

Analisa Kegagalan Pada *Disc* Turbin Uap Penggerak

Kompresor CO₂ Kapasitas 8000 KW

Diajukan untuk memenuhi persyaratan mengikuti sidang sarjana Strata Satu (S-1)

Program Studi Teknik Mesin



Nama : Fathurrahman Santosa

NIM : 1951057020

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

JAKARTA 2021



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

SURAT TUGAS AKHIR

1. Dengan persetujuan Ketua Program Studi Teknik Mesin

maka :

N a m a : Fathurrahman Santosa

N I M : 1951057020

Berjanji akan menyelesaikan tugas ini dalam waktu yang ditentukan dengan kesungguhan, kreatifitas dan penuh tanggung jawab sesuai dengan kepribadian seorang Sarjana Teknik yang diharapkan daripadanya.

2. **Topik Tugas Akhir : ANALISA KEGAGALAN PADA DISC TURBIN UAP PENGGERAK KOMPRESOR CO₂ KAPASITAS 8000 KW**

Diberikan pada tanggal :
Selesai pada tanggal :
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Budiarto, MSc
2. Ir. Priyono Atmadi, DEA

3. Pembayaran uang tugas tanggal :

4. Tugas selesai dan diterima pada tanggal :

Nomor .
..../pts/jtm/ft.uki/....

T.Tangan :

Kaprodi

Dicky Antonius,
S.T., M.Sc.

Mahasiswa ybs.

Fathurrahman S

Dosen
Pembimbing I

Ir. Budiarto, MSc

Dosen
Pembimbing II

Ir. Priyono Atmadi,
DEA

Bagian
Keuangan

Kaprodi

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Fathurrahman Santosa
Nim : 1951057020
Fakultas / Jurusan : Teknik / Mesin
Judul : ANALISA KEGAGALAN PADA *DISC* TURBIN UAP
PENGGERAK KOMPRESOR CO₂ KAPASITAS 8000 KW

Diterima dan disahkan untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) Teknik Mesin.

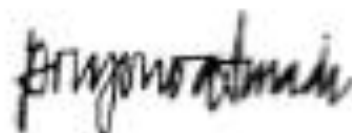
Menyetujui,

Pembimbing 1



(Ir. Budiarto, MSc)

Pembimbing 2



(Ir. Priyono Atmadi, DEA.)

Menyetujui,

Ketua Program Studi Teknik Mesin



(Dicky Antonius, ST, M.Sc.)

LEMBAR PERNYATAAN

Dalam hal ini saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Fathurrahman Santosa
NIM : 1951057020
Institusi/ perguruan : Universitas Kristen Indonesia
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan :

Dalam tugas akhir dengan topik **Analisa Kegagalan Pada Disc Turbin Uap Penggerak Kompresor CO₂ Kapasitas 8000 KW** adalah hasil karya saya sendiri.

Dalam hal topik tersebut baru pertama kali dilakukan di Teknik Mesin UKI. Demikian surat pernyataan ini saya buat.

Bandung, Juli 2021



Fathurrahman Santosa



Pernyataan dan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fathurrahman Santosa

NIM : 1951057020

Fakultas : Fakultas Teknik

Program Studi : Teknik Mesin

Jenis Tugas Akhir : Skripsi

Judul :

**ANALISA KEGAGALAN PADA DISC TURBIN UAP PENGGERAK
KOMPRESOR CO2 KAPASITAS 8000KW**

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar akademik di perguruan tinggi manapun;
2. Tugas akhir tersebut bukan merupakan plagiat dari hasil karya pihak lain, dan apabila saya/kami mengutip dari karya orang lain maka akan dicantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
3. Saya memberikan Hak Non-eksklusif Tanpa Royalti kepada Universitas Kristen Indonesia yang berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilih hak cipta.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran Hak Cipta dan Kekayaan Intelektual atau Peraturan Perundangan-undangan Republik Indonesia lainnya dan integritas akademik dalam karya saya tersebut, maka saya bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum dan sanksi akademis yang timbul serta membebaskan Universitas Kristen Indonesia dari segala tuntutan hukum yang berlaku.

Dibuat di Jakarta
Pada Tanggal 29 Juli 2021



Fathurrahman Santosa

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunianya yang tiada batas sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi syarat dalam menempuh ujian akhir sarjana Strata satu (S-1) pada program studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia, Jakarta.

