

## Analisis Isolasi Panas Pada Casing Turbin Gas Tipe M701D Di PLTGU Grati

Vendy Antono

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Email : vendyantono@gmail.com

Syaiful Achmad

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

### Abstract

The function of the gas turbine casing insulation is to reduce the rate of heat transfer from the gas turbine to the surrounding air, preventing the risk of fire, prevent the risk of operator safety and other hazards. Based on the findings of a team of thermography in PLTGU Grati, it is known there are many points of leakage of heat (hot spots) in a gas turbine casing. One effect of this is the emergence of hot spots burning wires and thermocouple terminal BPT di gas turbine, which led into a gas turbine trip. Several methods can be used to handle the emergence of hot spots in the insulation casing, is to replace the insulating material, adding thickness ( $\Delta x$ ) isolasi serta modify the shape and position of isolation. After studying a variety of sources, it is known that the ceramic fiber insulation blankets is a type of casing the best and most appropriate to isolate the gas turbine casing in PLTGU Grati. In addition, of several methods that can be used to handle hot spots in the insulation casing, then the most effective way is to modify the shape and rearrange the position of the insulation to fit the shape of casing gas turbine (adjusted for standarnya), so there is no longer hot spot appear, so that the gas turbine can avoid the risk of trip.

Keywords: thermography, hot spots, ceramic fiber blankets.

## 1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi dan industrialisasi sekarang ini perkembangan teknologi sangat pesat, hal ini sangat berpengaruh terhadap pemakaian sumber daya listrik yang ada di konsumen. Faktor - faktor yang menjadi pertimbangan dipilihnya PLTG adalah karena PLTG dapat beroperasi dengan cepat, yaitu dari pertama kali start hingga menghasilkan daya listrik hanya memerlukan waktu kurang lebih 26 menit (turbin gas tipe M701D buatan Mitsubishi Heavy Industries). Selain itu PLTG dapat beroperasi dengan daya yang besar (100 MW) bila dibandingkan dengan bobot atau berat mesin itu sendiri. Disamping keuntungan tersebut diatas, PLTG juga mempunyai kelemahan atau kerugian diantaranya adalah *heat losses* yang tinggi atau efisiensi yang rendah. Hal ini disebabkan karena PLTG menghasilkan suhu gas buang yang masih cukup tinggi yaitu sekitar 500 °C.

Untuk menekan kerugian yang terjadi pada PLTG selama beroperasi diharapkan semua komponen, baik itu peralatan utama maupun peralatan bantu diupayakan berada pada unjuk kerja yang baik atau optimal. Diantara peralatan

bantu yang diharapkan bekerja secara optimal adalah isolasi casing turbin gas. Berdasarkan temuan dari tim termografi di PLTGU Grati, diketahui ada banyak titik kebocoran panas (*hot spot*) di casing turbin gas. Salah satu dampak dari munculnya *hot spot* ini adalah terbakarnya (melelehnya) kabel dan terminal termokopel BPT (*blade path temperature*) di turbin gas, yang menyebabkan pembacaan sensor termokopel menjadi *error*, sehingga memunculkan alarm *blade path temperature spread high high trip*, yang menyebabkan turbin gas menjadi *trip* (mati secara mendadak karena adanya gangguan).

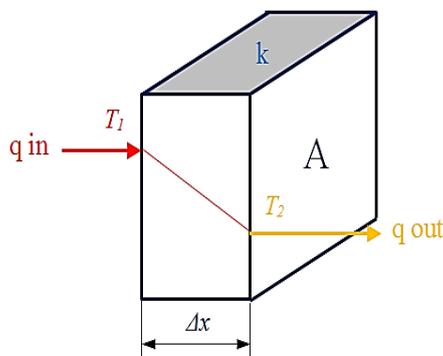
## 2. KAJIAN LITERATUR

### 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) adalah pembangkit tenaga listrik yang mempergunakan turbin gas sebagai penggerak generator listriknya. PLTG adalah jenis pembangkit listrik skala besar kedua setelah PLTU yang banyak dijumpai, terutama untuk tujuan memikul beban puncak karena sifatnya yang cepat dapat di start. Mesin turbin gas merupakan sebuah mesin kalor

yang diklasifikasikan sebagai mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Disebut mesin pembakaran dalam karena energi kinetik dari fluida bertekanan hasil pembakaran langsung dikonversi menjadi energi mekanik untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya.

