

**KAJIAN DIAGNOSIS KERUSAKAN KOMPONEN LISTRIK SETELAH
DILAKUKAN PEMERIKSAAN DENGAN MENGGUNAKAN
INFRARED CAMERA TYPE THERMO TRACER TH9100PM VI/PW VI**

Teguh Sulisty, Kiswanto, Yuyut Suraniyanto, M. Taufik

ABSTRAK

**KAJIAN DIAGNOSIS KERUSAKAN KOMPONEN ELEKTRIK SETELAH
DILAKUKAN PEMERIKSAAN DENGAN MENGGUNAKAN *INFRARED CAMERA
TYPE THERMO TRACER TH9100PM VI/PW VI***. Untuk menunjang keselamatan operasi Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS), telah dilakukan kajian diagnosis kerusakan komponen elektrik RSG-GAS panel busbar utama I BHA/BHB/BHC dengan menggunakan *infrared camera type thermo tracer TH9100PM VI/PW VI*. Hasil kajian ini menunjukkan kondisi *overheating* pada *fuse*, penghantar dan bagian konektor yang dipicu oleh faktor lingkungan seperti temperatur, *cycling* (perulangan) dan korosi. Jenis kerusakan yang ditimbulkan meliputi penipisan, retak, lengket dan rusak. Kondisi *overheating* ini dikhawatirkan dapat menimbulkan efek degradasi atau penurunan kemampuan fungsi hingga terjadi kegagalan sebagian atau seluruh sistem yang terkait, namun demikian secara keseluruhan komponen elektrik tersebut masih dapat dioperasikan pada beban normal.

Kata Kunci : komponen elektrik

ABSTRACT

***STUDY OF DAMAGE DIAGNOSIS OF ELECTRICAL COMPONENT AFTER
INSPECTION BY USING INFRARED CAMERA TYPE THERMO TRACER TH9100PM
VI/PW VI***. To streng them a safety of the G.A. Siwabessy reactor operation,an assessment on a damage of electrical components such as main bust bar panel I BHA/BHB/BHC by infrared camera type thermo tracer TH 9100PM VI/PW VI has been done. It is recognized that fuse, contractor and part of connector experience of over heating due to corrosion and cycling typical damage occur including cracing, stikness and thinnesing. Overheating lead to partly or fully degrade of components. How ever the whole electric components is still able be operated at normal leak.

Keywords: component electrical

PENDAHULUAN

Salah satu peran dan fungsi sistem kelistrikan gedung RSG-GAS adalah sebagai sistem bantu untuk mendukung kegiatan operasional reaktor. Kesuksesan operasi reaktor dipengaruhi oleh kehandalan daripada sistem kelistrikan RSG-GAS. Sistem kelistrikan yang dimaksud dalam makalah ini merupakan gabungan kerja dari beberapa sumber penyedia daya listrik, instalasi, distribusi, sistem penanahan, penangkal petir, dan sistem proteksi yang menjadi satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan satu dengan lainnya. Sistem listrik RSG-GAS dirancang sedemikian sehingga mampu memasok energi listrik yang handal kepada beban-beban yang terdiri dari berbagai klasifikasi keselamatan dan berbagai jenis tegangan.

Keselamatan teras RSG-GAS adalah suatu kondisi yang harus selalu tercapai dalam pengelolaan sebuah reaktor nuklir mulai saat perencanaan, pembangunan, pengoperasian hingga proses dekomisioning. Keselamatan operasi reaktor terkait erat dengan keandalan komponen, sistem dan struktur (KSS) reaktor nuklir. Sejalan dengan umur pakai KSS reaktor nuklir tersebut tidak menutup kemungkinan akan mengalami degradasi atau penurunan kemampuan fungsi hingga terjadi kegagalan sistem. Kegagalan sistem ini dapat menyebabkan rusaknya sebagian atau seluruh sistem yang terkait.

Kemungkinan penurunan kemampuan fungsi hingga terjadi kegagalan fungsi KSS peralatan listrik gedung RSG-GAS sejalan dengan umur pakai dengan kecepatan yang beragam, walaupun KSS dirancang dan dikonstruksi dengan menggunakan komponen-komponen yang telah memenuhi standar instalasi nuklir serta kriteria keselamatan tinggi. Penyebab penurunan kemampuan fungsi ini tidak hanya dipengaruhi oleh faktor internal tetapi juga oleh faktor eksternal misalnya lingkungan yang agresif, pengoperasian yang tidak sesuai dengan prosedur, faktor manusia dan lain sebagainya.

