

TUGAS AKHIR - TM 184835

**ANALISA PENYEBAB KEGAGALAN SUBUNIT DRY GAS
SEAL PADA *SYNTHESIS GAS COMPRESSOR* 020-C01/C02
DENGAN METODE ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS
(STUDI KASUS PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI)**

MUHAMMAD LUQMAN AL HAKIM

NRP. 02111840000100

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

NIP. 19691203 1994 031 001

Program Studi S-1 Teknik Mesin

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - TM184835

ANALISA PENYEBAB KEGAGALAN SUBUNIT *DRY GAS SEAL* PADA *SYNTHESIS GAS COMPRESSOR 020-C01/C02* DENGAN METODE ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS (STUDI KASUS PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI)

MUHAMMAD LUQMAN AL HAKIM

NRP. 02111840000100

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

NIP. 19691203 1994 031 001

Program Studi S-1 Teknik Mesin

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - TM184835

**FAILURE CAUSE ANALYSIS OF *DRY GAS SEAL* IN
SYNTHESIS GAS COMPRESSOR 020-C01/C02 USING
ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS METHOD
(CASE STUDY PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI)**

MUHAMMAD LUQMAN AL HAKIM

NRP. 02111840000100

Advisor

Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

NIP. 19691203 1994 031 001

Study Program Bachelor Degree

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Industrial and System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENYEBAB KEGAGALAN SUBUNIT *DRY GAS SEAL* PADA *SYNTHESIS GAS COMPRESSOR 020-CO1/CO2* DENGAN METODE *ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS* (STUDI KASUS PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI)

TUGAS AKHIR

Ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **MUHAMMAD LUQMAN AL HAKIM**
NRP. 02111840000100

Disetujui oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.
NIP. 196912031994031001 (Pembimbing)
2. Dr. Latifah Nurahmi, S.T., M.Sc.
NIP. 1986201712037 (Penguji I)
3. Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T.
NIP. 198604012015041001 (Penguji II)

SURABAYA
JULI 2022

APPROVAL SHEET

FAILURE CAUSE ANALYSIS OF DRY GAS SEAL IN SYNTHESIS GAS COMPRESSOR 020-C01/C02 USING ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS METHOD (CASE STUDY PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI)

TUGAS AKHIR

Submitted to fulfill one of the requirements
For obtaining a bachelor's degree at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **MUHAMMAD LUQMAN AL HAKIM**
NRP. 02111840000100

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.
NIP. 196912031994031001
(Advisor)
2. Dr. Latifah Nurahmi, S.T., M.Sc.
NIP. 1986201712037
(Examiner I)
3. Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T.
NIP. 198604012015041001
(Examiner II)

SURABAYA
JULY 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Muhammad Luqman Al Hakim / 02111840000100
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc./ 196912031994031001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISA PENYEBAB KEGAGALAN SUBUNIT DRY GAS SEAL PADA SYNTHESIS GAS COMPRESSOR 020-CO1/CO2 DENGAN METODE ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS (STUDI KASUS PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI)” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bila mana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 3 Agustus 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.
NIP. 196912031994031001

Mahasiswa



Muhammad Luqman Al Hakim
NRP. 02111840000100

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Muhammad Luqman Al Hakim / 02111840000100
Department : Mechanical Engineering INDSYS-ITS
Advisor / NIP : Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc./ 196912031994031001

Hereby declare that the Final Project with the title of "FAILURE CAUSE ANALYSIS OF DRY GAS SEAL IN SYNTHESIS GAS COMPRESSOR 020-C01/C02 USING ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS METHOD (CASE STUDY PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI)" the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

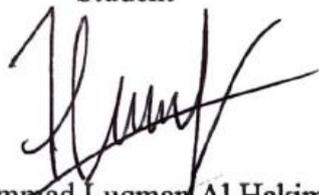
Surabaya, August 3rd 2022

Acknowledged
Advisor



Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.
NIP. 196912031994031001

Student



Muhammad Luqman Al Hakim
NRP. 02111840000100

ANALISA PENYEBAB KEGAGALAN SUBUNIT *DRY GAS SEAL* PADA *SYNTHESIS GAS COMPRESSOR* 020-C01/CO2 DENGAN METODE ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS (STUDI KASUS PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI)

Nama Mahasiswa / NRP : Muhammad Luqman Al Hakim / 02111840000100
Departemen : Teknik Mesin FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Witantyo M.Eng.Sc.

ABSTRAK

Proses produksi methanol di PT. Kaltim Methanol Industri berlangsung secara *continuous* dan melibatkan banyak komponen kritis. Oleh karena itu akan muncul kemungkinan kemungkinan kerusakan pada peralatan yang digunakan, salah satunya adalah *synthesis gas compressor* 020-C01/CO2. *Synthesis gas compressor* merupakan peralatan yang digunakan untuk mengompresi *make up gas* dari unit 100 dan *recycle gas* dari unit 200 yang nantinya akan digunakan untuk proses pembentukan *raw methanol*. Pada tanggal 20, 23 dan 26 Januari 2022 telah terjadi *unscheduled shutdown*, tanggal 20 dan 23 akibat kerusakan *synthesis gas compressor* dan 26 akibat *autothermal reformer*. Pada saat inspeksi, ditemukan *rupture disc failure* pada *synthesis gas compressor*. Hal ini berulang sebanyak 3 kali pada tanggal terjadinya *unscheduled shutdown*. Hal ini menunjukkan bahwa ada kegagalan yang terjadi pada *synthesis gas compressor*, tepatnya pada subunit *dry gas seal* ditandai dengan ditemukannya *rupture disc* yang merupakan *safety device* yang ada pada *dry gas seal*. Perlu ditemukan penyebab akar masalah kegagalan yang terjadi agar kegagalan yang serupa pada subunit *dry gas seal* tidak terulang dan dapat diminimalisir.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *root cause failure analysis*. Pertama adalah melakukan analisa dari hasil inspeksi yang telah dilakukan. Kemudian melakukan analisa komponen dan kerusakan yang mungkin terjadi dengan menggunakan FMEA dan pengisian FMEA Worksheet. Setelah itu dilakukan identifikasi dan penentuan akar masalah dengan menggunakan *Fault tree Analysis*. Setelah diketahui akar masalahnya dilakukan usulan pencegahan, yaitu dengan melakukan *maintenance task* sesuai dengan akar masalah yang ada agar kegagalan tidak terulang atau dapat diminimalisir.

Dari hasil analisa data dan temuan *Turn Around 2022*, didapat kesimpulan bahwa *dry gas seal* mengalami kegagalan karena kondensat yang terbawa oleh *buffer gas* menuju *dry gas seal*. Kondensat ini menyebabkan terciptanya gap dan menyebabkan terjadinya *overpressure* pada *primary vent*. Dari hasil analisa komponen dan kegagalan didapatkan 10 komponen yang berpengaruh pada kinerja *dry gas seal* dengan 12 *failure mode*, yang dapat dicegah dengan melakukan *predictive, preventive, proactive* dan *corrective maintenance* sesuai dengan *failure mode* masing masing.

