan semakin cepat sehingga kandungan asam akan semakin tinggi. Dengan meningkatnya kandungan asam dalam minyak, maka kualitas minyak menjadi menurun. Untuk mengetahui nilai temperatur pada minyak transformator, menurut IEEE Std. C57. 104-1991 dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T (^{\circ}\text{C}) = (100 \times C_2H_4/C_2H_6) + 150 \dots\dots\dots(1)$$

Kenaikan temperatur yang terjadi pada transformator dapat dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada transformator, dimana kinerja transformator dapat dipengaruhi oleh temperatur. Kenaikan temperatur yang berpengaruh oleh arus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\theta = \frac{I_s^2 \cdot \rho \cdot t}{\alpha_s^2 \cdot g \cdot h} \text{ (}^{\circ}\text{C)} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan:

θ : kenaikan temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

I_s : arus yang mengalir (Ampere)

ρ : resistivitas (Ωm)

α_s : luas penampang konduktor (mm^2)

t : waktu (detik)

g : rapat material konduktor (kg/m^3)

h : panas material konduktor ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$)

Kenaikan temperatur pada transformator dipengaruhi pula oleh besarnya arus yang mengalir pada kumparan transformator tersebut yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$I_{LS} = \frac{P_{out \text{ trafo}}}{\sqrt{3} \cdot V_{LS} \cdot \text{Cos } \varphi} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan:

I_{LS} : Arus line sekunder (A)

P_{out} : Daya keluaran transformator (W)

V_{LS} : Tegangan sekunder (V)

$\text{Cos } \varphi$: Faktor daya

Besarnya arus yang mengalir pada kumparan transformator tersebut bergantung pada luas penampang penghantar karena dapat mempengaruhi nilai dari kerapatan arus. Kerapatan arus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\delta = \frac{I}{A} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan:

δ : Rapat arus (A/mm²);

I : Besarnya arus (A);

A : Luas penampang (mm²).

Pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA)

Analisa kondisi transformator dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak transformator. Pengujian DGA adalah salah satu langkah perawatan preventif yang wajib dilakukan dengan interval pengujian paling tidak satu kali dalam satu tahun untuk mengetahui kualitas / kinerja minyak dan transformator dengan cara menganalisis gas

pada sampel minyak transformator. Salah satu cara untuk menganalisis gas adalah dengan *Gas Chromotograph*. *Gas Chromotograph* adalah suatu teknik untuk memisahkan zat-zat tertentu dari sebuah senyawa gabungan, biasanya zat-zat tersebut dipisahkan berdasarkan tingkat penguapannya. Hasil analisis kemudian dijadikan acuan dalam mendiagnosa kondisi transformator dengan metoda *Roger's Ratio*. Metoda ini memperlihatkan adanya hubungan kenaikan temperatur terhadap timbulnya *fault* gas seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kode rasio gas terekstrasi (*Roger's Ratio*) untuk mendiagnosa kondisi transformator

Kode Rasio Gas				Diagnosa
CH ₄ : H ₂	C ₂ H ₆ : CH ₄	C ₂ H ₄ : C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ : C ₂ H ₄	
0	0	0	0	Normal
5	0	0	0	<i>Partial discharge</i>
1-2	0	0	0	<i>Over heating</i> ringan (>150 °C)
1-2	1	0	0	<i>Over heating</i> (150 °C - 200 °C)
0	1	0	0	<i>Over heating</i> (200 °C - 300 °C)
0	0	1	0	<i>Over heating</i> pada konduktor secara umum
1	0	0	0	Arus pusar pada belitan
1	0	2	0	Arus pusar pada tangki dan inti, <i>overheating</i> pada sambungan
0	0	0	1	<i>Flash over</i> tanpa diikuti daya
0	0	1-2	1-2	<i>Arching</i> dengan diikuti daya
0	0	2	2	Adanya <i>sparking</i> yang kontinyu
5	0	0	1-2	<i>Partial discharge</i> berkaitan dengan gas CO

Selain itu IEEE Standard C57.104-1991 telah menetapkan standarisasi untuk menentukan kondisi transformator berdasarkan

hasil analisis konsentrasi gas terlarut pada sampel minyak seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas konsentrasi gas terlarut dalam minyak transformator

Status	Konsentrasi Gas Terlarut (ppm)							
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	TDCG
Kondisi 1	100	120	35	50	65	350	2500	720
Kondisi 2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2501-4000	721-1920
Kondisi 3	701-1800	401-1000	51-80	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
Kondisi 4	>1800	>1000	>80	>200	>150	>1400	>10000	>4630