Secara umum, untuk semua jenis reaktor

riset terdapat ketentuan persyaratan keselamatan, yaitu dalam IAEA *Safety Standard Series (DS-272)* tentang *Safety Requirements of Research Reactors*. Pada pedoman tersebut memuat persyaratan yang berkaitan dengan penuaan (*ageing*), yaitu pada bab 6.68, 6.69, 6.70 tentang pemilihan bahan dan penuaan.^[1]

Pada makalah ini akan dibahas kajian diagnosis komponen elektrik panel busbar utama I BHA/BHB/BHC sistem elektrik RSG-GAS setelah dilakukan pengujian *Non Destructive Testing (NDT)* dengan menggunakan *infrared camera type thermo tracer TH9100 PM VI/PW VI*.

TEORI

Teknologi *infrared camera* merupakan salah satu peralatan teknologi *non destructive testing non-contact infrared* yang dapat digunakan untuk kegiatan *preventive maintenance, predictive maintenance, quality control, safety control, testing & commissioning* atau *NDT of materials evaluation* dan memungkinkan pengukuran temperatur dari jarak tertentu tanpa menyentuh obyek yang diukur secara *scanning* serta mendeteksi perubahan temperatur hingga 0,1 °C, sehingga mampu mengkondisikan material komponen yang mengalami perubahan. Metoda ini sangat efisien dan efektif untuk kegiatan inspeksi terhadap komponen, peralatan maupun instalasi listrik yang sedang beroperasi pada sistem kelistrikan gedung RSG-GAS, sehingga dapat diketahui kerusakannya secara dini. Teknologi ini bekerja dengan cara mengukur pancaran energi panas suatu bahan atau komponen kemudian mengkonversikannya menjadi suatu peta temperatur bahan atau komponen tersebut. Dengan mengetahui perbedaan peta temperatur dari bahan atau komponen yang diuji secara dini, akurat dan cepat maka dapat diketahui kondisi penyimpangan yang terjadi pada KSS sistem kelistrikan gedung RSG-GAS.

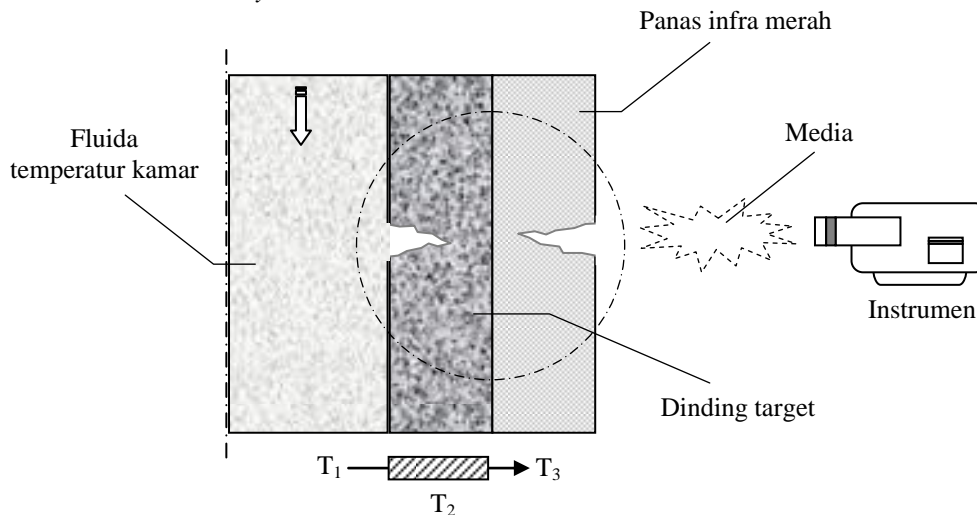
Semua materi/benda yang mempunyai suhu di atas nol *absolute* (0 °K atau -273 °C) memancarkan sinar radiasi dalam rentang

panjang gelombang sinar infra merah, sehingga metoda *infrared thermography* dengan kemampuannya untuk mendeteksi perubahan temperatur hingga 0,1 °C akan lebih efisien dan efektif dalam mendeteksi dan melokalisasi daerah anomali dengan cara melihat langsung peta temperatur (*temperature image*) yang diperoleh. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam melaksanakan pengukuran dengan menggunakan metoda *infrared thermography* antara lain obyek permukaan sebagai target, media transmisi antara obyek target dengan instrumen, dan instrumen.

Obyek permukaan sebagai target kondisinya harus langsung terlihat kamera dan objek tidak terhalang oleh benda lain meskipun tembus cahaya secara visual dan mempunyai pancaran radiasi pada *range* 0,75µ sampai dengan 100µ. Hal ini sesuai dengan spektrum pancaran radiasi *infrared*, tetapi dalam pelaksanaannya obyek atau target yang sering ditemukan berada pada *range* 0,75µ sampai dengan 20µ. Permukaan obyek yang dapat diperiksa dengan menggunakan metoda *infrared* ini dapat berbentuk *single layer* atau *multi layer*, namun pada prinsipnya permukaan yang diperiksa secara langsung terlihat, hanya dalam pengolahan data pada mekanisme perpindahan panas menggunakan pendekatan kondisi *multi layer*.

