

## KAJIAN PENGARUH KONTAMINASI TERHADAP RUGI-RUGI DIELEKTRIK DAN *BREAKDOWN* MINYAK TRANSFORMATOR

Oleh :  
Teguh Sulistyio  
Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN

### ABSTRAK

**KAJIAN PENGARUH KONTAMINASI TERHADAP RUGI-RUGI DIELEKTRIK DAN *BREAKDOWN* MINYAK TRANSFORMATOR.** Minyak transformator merupakan media isolasi dan pendingin pada transformator. Oleh karena itu kemurnian dari minyak transformator harus selalu diperhatikan. Ketidakmurnian dapat muncul dalam minyak transformator baru akibat proses pembuatan atau selama proses penyimpanan maupun selama pemakaian akibat pengaruh lingkungan, seperti uap air, gas, partikel padat dan lain-lain. Disamping itu temperatur minyak transformator harus selalu dijaga karena dapat menyebabkan terjadinya pemuaiian sehingga memungkinkan terjadinya kontaminasi akibat pertambahan volume. Semua faktor tersebut merupakan penyebab timbulnya rugi-rugi dielektrik minyak transformator yang dapat menyebabkan kekuatan dielektrik minyak transformator menjadi berkurang sehingga akan mempercepat proses *breakdown* minyak transformator. Dari hasil pengukuran temperatur transformator menggunakan *infrared thermograph type Thermo Tracer TH9100PM VI/PW VI* menunjukkan temperatur pada bagian konservator transformator BHT03 tipe minyak mencapai temperatur 89°C dan karena kondisi temperatur serta sirkulasi udara di ruang transformator BHT03 yang senantiasa berubah maka pemuaiian minyak transformator menjadi tidak konstan sehingga cenderung merusak komposisi minyak transformator tersebut, sedangkan pada pengukuran tahanan isolasi antar fasa-fasa diperoleh hasil 200.000 MΩ dan fasa-netral sebesar 2.000 MΩ, serta dari *treatment* minyak transformator BHT03 terhadap *breakdown* menunjukkan peningkatan rata-rata sebesar 87,33 kV/2,5 mm. Nilai ini lebih besar dari standar PLN yaitu  $\geq 30$  kV/2,5 mm, sehingga minyak transformator BHT03 layak digunakan setelah dilakukan *treatment*.

Kata Kunci : kontaminasi, rugi-rugi dielektrik, minyak transformator

### ABSTRACT

***STUDY ON INFLUENCE OF CONTAMINATION TO DIELECTRIC LOSS AND BREAKDOWN OF TRANSFORMATOR OIL.*** Oil transformator plays the role of insulation media and transformator coolant. Therefore, oil purity should be controlled everytime. Oil impurities can emerge even in new transformator along fabrication process, during storage and during operation due to environmental effect, such as aqueous vapor, gas, solid particles, etc. In other hand, oil temperature should be kept in a certain value, because temperature increase would cause an expansion which trigger a contamination due to volume expansion. All of factor mentioned could cause dielectric loss of transformator which accelerate breakdown process of transformator oil. Measurement using Infrared Camera with type of Thermo Tracer TH9100 PM VI/PW VI showed that conservator part of BHT03 Transformator (oil type) temperature reached to 89°C. This temperature is fluctuative due to air circulaion in the transformator room. Therefore, oil expansion is not constant and this condition could break oil composition. From measurement, the isolation resistant between phase-phase was 200.000 MΩ and between phase-neutral was 2.000 MΩ. Oil treatment improved the breakdown into average value of 87.33 kV/2.5mm. This value is greater than PLN standard, that is  $\geq 30$  kV/2.5mm.

Keywords: contamination, dielectric loss, oil transformator

### PENDAHULUAN

Transformator BHT03 tipe minyak digunakan untuk memasok jalur distribusi *Train A* sedangkan transformator BHT01 dan BHT02 tipe kering digunakan untuk memasok jalur distribusi *Train B* dan *Train C* pada sistem kelistrikan gedung RSG-GAS. Semuanya merupakan peralatan yang telah lolos uji pabrik dengan jaminan umur pakai tertentu yang ditentukan oleh pabrik berdasarkan hasil pengujian laju kegagalan ( $\lambda$ ) peralatan dalam satu tahun operasi (8600 jam). Dengan demikian

dipastikan bahwa setiap unit peralatan dilengkapi dengan deskripsi dan spesifikasi sebelum alat dilepas ke pasar.