Kata Kunci: Kegagalan, *Dry gas seal*, *Root cause failure analysis*.

**FAILURE CAUSE ANALYSIS OF DRY GAS SEAL IN SYNTHESIS GAS
COMPRESSOR 020-C01/C02 USING ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS METHOD
(CASE STUDY PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI)**

Student Name / NRP : **Muhammad Luqman Al Hakim / 02111840000100**
Department : **Teknik Mesin FTIRS - ITS**
Advisor : **Dr. Ir. Witantyo M.Eng.Sc.**

ABSTRACT

Methanol production process at PT. Kaltim Methanol Industri operate continuously and involves many critical components. Therefore, the possibility of failure on the equipment used will arise, one of which is synthesis gas compressor 020-C01/C02. Synthesis gas compressor is an equipment used to compress make up gas from unit 100 and recycle gas from unit 200 which later will be used for the process of forming raw methanol. On January 20th, 23th and 26th 2022 there have been unscheduled shutdown, on 20th and 23th due to synthesis gas compressor failure and 26th due to autothermal reformer failure. During the inspection, rupture disc failure was found in synthesis gas compressor. This indicate that there is a failure that occurs on synthesis gas compressor, precisely on the dry gas seal subunit marked by the discovery of a rupture disc which is a safety device in the dry gas seal. It is necessary to find the root cause of the failure that occurs so that similar failures in the dry gas seal subunit do not recur and can be minimized.

The method used in this research is the root cause failure analysis method. The first is to analyze the results of the inspections that have been carried out. Then perform component and possible failure analysis using FMEA and fill out the FMEA Worksheet. After that, identify and determine the root cause of the problem using Fault Tree Analysis. After knowing the root of the problem, prevention proposals are made, namely by carrying out maintenance tasks according to the root of the problem so that failures do not recur or can be minimized.

From the result od data analysis and Turn Around 2022 findings, it was concluded that the dry gas seal failure because condensate was carried by the buffer gas to the dry gas seal. This condensate causes a gap and overpressure on the primary vent. From the results of component and possible failure analysis, 10 components that affect the performance of dry gas seals with 12 failure modes are obtained, which can be prevented by performing predictive, preventive, proactive and corrective maintenance according to their respective failure modes.

Keywords: *Failure, Dry gas seal, Root cause failure analysis.*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulisan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISA PENYEBAB KEGAGALAN SUBUNIT DRY GAS SEAL PADA SYNTHESIS GAS COMPRESSOR 020-CO1/CO2 DENGAN METODE ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS (STUDI KASUS PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI)”** dapat terselesaikan.

Ucapan terima kasih penulis berikan yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap penulisan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut:

1. Aba Yusuf Ismail, Ibu Rosita Dewi dan Adik Zahro Dwi selaku keluarga inti penulis yang telah memberikan doa, support dan semangatnya selama penulis melakukan perkuliahan di Teknik Mesin ITS hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah meluangkan waktu dan ilmunya untuk membimbing penulis selama masa perkuliahan dan penulisan tugas akhir ini.
3. Ibu Latifah Nurahmi dan Pak Ari Kurniawan selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu serta memberi saran dan masukan demi kebaikan dan kelancaran penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Imam Sulhadi selaku Maintenance Department Manager sekaligus mentor lapangan pada kegiatan magang yang selalu membimbing dan membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Bapak Safujiono, Bapak Nosal, Bapak Imam Karfendi, Bapak Saiful dan seluruh karyawan PT. KMI yang telah memberikan ilmu dan menemani penulis selama pengambilan data dan penulisan tugas akhir ini.
6. Seluruh rekan MSIB Batch 2 PT. Kaltim Methanol Industri yang selalu menjadi support dan teman diskusi selama penulisan tugas akhir ini.
7. Teman-teman Kos Lhoktuan yang selalu menjadi teman bermain dan berbincang selama masa perkuliahan dan penulisan tugas akhir ini.
8. Teman Pamungkas Merah Dhani, Kanda, Kevin, Ghani, Denyta dan Falin yang selalu menjadi teman diskusi dan selalu membantu penulis selama masa perkuliahan hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.
9. Seluruh Teman-teman M61 yang selalu kebersamai dan saling membantu mulai dari awal masa perkuliahan hingga sekarang.
10. Seluruh dosen dan karyawan yang telah memberikan ilmu dan bantuannya selama penulis menjalani masa perkuliahan di Teknik Mesin ITS

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan pada penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak demi terciptanya penulisan tugas akhir yang lebih baik. Penulis juga berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat pembaca maupun pihak-pihak yang membutuhkan

Surabaya, 31 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
APPROVAL SHEET	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
STATEMENT OF ORIGINALITY	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Kegagalan.....	7
2.2.1 Analisa Kegagalan	8
2.3 <i>Root Cause Failure Analysis (RCFA)</i>	8
2.4 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	9
2.5 <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	11
2.5.1 Simbologi dan istilah dalam <i>Fault Tree</i>	12
2.6 Analisa dan Penentuan <i>Maintenance Task</i>	16
2.6.1 RCM Logic Tree	16
2.6.2 RCM <i>Decision Worksheet</i>	18
2.7 Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02	19
2.7.1 <i>Dry Gas Seal</i>	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
3.2.1 Studi Lapangan, Studi Literatur dan Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	25
3.2.2 Pengumpulan data.....	25
3.2.3 Analisa Komponen dan Kegagalan dengan FMEA dan <i>FMEA Worksheet</i>	26
3.2.4 Identifikasi dan Penentuan Akar Masalah Kerusakan dengan FTA.....	26

