



**ANALISA KEBOCORAN ALAT PENUKAR PANAS
UDARA PADA SCREW KOMPRESOR UDARA DI
LIQUEFIED NATURAL GAS PLANT DENGAN
PENGUJIAN MERUSAK DAN MERUSAK**



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

TESIS

OLEH

AAT SAFAAT

55820110003

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2022**

**ANALISA KEBOCORAN ALAT PENUKAR PANAS UDARA PADA
SCREW KOMPRESOR UDARA DI LIQUEFIED NATURAL GAS PLANT
DENGAN PENGUJIAN MERUSAK DAN MERUSAK**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata Dua (S-2)
Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Mesin
Universitas Mercu Buana Jakarta**



Disusun oleh:

NAMA : AAT SAFAAT

NIM : 55820110003

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2022**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Analisa Kebocoran Alat Penukar Panas Udara Pada Screw Kompresor Udara Di Liquefied Natural Gas Plant Dengan Pengujian Merusak Dan Merusak

Nama : Aat Safaat

NIM : 55820110003

Program : Magister Teknik Mesin

Tanggal : 09 September 2022

Mengesahkan
Pembimbing



Alfian Noviyanto, Ph.D

NIDN: 0319117906

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin



Dr.Ir. Mawardi Amin, MT

NIDN/NIK: 0024096701/192670076



Dafit Feriyanto, M.Eng, Ph.D

NIDN: 0310029004

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa semua pernyataan dalam Tesis ini :

Nama : Aat Safaat
NIM : 55820110003
Program Studi : Magister Teknik Mesin
Fakultas : Teknik Mesin
Judul Penelitian : ANALISA KEBOCORAN ALAT PENUKAR PANAS UDARA PADA SCREW KOMPRESOR UDARA DI LIQUEFIED NATURAL GAS PLANT DENGAN PENGUJIAN MERUSAK DAN MERUSAK

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan penelitian dengan sesungguhnya. Tesis yang saya buat ini merupakan hasil karya saya sendiri dan benar keasliannya. Apabila dikemudian hari ternyata hasil penulisan tesis ini hasil plagiat atau penjiplak karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan dan bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan Universitas Mercu Buana Jakarta.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Jakarta, 15 Juli 2022


894A0A JX771989147 (Aat Safaat)

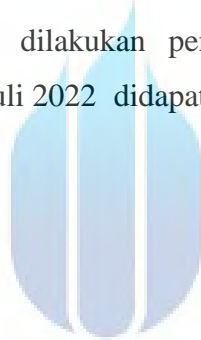
PERNYATAAN SIMILIARITY CHECK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan, bahwa karya ilmiah yang ditulis oleh

Nama : Aat Safaat
NIM : 55820110003
Program Studi : Magister Teknik mesin

dengan judul

“FAILURE ANALYSIS OF SCREW COMPRESSOR AND ITS MODIFICATIONS” telah dilakukan pengecekan *similarity* dengan sistem Turnitin pada tanggal 12 Juli 2022 didapatkan nilai persentase sebesar 10 %.



Jakarta, 12 Juli 2022

Administrator Turnitin

UNIVERSITAS
MERCU BUANA 

(Miyono, S.Kom)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmannirrohim

Alhamdulillah puji dan syukur kehadiran Allah Subhanahu wata'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya, sholawat serta salam kepada Baginda Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi kehidupan kita.

