

**PENGUNAAN *SPECIAL TOOL* KATROL UNTUK MELEPAS *NOZZLE*
DAN *SHROUD* PADA TURBIN GAS MUARA KARANG TANPA
MELAKUKAN ANGKAT ROTOR: SEBUAH INOVASI BIDANG
PEMBANGKITAN LISTRIK**

Lucius Patria^{1,*}, Giri Dwi Astanto¹

¹PT Bukit Energi Service Terpadu, Jl. Lingga Raya (Bangko Barat), Tanjung Enim, Muara Enim,
Sumatera Selatan, 31711, Indonesia

*e-mail koresponding: luc_patre@yahoo.com

Abstrak

Turbin gas GE MS 9001E memiliki tiga siklus pemeliharaan berkala (*overhaul*), yaitu *Combustion Inspection* (CI), *Hot Gas Path Inspection* (HGPI), dan *Major Inspection* (MI). Dalam pelaksanaannya, ruang lingkup pekerjaan *overhaul* dapat bertambah akibat ditemukannya kerusakan saat pembongkaran komponen. Pada pelaksanaan HGPI, salah satu pekerjaan tambahan yang dapat muncul adalah penggantian sudu tetap (*nozzle*) yang secara konvensional memerlukan proses pengangkatan rotor turbin. Proses tersebut membutuhkan waktu, biaya, serta memiliki risiko keselamatan kerja yang lebih tinggi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menerapkan *special tool* berupa sistem katrol untuk proses pelepasan dan pemasangan *nozzle* serta shroud tanpa melakukan pengangkatan rotor turbin pada unit turbin gas GE MS 9001E di PLTGU Muara Karang. Hasil implementasi menunjukkan bahwa *special tool* yang dikembangkan mampu menghilangkan kebutuhan pekerjaan pengangkatan rotor beserta pekerjaan pendukung lainnya, seperti pembongkaran *combustion casing*, *combustion wrapper*, *compressor discharge casing*, pelepasan kopling, serta proses *realignment*. Penerapan metode ini menghasilkan percepatan durasi *overhaul* selama 5 hari dengan biaya pembuatan alat sebesar Rp2.240.000 dan potensi manfaat finansial mencapai Rp2.942.468.835. Selain itu, metode ini memberikan manfaat nonfinansial berupa penurunan risiko kecelakaan kerja.

Kata kunci: Turbin gas; *Hot Gas Path Inspection* (HGPI); *Special tool*; *Nozzle*; Efisiensi.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Turbin gas merupakan salah satu peralatan utama pada sistem pembangkitan listrik yang dituntut memiliki tingkat keandalan, efisiensi, dan ketersediaan operasi yang tinggi. Untuk menjaga performa dan umur pakai peralatan, diperlukan strategi pemeliharaan terencana (*planned maintenance*) melalui kegiatan inspeksi dan *overhaul* secara berkala [1], [2]. Program pemeliharaan yang tepat tidak hanya bertujuan mempertahankan performa operasi turbin, tetapi juga mengurangi risiko *forced outage*, meningkatkan keselamatan kerja, serta menurunkan biaya siklus hidup pembangkit [3], [4]. Pemeliharaan berbasis inspeksi juga menjadi bagian penting dalam menjaga integritas komponen yang bekerja pada temperatur tinggi, terutama pada jalur gas panas (*hot gas path*) [5].

Turbin gas *General Electric* (GE) tipe MS9001E merupakan turbin kelas *heavy-duty*

yang banyak digunakan pada pembangkit listrik siklus sederhana maupun siklus gabungan (*combined cycle power plant*). Turbin ini memiliki konfigurasi kompresor aksial 17 tingkat dan turbin 3 tingkat yang dirancang untuk menghasilkan daya sekitar 100 MW dengan fleksibilitas operasi pada berbagai kondisi beban [6], [7]. Karena bekerja pada temperatur dan tekanan tinggi, turbin jenis ini memerlukan program inspeksi periodik sesuai rekomendasi pabrikan.