Media transmisi antara obyek yang akan diperiksa dengan instrumen yang digunakan adalah bukan media yang *vacum* atau *loss energy*, jadi merupakan media normal bisa dingin ataupun panas, namun ada beberapa hal yang harus diperhatikan pada media transmisi tersebut, yaitu perihal kondisi waktu. Sebagai contoh pengambilan gambar temperatur pada tengah hari dengan kondisi pancaran matahari cukup kuat adalah tidak baik, hal ini akibat refleksi pancaran sinar matahari cukup tinggi sehingga memberikan gambar temperatur yang lain. Oleh karena itu, pemeriksaan pada malam hari merupakan waktu pelaksanaan yang paling tepat.

Pelaksanaan pemeriksaan dengan metoda *infrared* untuk siang hari (pagi atau sore) dan malam hari juga perlu memperhatikan kondisi kecepatan angin, dimana kecepatan angin akan memberikan perubahan pancaran radiasi dari permukaan obyek, sehingga sangat mempengaruhi hasil evaluasi terutama jika berhadapan dengan obyek elektrikal. Menurut Herbert Kaplan,^[2] untuk lingkungan di luar ruangan, kecepatan angin sangat mempengaruhi kondisi obyek yang diperiksa (kecepatan angin ≥ 9 m/s atau setara dengan 18 knot) penggunaan metoda *infrared* sudah tidak layak digunakan. Pemeriksaan dengan metoda *infrared thermography* seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pemeriksaan dengan metoda *infrared thermography*

Pemeriksaan dengan metoda *infrared thermography* pada hakekatnya adalah mendeteksi dan mengukur gelombang elektromagnetik atau *infrared* yang dipancarkan oleh material dan di-*scan* melalui lensa dan filter khusus yang dideteksi menjadi *thermal image* (peta temperatur gradien) yang kemudian dapat dilihat pada monitor atau *viewfinder* dan langsung direkam sekaligus diukur temperaturnya. Dengan menggunakan metoda *infrared thermography* ini hasil pemeriksaan mampu memberikan informasi yang tepat dan akurat tentang prediksi terjadinya kegagalan material akibat panas berlebihan. Dengan berdasarkan pancaran radiasi yang ditimbulkan dari material yang dipetakan dalam bentuk *gradien thermal image*, maka dapat ditentukan secara langsung lokasi cacat dari material yang diukur.

Persiapan awal yang diperlukan dalam melakukan diagnosis kondisi KSS panel busbar utama I BHA/BHB/BHC sistem listrik RSG-GAS, yaitu pemasangan komponen-komponen *NDT non-contact IR* yang terdiri atas lensa, filter, *viewfinder*, *memory card*, baterai, dan lain sebagainya, dilanjutkan dengan identifikasi permukaan dan melakukan *scan* permukaan obyek dengan kamera *infrared*. Pada saat melaksanakan *scan*, operator diharuskan untuk memperhatikan fokus kamera dan intensitas matahari (jika dilakukan pada siang hari). Permukaan obyek yang mengalami anomali diberi identifikasi

dan dicatat sebagai data *thermal image* dan *visual image*. Data-data yang telah diperoleh selanjutnya dianalisa dan dievaluasi dengan menggunakan program *thermogram*.

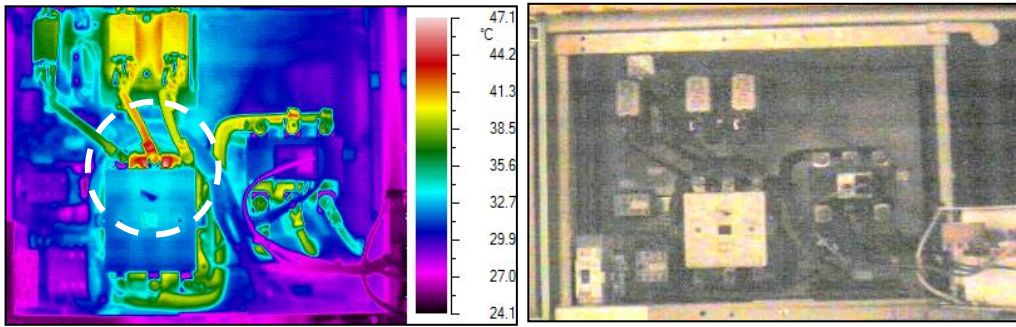
METODA KAJIAN

Kajian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi gejala degradasi dan faktor pemicu kerusakan komponen elektrik dengan menggunakan data-data hasil diagnosis kondisi KSS panel busbar utama I BHA/BHB/BHC sistem elektrik RSG-GAS menggunakan *infrared camera* meliputi komponen fuse, konektor, kabel dan MCB yang telah dilaksanakan pada bulan Maret 2007. Hasil diagnosis kondisi KSS ini dalam bentuk gradien *thermal image* akibat panas berlebih (*overheating*) pada obyek yang diperiksa.