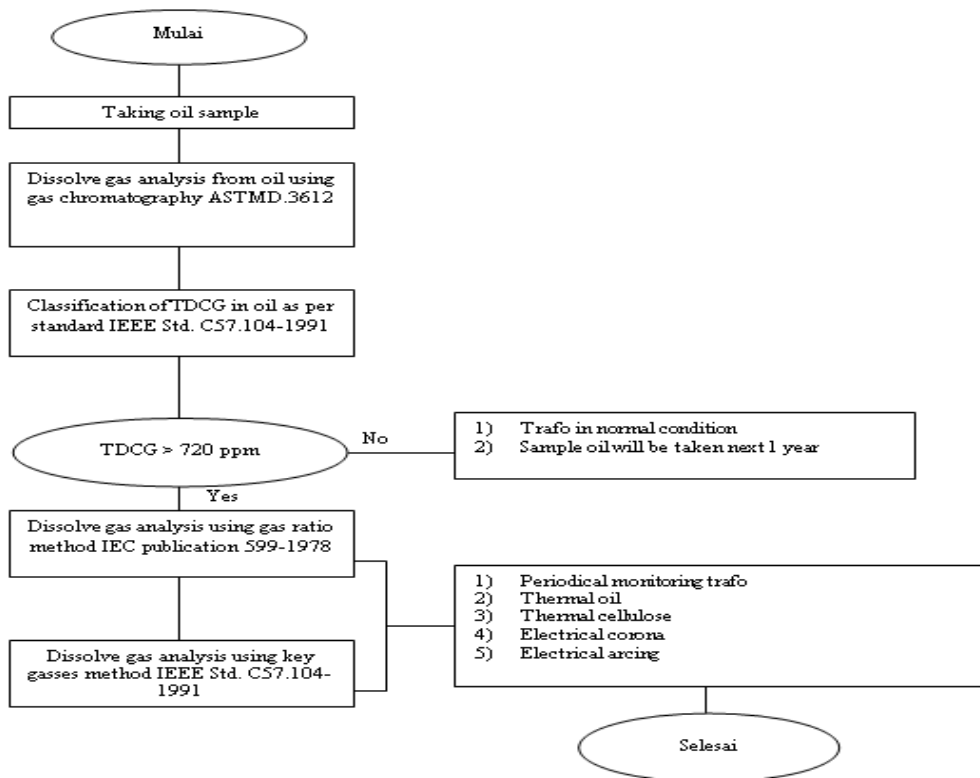
Catatan: *Total Dissolved Combustible Gasses* (TDCG)

Pada Kondisi 1, transformator beroperasi normal, namun tetap perlu dilakukan pemantauan kondisi gas-gas tersebut. Pada kondisi 2, tingkat TDCG mulai tinggi dimana kemungkinan timbul gejala-gejala kegagalan yang harus mulai diwaspadai sehingga perlu dilakukan pengambilan sampel minyak yang lebih rutin dan sering. Pada kondisi 3, TDCG menunjukkan adanya dekomposisi dari isolasi kertas minyak transformator. Berbagai kegagalan pada kondisi ini mungkin sudah terjadi dan transformator harus sudah diwaspadai dan diperlukan perawatan yang lebih lanjut. Pada kondisi 4, TDCG pada tingkat ini menunjukkan adanya kerusakan pada isolator kertas dan kerusakan minyak trafo pada kondisi ini sudah meluas.

TATA KERJA

Tahapan analisis kandungan gas dalam minyak transformator menggunakan metoda DGA ditunjukkan pada Gambar 1 yang terdiri dari pengambilan sampel minyak transformator BHT03 untuk diketahui spesifikasinya, pengujian kandungan gas melalui metode DGA, perhitungan dan analisa hasil DGA yang diperoleh.

Data hasil pengujian DGA yang sudah terkumpul selanjutnya diolah melalui tahapan perhitungan dan analisa dengan menggunakan metode *Roger's ratio*. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan standar normal kondisi minyak seperti ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 1. Diagram alur metoda DGA

Tabel 3. Standar normal karakteristik minyak berdasarkan IEEE Standard C57.104-1991

Karakteristik sampel minyak		Acuan			
1	Warna	ASTM D 1500	Clear		Gelap
2	Keasaman	IEC 296	<0,10	0,1 - 0,15	>0,15
3	Faktor kebocoran dielektrik	IEC 247	>0,10	0,1 - 0,2	>0,20
4	Tahanan jenis	IEC 247	>3	3,0 - 0,2	<0,2
5	Kadar air	IEC 60422-2005			
Konsentrasi gas terlarut		Batasan (ppm)			
1	TDCG	720 ppm (Normal)			
2	H ₂	<100 ppm			
3	C ₂ H ₂	<35			
4	CH ₄	<120			
5	C ₂ H ₄	<50			
6	C ₂ H ₆	<65			
7	CO	<350			
8	CO ₂	<10000			
9	N ₂	<1 - 10%			
10	O ₂	<0,2 - 0,35%			

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian minyak transformator BHT03 menggunakan metoda DGA ditunjuk-

kan pada Tabel 4. Pengambilan sampel minyak dilakukan selama 7 periode dari 2008 hingga 2014.