Secara umum, inspeksi berkala turbin gas GE dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu *Combustion Inspection* (CI), *Hot Gas Path Inspection* (HGPI), dan *Major Inspection* (MI) [8]. *Combustion Inspection* dilakukan untuk mengevaluasi kondisi sistem pembakaran dan komponen terkait, sedangkan *Hot Gas Path Inspection* mencakup inspeksi yang lebih luas terhadap komponen yang terpapar langsung gas temperatur tinggi seperti *nozzle*, bucket, shroud, dan bagian turbin tahap awal [2], [8]. Pada tahap *Major Inspection*, cakupan pekerjaan bertambah hingga mencakup

pembongkaran rotor dan inspeksi menyeluruh terhadap seluruh bagian utama turbin [9].

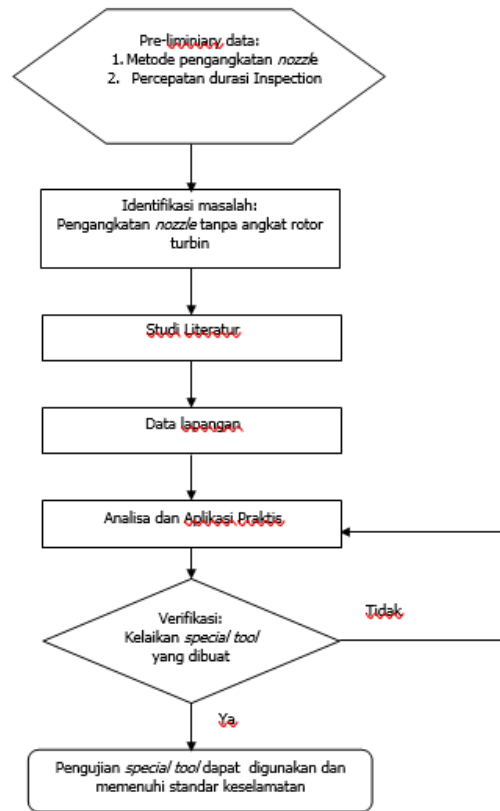
Pelaksanaan *overhaul* membutuhkan perencanaan yang matang meliputi ruang lingkup pekerjaan, estimasi biaya, kebutuhan sumber daya, dan target durasi penyelesaian. Ketepatan pelaksanaan *overhaul* menjadi faktor penting dalam menjaga ketersediaan unit pembangkit dan kontinuitas pasokan energi listrik [10]. Namun dalam praktiknya, sering ditemukan tambahan ruang lingkup pekerjaan akibat kerusakan komponen yang baru teridentifikasi setelah pembongkaran dilakukan. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan durasi pekerjaan, biaya pemeliharaan, dan risiko operasional.

Salah satu tantangan tersebut terjadi pada pelaksanaan *Hot Gas Path Inspection* turbin gas GE MS9001E di PLTGU Muara Karang. Berdasarkan prosedur standar, pelaksanaan HGPI dilakukan dengan pembukaan upper casing turbine untuk inspeksi komponen jalur gas panas tanpa pengangkatan rotor [8]. Akan tetapi, apabila ditemukan kerusakan pada sudu tetap (*nozzle*) dan shroud, metode konvensional umumnya mengharuskan pengangkatan rotor agar proses pembongkaran dapat dilakukan. Aktivitas tersebut membutuhkan waktu tambahan, penggunaan alat berat, serta meningkatkan risiko keselamatan kerja selama proses *overhaul* [11].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dikembangkan sebuah *special tool* berbasis sistem katrol yang memungkinkan proses pelepasan dan pemasangan *nozzle* dilakukan tanpa pengangkatan rotor turbin. Inovasi ini diharapkan mampu mempercepat durasi *overhaul*, mengurangi pekerjaan pendukung yang tidak diperlukan, meningkatkan efisiensi biaya, serta menurunkan risiko kecelakaan kerja pada kegiatan pemeliharaan turbin gas.

METODE PENELITIAN

Berikut merupakan diagram metodologi yang digunakan dalam pembuatan makalah ini.



Gambar 1. Diagram Alir

Metodologi penelitian diawali dengan tahap preliminary data (data awal) yang digunakan sebagai dasar pengembangan solusi. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi mengenai metode pengangkatan *nozzle* yang digunakan sebelumnya serta analisis kebutuhan percepatan durasi pekerjaan inspeksi (*inspection outage duration*). Data awal ini menjadi dasar dalam menentukan permasalahan utama yang akan diselesaikan.