HASIL DAN BAHASAN

Hasil diagnosis kondisi KSS panel busbar utama I BHA/BHB/BHC sistem elektrik RSG-GAS dengan menggunakan *infrared camera* berupa gradien *thermal image* akibat panas berlebih (*overheating*) pada obyek yang diperiksa. Gradien *thermal image* akibat panas berlebih panel Busbar Utama I BHA/BHB/BHC sistem kelistrikan gedung RSG-GAS seperti ditunjukkan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 7.

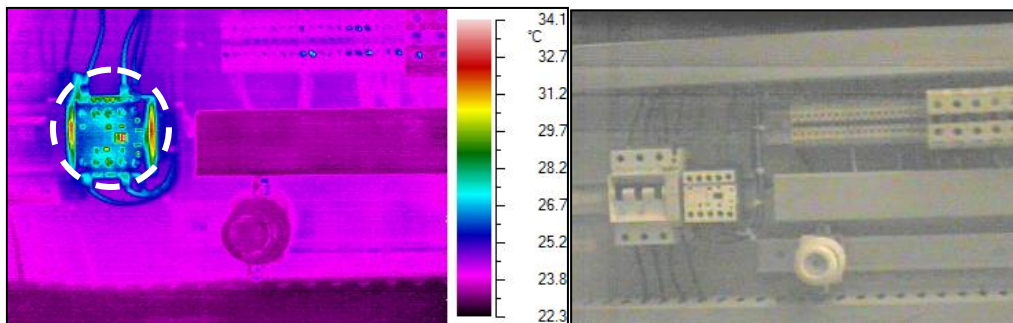
Objek	: Panel Busbar Utama I BHA	Wind Velocity	: 0 ... 3 m/s
Lokasi	: Ruang 501	Distance	: 1,0 ... m
Section	: -	Emisivity	: 0,90
Material	: Tembaga	IR Image	: Camera Thermo Tracer TH9100PMVI/PWVI
Background Temp.	: 25 °C	Date	: 5 Maret 2007
Reference Temp.	: 39,7 °C	Scanning IR Result	: Terdapat over heating pada bagian konektor
Hummidity	: 80 % RH	Advice	: Cek sambungan konektor, perlu segera perbaikan



Gambar 2. Hasil diagnosis kondisi KSS panel Busbar Utama I BHA

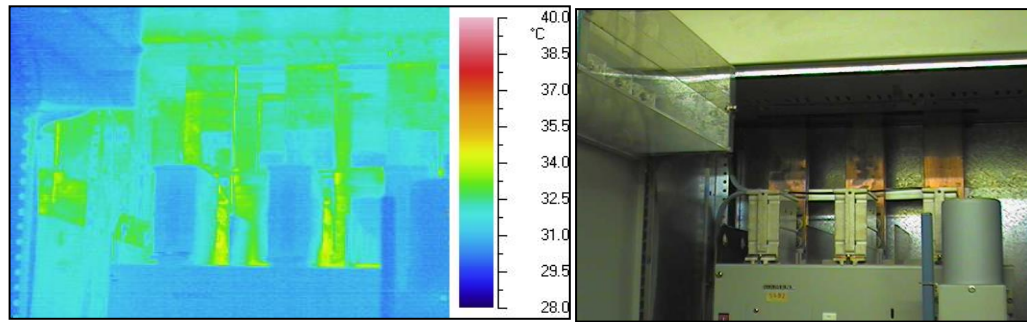
Hasil *scanning* pada Gambar 2 menunjukkan adanya *overheating* pada konektor *fuse* dan MCB yang besarnya antara 45 °C sampai dengan 50 °C, sehingga bagian tersebut perlu dilakukan pengecekan, pengencangan atau penggantian terhadap konektor kabelnya, sedangkan pada sistem kontrol dan komponen lainya seperti ditunjukkan pada

Gambar 3 dan Gambar 4 tidak terdapat *overheating* dan suhu yang terukur besarnya antara 32 °C sampai dengan 40 °C, sehingga bagian tersebut dapat dikatakan dalam kondisi normal namun demikian perlu dilakukan pengecekan, pengencangan atau penggantian terhadap konektor kabelnya.