3.2.5	Usulan Kegiatan <i>Maintenance</i> dengan RCM Logic Tree dan RCM Decision Worksheet.....	26
3.2.6	Rekomendasi <i>Maintenance Task</i>	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Sistem Kerja <i>Dry Gas Seal</i> Pada <i>Synthesis Gas Compressor</i> 020-C01/C02	27
4.2	Analisa Data dan Temuan Kerusakan <i>Dry Gas Seal</i>	30
4.2.1	Data <i>Logsheet</i> Operasional <i>Dry Gas Seal</i>	30
4.2.2	Data <i>Refurbishment Dry Gas Seal</i>	32
4.2.3	Analisa Temuan Pada Masa <i>Turn Around</i> 2022.....	32
4.2.4	Kesimpulan Analisa Data dan Temuan Kerusakan <i>Dry Gas Seal</i>	39
4.3	Analisa Komponen dan Kegagalan yang Dapat Terjadi dengan Metode FMEA.....	39
4.4	Identifikasi dan Penentuan Akar Masalah Kegagalan.....	44
4.5	Usulan <i>Maintenance Task</i>	46
4.6	Rekomendasi <i>Maintenance Task</i>	49
4.6.1	<i>Proactive Maintenance – Redesign</i>	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....		54
BIODATA PENULIS		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Penggunaan methanol pada kehidupan sehari hari.....	1
Gambar 1.2	Permintaan methanol dunia	2
Gambar 1.3	Proses Produksi Methanol PT. KMI.....	2
Gambar 1.4	Synthesis Gas Compressor Sealing System	4
Gambar 1.5	Temuan Rupture Disc Failure tanggal 20 Januari 2022	4
Gambar 1.6	Temuan Rupture Disc Failure tanggal 23 Januari 2022	5
Gambar 1.7	Temuan Rupture Disc Failure tanggal 26 Januari 2022	5
Gambar 2.1	Basic Event.....	12
Gambar 2.2	Undeveloped Event	12
Gambar 2.3	Conditioning Event.....	13
Gambar 2.4	External Event	13
Gambar 2.5	Intermediate Event.....	13
Gambar 2.6	Gerbang OR.....	14
Gambar 2.7	Gerbang AND.....	14
Gambar 2.8	Gerbang Inhibit.....	14
Gambar 2.9	Gerbang EXCLUSIVE OR.....	15
Gambar 2.10	Gerbang PRIORITY AND.....	15
Gambar 2.11	Transfer-In	15
Gambar 2.12	Transfer-Out	16
Gambar 2.13	NASA RCM Logic Tree	17
Gambar 2.14	Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02 Drawing	20
Gambar 2.15	Komponen Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02.....	21
Gambar 2.16	Komponen Internal Dry Gas Seal.....	22
Gambar 2.17	P&ID Komponen Dry Gas Seal.....	23
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 4.1	Aliran Fluida Kerja Dry Gas Seal Pada Kondisi Normal	28
Gambar 4.2	Aliran Fluida Kerja Dry Gas Seal Pada Kondisi Tertentu.....	29
Gambar 4.3	Contoh Logsheets Operasional Dry Gas Seal Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02.....	30
Gambar 4.4	Letak Pressure Differential Indicator 9238	31
Gambar 4.5	Perbandingan Data Terekam dan Batas Aman pada Pressure Differential Indicator 9238.....	32
Gambar 4.6	Kondensat liquid carry over pada sisi inboard compressor.....	33
Gambar 4.7	Kondensat liquid carry over pada sisi inboard compressor.....	34
Gambar 4.8	Kondensat liquid carry over pada sisi outboard compressor.....	34
Gambar 4.9	DCS Final Cooler 010-E10 dan Demister 010-F03	35
Gambar 4.10	Carbon/black deposit yang ditemukan pada demister	36
Gambar 4.11	Ketebalan Wire demister berkurang	36
Gambar 4.12	Posisi dari bagian demister yang mengalami kerusakan	37
Gambar 4.13	Posisi Filter 020-FC01-05A/B.....	38
Gambar 4.14	Komponen Internal Dry Gas Seal yang akan dianalisa	40
Gambar 4.15	Komponen Dry Gas Seal yang akan dianalisa.....	41
Gambar 4.16	Fault Tree Analysis Kegagalan Dry Gas Seal.....	45
Gambar 4.17	Ilustrasi penambahan pressure differential indicator pada demister 010-F03 ..	51
Gambar 4.18	Ilustrasi proses filtrasi filter 020-FC01-05A/B.....	51
Gambar 4.18	Ilustrasi proses filtrasi dengan coalescing filter	52

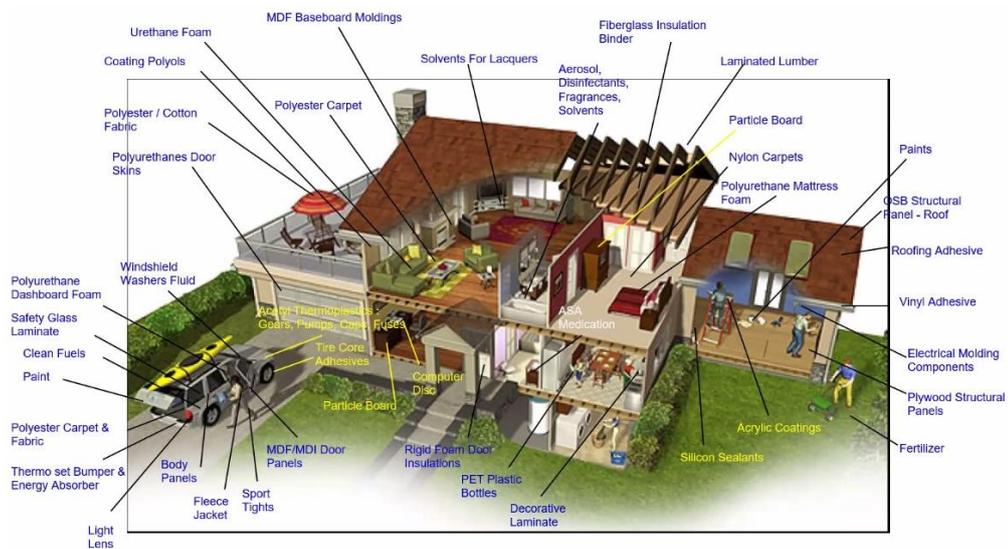
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 FMEA <i>Worksheet</i>	9
Tabel 2.2 Tabel Kriteria dan Ranking <i>Severity</i>	10
Tabel 2.3 Tabel Kriteria dan Ranking <i>Occurence</i>	10
Tabel 2.4 Tabel Kriteria dan Ranking <i>Detectability</i>	11
Tabel 2.5 RCM <i>Decision Worksheet</i>	18
Tabel 4.1 Komposisi Gas Pada <i>Synthesis Gas Compressor</i>	27
Tabel 4.2 Maintenance pada <i>Demister 010-F03</i>	37
Tabel 4.3 FMEA <i>Worksheet</i> pada Komponen Dry Gas Seal.....	41
Tabel 4.4 RCM <i>Decision Worksheet</i>	46
Tabel 4.5 Rekomendasi Maintenance Task pada Subunit Dry Gas Seal.....	49