Transformator adalah sebuah mesin listrik yang dapat memindahkan tenaga listrik dari 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.

Pengaruh kontaminasi terhadap rugi-rugi dielektrik dan *breakdown* minyak transformator BHT03 tipe minyak gedung RSG-GAS dapat mungkin terjadi seiring dengan meningkatnya temperatur minyak transformator. Transformator dimaksud dalam tulisan ini adalah transformator BHT03 tipe minyak yang digunakan untuk memasok jalur distribusi *Train C* pada sistem kelistrikan RSG-GAS. Kajian pengaruh kontaminasi terhadap rugi-rugi dielektrik dan *breakdown* minyak transformator BHT03 tipe minyak pada gedung RSG-GAS ini meliputi kegiatan pengukuran temperatur transformator menggunakan *infrared thermograph tipe Thermo Tracer TH9100PM VI/PW VI* dan *treatment* minyak transformator. Dari dua kegiatan ini diharapkan dapat mewakili hasil penelitian tentang pengaruh kontaminasi terhadap rugi-rugi dielektrik dan *breakdown* minyak transformator BHT03 tipe minyak pada gedung RSG-GAS

## TEORI

Minyak transformator merupakan cairan yang digunakan sebagai isolasi dan pendingin transformator, oleh sebab itu kemurnian minyak transformator harus selalu diperhatikan. Disamping itu temperatur minyak transformator harus selalu di pantau karena dapat menyebabkan terjadinya pemuaiannya sehingga memungkinkan terjadinya kontaminasi akibat pertambahan volumenya. Faktor tersebut di atas menyebabkan rugi-rugi dielektrik yang dapat mengurangi kekuatan dielektrik minyak transformator sehingga mempercepat proses *breakdown* minyak transformator.

Pemeriksaan dan pemeliharaan yang dilakukan secara teratur terhadap cairan isolasi transformator merupakan cara yang paling efektif untuk mempertahankan kondisi operasinya sehingga diperoleh umur pakai minyak transformator yang maksimal. Udara dan kelembaban yang selalu berhubungan dengan minyak panas dapat mengakibatkan terjadinya oksidasi berupa terbentuknya senyawa asam dan

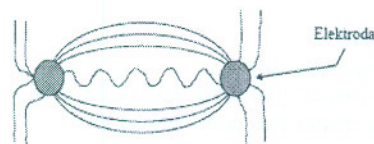
endapan. Endapan ini akan mengganggu proses pendinginan serta memicu terjadinya busur api listrik antara bagian-bagian transformator. Apabila dalam minyak transformator terdapat kelembaban, maka dapat terbentuk jalur-jalur hubung singkat, menurunkan daya isolasi minyak dan diserap oleh bahan isolasi lainnya.

Minyak transformator dalam kondisi baru harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan sebelum dioperasikan. Akan tetapi kondisi minyak transformator ini setelah dioperasikan tidak dapat bertahan lama, karena dalam kondisi berbeban, kumparan transformator akan menimbulkan panas hingga 80°C. Panas ini akan disalurkan ke konservator yang terletak pada bagian atas transformator dan berhubungan dengan udara luar. Karena beban transformator setiap saat selalu berubah, maka pemuaiannya minyak transformator menjadi tidak konstan. Proses keluar-masuknya udara inilah yang dapat merusak minyak transformator tersebut. Udara luar mengandung zat asam (oksigen) yang bereaksi dengan minyak transformator yang mengakibatkan timbulnya senyawa-senyawa asam dan air pada minyak transformator. Adanya persenyawaan asam ini menyebabkan peningkatan keasaman minyak transformator dan menurunnya tegangan tembus pada minyak transformator tersebut.

## Tembus akibat jembatan serat

Secara teknis isolasi cair selalu mengandung impurities makroskopik dalam bentuk partikel serat dari selulosa, katun atau lainnya. Khususnya apabila partikel lembab dari isolasi cair, pada partikel akan bekerja gaya yang akan menggerakkan kedalaman daerah kuat medan yang lebih tinggi dan juga akan meluruskannya pada arah medan. Berbeda dengan arah serat, gelembung gas karena konstanta dielektrik lebih rendah, dikeluarkan dari daerah kuat medan yang lebih tinggi. Pada Gambar 1 diperlihatkan pembentukan jembatan serat.