Laporan tugas Akhir ini memang sangat jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dari pembaca sekalian, yang akhirnya buku laporan Tugas Akhir ini nantinya semakin sempurna dan dapat berguna serta bermanfaat untuk kemajuan bersama.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat bimbingan dan bantuan baik secara moral dan moril dari berbagai pihak, dan pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Dicky Antonius, ST., M.Sc., selaku dosen ketua program studi teknik mesin dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Budiarto, MSc., selaku dosen pembimbing dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Priyono Atmadi, DEA., selaku dosen pembimbing dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini.
4. Kedua orang tua, keluarga tercinta, dan teman – teman yang senantiasa memberikan doa, semangat, dukungan, dan motivasi selama menyelesaikan tugas akhir ini.

Bandung, Juli 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fathurrahman Santosa', with a stylized, sweeping flourish extending to the left.

Fathurrahman Santosa

ABSTRAK

Pada industri pupuk salah satu turbin digunakan untuk menggerakkan kompresor yang berfungsi memampatkan fluida gas CO₂ untuk proses pembentukan karbanat. Turbin uap tersebut beroperasi pada kecepatan 11.019 rpm dengan uap yang masuk di sisi inlet 81,5 kg/cm²A dan temperatur uap air 480°C yang sudah beroperasi pada tahun 1998. Pada kegiatan *turnaround* tahun 2018 turbin dilakukan pembongkaran, saat proses inspeksi ditemukan *crack* pada bagian *disc* tingkat keempat. Guna lebih lanjut mengetahui penyebab kegagalan tersebut dilakukan investigasi berupa pengamatan dan pengujian pada bagian yang *crack*. Hasil yang diperoleh pada proses pengamatan inspeksi visual *crack* terjadi pada permukaan luar sisi saluran uap masuk dengan patahan membentuk pola *beachmark* yang menjalar pada posisi permukaan luar 10mm tanda material mengalami *fatigue*, NDT *penetrant test* memperlihatkan rambatan *crack* dari bagian dalam alur sudu hingga permukaan luar *disc* dengan ketebalan 5mm, pengujian komposisi kimia dengan metode EPMA menunjukkan adanya penurunan kadar kandungan senyawa kimia Fe, Cr dan peningkatan O, C, S, P dan S hal ini menyebabkan logam teroksidasi, tidak tahan korosi, nilai kekerasan meningkat dan menurunnya keuletan serta ketangguhan terhadap beban impak, pengamatan makroskopis dan mikroskopis menggunakan SEI struktur yang dihasilkan berupa fase martensit temper yang secara keseluruhan ditutupi dengan skala oksidasi. Meskipun strukturnya masih terlihat, tetapi hasil pengujian kekerasan terdapat peningkatan yang signifikan sebesar 5,2% hingga 11,7% dari kekerasan yang ditentukan sebesar 233HV. Kesimpulannya bahwa awal terjadinya *crack* karena material tersebut *fatigue*. *Crack* tersebut membuat adanya celah yang menjadikan pengendapan senyawa kimia. Endapan yang muncul mengubah komposisi senyawa kimia sehingga terjadi oksidasi yang berujung pada peningkatan kekerasan yang membuat material tersebut getas menyebabkan *crack* menjalar.

Kata kunci : Turbin uap, *Crack*, *Fatigue*

ABSTRACT

In the fertilizer industry, one of the turbines is used to drive a compressor to compress the CO₂ for the carbonate gas process. The steam turbine operates at a speed of 11,019 rpm with steam entering at the inlet side of 81.5 kg/cm²A and a water vapor temperature of 480°C which has been operating in 1998. In the 2018 turnaround activity (TA) this turbine was overhauled, during the process inspection found a crack on the disc stage 4. In order to further determine the cause of the failure, an investigation was carried out in the form of observation and testing on the cracked part. The results obtained in the visual inspection process that cracks occur on the outer surface of the steam inlet side with a fracture forming a beach mark pattern along 10mm, a sign of the material experiencing fatigue, NDT penetrant test shows crack propagation from the inside of the blade groove to the outer surface of the disc thickness along 5mm, chemical composition testing using the EPMA method showed a decrease in the content of chemical compounds Fe, Cr and an increase in O, C, S, P and S this caused the metal to be oxidized, not corrosion resistant, increased hardness value and decreased ductility and toughness to impact loads, observations macroscopically and microscopically using SEI the resulting structure is in the form of a tempered martensite phase which is completely covered with oxidizing scale. Although the structure is still visible, the hardness test results show a significant increase of 5.2% to 11.7% from the specified hardness of 233HV. The conclusion is that the initial crack occurs because the material is fatigued. The crack creates a gap that causes the deposition of chemical compounds. The precipitate that appears changes the composition of chemical compounds so that oxidation occurs which leads to an increase in hardness which makes the material brittle causing the crack to spread.