BAB I PENDAHULUAN

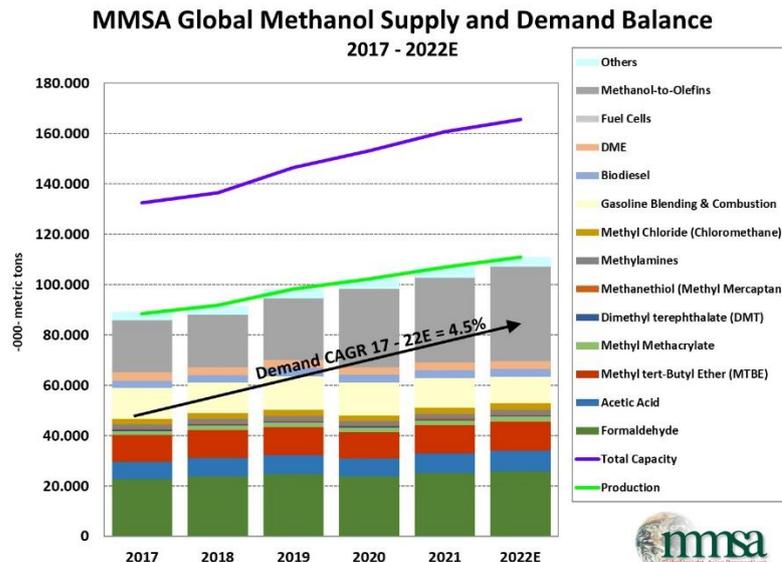
1.1 Latar Belakang

Methanol merupakan senyawa alcohol dengan satu buah atom karbon. Methanol memiliki rumus kimia yaitu CH_3OH dengan berat molekul 32 g/mol. Titik didih methanol 99% adalah sekitar 64-65 °C dengan berat spesifik 0,7920- 0,7930. Secara fisik methanol merupakan cairan bening, berbau seperti alcohol, dapat bercampur dengan air, ethanol, kloroform, higroskopis, mudah menguap, dan mudah terbakar. Methanol merupakan salah satu senyawa yang sangat dibutuhkan untuk keperluan sehari-hari. Hal ini terbukti dari luasnya penggunaan methanol sebagai bahan baku dari peralatan yang digunakan sehari hari seperti yang diuraikan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Penggunaan methanol pada kehidupan sehari hari

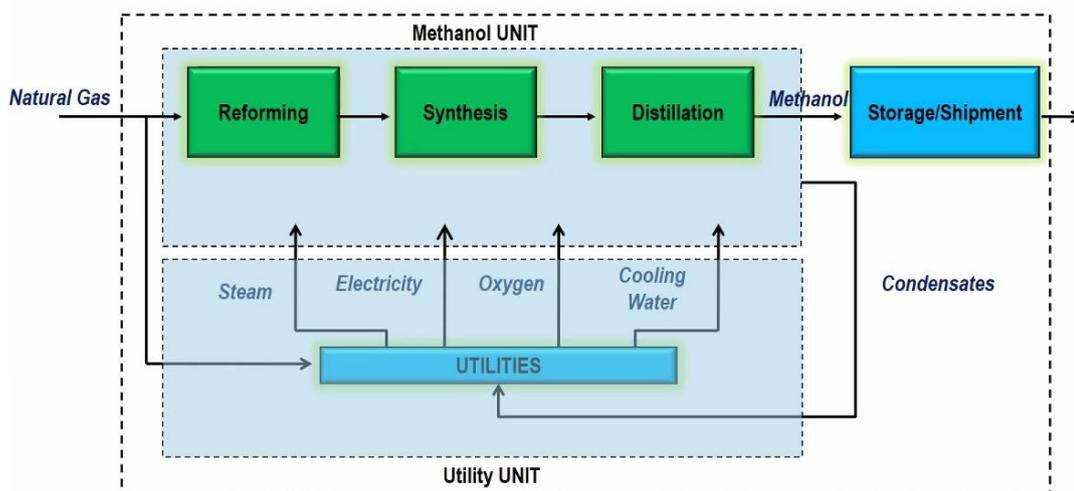
Oleh karena penggunaannya yang sangat luas, permintaan methanol selalu meningkat dari tahun ke tahun seperti pada gambar 1.2.



Gambar 1.2 Permintaan methanol dunia

Oleh karena itu, produsen methanol dituntut untuk dapat memproduksi dan menyediakan methanol bagi konsumen.

PT. Kaltim Methanol Industri merupakan salah satu perusahaan dan satu-satunya produsen methanol di Indonesia yang bergerak dalam bidang produksi methanol. PT. KMI yang terletak di Bontang, Kalimantan Timur, mulai beroperasi pada tanggal 31 Maret 1997 setelah dilakukannya pembangunan pada tanggal 22 Juni 1995 dan pengaliran gas alam pada tanggal 23 Januari 1997. PT. KMI memproduksi methanol dengan grade AA, yaitu methanol yang kemurniannya diatas 99,85%. Pada proses produksi methanol di PT. KMI, terdapat dua unit. Bagian pertama adalah unit Methanol yang berfungsi untuk memproduksi methanol dari gas alam yang telah disalurkan. Bagian kedua adalah unit *Utility* yang berfungsi untuk mendukung bagian Methanol dalam proses produksi, seperti menyediakan *steam*, oksigen, dan kelistrikan.



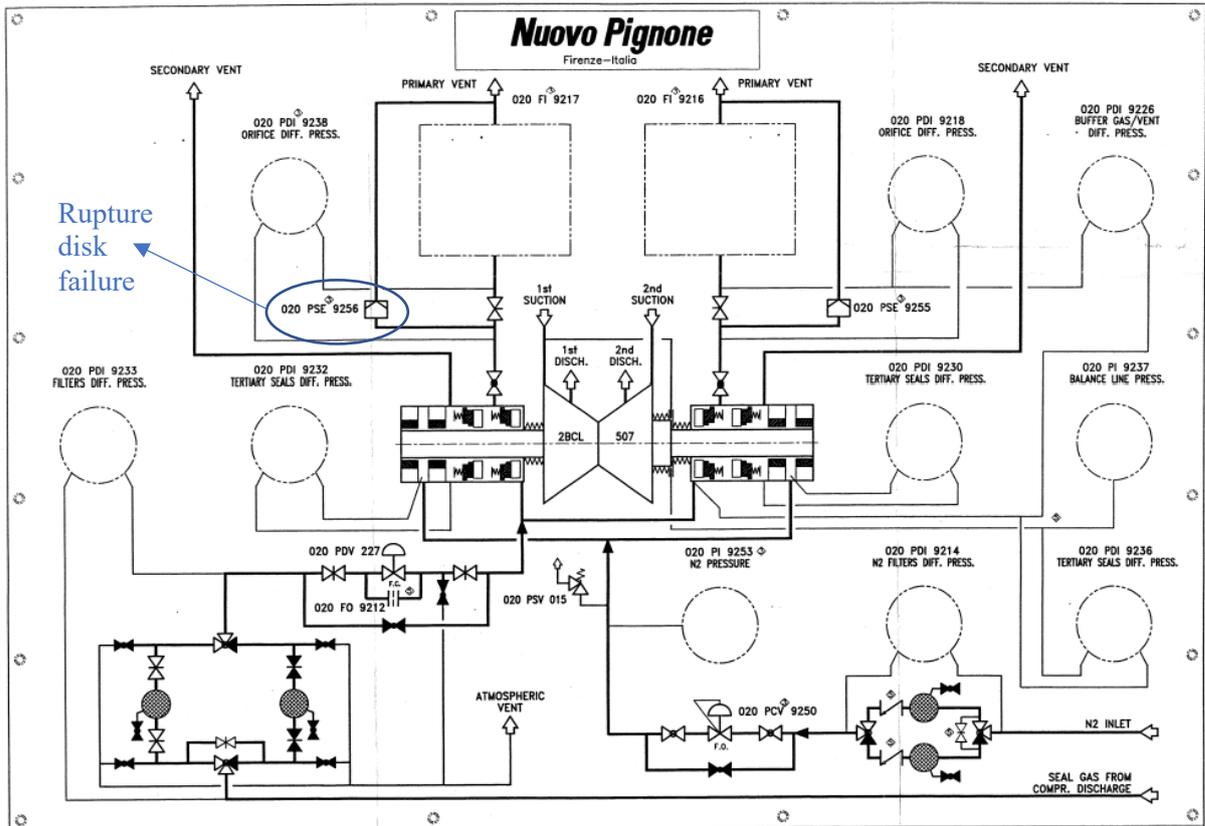
Gambar 1.3 Proses Produksi Methanol PT. KMI