Saya persembahkan hasil karya yang sangat sederhana ini untuk almamater tercinta Universitas mercubuana Jakarta. Alhamdulillah peneliti sudah dapat menyelesaikan penelitian dalam rangka penyusunan tesis. Penelitian ini berjudul "*Analisa Kebocoran Alat Penukar Panas Udara Pada Screw Kompresor Udara Di Liquefied Natural Gas Plant Dengan Pengujian Merusak Dan Merusak*". Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Magister Teknik Industri, Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Mesin di Universitas Mercu Buana.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis banyak mendapat bantuan dan bimbingan baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Untuk itu, penulis banyak mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Abah, Ibu, Istri tercinta, dan anak-anak tersayang yang telah memberikan dukungan, motivasi serta doa yang tulus demi kesuksesan dan kelancaran tesis ini.
2. Bapak Dafit Feriyanto, M.Eng, Ph.D., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Mercubuana Jakarta.
3. Bapak Andi Firdaus Sudarma, ST, M.Eng., selaku Sekertaris Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Mercubuana Jakarta.
4. Bapak Alfian Noviyanto, Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak arahan sehingga tesis ini dapat diselesaikan.
5. Seluruh dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta yang sudah memberikan ilmunya kepada penulis.
6. Staff dan Karyawan Universitas Mercu Buana Jakarta.

7. Rekan-rekan mahasiswa terutama MTM angkatan 24 yang telah memberikan dukungan dan semangat.
8. Bapak Ir. Suharto IPM, ACPE selaku Senior Mechanical Engineer yang telah membimbing saya di Technical Service Engineering Department PT. Donggi Senoro LNG.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis. Besar harapan penulis, tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan dunia pengetahuan.

Jakarta, 15 Juli 2022

Penyusun



ABSTRAK

Penelitian ini dilatar belakangi dengan adanya indikasi bahwa telah terjadi trip yang disebabkan indikasi temperatur tinggi di dalam ruangan pendingin aftercooler. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kegagalan aftercooler yang mengalami kegagalan fungsi karena mengalami kebocoran dengan metode pengujian tidak merusak (NDT) dan pengujian merusak (DT). Berdasarkan hasil test kebocoran ditemukan kebocoran pada salah satu komponen pendingin udara kompresor screw udara yaitu aftercooler. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode uji tidak merusak (*Non-Destructive Testing*) dan uji merusak (*Destructive Testing*) untuk pemeriksaan benda uji pada kegagalan di komponen aftercooler. Pengujian NDT meliputi pengujian visual komponen, cairan penetran dan XRF *Positive Material Identification* (PMI), sedangkan pengujian merusak meliputi pengujian visual bahan uji, pengujian komposisi kimia menggunakan *Optical Emission Spectrometry* (OES), pengujian *metallography* terdiri dari makrophoto dan mikrostruktur dan pengujian patahan permukaan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)-EDX. Hasil pengujian tidak merusak dengan menggunakan XRF diketahui bahwa material aftercooler tersebut adalah Al 5454 dimana tidak sesuai dengan material dari desain pabrik adalah Al 5049. Berdasarkan temuan laboratorium pada kedua sampel yang diuji, terungkap bahwa porositas yang telah diamati pada daerah las *brazing* menyebabkan kegagalan pada aftercooler sehingga menginisiasi adanya retakan kecil (*microcrack*) dan merambat kebagian sirip. Porositas di dalam bagian tersebut dapat bertindak sebagai konsentrasi tegangan dan melemahkan bagian yang mengalami kegagalan di lokasi yang diinginkan, terutama pada area sudut yang memiliki konsentrasi tegangan tinggi.

Kata Kunci: Porositas, Aftercooler, Brazing, Al 5454, Retakan Kecil.