Tahap berikutnya adalah identifikasi masalah, yaitu kondisi ketika proses pelepasan *nozzle* pada turbin gas secara konvensional memerlukan pengangkatan rotor turbin. Metode tersebut menyebabkan durasi pekerjaan menjadi lebih panjang, membutuhkan sumber daya tambahan, serta meningkatkan kompleksitas dan risiko pekerjaan *overhaul*. Setelah masalah teridentifikasi, dilakukan studi literatur untuk memperoleh dasar teoritis dan referensi teknis terkait desain alat bantu (*special tool*), metode pemeliharaan turbin gas, mekanisme pengangkatan komponen, serta standar keselamatan kerja yang berlaku.

Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data lapangan, yang bertujuan memperoleh informasi aktual mengenai dimensi area kerja, kondisi *nozzle* dan rotor, keterbatasan ruang pembongkaran, serta kebutuhan teknis selama pelaksanaan *overhaul* HGPI.

Berdasarkan hasil studi literatur dan data lapangan, dilakukan analisis dan aplikasi praktis berupa perancangan dan penerapan *special tool* yang memungkinkan proses pelepasan *nozzle* dilakukan tanpa pengangkatan rotor. Tahap ini mencakup evaluasi desain, prinsip kerja alat, serta penerapan langsung pada pekerjaan *overhaul*.

Hasil implementasi kemudian masuk ke tahap verifikasi, yaitu penilaian terhadap kelayakan (*feasibility*) *special tool* yang dibuat. Pada tahap ini dievaluasi apakah alat mampu berfungsi sesuai tujuan, aman digunakan, dan memberikan keuntungan dari sisi waktu maupun pelaksanaan pekerjaan. Apabila hasil verifikasi menunjukkan alat belum memenuhi persyaratan, maka proses kembali ke tahap analisis dan dilakukan penyempurnaan desain (*loop perbaikan*). Namun apabila hasil verifikasi menunjukkan alat layak digunakan, maka dilanjutkan ke tahap akhir yaitu pengujian penggunaan *special tool*, untuk memastikan alat dapat dioperasikan secara aman, efektif, dan memenuhi standar keselamatan kerja.

Dengan alur metodologi tersebut, pengembangan *special tool* tidak hanya berfokus pada aspek teknis pelepasan *nozzle*, tetapi juga memastikan bahwa solusi yang dihasilkan dapat diterapkan secara praktis pada pekerjaan *overhaul* turbin gas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pelaksanaan dengan *Special Tool*

Dalam pelaksanaan *overhaul* HGPI GT 1.2, yang dilaksanakan pada November 2007, ruang lingkup pekerjaan adalah sebagai berikut : Standard job *Hot Gas Path Inspection* yang meliputi :

- a. Pemasangan 1st, 2nd, dan 3rd *stage nozzle*
- b. Pemasangan 1st, 2nd, dan 3rd *stage bucket*
- c. Pemasangan 1st, 2nd, dan 3rd *stage shroud*

Pekerjaan tambahan (*WO EJ dan Repair*)

Sedangkan waktu yang disediakan adalah 30 hari. Untuk menyiasati agar pekerjaan tersebut dapat dipercepat, dibuat rencana pembongkaran dan pemasangan *bucket*, *nozzle*, dan *shroud* dilakukan tanpa mengangkat rotor.

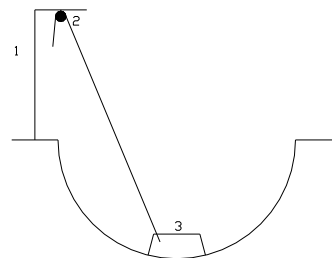
Untuk melepas *bucket* tidak mengalami kesulitan karena dapat dilakukan dengan memutar rotor. Kesulitan yang dihadapi untuk mengangkat *nozzle* dan *shroud* adalah keterbatasan tempat untuk menarik keluar karena sempit dan tidak bisa dilalui orang.