Turbin gas merupakan salah satu mesin pembangkit tenaga listrik yang dapat memproduksi sejumlah energi yang besar, namun dengan ukuran yang tidak terlalu besar dengan sistem yang relatif sederhana. Sistem turbin gas yang paling sederhana terdiri dari tiga komponen, yaitu : kompresor, ruang bakar dan turbin gas.



Gambar 1. Perpindahan panas konduksi

Besar laju perpindahan panasnya adalah:

$$q = k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

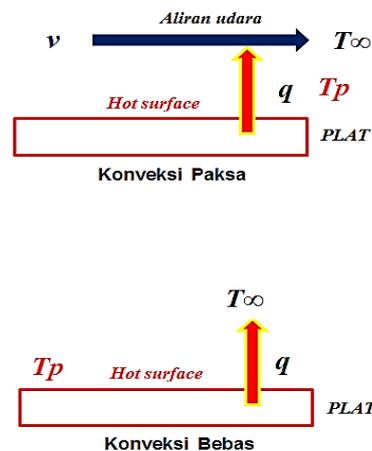
- q = Laju perpindahan panas (Watt)
- k = Konduktivitas termal (W/mK)
- A = Luas bidang permukaan (m<sup>2</sup>)
- $\frac{dT}{dx}$  = Gradien temperatur (K/m)

**2.2.Perpindahan Panas Konveksi**

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan benda padat dengan fluida (cair atau gas) yang mengalir diatas permukaan tersebut.

Fenomena ini dapat dengan mudah dilihat disekeliling kita, misalnya peristiwa pendinginan mesin sepeda motor oleh

udara, pemanasan alat masak oleh api, pemanasan air di dalam bejana atau panci, dan seterusnya.



Gambar 2. Perpindahan panas konveksi paksa dan konveksi bebas

Besarnya laju perpindahan panas konveksi dinyatakan oleh Hukum Pendinginan Newton sebagai :

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

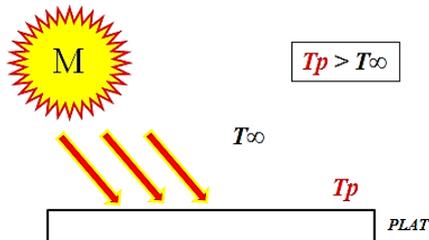
- q = Laju perpindahan panas (Watt)
- h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/mK)
- A = Luas permukaan benda (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T = (Tp - T\infty) =$  Beda temperatur (K)
- Tp = Temperatur benda padat / plat (K)
- T∞ = Temperatur sekeliling (K)

**2.3. Perpindahan Panas Radiasi**

Perpindahan panas radiasi sangat berbeda sifatnya dengan perpindahan panas konduksi dan konveksi. Dalam perpindahan panas radiasi, tidak diperlukan suatu perantara. Panas dapat langsung berpindah dari permukaan benda panas ke permukaan benda yang lebih dingin yang berada pada jarak tertentu.

Contoh yang dilihat pada peristiwa ini adalah berpindahnya panas dari matahari ke permukaan benda yang terjemur diterik matahari. Udara sekitar benda yang terjemur tadi tidak lebih panas dari permukaan tersebut, dan ini menunjukkan

bahwa udara bukan pengantar panas dari matahari ke permukaan benda yang terjemur tadi. Pancaran radiasi panas dianggap sebagai pancaran gelombang elektromagnetik. Spektrum panjang gelombang radiasi panas meliputi panjang gelombang sinar ultraviolet sampai dengan sinar infra merah.



Gambar 3. Perpindahan panas radiasi

Besarnya laju perpindahan panas radiasi dari suatu permukaan benda hitam dinyatakan oleh Hukum Planck dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

q = Laju perpindahan panas (Watt)

ε = Emisivitas bahan (0 ≤ ε ≤ 1)

σ = Konstanta Stefan Boltzman (= 5,67 x 10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

A = Luas permukaan benda (m<sup>2</sup>)

T = Temperatur mutlak permukaan (K)

### 2.3 Termodinamika Turbin Gas

**2.3.1 Sik** Dengan tidak memperhitungkan perubahan energi kinetik dan potensial, persamaan kesetimbangan energi dari proses aliran *steady* (tetap) dapat digambarkan (dalam basis unit massa) sebagai berikut :

$$q - w = h_{out} - h_{inlet} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan mengasumsikan panas spesifik konstan pada temperatur ruangan (asumsi udara dingin standar), perpindahan panas dari dan ke fluida kerja menjadi :

$$q_{in} = q_{23} = Cp (T_3 - T_2) \dots\dots\dots(3)$$

$$q_{out} = q_{41} = Cp (T_4 - T_1) \dots\dots\dots(4)$$

Efisiensi termal siklus Brayton ideal adalah

$$\eta_{th,Brayton} = \frac{W_{net}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{Cp (T_4 - T_1)}{Cp (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)} \dots\dots\dots(5)$$