Pada unit Methanol terdapat 3 unit utama yang berfungsi untuk memproduksi methanol. Proses reforming yang dilakukan oleh Unit 100, proses synthesis oleh unit 200, dan proses distillation oleh unit 300. Secara umum, proses reforming diawali dengan pemisahan

kandungan kandungan yang dapat mengganggu proses produksi, seperti kondensat dan sulfur. Kemudian gas tersebut dipanaskan untuk membentuk methane. Kemudian setelah methane terbentuk, methane akan direaksikan dengan H₂O untuk membentuk CO dan H₂. CO, H₂ dan CO₂ yang telah terbentuk akan digunakan untuk proses synthesis pada unit 200. Unit 200 merupakan unit yang akan melakukan proses synthesis yang akan menghasilkan raw methanol. Make up gas dari proses reforming dikompres oleh Synthesis Gas Compressor untuk menaikkan tekanan make up gas. Kemudian gas yang telah dikompresi akan menuju ke reaktor untuk proses pembentukan methanol. Hasil dari proses synthesis adalah raw methanol yang berwujud cair dan gas. Raw methanol cair nantinya akan dilanjutkan ke unit 300 untuk menghilangkan senyawa yang masih tertinggal seperti CO dan CO₂ sehingga nantinya akan terbentuk methanol murni dengan kemurnian lebih dari 99,85%. Sedangkan raw methanol dalam bentuk gas akan dialirkan ke unit 100 sebagai bahan bakar untuk proses reforming.

Proses produksi methanol di PT. Kaltim Methanol Industri berlangsung secara *continuous* sehingga peralatan yang digunakan untuk produksi harus selalu dimonitor agar tidak mengalami kegagalan dan menyebabkan pabrik mengalami *unscheduled shutdown*. *Unscheduled shutdown* merupakan kondisi dimana pabrik harus berhenti berproduksi karena adanya masalah pada salah satu peralatan kritis yang digunakan. Dengan PT. Kaltim Methanol Industri yang memproduksi sekitar 2000 Metric Ton per hari, dan penjualan methanol sebesar 409 USD/metric ton, maka kerugian akibat *unscheduled shutdown* bisa mencapai 818.000 USD atau setara dengan Rp493.536.891,6 per jam. Salah satu peralatan kritis tersebut adalah *Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02*.

Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02 merupakan kompresor jenis *centrifugal*. Kompresor ini memiliki 2 tahap kompresi, yaitu untuk mengkompresi *make up gas* dari unit 100 dan *recycle gas* dari reaktor unit 200. *Synthesis gas compressor* ini mengalami 3 kali kegagalan dengan pola yang sama dan dalam waktu yang berdekatan. Hal ini diketahui dengan ditemukannya *rupture disc* yang terbuka pada bagian *dry gas seal*. *Rupture disc* merupakan sebuah komponen yang didesain untuk rusak/terbuka ketika menerima tekanan pada titik tertentu, yang mengindikasikan bahwa terjadi *overpressure* pada aliran fluida tempat *rupture disc* tersebut dipasang. Pada tanggal 20 Januari 2022 pukul 08.40 WITA terjadi kegagalan pada *synthesis gas compressor* yang menyebabkan pabrik mengalami *unscheduled shutdown*. Saat dilakukan inspeksi, ditemukan *rupture disc 020 PSE 9256* yang terbuka/mengalami kegagalan seperti pada gambar dibawah.



Gambar 1.4 Synthesis Gas Compressor Sealing System



Gambar 1.5 Temuan Rupture Disc Failure tanggal 20 Januari 2022

Pada saat terjadi kegagalan pertama, belum diketahui penyebab terbukanya *rupture disc* 020 PSE 9256. Sehingga tindakan korektif yang dilakukan adalah membersihkan perangkat instrumentasi dan saluran/pipa disekitar *rupture disc* 020 PSE 9256. Kemudian *synthesis gas compressor* dinyalakan kembali dan dilakukan *start up* pabrik untuk melakukan produksi. Pada tanggal 23 Januari 2022 jam 14.30 WITA, pabrik kembali mengalami *unscheduled shutdown*. Penyebabnya adalah karena *rupture disc* 020 PSE 9256 yang kembali mengalami kegagalan. Pada saat *unscheduled shutdown* ini barulah dicurigai bahwa penyebab kegagalannya adalah karena *excessive dry gas seal leakage* pada *primary vent*.



Gambar 1.6 Temuan *Rupture Disc Failure* tanggal 23 Januari 2022

Namun karena waktu yang tidak memungkinkan untuk dilakukan tindakan korektif pada sub unit *dry gas seal*, maka tindakan korektif yang diambil sama seperti *unscheduled shutdown* sebelumnya, yaitu dengan pembersihan komponen di sekitar *rupture disc* 020 PSE 9256 dan penggantian *rupture disc*. Pada tanggal 26 Januari 2022 jam 11.16 WITA pabrik mengalami *unscheduled shutdown* dikarenakan kegagalan pada unit *autothermal reformer*. Pada kondisi *unscheduled shutdown* ini dilakukan juga pengecekan terhadap *synthesis gas compressor*. Didapatkan hasil bahwa *rupture disc* 020 PSE 9256 kembali mengalami kegagalan.



Gambar 1.7 Temuan *Rupture Disc Failure* tanggal 26 Januari 2022

Akhirnya diambil tindakan korektif dengan mengganti *rupture disc* dan melakukan pelebaran pada *orifice flow meter* agar tekanan gas yang menuju *primary vent* tidak terlalu tertahan. Keputusan ini mengakibatkan pabrik berjalan dengan risiko tinggi dan mengurangi efektivitas produksi hingga 15%. Hal ini dilakukan hingga *turn-around* pabrik pada tanggal 15 Februari 2022.