Oleh karena metode ini belum pernah dilakukan sebelumnya, maka beberapa persiapan yang perlu dilakukan adalah pembuatan *special tool* yang akan digunakan untuk melepas *nozzle* (sudu tetap) serta *shroud* di *lower casing*. *Special tool* yang dibuat tampak dalam gambar dibawah ini:

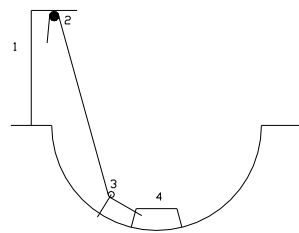


Gambar 2. *Special tool*

Special tool yang dibuat berupa 2 buah roda gigi yang disambung dengan poros dan disambung vertikal dengan besi penyangga. Besi penyangga berupa batang silinder yang diameternya dibuat lebih kecil dari diameter lubang pin *nozzle* (sudu tetap) agar dapat dimasukkan ke dalam lubang tersebut. Roda gigi yang dipasang berfungsi sebagai rel untuk rantai *chain block* agar arah rantai yang menarik *nozzle* atau *shroud* minimal sama dengan radius *lower casing*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar berikut:



Gambar 3. Proses Pengangkatan tanpa *special tool*



Gambar 4. Proses Pengangkatan dengan *special tool*

Keterangan gambar:

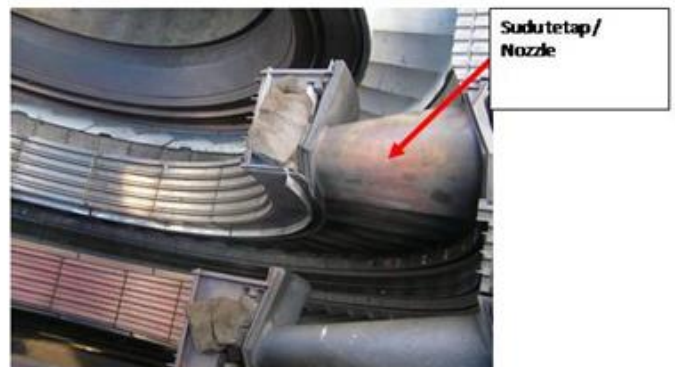
1. Tiang penyangga
2. *Chain block*
3. *Special tool*
4. *Nozzle* (sudu tetap) yang akan diangkat



Gambar 5. *Shroud* dan *nozzle* (sudu tetap) yang akan diangkat



Gambar 6. Proses Pekerjaan



Gambar 7. Sudu Tetap Turbin



Gambar 8. Rotor turbin harus diangkat untuk membongkar sudu tetap di *lower casing*

Dalam pelaksanaannya, metode ini ternyata mampu menghilangkan beberapa pekerjaan, seperti:

1. Pembongkaran *combustion casing*
2. Pembongkaran *combustion wrapper*
3. Pembongkaran *compressor discharge casing*
4. Pembongkaran *bearing 2 dan 3*
5. Lepas kopling turbin – kompresor
6. Lepas kopling turbin – generator
7. *Alignment* ulang

Dengan dihilangkan sebagian pekerjaan – pekerjaan tersebut diatas, maka pekerjaan bongkar pasang *bucket, nozzle, shroud stage 1, 2, & 3* saat HGPI GTG 1.3 dapat diselesaikan dengan percepatan waktu 5 hari.

3.2 Manfaat Finansial

A. Besar Biaya Pembuatan *Special Tools*

Adapun biaya yang diperlukan untuk pembuatan *special tools* adalah sebagai berikut sebesar :

Tabel 1. Biaya yang diperlukan untuk *Special Tools*

No.	Material	Harga
1	2 Buah roda gigi	Rp. 250.000,-
2	Besi pejal uk. Dia 1,5" x panjang 50 cm	Rp. 100.000,-
3	Besi pejal uk. Dia 1" x panjang 30 cm	Rp. 100.000,-
4	Pelat baja tebal 2 cm ; uk. 20 x 30 cm	Rp. 1.500.000,-
5	2 buah mur baut M10	Rp. 20.000,-
Total biaya material		Rp. 2.240.000,-

B. Besar Kerugian

Apabila unit stop selama 1 hari maka besarnya kehilangan kesempatan penjualan berdasarkan komponen A dan B (saja) adalah sebagai berikut (berdasar data dari rental operasi MKR):

1. Entitas PLTGU (GTG)* : Rp 444,958,701,-
2. Entitas PLTGU (STG) : Rp 430,605,194,-

Dengan asumsi : jika STG combined dengan tiga GTG, jadi untuk 1 GTG menyumbang entitas STG sebesar Rp. 143.535.066), Data tersebut dengan asumsi jumlah hari adalah 31 dalam bulan bersangkutan termasuk derating pada STG. Dengan penggunaan *special tool* yang dibuat diperoleh hasil percepatan HGPI menjadi 5 hari.