Keywords : Steam turbin, Crack, Fatigue

DAFTAR ISI

SURAT TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Rumusan dan Batasan Masalah.....	3
1.3.1 Rumusan Masalah.....	3
1.3.2 Batasan Masalah.....	3
1.4 Waktu dan Tempat.....	4
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 Pengertian Umum Turbin Uap.....	6
2.2 Kontruksi Turbin Uap.....	7
2.2.1 Casing.....	7
2.2.2 Rotor.....	7
2.2.3 Bantalan (<i>Bearing</i>).....	8
2.2.4 Katup Utama.....	8
2.2.5 Sistem Perapat Poros.....	9
2.3 Prinsip Kerja Turbin Uap.....	11
2.4 Dasar Pemilihan Material Turbin.....	12
2.5 Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>).....	16
2.5.1 Manajemen Pemeliharaan.....	17
2.5.1 Turn Around.....	19

2.6	Kegagalan/ <i>Fracture</i>	21
2.6.1	Karakteristik Komponen Turbin Uap dan Mekanisme Kegagalannya.....	22
2.6.2	Teknik Analisa Kegagalan	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Diagram Alir	31
3.2	Data Teknis	32
3.3	Pengamatan Visual	34
3.4	Pengujian Non Destructive Test (NDT) Penetrant	34
3.5	Pengujian Komposisi Kimia (<i>EPMA</i>).....	35
3.6	Pengujian Struktur Makro dan Mikro (<i>SEI</i>).....	37
3.7	Pengujian Kekerasan (<i>HV</i>).....	39
BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN.....		41
4.1	Hasil Pengujian dan Pengamatan.....	41
4.1.1	Pengamatan Visual	41
4.1.2	Pengujian Non Destructive Test (NDT) Penetrant	48
4.1.3	Pengujian Komposisi Kimia.....	51
4.1.4	Pengujian Struktur Makro dan Mikro.....	52
4.1.5	Pengujian Kekerasan	59
4.2	Pembahasan Hasil Pengujian dan Pengamatan.....	61
BAB V KESIMPULAN		65
TINJAUAN PUSTAKA		67
LAMPIRAN.....		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Posisi Retakan pada <i>Dise Stage 4</i>	2
Gambar 2.1 Bagian Utama Turbin Uap	7
Gambar 2.2 <i>Gland Packing</i>	9
Gambar 2.3 <i>Labyrinth Seal</i>	9
Gambar 2.4 Skema Sederhana Rankine (Cengel 2006)	10
Gambar 2.5 Langkah-langkah pelaksanaan TA	15
Gambar 2.6 Langkah-langkah analisa kegagalan HAL.....	22
Gambar 3.1 Metodologi umum	25
Gambar 3.2 Sampel pertama	26
Gambar 3.3 Sampel kedua	26
Gambar 3.4 Sampel ketiga	26
Gambar 3.5 Sampel yang akan dilakukan inspeksi visual	27
Gambar 3.6 Bagian yang akan dilakukan <i>NDT penetrant</i>	28
Gambar 3.7 Titik spesimen yang akan dilakukan pengujian komposisi kimia	30
Gambar 3.8 Posisi spesimen yang akan dilakukan pengujian makrostruktur	31
Gambar 3.9 Titik spesimen yang akan dilakukan pengujian mikrostruktur.....	32
Gambar 3.10 Posisi dan titik spesimen yang akan dilakukan pengujian kekerasan.....	33
Gambar 4.1 Bagian <i>disc blade</i> integrasi yang dipisahkan.....	34
Gambar 4.2 Permukaan luar sisi saluran uap keluar	34
Gambar 4.3 Permukaan luar sisi saluran uap masuk	35
Gambar 4.4 Tampak atas sisi dudukan alur sudu.....	35
Gambar 4.5 Tampak bawah sisi alur sudu	35
Gambar 4.6 Sisi aksial bagian a	36
Gambar 4.7 Sisi aksial bagian b	36
Gambar 4.8 Detail permukaan luar sisi saluran uap masuk	36
Gambar 4.9 Detail patahan nomor 1	37
Gambar 4.10 Detail patahan nomor 2	37
Gambar 4.11 Bagian alur sudu yang akan dipisahkan	37
Gambar 4.12 Bagian x dan y yang akan dipisahkan kembali.....	38
Gambar 4.13 Bagian x dan y setelah dipisahkan.....	38
Gambar 4.14 Detail bagian y setelah dipisahkan	38
Gambar 4.15 Permukaan retakan bagian dalam yang akan dibersihkan	39
Gambar 4.16 Permukaan retakan bagian dalam setelah dibersihkan	39