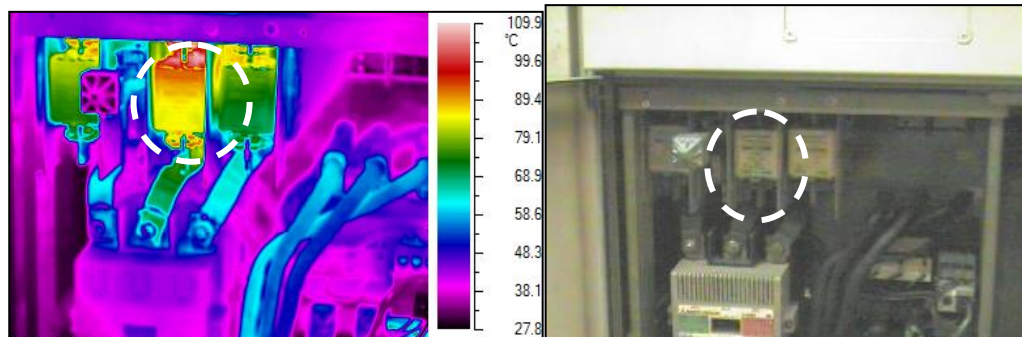
Objek	: Sistem Kontrol	Wind Velocity	: 0 ... 3 m/s
Lokasi	: Ruang 501	Distance	: 1,0 ... m
Section	: -	Emisivity	: 0,90
Material	: Tembaga	IR Image	: Camera Thermo Tracer TH9100PMVI/PWVI
Background Temp.	: 25 °C	Date	: 5 Maret 2007
Reference Temp.	: 39,7 °C	Scanning IR Result	: Tidak terdapat over heating
Hummidity	: 80 % RH	Advice	: -

Gambar 3. Hasil analisis KSS panel Sistem Kontrol Busbar Utama I BHA



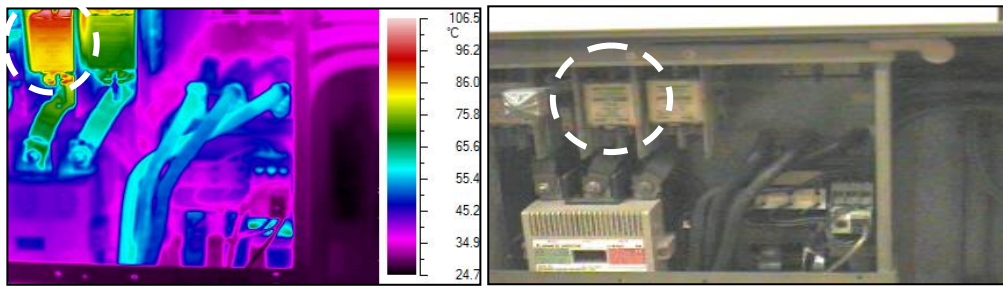
Objek	: Busbar BHA	Wind Velocity	: 0 ... 3 m/s
Lokasi	: Ruang 501	Distance	: 1,0 ... m
Section	: -	Emisivity	: 0,90
Material	: Plat Tembaga	IR Image	: Camera Thermo Tracer TH9100PMVI/PWVI
Background Temp.	: 25 °C	Date	: 5 Maret 2007
Reference Temp.	: 39,7 °C	Scanning IR Result	: Tidak terdapat over heating
Hummidity	: 80 % RH	Advice	: -

Gambar 4. Hasil analisis KSS Busbar Utama I BHA



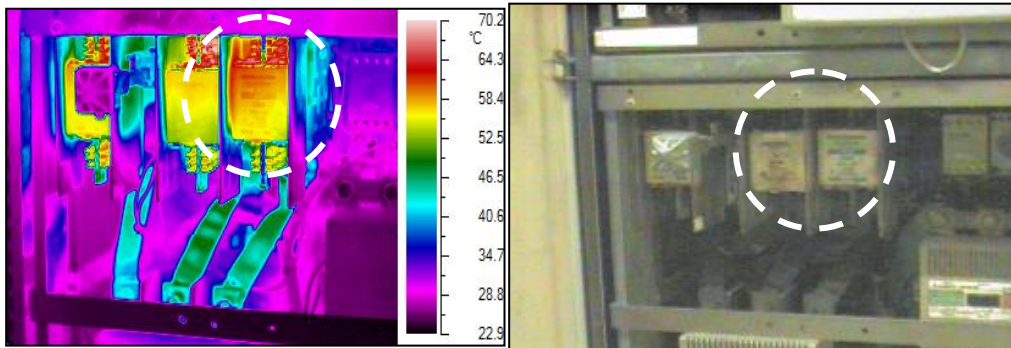
Objek	: Fuse panel BHB	Wind Velocity	: 0 ... 3 m/s
Lokasi	: Ruang 501	Distance	: 1,0 ... m
Section	: -	Emisivity	: 0,90
Material	: -	IR Image	: Camera Thermo Tracer TH9100PMVI/PWVI
Background Temp.	: 25 °C	Date	: 5 Maret 2007
Reference Temp.	: 39,7 °C	Scanning IR Result	: Terdapat over heating pada fuse bagian tengah
Hummidity	: 80 % RH	Advice	: Cek sambungan konektor, fuse, perlu segera perbaikan