Pada cara ini akan dihasilkan jembatan serat antara elektroda dan mengakibatkan terjadinya penghantar saluran, sehingga akan dihasilkan rugi-rugi tahanan yang menyebabkan penguapan uap lembab. Fenomena ini dapat juga diinterpretasikan sebagai tembus termal lokal yang berasal dari



Gambar 1. Pembentukan jembatan serat<sup>[1]</sup>

melemahnya saluran penghantar yang menyebabkan terbentuknya jembatan serat yang membentuk *stress* listrik yang tinggi pada sela.

**Faktor rugi-rugi dielektrik**

Salah satu karakteristik material isolasi yang penting adalah faktor daya atau tangen rugi-rugi dielektrik. Nilainya dapat digunakan sebagai petunjuk bagaimana kualitas dielektrik tersebut. Karakteristik tangen delta ( $\tan \delta$ ) merupakan alat yang berharga untuk mengevaluasi dielektrik dan cukup peka untuk mendeteksi dan menilai kerusakan dielektrik karena telah dipergunakan dalam waktu yang cukup lama. Pengujian tangen  $\delta$  dapat menentukan apakah zat-zat kontaminan yang ada masih dalam batas yang diizinkan.

Rugi dielektrik pada tegangan bolak-balik diakibatkan oleh rugi polarisasi dan rugi konduksi dari ion. Sifat rugi-rugi ini merupakan ukuran kualitas isolasi. Selain itu nilai-nilai tersebut juga dapat menjelaskan mekanisme fisik yang terjadi dan dapat membantu pemilihan isolasi yang sesuai untuk penerapan-penerapan khusus. Penempatan nilai fungsi tangen  $\delta = f(V)$  pada tegangan mula  $V_e$  dapat disimpulkan rugi-rugi ionik tambahan, akan tetapi perubahan konduktivitas elektrolit yang bergantung pada kuat medan juga menghasilkan bentuk kurva yang sama. Bentuk tangen  $\delta = f(V)$  menunjukkan nilai temperatur batas dengan rugi konduksi ion melebihi rugi polarisasi ion. Rugi dielektrik dari suatu isolasi dengan kapasitansi  $C$  pada frekuensi jaringan dapat dihitung dengan menggunakan faktor disipasi<sup>[1]</sup>

$$P_{dielek} = V_e \omega C \tan \delta \dots\dots\dots (1)$$

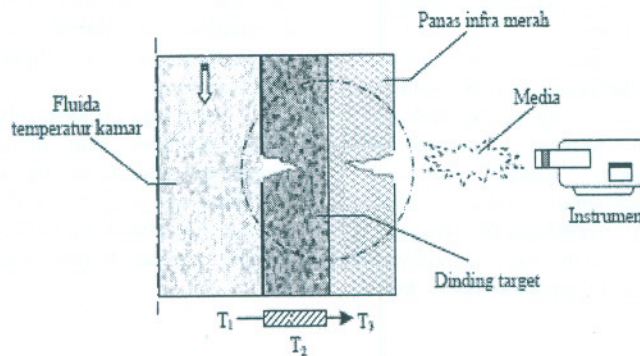
dengan :

- $P_{dielek}$  = kekuatan dielektrik minyak transformator
- $V_e$  = tegangan awal
- $\omega$  = frekuensi sudut (rad/s)
- $C$  = rugi dielektrik isolasi
- $\tan \delta$  = faktor disipasi

Untuk menentukan kekuatan dielektrik dan *breakdown* dari suatu minyak transformator yang belum dipakai, minyak campuran (minyak transformator baru ditambah minyak transformator yang sudah dipakai), dan minyak transformator yang sudah dipakai dapat dilakukan melalui pengujian.