Gambar 4.17 Sketsa permukaan retakan bagian dalam.....	39
Gambar 4.18 Posisi permukaan retakan yang akan diamati detail.....	40
Gambar 4.19 Hasil perbesaran permukaan retakan.....	40
Gambar 4.20 Hasil <i>penetrant test</i> permukaan luar sisi saluran uap keluar	41
Gambar 4.21 Hasil <i>penetrant test</i> permukaan luar sisi saluran uap masuk.....	41
Gambar 4.22 Hasil <i>penetrant test</i> sisi aksian pada bagian a	41
Gambar 4.23 Hasil <i>penetrant test</i> sisi aksian pada bagian b	42
Gambar 4.24 Hasil <i>penetrant test</i> pada permukaan sisi dudukan alur sudu.....	42
Gambar 4.25 Hasil <i>penetrant test</i> bagian o permukaan dalam sisi saluran uap keluar	43
Gambar 4.26 Hasil penetrant test bagian i permukaan dalam sisi saluran uap masuk.....	43
Gambar 4.27 Titik sampel pengujian komposisi kimia.....	44
Gambar 4.28 Bagian A-E yang akan dilakukan perbesaran.....	45
Gambar 4.29 Perbesaran 100x dan 200x bagian A	45
Gambar 4.30 Perbesaran 100x dan 200x bagian B	46
Gambar 4.31 Perbesaran 100x dan 200x bagian C	46
Gambar 4.32 Perbesaran 100x dan 200x bagian D	46
Gambar 4.33 Perbesaran 100x dan 200x bagian E.....	47
Gambar 4.34 Posisi bagian A yang akan dilakukan pengujian mikrostruktur	47
Gambar 4.35 Perbesaran 20x sampai dengan 500x bagian A	48
Gambar 4.36 Posisi bagian B yang akan dilakukan pengujian mikrostruktur	48
Gambar 4.37 Perbesaran 20x sampai dengan 1000x bagian B	49
Gambar 4.38 Posisi bagian C yang akan dilakukan pengujian mikrostruktur	49
Gambar 4.39 Perbesaran 20x sampai dengan 1000x bagian C	50
Gambar 4.40 Posisi bagian D yang akan dilakukan pengujian mikrostruktur	50
Gambar 4.41 Perbesaran 20x sampai dengan 1000x bagian D	51
Gambar 4.42 Posisi bagian yang akan dilakukan pengujian kekerasan	51
Gambar 4.43 Hasil pengujian kekerasan pada posisi X1	52
Gambar 4.44 Hasil pengujian kekerasan pada posisi X2	52
Gambar 4.45 Hasil pengujian kekerasan pada posisi X3	53
Gambar 4.46 Hasil pengujian kekerasan pada posisi X4	53
Gambar 4.47 Hasil pengujian kekerasan pada posisi X5	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pemilihan material untuk komponen pada PLTU dengan kriteria tertentu	11
Tabel 2.2 Langkah-langkah utama pada proses kerja perbaikan tahunan	15
Tabel 2.3 Mekanisme kegagalan sudu turbin uap	17
Tabel 3.1 Komposisi <i>base</i> material pada rotor.....	29
Tabel 3.2 <i>Mechanical properties</i> pada rotor	38
Tabel 4.1 Hasil pengujian komposisi kimia dari sampel A,B, dan C.....	44