Tabel 4. Hasil pengujian *Dissolved Gas Analysis* pada transformator BHT03

Tanggal Uji	Kandungan Gas (ppm)							
	CO	CH ₄	CO ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	H ₂	TDCG
07-11-2008	27,90	2,50	515,0	0,00	1,90	16,60	2,10	51
26-11-2009	21,00	2,60	652,0	0,36	2,50	56,50	10,50	93
22-10-2010	24,00	2,90	424,0	3,20	10,10	70,90	3,30	114
14-11-2011	11,90	2,00	399,0	0,86	7,70	12,60	0,71	36
18-09-2012	37,40	1,70	358,0	0,05	3,30	5,10	2,70	50
30-11-2013	16,80	1,30	296,0	0,08	2,70	4,80	4,50	30
11-11-2014	13,00	3,70	332,0	0,00	2,10	3,30	17,80	40

Hasil analisis konsentrasi gas pada Tabel 4 menunjukkan untuk unsur gas CO, CH₄, CO₂, C₂H₂, C₂H₄, H₂, dan gas mudah terbakar secara rerata masih berada di bawah nilai batas yang diijinkan seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil analisis untuk gas C₂H₆ diperoleh rerata sebesar 24,26 ppm, namun terlihat ada peningkatan konsentrasi dari tahun 2008 hingga tahun 2010. Hasil pengujian tanggal 22 Oktober 2010 menunjukkan adanya peningkatan unsur yang melebihi nilai batas yang diijinkan yaitu sebesar 70,9 ppm. Namun

secara keseluruhan nilai ini masih berada dibawah nilai batas yang diijinkan yaitu 65 ppm. Kondisi transformator dari aspek kelistrikan ditunjukkan melalui hasil pengukuran kualitas listrik transformator BHT03 dengan menggunakan *Power Quality Analyzer* (PQA) seperti ditunjukkan pada Tabel 5. Data hasil pengukuran ini selanjutnya digunakan untuk menghitung rapat arus δ (A/mm²), Arus line beban sekunder (A) dan kenaikan temperatur pada transformator BHT03.

Tabel 5. Hasil pengukuran arus dan tegangan pada transformator BHT03

Besaran Listrik	Keadaan Reaktor RSG-GAS	
	Tidak Beroperasi	Beroperasi
Arus sekunder	424,94 (A)	1.078,9 (A)
Tegangan sekunder	410,71 (V)	411,89 (V)
Daya output trafo	1600 kVA (setara 1400 kW)	
Cos j	0,95	

Dari Tabel 5, hasil pengukuran diketahui besarnya arus sekunder transformator BHT03 sebesar 1.078,9 A dan luas penampang penghantar (A) sebesar 4 mm², maka besarnya rapat arus δ (A/mm²) dapat dihitung yaitu:

$$\delta = \frac{I}{A} = \frac{1.078,9 A}{4 mm} = 269,73 A/mm^2$$

Maka besarnya arus line beban sekunder (A) dapat dihitung yaitu:

$$I_{LS} = \frac{P_{out\ trafo}}{\sqrt{3} \cdot V_{LS} \cdot \cos \varphi} = \frac{1.600.000 (kVA) \cdot 0,95}{\sqrt{3} \cdot 411,89 \cdot 0,95} = 2.245,39 A \approx 2,2 kA$$

Dari hasil perhitungan di atas, arus yang mengalir pada transformator BHT03 dengan luas penampang 269,73 A/mm² sebesar 2,2 kA.