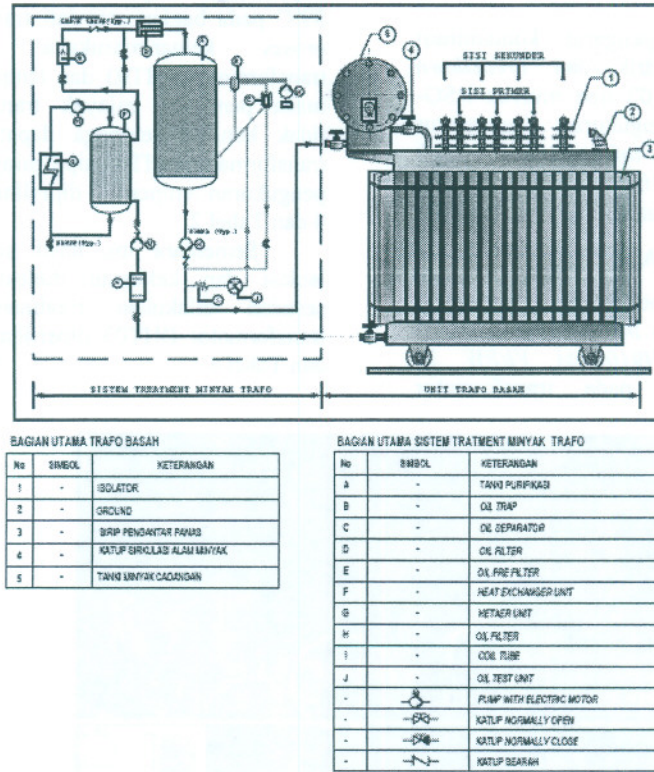
**Pengukuran temperatur transformator menggunakan *infrared thermograph tipe Thermo Tracer TH9100PM VI/PW VI dan treatment* minyak transformator**

Berdasarkan ilmu fisika, semua material/benda yang mempunyai temperatur di atas nol *absolute* (0 K atau -273 °C) memancarkan sinar radiasi, sehingga metoda *infrared thermography* dengan kemampuannya dapat mendeteksi perubahan temperatur hingga 0,1 °C sehingga untuk mendeteksi adanya kerusakan pada suatu material dapat dilakukan dengan cara melihat perubahan gambar temperatur (*temperature image*) yang diperoleh dari hasil pemeriksaan dengan *infrared thermography*. Pada Gambar 2 diperlihatkan skema pengukuran dengan metoda *Non-Contact-Non destructive Testing*. Dalam melakukan pemeriksaan dengan menggunakan metoda *infrared thermography* terdapat 3 (tiga) komponen utama yang harus diperhatikan, yaitu obyek permukaan sebagai target, media transmisi antara obyek target dengan instrumen alat ukur.



Keterangan :  
 $T_1$  = temperatur dalam  
 $T_2$  = temperatur luar pada lapisan pertama  
 $T_3$  = temperatur luar pada lapisan ke dua

Gambar 2. Pengukuran dengan metoda *Non-Contact Non destructive Testing*



Gambar 3. Skema *treatment* minyak transformator BHT03

Tabel 1. Persyaratan minyak transformator BHT03<sup>[3]</sup>

No	Sifat minyak transformator	Minyak terpakai	Minyak baru	Kegiatan yang dilakukan jika kolom c dan d tidak terpenuhi
a	b	c	d	e
1	<b>Kekuatan Dielektrik (Tegangan tembus)</b> < 60 kV 60 kV – 150 kV > 150 kV	80 kV/2.5 mm 110 kV/2.5 mm 140 kV/2.5 mm	> 200 kV/2.5 mm	<i>treatment</i> dan filter
2	Kadar asam (mgKOH/g)	Maksimum 1	0,02 – 0,04	0,4 s/d 1 <i>treatment</i> dan filter > 1 diganti
3	Kadar air (ppm)	Maksimum 30	0	-
4	<i>Viscosity</i> pada 30°C	< 10	10	<i>treatment</i> dan filter
5	Kadar Endapan (%)	0,1	0	<i>treatment</i> dan filter