Gambar 5. Hasil analisis KSS panel Busbar Utama I BHB



Objek	: Fuse panel BHB	Wind Velocity	: 0 ... 3 m/s
Lokasi	: Ruang 501	Distance	: 1,0 ... m
Section	: -	Emisivity	: 0,90
Material	: -	IR Image	: Camera Thermo Tracer TH9100PMVI/PWVI
Background Temp.	: 25 °C	Date	: 5 Maret 2007
Reference Temp.	: 39,7 °C	Scanning IR Result	: Terdapat over heating pada fuse bagian tengah
Hummidity	: 80 % RH	Advice	: Cek sambungan konektor, fuse, perlu segera perbaikan

Gambar 6. Hasil analisis KSS panel BHB



Objek	: Fuse panel BHB	Wind Velocity	: 0 ... 3 m/s
Lokasi	: Ruang 501	Distance	: 1,0 ... m
Section	: -	Emisivity	: 0,90
Material	: -	IR Image	: Camera Thermo Tracer TH9100PMVI/PWVI
Background Temp.	: 25 °C	Date	: 5 Maret 2007
Reference Temp.	: 39,7 °C	Scanning IR Result	: Terdapat over heating pada fuse bagian tengah
Hummidity	: 80 % RH	Advice	: Cek sambungan konektor, fuse, perlu segera perbaikan

Gambar 7. Hasil analisis KSS panel BHB

Hasil *scanning* pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan adanya *over-heating* pada *fuse* yang mencapai 109 °C, sehingga komponen-komponen tersebut perlu segera dilakukan pemeriksaan lebih lanjut atau dilakukan penggantian *fuse*. *Fuse* pada panel BHB ini harus mendapat perhatian karena jika panasnya terus berlanjut dapat merusak bagian-bagian *fuse* dan komponen-komponen panel lainnya.

Gejala degradasi komponen listrik

Awal proses degradasi komponen listrik umumnya disebabkan oleh arus bocor yang terjadi pada komponen listrik. Arus bocor ini disebabkan oleh efek kapasitansi, tahanan isolasi dan kemampuan hantar arus (KHA) yang merupakan batas maksimal arus listrik yang diperbolehkan melewati suatu penghantar. Jika arus listrik yang melewati suatu penghantar melebihi batas KHA-nya akan menyebabkan suhu penghantar melebihi panas maksimum yang diizinkan dan merusak isolasi penghantar. Untuk beberapa contoh kasus yang terjadi pada komponen elektrik yang menggunakan bahan tembaga elektrolitis dengan konsentrasi kemurnian sekurang-kurangnya 99,9 % dan aluminium sekurang-kurangnya 99,5 %, gejala degradasi komponen elektrik yang disebabkan oleh efek kapasitansi, tahanan isolasi dan kemampuan hantar arus terjadi pada suhu lebih besar dari 70 °C dengan suhu kamar 30 °C. Selain itu terdapat pula faktor penyebab lainnya seperti bagian permukaan kontak-kontak yang tidak rata misalnya pada kontaktor, saklar dan sebagainya. Kontak-kontak pada kontaktor, saklar dan lain sebagainya umumnya bekerja secara berulang-ulang (*cycling*). Jika pada salah satu bagian permukaan kontak-kontak tidak rata, maka pada saat bagian permukaan kontak-kontak dirapatkan (ditutup) kedua bagian tersebut tidak tertutup secara sempurna (*bad contac*) sehingga menimbulkan perbedaan intensitas medan elektrik. Intensitas medan elektrik di permukaan bagian yang tidak rata akan melepaskan elektron bebas dalam jumlah yang cukup besar disertai dengan panas yang tinggi

akan terkungkung dan mengenai bagian isolasi komponen tersebut sehingga menimbulkan kegagalan isolasi (*isolation failure*).

Kegagalan isolasi dapat pula disebabkan antara lain karena isolasi sudah lama dipakai (mendekati kelapukan), kerusakan karena faktor mekanis misalnya terbentur pada saat pemasangan, berkurangnya kekuatan dielektrik karena isolasinya dikenakan tegangan lebih tinggi dalam waktu yang lama, dan lain sebagainya. Apabila tegangan yang diterapkan mencapai tingkat ketinggian tertentu maka bahan isolasi tersebut akan mengalami pelepasan muatan (*partial discharge*) yang merupakan suatu bentuk kegagalan listrik yang menyebabkan hilangnya tegangan dan mengalirnya arus bocor dalam bahan isolasi tersebut.