Proses 1 - 2 dan 3 - 4 adalah *isentropic*; P<sub>2</sub> = P<sub>3</sub> dan P<sub>4</sub> = P<sub>1</sub>, sehingga :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_3}{T_4} \dots\dots\dots(7)$$

Mensubstitusikan persamaan di atas ke dalam hubungan efisiensi termal menghasilkan :

$$\eta_{th,Brayton} = 1 - \frac{1}{(r_p)^{\frac{k-1}{k}}} \dots\dots\dots(8)$$

dimana :

$$r_p = \frac{P_2}{P_1} \dots\dots\dots(9)$$

r<sub>p</sub> merupakan rasio tekanan dan k adalah rasio panas spesifik.

### 2.3.2 Siklus Brayton Aktual

Siklus Brayton aktual hampir selalu berbeda dari siklus idealnya. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah tekanan yang tiba – tiba turun (*drop*) pada saat proses penambahan dan pembuangan panas (Q<sub>in</sub> dan Q<sub>out</sub>). Kerja masuk aktual ke kompresor juga akan menjadi lebih besar, dan kerja keluaran aktual dari turbin menjadi lebih kecil, dikarenakan adanya gesekan dan kondisi operasi yang *non-quasi-equilibrium* (ketidak setimbangan termodinamika) dari peralatan – peralatan tersebut. *Deviasi* (penyimpangan) kerja aktual kompresor dan turbin dibandingkan dengan kerja ideal *isentropic*, dapat dihitung dengan akurat menggunakan persamaan :

$$\eta_c \approx \frac{W_s}{W_a} \approx \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \dots\dots\dots(10)$$

$$\eta_T \approx \frac{W_a}{W_s} \approx \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}} \dots\dots\dots(11)$$

### 3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode pengujian laboratorium dan analisis data *Lance Tube Sootblower* tipe 2 IK *Superheater* desain tanpa tirus. Metode ini bertujuan untuk menguji ketahanan material *Lance Tube Sootblower* tipe 2 IK *Superheater* sesuai dengan standar material untuk *Lance Tube Sootblower* tipe 2 IK *Superheater*.

Data awal pengujian dan analisis data *Lance Tube Sootblower* tipe 2 IK *Superheater* telah diperoleh berdasarkan dari pengujian di laboratorium, referensi-referensi *Manual Book Babcock and Wilcox* dan data lapangan. Data tersebut kemudian diolah dan dikaji sehingga mendapatkan suatu hasil analisis data *Lance Tube Sootblower* tipe 2 IK *Superheater* yang sesuai dengan judul penelitian ini.

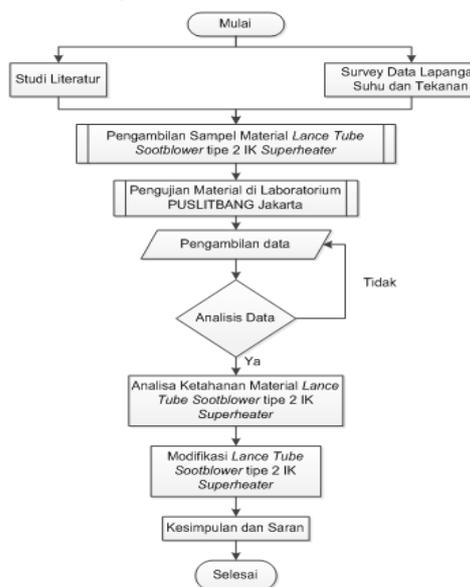
#### 3.1 Teknik Pengumpulan Data

Agar tujuan telah diuraikan sebelumnya dapat tercapai dengan baik, maka diperlukan data yang akurat sebagai dasar penelitian. Data untuk dasar penelitian ini penulis dapat dengan cara sebagai berikut :

1. Studi Lapangan / pengamatan langsung
2. Studi Literatur
3. Wawancara

#### 3.2 Kerangka Pemecahan Masalah

Untuk mempermudah melakukan penelitian maka dibuat kerangka pemecahan masalah pada gambar 2 sebagai berikut :



Gambar 2. Kerangka Pemecahan Masalah

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisa Uji Kekerasan (*Hardness*)