Untuk menghitung kenaikan temperatur pada transformator BHT03 digunakan persamaan (2). Besaran listrik yang perlu diketahui yaitu:

$$\theta = \text{kenaikan temperatur (}^\circ\text{C)}$$

$$I_s = 1.078,9 A$$

$$\rho = 5,61 \times 10^{-5} \Omega m$$

$$\alpha_s = 269,73 mm^2$$

$$t = 1 s$$

$$g = 8.000 kg/m^3$$

$$h = 314 J/kg-^\circ\text{C}$$

Sehingga kenaikan temperatur pada transformator BHT03 sebagai berikut:

$$\theta = \frac{I_s^2 \cdot \rho \cdot t}{\alpha_s^2 \cdot g \cdot h} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$I_s^2 = \frac{151,09 \cdot 0,0002697 \cdot 800 \cdot 314}{5,61 \times 10^{-5} \cdot 1} = \frac{102.372,81}{0,0000561}$$

$$I_s = 42.717,997 = 4,27 kA$$

Dengan merujuk pada Tabel 1 dan hasil perhitungan di atas, kondisi *over heating* akan terjadi apabila arus yang mengalir pada transformator BHT03 sebesar 4,27 kA dengan kenaikan temperatur transformator BHT03 setara dengan 151,09 °C.

KESIMPULAN

Hasil pengkajian terhadap kondisi Transformator menunjukkan bahwa berdasarkan pengkajian kandungan gas yang diperoleh dengan menggunakan metoda DGA, secara umum unsur-unsur yang terdapat dalam kandungan minyak transformator BHT03 masih layak digunakan karena masih berada di bawah nilai batas yang diijinkan oleh IEEE Standard C57.104-1991. Kondisi itu akan mencegah kegagalan pada minyak transformator BHT03 yang diakibatkan oleh kegagalan isolasi dimana minyak transformator yang memiliki fungsi sebagai bahan isolasi masih menjalankan fungsinya secara baik sehingga arus elektrik mengalir melalui badan *bushing* yang kemudian menuju badan transformator. Selain itu dari hasil perhitungan, kondisi *over heating* akan terjadi pada temperatur 151,09 °C apabila arus yang mengalir pada transformator BHT03 sebesar 4,27 kA..

DAFTAR PUSTAKA

1. ARISMUNANDAR, A., DAN KUWAHARA, S., "Teknik Tenaga Listrik Jilid II", PT Pradnya Paramitha, Jakarta, 1979.
2. CHUMAIDY ADIB, "Analisis Kegagalan Minyak Isolasi Pada Transformator Daya Berbasis Kandungan Gas Terlarut", jurnal penelitian dan pengkajian sains dan teknologi, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Vo. 22, No.1, 2012.
3. CITARSA IDA BAGUS FERY, "Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Sifat Listrik Dari Minyak Isolasi Transformator", 2 (1):41-48, 2011.
4. FAISHAL MUHAMMAD, A.R, "Analisa Jenis Kegagalan Transformer Berdasarkan Hasil Uji DGA dengan Metode Roger's Ratio PLTU Tambak Lorok. Semarang", Makalah Seminar Kerja Praktek, Universitas Diponegoro, 2008.
5. HARDITYO RAHMAT, "Deteksi dan Analisis Kegagalan Transformator Dengan Metode Analisis Gas Terlarut", Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, 2008.
6. HERLIANA YANTI. "Studi Perawatan Minyak Transformator Tenaga", Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, 2009.
7. ANONIM, IEEE Standard Terminology For Power and Distribution Transformers. New York : Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.,1978.
8. KUNTO WIBOWO WAHYU, "Analisis Karakteristik Breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30°C-130°C", Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
9. MISMAIL BUDIONO, "Rangkaian Listrik Jilid 1", Penerbit ITB, Bandung, 1995.
10. PANGGABEAN SAMUEL. "Pengaruh Suhu Terhadap Kekuatan Dielektrik Berbagai Minyak Isolasi Transformator", Universitas Sumatera Utara, Medan, 2008.
11. RUDY SETIABUDY, "Transformator pada Sistem Transmisi Listrik", Materi kuliah Transmisi dan Distribusi Daya Listrik, Depok
12. SAWHNE, A.K. 1990. "Electrical Machine Design", Thapar Institute of Engineering and Technology, 1990
13. SURATNO, "Perencanaan Sistem Monitoring Untuk Mengetahui Kualitas dan Pengaturan Pendingin Minyak Transformator. 10 (2):60-114, Media Prospektif, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, 2010
14. TADJUDDIN, "Kegagalan Minyak Transformator, Edisi-12, Elektro Indonesia, 1998
15. UPPAL, S.L., "Electrical Power", Khanna Publisher, New Delhi, 1980
16. WEEDY, B.M, "Sistem Tenaga Listrik", Aksara Persada, Southampton, 1967
17. ____, Transformer Maintenance: Facilities Instructions, Standard and Techniques. Colorado : United States Department.