Namun, menurut data yang didapatkan terkait *refurbishment* dari *dry gas seal*, seharusnya tidak terjadi kegagalan secara *mechanical* dikarenakan *refurbishment dry gas seal* terakhir dilakukan pada bulan November 2018, dan kemudian pemasangan dilakukan pada November 2020. Kegagalan yang terjadi pada *dry gas seal* seharusnya tidak terjadi, mengingat umur dari *dry gas seal* yang masih dapat beroperasi hingga November 2025. Oleh karena itu, diperlukan analisa terkait penyebab kegagalan *dry gas seal* sehingga penyebab kegagalan dapat diketahui. Diharapkan dari penelitian ini dapat mengetahui akar masalah dari kegagalan yang dapat terjadi pada komponen *dry gas seal* di *synthesis gas compressor* 020-C01/C02 dan dapat memberikan solusi agar kegagalan yang dapat terjadi bisa dicegah dan diminimalisir dengan menggunakan metode *root cause failure analysis*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka permasalahan dalam tugas akhir ini adalah bagaimana mengetahui akar masalah penyebab kegagalan pada subunit *dry gas seal* di *Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02* dan memberi usulan kegiatan *maintenance* sebagai solusi untuk mencegah dan meminimalisir kegagalan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Data histori kegagalan dan hasil inspeksi yang digunakan adalah data yang ditemukan pada kegagalan *dry gas seal* di *synthesis gas compressor 020-C01/C02* pada periode tahun 2022.
2. Subunit yang akan dianalisa adalah *dry gas seal* pada *Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan akar masalah penyebab kegagalan dan memberi usulan kegiatan *maintenance* sebagai solusi pada subunit *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor 020-C01/C02*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini, antara lain:

1. Mengetahui akar masalah penyebab kegagalan pada subunit *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor 020-C01/C02* dengan menggunakan metode *Root Cause Failure Analysis*.
2. Mengetahui kegiatan *maintenance* sebagai solusi untuk mencegah dan meminimalisir kegagalan pada subunit *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor 020-C01/C02*.
3. Memberi saran dan rekomendasi kepada perusahaan terkait penyebab kegagalan yang dapat terjadi dan tindakan yang dapat dilakukan untuk mencegah dan meminimalisir terjadinya kegagalan pada subunit *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor 020-C01/C02*

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Secara garis besar, penelitian ini akan membahas subunit *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor* 020-C01/C02 menggunakan metode *Root Cause Failure Analysis*. *Dry gas seal* yang terdapat pada *synthesis gas compressor* mengalami kegagalan berulang dalam kurun waktu yang singkat, dengan indikasi terjadinya kegagalan terletak di tempat yang sama. Oleh karena itu diperlukan analisa untuk mengetahui penyebab dari kegagalan *dry gas seal* agar kejadian serupa tidak terulang lagi. Tidak banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menganalisa *dry gas seal* dengan metode *root cause failure analysis*, sehingga dicari penelitian terpisah yang membahas mengenai *dry gas seal* dan metode *root cause failure analysis*.

Penelitian pertama dilakukan oleh Riswan Adhitya Saputra pada tahun 2021 dengan judul Pengembangan Model *Gas Conditioning Unit* dalam Sistem *Seal Gas* di Kompresor Sentrifugal Man Turbo RB28-5: Studi Kasus Kerusakan Komponen *Dry Gas Seal*. Telah terjadi kegagalan pada sistem *sealing* yang diakibatkan oleh parameter *primary vent seal leakage* yang tinggi. Setelah dilakukan pengecekan, ditemukan beberapa bukti penyebab kerusakan, seperti adanya cairan dalam filter dan strainer, lubang orifice yang tertutup serbuk kuning, perubahan kondisi yang dinamis dan *transient* dan adanya benda padat yang mengandung Fe dan sulfur. Penyebab kerusakan yang terjadi adalah kurangnya efisiensi filtrasi *dry gas seal* yang tidak memenuhi standar dan kerusakan struktur packing pada sistem yang menyebabkan kandungan air tinggi yang lama. Akhirnya direkomendasikan perbaikan sistem dehidrasi gas dan mengembangkan *seal gas conditioning unit*. Pengembangan *seal gas conditioning unit* di lakukan untuk menyediakan suplai *seal gas* yang sesuai spesifikasi dengan menjaga temperatur di sistem *seal gas*, meningkatkan efisiensi sistem filtrasi pada strainer dan filter, meningkatkan kualitas dari komponen *seal gas booster* untuk mengakomodir tekanan suplai *seal gas* agar kotoran dan cairan proses tidak masuk ke *dry gas seal* terutama pada saat *transient mode*.

Penelitian kedua dilakukan oleh Sebastianus Dwi Danuputro pada tahun 2015 dengan judul Investigasi Penyebab Kerusakan *Chain Bucket Elevator* pada 7TH *Finish Mill Transport System Area* di Tuban IV PT. Semen Gresik. Terjadi putusnya *chain* pada *chain bucket elevator* 547BE01 yang terlalu sering dan tidak wajar. Belum dilakukan analisa *engineering* yang dapat menjelaskan mengapa sering terjadi kerusakan pada komponen tersebut. Sehingga dilakukan pencarian solusi dengan menggunakan *root cause failure analysis*. Step yang dilakukan adalah mengidentifikasi masalah terjadi, mengumpulkan sampel, identifikasi penyebab, pengembangan dan tes hipotesa, identifikasi akar penyebab masalah dan kesimpulan serta pemberian solusi. Didapat kesimpulan bahwa *chain* dioperasikan sesuai dengan *limit stress* sehingga kondisi operasional berjalan normal dan tidak overload. Kemudian adanya fase penyebaran *crack* dan sebelum mengalami patah menunjukkan kerusakan disebabkan oleh *fatigue failure* dan nilai kekerasan dan kekuatan material pada *chain* tinggi yang menyebabkan nilai ketangguhan kecil tidak baik dan aman terhadap beban sehingga terjadinya *failure*.

2.2 Kegagalan

Kegagalan merupakan sebuah ketidakmampuan bahan atau komponen untuk menjalankan fungsinya sesuai dengan tujuannya. Ketika komponen belum mengalami kerusakan, namun komponen tersebut tidak bekerja sesuai tujuan, maka dapat dikatakan bahwa komponen tersebut mengalami kegagalan.