Faktor pemicu

Faktor pemicu proses penuaan dan kerusakan komponen listrik umumnya berupa kondisi yang tidak diinginkan hingga kegagalan fungsi. Proses penuaan dan kondisi lingkungan serta operasional yang agresif menghasilkan suatu kegagalan fungsi. Kondisi lingkungan yang perlu dipertimbangkan yaitu kondisi operasi normal, operasi tidak normal yang dapat diantisipasi dan kondisi lingkungan alam, sedangkan dari sisi aspek penuaan komponen listrik, kondisi fisik dan mekanik perlu dipertimbangkan adanya faktor-faktor paparan radiasi, temperatur, tekanan, vibrasi dan *cycling* (perulangan), korosi, reaksi kimiawi, erosi dan faktor yang berkaitan dengan kondisi non fisik yaitu perubahan teknologi akibat adanya modifikasi KSS, perubahan prasyarat keselamatan, perubahan yang menyebabkan dokumen menjadi ketinggalan jaman, desain yang tidak memadai, salah perlakuan dalam perawatan serta pengujian KSS. *Trend* litbang tentang penuaan juga harus dipertimbangkan sebagai umpan balik bagi program manajemen penuaan yang sedang berjalan karena dari *trend* litbang penuaan ini diperoleh informasi-informasi spesifik untuk penuaan komponen listrik reaktor riset, sedangkan jenis-jenis mekanisme penuaan

(*ageing mechanism*) meliputi *embrittlement*, aus, *fatigue*, penipisan, retak, lengket, rusak dan kuno. Pada Tabel 1 ditunjukkan hasil identifikasi komponen panel busbar utama I BHA/BHB/BHC.

Berdasarkan hasil identifikasi komponen elektrik panel busbar utama I BHA/BHB/BHC setelah dilakukan pengujian *Non Destructive Testing* (NDT) dengan menggunakan *infrared camera type thermo tracer TH9100 PM VI/PW VI* seperti ditunjukkan pada Tabel 1, kemungkinan pemicu kerusakan dan penuaan yang terjadi pada komponen-komponen panel busbar utama I BHA/BHB/BHC tersebut antara lain umur pemakaian yang sudah tercapai, penggunaan secara paksa, perubahan sifat mekanis dan kondisi lingkungan yang agresif yang dikaitkan dengan kelas keselamatan (*safety related*), kemudahan penggantian (*replacement ease*), kelas mutu (*quality class*), penekan dan lingkungan (*stressor and environment*). Sebagai contoh, komponen busbar utama I BHA/BHB/BHC bahan material Tembaga (Cu) dengan spesifikasi L1, L2, L3 : 2 x 40 x 10; PE, N : 2 x 20 x 10, memiliki

kelas mutu (*quality class*) peralatan/komponen dengan toleransi 5-10 %, kelas keselamatan (*safety related*) tidak berhubungan langsung dengan keselamatan reaktor, kemudahan penggantian (*replacement ease*) sulit, serta penekanan dan lingkungan (*stressor and environment*) adalah temperatur, korosi dan rekuairmen keselamatan, sedangkan untuk komponen lainnya seperti *fuse*, kontaktor, kabel, terminal dan *switch* masing-masing memiliki kelas mutu peralatan/komponen, kelas keselamatan, kemudahan penggantian, penekanan dan lingkungan yang berbeda. Selanjutnya hasil identifikasi komponen elektrik panel busbar utama I BHA/BHB/BHC yang telah dilakukan pengujian *Non Destructive Testing* (NDT) dengan menggunakan *infrared camera type thermo tracer TH9100 PM VI/PW VI* seperti ditunjukkan pada Tabel 1 tersebut dibuat identifikasi penyebab pemicu kerusakan dan penuaan komponen-komponen elektrik panel busbar utama I BHA/BHB/BHC seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil identifikasi penyebab pemicu kerusakan dan penuaan komponen panel busbar utama I BHA/BHB/BHC

No	Penyebab pemicu	Komponen panel busbar utama I BHA/BHB/BHC						
		Busbar	Tembaga	Fuse	Kontaktor	Kabel	Terminal	Switch
1	Radiasi							
2	Temperatur	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
3	Tekanan							
4	Cycling				✓			
5	Korosi	✓	✓	✓	✓		✓	
6	Kimia							
7	Erosi							
8	Perkembangan teknologi							
9	Rekuairment keselamatan	✓						
10	Dokumentasi							
11	Faktor manusia							✓
12	Desain/operasi/ <i>maintenance</i>							

Penyebab pemicu kerusakan dan penuaan pada komponen-komponen elektrik panel busbar utama I BHA/BHB/BHC gedung RSG-GAS memiliki tingkatan yang berbeda-beda satu dengan lainnya, hal ini bergantung pada kondisi lingkungan dan letak komponen-komponen tersebut. Berdasarkan Tabel 2, temperatur merupakan penyebab pemicu kerusakan dan penuaan yang lebih dominan dibandingkan dengan jenis penyebab pemicu lainnya seperti korosi, *cycling* dan faktor manusia. Tingginya temperatur yang terjadi pada komponen-komponen elektrik panel busbar utama I BHA/BHB/BHC tersebut juga mempunyai tingkatan yang berbeda-beda satu dengan lainnya, bergantung pada letak komponen, umur pemakaian, perubahan sifat mekanis dan kondisi lingkungan, sehingga temperatur yang timbul dan melebihi batas maksimal kemampuan suatu komponen akan memiliki potensi untuk memicu kerusakan dan penuaan lebih cepat terjadi. Jenis mekanisme kerusakan dan penuaan (*ageing mechanism*) akibat temperatur yang tinggi antara lain komponen akan mengalami kondisi lengket, patah, retak, fatigue dan rusak.