ABSTRACT

This research is motivated by indications that a trip has occurred due to indications of high temperature in the aftercooler cooling room. This study aims to study the failure of the aftercooler that malfunctioned due to a leak using non-destructive testing (NDT) and destructive testing (DT) methods. By investigating, it was found that there was a leak in the aftercooler causing the hot air in the aftercooler to trigger an increase in temperature in the cooling room so that it exceeded the set point high alarm so that the compressor unit automatically tripped. Based on the results of the leak test, a leak was found in one of the components of the screw air compressor air conditioner, namely the aftercooler. The leak causes hot air to blow out of the aftercooler enclosed space. The methods used in this research are non-destructive testing and destructive testing. NDT testing includes visual testing of components, liquid penetrant and XRF Positive Material Identification (PMI), while destructive testing includes visual testing of test materials, chemical composition testing using Optical Emission Spectrometry (OES), *Metallography* testing consists of macrophoto and microstructure and surface fault testing using a *Scanning Electron Microscope* (SEM)-EDX. The test results are not destructive using XRF, it is known that the aftercooler material is Al 5454 where it does not match the material of the manufacturer's design is Al 5049. Based on the laboratory findings of the two samples tested, it was revealed that the porosity that had been observed in the *brazing* weld area caused a failure in the aftercooler, thus initiating the presence of *microcracks* and crack propagating to the fins. Porosity inside the part can act as a concentration of stress and weaken the part that has a failure at the desired location, especially in angular areas that have a high concentration.

Keywords: Porosity, Aftercooler, Brazing, Al 5454, Microcracks.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL LUAR	i
HALAMAN JUDUL DALAM	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PERNYATAAN SIMILIARITY CHECK	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Penelitian Terdahulu	3
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah	6
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Alat Penukar Panas (<i>Aftercooler</i>)	8
2.2 Korosi	10

2.3 Brazing	14
2.3.1 Elemen Proses Brazing	14
2.3.2 Jenis cacat yang terjadi pada proses brazing.....	16
2.4 Porositas (Void)	16
2.4.1 Sumber porositas	19
2.5 Analisa Kegagalan	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Diagram Alir	31
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.3 Tahap Pengujian Dan Pengambilan Data	33
3.3.1 Pengujian Visual (<i>Visual Examination</i>).....	33
3.3.2 Pengujian Penetrant (<i>Penetrant Test</i>).....	34
3.3.3 Pengujian <i>XRF Positive Material Identification</i> (PMI)	35
3.3.4 Pengujian Merusak (<i>Destructive Test</i>)	35
3.4 Tahap Analisis	36
3.4.1 Teknik NDT (<i>Non-Destructive Testing</i>).....	36
3.4.2 Pengujian Visual (<i>Visual Examination</i>).....	38
3.4.3 Pengujian Penetrant (<i>Penetrant Test</i>).....	39
3.4.4 Pengujian <i>XRF Positive Material Identification</i> (PMI).....	40
3.4.5 Pengujian <i>Optical Emission Spectrometry</i> (OES).....	41
3.4.6 Pengujian <i>Metallography</i>	43
3.4.7 Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	47
3.5 Gantt Chart	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Pengujian Tidak Merusak (<i>Non-Destructive Test</i>)	51
4.1.1 Hasil Pengujian Visual (<i>Visual Examination</i>) dan Kebocoran	51
4.1.2 Hasil Pengujian Penetrant (<i>Penetrant Test</i>).....	52

4.1.3 Hasil Pengujian XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>)	55
4.2.1 Pengamatan Visual (<i>Visual Examination</i>)	57
4.2.2 Hasil Pengujian <i>Optical Emission Spectrometry</i> (OES)	58
4.2.3 Hasil Pengujian Metallography	60
4.2.4 Hasil Pengujian SEM-EDX	65
BAB V KESIMPULAN	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	77