Tabel 1. Hasil Uji Kekerasan

NO	LOKASI	HASIL UJI	HARDNESS (HV)	NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
5.	Seamless Steel DIN 17175	Struktur mikro berupa ferrit dan perlit, terjadi degradasi pada struktur mikro, tidak terdapat indikasi cacat mikro lainnya.	1.137; 2.131; 3.140; 4.137; 5.134; 6.133; 7.140; 8.135; 9.140; 10.141	136,8 HV	Nilai titik pada uji ke-2 yaitu 131 menunjukkan bahwa daya tahan material berkurang
6.	Seamless Steel ASTM A106	Struktur mikro berupa ferrit dan perlit, terjadi sedikit degradasi pada struktur mikro, tidak terdapat indikasi cacat mikro lainnya.	1.166; 2.160; 3.168; 4.168; 5.160; 6.158; 7.166; 8.160; 9.164; 10.160	163 HV	Nilai titik pada uji ke-2, 5, 8, dan 10 yaitu 160 menunjukkan bahwa daya tahan material berkurang

Berdasarkan hasil uji kekerasan (*hardness*) (lihat Tabel 1) diatas maka dapat dianalisa bahwa *Seamless Steel* DIN 17175 mengalami penurunan daya tahan material dikarenakan struktur berupa ferrit dan perlit mengalami cacat rongga daripada *Seamless Steel* A106. Cacat rongga ini akan melemahkan material dalam temperatur tinggi seperti di *Superheater*.

#### 4.2. Analisa Uji Tarik

Pengujian tarik yaitu pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang kekuatan suatu material. Pengujian tarik dilakukan dengan penambahan beban secara perlahan-lahan, kemudian akan terjadi pertambahan panjang yang sebanding dengan gaya yang diberikan.

#### 4.3. Analisa Komposisi Kimia

Tabel 2. Komposisi Kimia *Standard ASTM A106*

Element	Grade A	Grade B	Grade C
Carbon, max. %	0.25	0.30	0.35
*Manganese %	0.27 to 0.93	*0.29 to 1.06	0.29 to 1.06
Phosphorous, max. %	0.035	0.035	0.035
Sulfur, max. %	0.035	0.035	0.035
Silicon, min. %	0.10	0.10	0.10
Chrome, max. %	0.40	0.40	0.40
Copper, max. %	0.40	0.40	0.40
Molybdenum, max. %	0.15	0.15	0.15
Nickel, max. %	0.40	0.40	0.40
Vanadium, min. %	0.08	0.08	0.08

Dari Tabel didapatkan :

1. **Karbon (C)** 0.30% max berdasarkan hasil dari pengujian komposisi kimia karbon (C) yang terkandung adalah 0.0786% yang berarti material A106 Grade B yang digunakan merupakan baja karbon menengah, yang berarti material ini tidak terlalu keras tetapi memiliki keuletan yang baik. Tetapi dari hasil pengujian bahwa karbon yang dihasilkan lebih sedikit dari standar dikarenakan banyak *deposit* yang terkandung dalam material tersebut.
2. **Silikon (Si)** 0.10% dari hasil pengujian, kandungan Si 0,161%. Kandungan silikon ini dapat meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, ketahanan terhadap panas, karat dan kekuatan baja pada suhu tinggi tanpa mengakibatkan penurunan terhadap keuletan.
3. **Mangan (Mn)** 0.29-1.06, dari hasil pengujian kandungan mangan 0.438%.Mangan ini dapat mencegah kegetasan pada suhu tinggi.
4. **Sulfur/belerang (S)** 0.035% max, dari hasil pengujian kandungan sulfur 0.0065%. Hal ini masih didalam batas normal dari standar yang ditentukan, kandungan sulfur yang rendah akan lebih baik karena kandungan sulfur dalam baja dapat menurunkan keuletan dan kekuatan pada baja.
5. **Phospor (P)** 0.035% max, dari hasil pengujian kandungan phosphor sebesar 0.0050% yang masih dalam batas normal sesuai standar yang ditentukan, phosphor dalam kandungan baja merupakan impuritas yang dapat menurunkan keuletan dan kekuatan pada baja, tetapi phosphor berguna untuk membersihkan material dari unsur penyebab korosi.
6. **Krom (S)** 0.40% max, dari hasil pengujian kandungan krom 0.0576%. Hal ini jauh dari batas normal dari standar yang ditentukan. Krom akan membuat baja lebih tahan terhadap korosi. Baja tahan karat memiliki kandungan krom diatas 12 %, apabila kandungan krom melebihi 16% maka baja tersebut tidak dapat dikeraskan. Dan bila mengandung krom lebih dari 18% akan kehilangan keuletannya, dan akibatnya lebih mudah patah atau getas.
7. **Molybdenum** 0,15% max, dari hasil pengujian kandungan molybdenum 0,0040%. Hal ini jauh dari batas normal dari standar yang ditentukan. Merupakan penstabil karbida yang baik dan akan memperlambat pembentukan grafit pada waktu pemanasan yang lama, unsur ini juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap creep pada suhu tinggi.
8. **Nikel (Ni)** 0,40% max, dari hasil pengujian nikel 0,0319%.Hal ini jauh dari batas normal dari standar yang ditentukan. Nikel baik sekali dalam ketahanan panas dan ketahanan korosinya, tidak rusak oleh air kali/air laut dan alkali.