Kasus kasus kegagalan pada suatu komponen dapat dibedakan menjadi beberapa kategori, antara lain:

1. Kesalahan operasi
2. Perawatan yang kurang baik

3. Kesalahan dalam proses *design*

2.2.1 Analisa Kegagalan

Analisa Kegagalan merupakan langkah langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mencakup situasi dan kondisi kegagalan sehingga dapat ditentukan penyebab dari kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisa kegagalan memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Menemukan penyebab utama kegagalan
2. Menghindari kegagalan/kerusakan yang sama dengan melakukan langkah langkah pencegahan
3. Sebagai bahan pengaduan teknis kepada pembuat atau produser komponen tersebut
4. Sebagai langkah awal untuk perbaikan kualitas komponen tersebut
5. Sebagai penentuan interval waktu dilakukannya kegiatan *maintenance*

Analisa kegagalan sangat penting dalam dunia industri karena banyak faktor yang berbeda, seperti faktor *mechanical*, *chemical*, lingkungan, *technical* dan *physical* dapat terlibat dalam kegagalan. Kegagalan yang terjadi dapat menyebabkan kerugian besar dan menimbulkan dampak ekonomi bagi industri dalam konteks penghentian operasi, cedera manusia, kematian, kerusakan suku cadang, kerugian produksi, peralatan dan kerusakan aset. Tantangan utama manajemen pabrik adalah untuk memilih metode yang paling cocok dan efektif untuk mengendalikan kegagalan dan menghindari kerugian lebih lanjut

2.3 *Root Cause Failure Analysis (RCFA)*

Root Cause Failure Analysis merupakan proses identifikasi akar penyebab sebenarnya dari suatu kegagalan dan menggunakan informasi tersebut untuk menentukan langkah *preventif* atau *corrective*. Dari sudut pandang *technical*, biasanya permasalahan mencakup kepada masalah multidisiplin, dan berfokus kepada bidang *engineering* seperti kimia, fisika, material, statika, dinamis, fluida dan sebagainya. RCFA memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Menentukan penyebab utama kegagalan komponen
2. Meminimalisir terjadinya kegagalan yang sama pada waktu yang akan datang
3. Sebagai rujukan teknis mengenai permasalahan dengan kondisi atau proses yang sama

Perawatan dengan metode RCFA merupakan salah satu konsep atau metode yang dirancang untuk memberikan langkah yang efektif untuk menyelesaikan banyak masalah baik yang langsung maupun tidak langsung berdampak pada proses/fungsi. Proses ini tidak hanya terbatas pada kegagalan equipment dan sistem, tetapi dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang lebih besar. Dengan metode ini dapat mengidentifikasi suatu permasalahan dengan mencari penyebab utama terjadinya kegagalan maupun faktor-faktor yang memungkinkan baik langsung maupun tidak langsung berkontribusi terhadap masalah tersebut.

Metodologi yang biasa digunakan pada RCFA adalah sebagai berikut:

1. Menentukan permasalahan yang ada
2. Mengumpulkan data terkait
3. Mengidentifikasi hal hal yang berpengaruh pada permasalahan
4. Menemukan akar penyebab masalah
5. Membuat/mengembangkan rekomendasi solusi

2.4 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure mode and effect analysis (FMEA) adalah sebuah teknik rekayasa yang digunakan untuk menentukan, mengidentifikasi, dan menghilangkan kegagalan, masalah, eror dan sebagainya yang diketahui dan/atau berpotensi dari sebuah sistem, desain, proses, dan/atau layanan. FMEA diterapkan pada setiap sistem, subsistem, dan komponen yang teridentifikasi pada batas sistem. Untuk setiap fungsi yang teridentifikasi, bisa terdapat beberapa mode kegagalan. FMEA tertuju pada setiap fungsi sistem, seluruh kemungkinan kegagalan, dan mode kegagalan yang dominan terkait dengan setiap kegagalan. FMEA kemudian memeriksa konsekuensi kegagalan yang ada untuk menentukan apa efek kegagalan terhadap tujuan atau operasi, pada sistem dan pada mesin.

Berikut merupakan keterangan dari setiap aspek yang akan diidentifikasi pada *failure mode and effect analysis* (FMEA):

- a. Fungsi (*Function*)
Fungsi (*function*) merupakan kemampuan yang dapat dilakukan oleh sebuah subsistem sesuai dengan konteks operasi dan standar kinerja yang ditetapkan.
- b. Kegagalan Fungsi (*functional failure*)
Kegagalan fungsi (*functional failure*) merupakan ketidakmampuan sebuah subsistem untuk melakukan fungsi sesuai dengan konteks operasi sehingga tidak memenuhi standar kinerja yang telah ditetapkan.
- c. Mode Kegagalan (*failure mode*)
Hal-hal yang memiliki peluang besar untuk menyebabkan kegagalan fungsi
- d. Efek Kegagalan (*failure effect*)
Akibat dari mode kegagalan atau *failure mode* terhadap subsistem maupun sistem itu sendiri

Aspek aspek yang telah dianalisa kemudian dituliskan ke dalam *FMEA Worksheet* seperti pada tabel 2.1

Tabel 2.1 FMEA Worksheet

FMEA Worksheet							
Function (Fungsi)	Functional Failure (Kegagalan Fungsi)	Failure Mode (Mode Kegagalan)	Failure Effect (Efek Kegagalan)	S	O	D	RPN
(1)	(A)	(1)					
		(2)					
(2)	(A)	(1)					

Dalam penerapan metode FMEA terdapat beberapa variabel utama yang harus diperhatikan. Variabel-variabel tersebut adalah tingkat kemunculan (*occurrence*), tingkat keparahan (*severity*), dan tingkat mampu deteksi (*detectability*). Setiap mode kegagalan dan efek yang ditimbulkan, ditandai dengan penilaian kritis berdasarkan probabilitas Tingkat Kemunculan (*occurrence* = O), Tingkat Keparahan/bahaya (*severity* = S) dan Tingkat Mampu Deteksi (*detectability* = D) yang masing-masing diberi skala rating 1 s/d 10. Hasil perkalian S x O x D disebut Risk Priority Number (RPN) yaitu nilai kritis adanya resiko kegagalan dengan skala rating maksimum s/d 1000. Kemudian dihitung critical RPN untuk menentukan mode kegagalan yang sekiranya dapat menjadi perhatian utama. Critical RPN didapat dengan mencari

rata rata dari setiap RPN yang didapatkan. Pada penerapan FMEA bila terdapat bilangan RPN yang terlalu tinggi, maka direkomendasikan untuk merubah desain agar resiko kegagalan menjadi berkurang. Pengisian *severity*, *occurrence*, dan *detectability* dapat mengacu pada tabel sebagai berikut :