### **Treatment** minyak transformator BHT03

Persyaratan minyak transformator yang digunakan pada transformator BHT03 tipe minyak, memiliki batasan kandungan kadar asam untuk minyak transformator yang telah digunakan adalah maksimum 1 mg/KOH/g; kadar air maksimum 30 ppm; kadar endapan 0,1 %; *viscosity* pada temperatur 30°C yaitu 22 dan kekuatan dielektrik (tegangan tembus) sebesar 80 kV/2,5 mm, sedangkan batasan kandungan kadar asam untuk minyak transformator baru adalah 0,02 mg/KOH/g sampai dengan 0,04 mg/KOH/g; kadar air 0 ppm;

kadar endapan 0 %; *viscosity* pada temperatur 30 °C yaitu IP 22 dan kekuatan dielektrik (tegangan tembus) sebesar lebih besar dari 200 kV/2,5 mm. Jika batasan-batasan persyaratan minyak transformator yang digunakan pada transformator BHT03 tipe minyak telah terlampaui maka perlu dilakukan kegiatan *treatment* dan filter minyak transformator atau minyak transformator diganti jika kandungan kadar asam untuk minyak transformator lebih besar dari 1 mg/KOH/g. Skematik *treatment* minyak transformator BHT03 gedung RSG-GAS seperti diperlihatkan pada Gambar 3.

## METODOLOGI

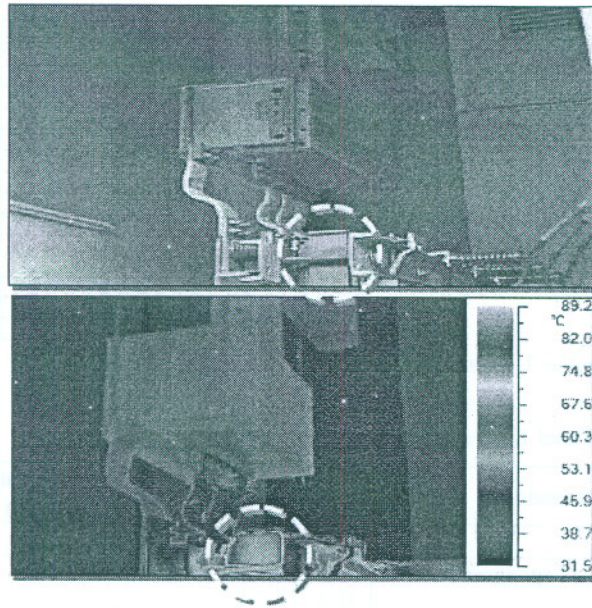
Metodologi kajian pengaruh kontaminasi terhadap rugi-rugi dielektrik dan *breakdown* minyak transformator BHT03 tipe minyak RSG-GAS ini meliputi pengukuran temperatur transformator menggunakan *infrared thermograph type Thermo Tracer TH9100PM VI/PW VI* dan *treatment* minyak transformator.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran temperatur transformator menggunakan *infrared thermograph type Thermo Tracer TH9100PM VI/PW VI* menunjukkan temperatur pada transformator

BHT03 tipe minyak mencapai temperatur hingga 89°C pada bagian atas inti transformator. Karena proses keluar-masuknya udara disekitar transformator BHT03 dan temperatur yang terjadi maka pemuain minyak transformator menjadi tidak konstan sehingga dapat merusak minyak transformator BHT03 tipe minyak tersebut. Hasil pengukuran temperatur diperlihatkan pada Gambar 4 dan Tabel 2.

Sementara itu, hasil pengukuran tahanan isolasi dan kekuatan dielektrik sebelum dan sesudah dilakukan *treatment* pada minyak transformator BHT03 diperlihatkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.



Gambar 4. Hasil pengukuran temperatur transformator BHT03 tipe minyak

Tabel 2. Hasil pengukuran temperature

No	Uraian	Hasil
1	Objek	BHT03
2	Lokasi	Ruang Transformator BHT03
3	Section	-
4	Material	-
5	Background Temp.	25 °C
	Reference Temp.	39,7 °C
	Hummidity	80 % RH
	Wind Velocity	0 ... 3 m/s
	Distance	1,0 ... m
	Emisivity	0,90
	IR Image	Camera Thermo Tracer TH9100PMVI/PWVI
	Date	5 Maret 2008

Tabel 3. Hasil pengukuran tahanan isolasi dan kekuatan dielektrik sebelum dilakukan *treatment* minyak transformator BHT03