Dari hasil pengujian dapat dianalisa bahwa unsur yang dihasilkan jauh dibatas normal dikarenakan material sedikit mengandung *deposit* sehingga material ini menyebabkan sedikit korosi tetapi masih berjalan optimal

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan, antara lain sebagai berikut:

1. Dalam analisa data pengamatan langsung hal ini, *lance tube* mengalami *defleksi*. Kejadian ini diakibatkan karena desain dari *lance tube* tanpa tirus sehingga ketika *Sootblower* tipe 2 IK *Superheater* beroperasi *forward-reverse*, *lance tube* mengalami *Overload* dan dalam waktu yang lama akan mengalami bending (lendutan).
2. Dari hasil pengujian menggunakan SEM dan EDX, sampel yang diuji dari *lance tube* 2 IK *Superheater* pada material DIN 17175 terdapat kandungan garam baik *Sulfur*, *Sodium* dan *Chlorine*. Maka dari itu kadar S harus dibuat serendah-rendahnya yaitu lebih rendah dari 0,05%. Berbeda dengan hasil pengujian material ASTM A106 yang hanya memiliki kandungan *chlorine* sehingga material masih dapat beroperasi secara optimal.
3. Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia *lance tube* mengalami lendutan karena terdapat uap yang masih mengandung air sehingga *lance tube* mengalami *deposit* sehingga material mengalami korosif dan terjadi kegagalan

pada sambungan las yang masih terdapat *pitting* (celah-celah oksigen).

4. Geometri yang tidak tirus dapat menyebabkan defleksi yang besar pada *lance tube Sootblower* sehingga terjadi *bending*.

#### Daftar Pustaka

Corporation, Marubeni. "*Maintenance Manual Book Suralaya Steam Power Plant 1&2*". Bristol, Canada: Perusahaan Umum Listrik Negara. 1984

Corporation, Marubeni. "*Design Manual Book Suralaya Steam Power Plant 1&2*". Bristol, Canada: Perusahaan Umum Listrik Negara. 1984

Donachie, Mathew J. & Stephen J. Donachie. "*Superalloy*". A technical Guide second edition. ASM International. 2002

Degarmo, E. Paul; Black, J T.; Kohser, Ronald A. "*Materials and Processes in Manufacturing*". Edition 9th. Wiley. ISBN 0-47165653-4. 2003

Eddi, Bambang Isty. "*Buku pedoman PLTU*". Jakarta.

Gilman, G. F., Gilman, Jerry. "*Boiler Control Systems Engineering*". Second Edition. ISA. 2010

Kadir, Abdul. "*Pembangkit Tenaga Listrik*". Jakarta: Universitas Indonesia. 2010.

Khairuddinsyah, Dicky., Sudana, I Putu Adi. "*Analisa Perbedaan Perpindahan Panas Line Steam Tube dengan Insulator Glasswool dan Insulator Silica Aerogel*". Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik - PLN. 2012.

Marsudi, Ir. Djiteng. "*Pembangkitan Energi Listrik*". Jakarta: Penerbit Erlangga. 2005

Prawaningrum Harli "*Pengetahuan Bahan Teknik Baja Paduan (Alloy Steel)*". Disertasi tidak diterbitkan: IPB 2009

Setia, Freddy., Safii, Alfian. "*Analisa Perbandingan Perpindahan Panas Pipa Sootblower dalam Kondisi Tanpa Insulator dan*

*Menggunakan Insulator Unit 1-4*". Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta. 2011.

Suharno, Bambang & Sri Harjanto. Bahan Kuliah Baja Paduan dan Paduan Super. "*Heat Resistant Steel*". Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI. 2010

Wilson, Jason. "*Understanding Various Factors that Reduce Heat-Resistant-Alloy Component Life*". "*Heat & Corrosion Resistant Material/Composites*". 2007