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram alir screw kompresor	9
Gambar 2. 2 Struktur lapisan aluminium oksida [31]	18
Gambar 2. 3 Skema lapisan pori aluminium oksida [32]	18
Gambar 2. 4 Sambungan brazing antara tabung (hole) dan penutup (Cap) [31] ..	21
Gambar 2. 5 Sambungan brazing sebelah kiri [31]	22
Gambar 2. 6 Sambungan brazing sebelah kanan [31]	23
Gambar 2.7 Diagram fasa untuk Al-Mg (dari ASM Internasional) [36]	25
Gambar 2.8 Skema yang menunjukkan bagaimana retak korosi tegangan intergranular terjadi pada material Al-Mg yang tersensitisasi [37].	26
Gambar 2. 9 Panjang dan tebal retakan pada tipe benda uji [42]	28
Gambar 2.10 Typical Failure Assessment Diagram (FAD)[42]	29
Gambar 3.1 Flow chart penelitian	31
Gambar 3.2 P&ID test kebocoran komponen aftercooler	34
Gambar 3.3 Lokasi Pengujian penetrant test	35
Gambar 3.4 Identifikasi jenis material (bahan) menggunakan XRF PMI pada lokasi yang berbeda	35
Gambar 3.5 Sampel baik dan rusak	36
Gambar 3.6 Bagan Teknik Analisa Kegagalan	37
Gambar 3.7 Prinsip dari cairan penetrant (PT)	39
Gambar 3. 8 Alat portabel XRF Test yang digunakan dalam penelitian	41
Gambar 3. 9 Optical Emission Spectroscopy (OES)	42
Gambar 3. 10 tipe kegagalan lelah dilihat dari garis pantai menampilkan seperti garis kontur [39]	44
Gambar 3. 11 Mikroskop type Olympus BX51	45
Gambar 3.12 Bagian-bagian mikroskop optik	46
Gambar 3.13 Bagian-bagian mikroskop optic	46
Gambar 3.14 Mesin pengujian SEM dengan type: JED-2300, Brand: JEOL	49
Gambar 3.15 Skema SEM	49

Gambar 4.1 Hasil pengujian kebocoran sebelah kiri	51
Gambar 4.2 Hasil pengujian kebocoran sebelah kanan.	52
Gambar 4.3 Pengujian penetrant test	53
Gambar 4.4 Temuan pin hole pada bagian kiri	54
Gambar 4.5 Temuan porositas pada bagian kanan.....	55
Gambar 4.6 Proses identifikasi jenis material menggunakan alat portable XRF yang terdiri dari (A) Pengujian material bagian bawah, (B) Monitor hasil pengujian bagian bawah, (C) Pengujian material bagian samping, (D) Monitor hasil pengujian bagian samping	56
Gambar 4.7 Penampang permukaan untuk pengamatan visual yang terdiri dari (A) penampang luar sampel bagus, (B) penampang dalam sampel bagus, (C) penampang luar sampel bocor, (D) penampang dalam sampel bocor	58
Gambar 4.8 Titik dilakukan pengujian komposisi	59
Gambar 4.9 Pengujian Makroskopik pada sampel bagus (A) dan Sampel bocor (B) dengan 1000x perbesaran	61
Gambar 4.10 Hasil uji struktur mikro pada bagian sambungan (brazing) yang terdiri dari sampel bagus (A) dan sampel bocor (B).....	62
Gambar 4.11 Hasil uji Struktur mikro di daerah 3 (sambungan las) pada sampel bocor.....	63
Gambar 4.12 Contoh porositas, celah lebar pada sambungan dengan banyak porositas penyusutan dari referensi (A) dan porositas yang diamati pada sampel bocor (B).	64
Gambar 4.13 Hasil pengujian SEM pada sampel bagus / baru (A) dan bagian lama (B)	65
Gambar 4.14 Area pengamatan pada permukaan aftercooler sample pada daerah sirip yang bocor.....	67
Gambar 4.15 Pengujian EDX pada sampel baru (A) dan lama (B)	68