No	Uraian	Keterangan
1	Tahanan isolasi antar belitan transformator R – S = 200.000 MΩ S – T = 200.000 MΩ T – R = 200.000 MΩ R – Nol = 2.000 MΩ S – Nol = 2.000 MΩ T – Nol = 2.000 MΩ	Belitan primer
	R – Nol = 2.000 MΩ R – Nol = 2.000 MΩ R – Nol = 2.000 MΩ	Belitan sekunder
2	Pengujian minyak transformator Pengukuran 1 = 27 kV/2,5 mm Pengukuran 2 = 28 kV/2,5 mm Pengukuran 3 = 27 kV/2,5 mm	Standar PLN (≥ 30 kV/2,5 mm)
3	Pengukuran kabel XLPE ( <i>cross link polyethylene</i> ) Pengukuran 1 = 200.000 MΩ Pengukuran 2 = 200.000 MΩ Pengukuran 3 = 200.000 MΩ	

Tabel 4. Hasil pengukuran tahanan isolasi dan kekuatan dielektrik setelah dilakukan *treatment* minyak transformator BHT03

No	Uraian	Keterangan
1	Tahanan isolasi antar belitan transformator R – S = 200.000 MΩ S – T = 200.000 MΩ T – R = 200.000 MΩ R – Nol = 2.000 MΩ R – Nol = 2.000 MΩ R – Nol = 2.000 MΩ	Belitan primer
	R – Nol = 3.000 MΩ R – Nol = 3.000 MΩ R – Nol = 3.000 MΩ	Belitan sekunder
2	Pengujian minyak transformator Pengukuran 1 = 86 kV/2,5 mm Pengukuran 2 = 88 kV/2,5 mm Pengukuran 3 = 88 kV/2,5 mm	Standar PLN (≥ 30 kV/2,5 mm)
3	Pengukuran kabel XLPE ( <i>cross link polyethylene</i> ) Pengukuran 1 = 200.000 MΩ Pengukuran 2 = 200.000 MΩ Pengukuran 3 = 200.000 MΩ	

Seperti diperlihatkan pada Tabel 3, sebelum dilakukan *treatment* minyak transformator BHT03, *breakdown* minyak transformator BHT03 memiliki nilai rata-rata sebesar 27,667 kV/2,5 mm. Nilai ini berada di bawah standar PLN yaitu ≥ 30 kV/2,5 mm, namun setelah dilakukan *treatment* minyak transformator BHT03, *breakdown* minyak transformator BHT03 mengalami peningkatan rata-rata sebesar 87,333 kV/2,5 mm. Nilai ini berada di

atas standar PLN yaitu ≥ 30 kV/2,5 mm, seperti diperlihatkan pada Tabel 4.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran tahanan isolasi dan kekuatan dielektrik setelah dilakukan *treatment* minyak transformator BHT03, nilai tahanan isolasi tidak mengalami perubahan yaitu 200.000 MΩ untuk hasil pengukuran fasa-fasa

dan 2.000 M $\Omega$  phasa-netral, sedangkan *breakdown* minyak transformator menunjukkan peningkatan rata-rata sebesar 87,33 kV/2,5 mm. Nilai yang dihasilkan ini lebih besar dari standar PLN yaitu  $\geq$  30 kV/2,5 mm, sehingga minyak transformator BHT03 layak digunakan setelah dilakukan *treatment*.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Interatom, GmbH, *Electrical Safety Analysis Report of MPR-30*
2. ARNOLD, In: *Nondestructive Inspection and Quality Control*, edited by Howard E.Boyer, (1976) 105-156
3. TEGUH S, dkk, *Diagnosis Penuaan Komponen Panel Busbar Utama II Sistem Kelistrikan RSG-GAS Dengan Menggunakan Infrared Thermography*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 10 Juli 2007, PTAPB-BATAN, 2007
4. M. DHANDANG P, *Pendekatan Untuk Manajemen Penuaan RSG-GAS*, SIGMA EPSILON Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir, Vol. 8 No. 3 Agustus 2004
5. R. HIMAWAN, *Diagnosis Penuaan Komponen PLTN*, SIGMA EPSILON Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir, Vol. 8 No. 3 Agustus 2004
6. TO'AT NUR SALAM, *Infrared Thermography Non Destructive Testing Non Contact*, Diklat NDT Batan Jakarta, Juli 2004