Pencegahan dan mitigasi terhadap efek-efek penuaan dan kerusakan komponen elektrik RSG-GAS dapat dilaksanakan antara lain dengan cara perlakuan yang sesuai dan memadai pada waktu perancangan (desain) reaktor, pengamatan dan pengujian untuk mengkaji adanya degradasi KSS, program perawatan pencegahan, evaluasi periodik terhadap pengalaman operasi, optimasi terhadap kondisi operasi, perbaikan, penggantian dan pembaharuan/pemolesan komponen

Perlakuan yang sesuai dan memadai pada waktu perancangan (desain) reaktor dimulai pada tahap desain dengan mengadopsi batas-batas keselamatan yang tepat untuk memberikan antisipasi sifat material pada akhir umur kegunaannya. Bila data material tidak ada, harus diadopsi program pengamatan material yang memadai, dan hasil-hasil yang diperoleh dari program ini digunakan untuk mengevaluasi kecukupan desain

selama interval tertentu. Hal ini membutuhkan perencanaan selama tahap desain dan pemantauan sifat mekanis material selama mengalami perubahan karena faktor-faktor seperti korosi, tekanan dan radiasi. kekuatan dan titik leleh yang tinggi.

Aktivitas pengamatan dan pengujian dapat dimanfaatkan untuk mengkaji adanya degradasi KSS dalam rangka melaksanakan tindakan pencegahan dan korektif. Profil dan sifat penuaan dapat dikembangkan dari aktivitas ini sehingga memungkinkan dilakukannya penggantian terhadap komponen yang mengalami penuaan sebelum terjadinya degradasi dan kegagalan terduga. Frekuensi pengamatan dan pengujian harus dioptimasi berdasarkan desain, data, pengalaman di dunia industri dan rekomendasi pabrikan pembuatnya.

Perawatan pencegahan dimanfaatkan untuk mendeteksi dan mitigasi degradasi dan kegagalan KSS, didalamnya termasuk perbaikan, penggantian dan pembaharuan dengan pemolesan. Secara tradisional, program perawatan pencegahan dijadualkan berdasarkan rekomendasi pabrikan, syarat garansi dan pengalaman operator fasilitas. Cara ini sangat sesuai untuk perangkat standar, dan optimasi waktu mungkin diperlukan pengalaman sejalan dengan perkembangan perangkat

Evaluasi periodik terhadap pengalaman operasi harus dilakukan, termasuk didalamnya evaluasi dan analisis operasi, pengamatan, laporan dan pencatatan pengujian dan perawatan. Hal ini untuk menyakinkan bahwa data yang terkumpul digunakan dan diperhitungkan dalam analisis kondisi keselamatan dari fasilitas. Prosedur operasi dan perawatan juga harus dimodifikasi menyesuaikan dengan perubahan yang terjadi karena penuaan dan dilakukan secara sistematis.

Kondisi atau mode operasi, merupakan kondisi operasi/pelayanan yang mempunyai pengaruh terhadap proses penuaan. Evaluasi periodik terhadap pengalaman operasi dapat mengungkap adanya keperluan untuk mengubah kondisi operasi seperti mode operasi, aransmen teras dan parameter kimia dari

fluida. Frekuensi inpeksi juga merupakan salah satu parameter yang harus dioptimasi.

Evaluasi periodik terhadap data harus selalu dilakukan, dan pada beberapa kasus harus diambil keputusan untuk mengambil tindakan menghentikan kemerosotan (*deterioration*) yang terjadi dengan penggantian komponen. Kesimpulan laporan menyeluruh terhadap semua data yang tersedia dari suatu problem yang spesifik harus disiapkan. Laporan ini memuat rangkuman catatan sejarah, laporan pengkajian dan evaluasi, dan materi yang berkaitan dengan perpanjangan masa operasi jika ada.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian diagnosis kerusakan komponen elektrik RSG-GAS panel busbar utama I BHA/BHB/BHC dengan menggunakan *infrared camera type thermo tracer TH9100PM VI/PW VI* menunjukkan bahwa beberapa komponen elektrik telah mengalami *overheating* pada *fuse*, penghantar, dan bagian konektor. Kondisi *overheating* ini dikhawatirkan dapat menimbulkan efek degradasi atau penurunan kemampuan fungsi hingga terjadi kegagalan sebagian atau seluruh sistem yang terkait, namun demikian secara keseluruhan kom-

ponen elektrik tersebut masih dapat dioperasikan pada beban normal.

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