Sehingga entitas yang bertambah dengan selesainya HGPI adalah = 5 x (Rp 444.958.701 + Rp. 143.535.066) = Rp 2.942.468.835 Perhitungan keuntungan tersebut belum memperhitungkan penghematan biaya proyek HGPI itu sendiri, seperti biaya tenaga kerja dan sewa crane untuk angkat rotor. Maka, manfaat finansial yang didapat dari mengeluarkan anggaran pembuatan special tools sebesar Rp 2.240.000,- perusahaan dapat menghemat pengeluaran biaya hingga sebesar Rp 2.942.468.835,-.

3.3 Manfaat Non Finansial

Manfaat non finansial adalah mengurangi resiko kecelakaan kerja (bidang K3) karena proses pengangkatan rotor ditiadakan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pengembangan dan penerapan special tool berupa sistem katrol untuk proses pelepasan

dan pemasangan nozzle serta shroud pada turbin gas GE MS 9001E terbukti efektif dalam mendukung pelaksanaan Hot Gas Path Inspection (HGPI) tanpa memerlukan pengangkatan rotor turbin. Metode yang dikembangkan mampu menghilangkan sejumlah pekerjaan kritis yang sebelumnya harus dilakukan pada metode konvensional, seperti pembongkaran combustion casing, combustion wrapper, compressor discharge casing, pelepasan kopling, serta proses realignment rotor.

Implementasi special tool tersebut memberikan peningkatan efisiensi pelaksanaan overhaul yang ditunjukkan oleh pengurangan durasi pekerjaan selama 5 hari dibandingkan metode konvensional. Dari aspek ekonomi, alat yang dibuat dengan biaya relatif rendah sebesar Rp2.240.000 mampu menghasilkan potensi manfaat finansial sebesar Rp2.942.468.835 melalui pengurangan waktu henti unit dan pekerjaan pendukung yang tidak lagi diperlukan. Selain itu, penerapan metode ini juga berkontribusi terhadap peningkatan aspek keselamatan kerja karena mengurangi aktivitas pengangkatan komponen berat yang memiliki tingkat risiko tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. H. I. H. Saravanamuttoo, G. F. C. Rogers, H. Cohen, dan P. V. Straznicky, *Gas Turbine Theory*, 7th ed. Harlow, UK: Pearson Education, 2016.
- [2]. M. P. Boyce, *Gas Turbine Engineering Handbook*, 5th ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2019.
- [3]. Electric Power Research Institute (EPRI), *Advanced Gas Turbine Guidelines: Inspection Intervals and Maintenance Planning*, Palo Alto, CA, USA, 1994.
- [4]. GE Power Systems, *Gas Turbine Repair Technology (GER-3957B)*. Atlanta, GA, USA: General Electric, 2024.
- [5]. F. Mevissen dan M. Meo, "A Review of NDT/Structural Health Monitoring Techniques for Hot Gas Components in Gas Turbines," *Sensors*, vol. 19, no. 3, p. 711, 2019.
- [6]. G. W. Scheper dan A. J. Orsino, "Testing and Initial Operating Experience of the MS9001E Gas Turbine," *ASME Paper 82-GT-2*, 1982.
- [7]. GE Energy, *Uprate Options for the MS9001 Heavy Duty Gas Turbine (GER-*

- 3928C), General Electric, 2024.
- [8]. GE Power Systems, *Gas Turbine Inspection and Maintenance Instructions (GEK 107048)*. General Electric, 1998.
- [9]. General Electric, *Gas Turbine Maintenance Philosophy and Inspection Programs*, General Electric Technical Publication.
- [10]. M. F. Support, “*Hot Gas Path Inspection for Heavy Duty Gas Turbines*,” Technical Service Guide, 2024.
- [11]. K. Kashi, “*Hot Gas Path Inspection (HGPI) of Gas Turbine Unit Type GE Frame 9E: Documentary Study*,” *The Peerian Journal*, vol. 18, pp. 1–11, 2024.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).