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian tentang porositas dalam pengelasan beserta dampak sifat mekanik pada sambungan las.....	3
Tabel 2.1 Komposisi Kimia pada Paduan Al 5049, Nilai dalam wt% [19]	9
Tabel 2. 2 Jenis-jenis korosi pada heat exchanger [22]	11
Tabel 2.3 Komposisi Kimia pada Paduan Aluminium [44]	29
Tabel 2.4 Komposisi Kimia pada Paduan Al 5454, Nilai dalam wt%	30
Tabel 2.5 Sifat Mekanik Bahan Al 5454.....	30
Tabel 3.1 Minimum Dwell Time (ASME V article 6, 2010 section V) [59].....	40
Tabel 3.2 Kelebihan dan Kekurangan Optical Emission Spectroscopy (OES)[62]	42
Tabel 3. 3 Penjelasan Jenis Sinyal, Detector, dan Resolusi Lateral serta Kedalaman Sinyal untuk Menggambar dan Menganalisa Material di SEM.....	48
Tabel 3. 4 Rencana Jadwal Pelaksanaan Penelitian	49
Tabel 4. 1 Tabel hasil pengujian XRF	57
Tabel 4.2 Hasil uji komposisi kimia pada aftercooler.....	59

DAFTAR SINGKATAN

AA	:	<i>Aluminum Alloy</i>
AF	:	<i>Air Filter</i>
Al	:	<i>Aluminium</i>
AO	:	<i>Air Outlet</i>
AS	:	<i>Silincer</i>
ASME	:	<i>The American Society of Mechanical Engineers</i>
ASTM	:	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BV	:	<i>By-Pass Valve</i>
BFM	:	<i>Brazing Filler Metal</i>
Ca	:	<i>Aftercooler</i>
Ca1	:	<i>Pre-Aftercooler</i>
Ci	:	<i>Intercooler</i>
Ci1	:	<i>Pre-Intercooler</i>
Co	:	<i>Oil Cooler</i>
Cr	:	<i>Krom</i>
Cu	:	<i>Tembaga</i>
CV	:	<i>Check Valve</i>
DT	:	<i>Destructive Test</i>
EDX	:	<i>Energy-Dispersive X-Ray</i>
Eh	:	<i>High-Pressure Compressor Element</i>
EI	:	<i>Low-Pressure Compressor Element</i>
FAD	:	<i>Failure Assessment Diagram</i>
Fe	:	<i>Besi</i>
FN	:	<i>Fan</i>
g/cm ³	:	<i>Gram per centimeter cubic</i>
IGSCC	:	<i>Intergranular Stress Corrosion Cracking</i>
lb/ft ³	:	<i>Pound per feet cubic</i>
Mg	:	<i>Magnesium</i>
Mn	:	<i>Mangan</i>
MPa	:	<i>Mega Pascal</i>
MTa	:	<i>Moisture Trap, aftercooler</i>
MTi	:	<i>Moisture Trap, intercooler</i>
NaCl	:	<i>Natrium klorida</i>
NDT	:	<i>Non-Destructive Test</i>
OES	:	<i>Optical Emission Spectroscopy</i>
OF	:	<i>Oil Filter</i>
OP	:	<i>Oil Pump</i>
PMI	:	<i>Positive Material Identification</i>
SCC	:	<i>Stress Corrosion Cracking</i>
SEM	:	<i>Scanning Electron Microscope</i>
Si	:	<i>Silikon</i>
SPD	:	<i>Severe Plastic Deformation</i>
Ti	:	<i>Titanium</i>
Wt%	:	<i>Persen berat</i>

Zn	:	Seng
Ksi	:	kilo-pound per inci persegi
W/m-K	:	Watts per meter-Kelvin
$\mu\text{m/m-K.}$:	Micrometre per metre kelvin
XRF	:	<i>X-Ray Fluoresence</i>
SEI	:	<i>Secondary Electron Imaging</i>
BSE	:	<i>Back Scattered Electrons</i>
BHN	:	<i>Brinell Hardness Number</i>
SPSS	:	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
LOD	:	<i>Limit of Detection</i>
IMC	:	<i>Inter-Metallic Compounds</i>
TIG	:	<i>Tungsten Inert Gas</i>
DRX	:	<i>Dynamic Recrystallization</i>
SAGG	:	<i>Static Abnormal Grain Growth</i>
df	:	<i>degree of freedom</i>



UNIVERSITAS
MERCU BUANA