Tabel 2.2 Tabel Kriteria dan *Ranking Severity*

<i>Severity</i>	Kriteria: Tingkat Efek Keparahan	<i>Ranking</i>
Bahaya tanpa peringatan	Tingkat keparahan yang sangat tinggi ketika mode kegagalan potensial mempengaruhi operasi peralatan yang aman dan/atau melibatkan pelanggaran terhadap regulasi pemerintah tanpa peringatan.	10
Bahaya dengan peringatan	Tingkat keparahan yang sangat tinggi ketika mode kegagalan potensial mempengaruhi operasi peralatan yang aman dan/atau melibatkan pelanggaran terhadap regulasi pemerintah dengan peringatan.	9
Sangat tinggi	Peralatan tidak dapat beroperasi, dengan hilangnya fungsi utama	8
Tinggi	Peralatan bisa dioperasikan, namun tingkat kinerja berkurang. Pelanggan tidak puas.	7
Sedang	Peralatan bisa dioperasikan, namun item kenyamanan tidak bisa dioperasikan. Pelanggan mengalami ketidaknyamanan.	6
Rendah	Peralatan dapat dioperasikan, namun item kenyamanan tidak dapat dioperasikan pada tingkat kinerja yang rendah. Pelanggan mengalami ketidakpuasan.	5
Sangat rendah	Beberapa komponen tidak sesuai. Cacat dikeluhkan oleh kebanyakan pelanggan.	4
Minor	Beberapa komponen tidak sesuai. Cacat dikeluhkan oleh rata-rata pelanggan.	3
Sangat Minor	Beberapa komponen tidak sesuai. Cacat dikeluhkan oleh beberapa pelanggan.	2
Tidak ada	Tidak ada efek	1

Tabel 2.3 Tabel Kriteria dan *Ranking Occurence*

<i>Occurence</i>	Tingkat Kemungkinan Kegagalan	Peringkat
Sangat tinggi: kegagalan hampir tidak dapat dihindari	≥ 1 dari 2	10
	1 dari 3	9
Tinggi: kegagalan berulang	1 dari 8	8

	1 dari 20	7
Sedang: kegagalan yang jarang terjadi	1 dari 80	6
	1 dari 400	5
	1 dari 2.000	4
Rendah: kegagalan yang relatif kecil	1 dari 15.000	3
	1 dari 150.000	2
Sangat rendah: kegagalan yang tidak mungkin terjadi	≤ 1 dari 1.500.000	1

Tabel 2.4 Tabel Kriteria dan *Ranking Detectability*

<i>Detectability</i>	Kriteria: Kemungkinan Pendeteksian oleh Kontrol Desain	<i>Ranking</i>
Sangat tidak pasti	Kontrol desain tidak akan dan / atau tidak dapat mendeteksi sebab/ mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya; atau tidak ada kontrol desain	10
Sangat jauh	Sangat jauh kemungkinan kontrol desain mendeteksi sebab/ mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya	9
Jauh	Jauh kemungkinan kontrol desain mendeteksi sebab/ mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya	8
Sangat rendah	Sangat kecil kemungkinan kontrol desain mendeteksi sebab/ mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya	7
Rendah	Kecil kemungkinan kontrol desain mendeteksi sebab/ mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya	6
Sedang	Sedang kemungkinan kontrol desain mendeteksi sebab/ mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya	5
Cukup tinggi	Hampir sedang kemungkinan kontrol desain mendeteksi sebab/ mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya	4
Tinggi	Tinggi kemungkinan kontrol desain mendeteksi sebab/ mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya	3
Sangat tinggi	Sangat tinggi kemungkinan kontrol desain mendeteksi sebab/ mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya	2
Hampir pasti	Kontrol desain hampir pasti dapat mendeteksi sebab/ mekanisme potensial dan mode kegagalan berikutnya	1

2.5 *Fault Tree Analysis (FTA)*

Fault tree analysis adalah sebuah teknik analisa dimana *undesired event* atau suatu kejadian yang tidak diinginkan (biasanya kondisi kritis dari sudut pandang *safety* atau *reliability* terjadi pada sistem, dan kemudian sistem tersebut dianalisa dalam konteks lingkungan dan operasinya untuk menemukan semua cara yang mungkin menjadi penyebab *undesired event* tersebut terjadi. *Undesired event* bisa terjadi karena kegagalan *hardware*, *software*, *human error*; ataupun peristiwa lainnya di luar sistem.

Untuk menganalisa kegagalan sistem dengan metode FTA, perlu dibuat pohon kegagalan atau *fault tree* dari sistem yang akan dianalisa terlebih dahulu. *Fault tree* adalah model grafis dari kegagalan-kegagalan pada sistem dan kombinasinya yang menghasilkan

terjadinya *undesired event*. *Fault tree* dibangun berdasarkan pada salah satu *undesired event* yang mungkin terjadi pada sistem. Hanya bagian-bagian tertentu dari sistem yang berhubungan beserta kegagalan-kegagalan yang ada yang dipakai untuk membuat *fault tree*.

Pada suatu sistem memungkinkan untuk memiliki lebih dari satu *undesired event* dan masing masing *undesired event* mempunyai representasi *fault tree* yang berbeda-beda yang disebabkan oleh faktor-faktor atau bagian-bagian sistem dan kegagalan yang mengarah pada satu kejadian berbeda dengan yang lainnya. Pada *fault tree*, *undesired event* yang akan dianalisa disebut juga *top event*.

2.5.1 Simbologi dan istilah dalam *Fault Tree*

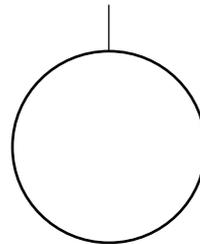
Berikut merupakan simbologi dan istilah yang dipakai pada pembuatan *fault tree*:

a. Simbol Kejadian

Simbol kejadian merupakan simbol yang berisi keterangan kejadian pada sistem, yang terdiri dari:

1) *Basic Event*

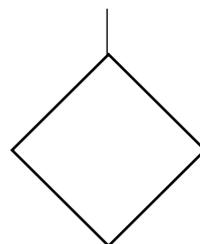
Basic event merupakan simbol yang dipakai untuk menyatakan kegagalan mendasar atau *primary event* yang tidak perlu dicari penyebabnya. Simbol ini merupakan batas akhir penyebab sebuah kejadian.



Gambar 2.1 *Basic Event*

2) *Undeveloped Event*

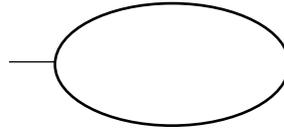
Undeveloped event merupakan simbol yang menyatakan kejadian tidak berkembang, yaitu kejadian yang tidak dicari penyebabnya baik karena kejadian tersebut tidak cukup berhubungan atau kurangnya informasi yang ada.



Gambar 2.2 *Undeveloped Event*

3) *Conditioning Event*

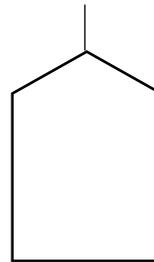
Conditioning Event merupakan simbol yang menyatakan suatu kondisi atau batasan khusus yang diterapkan pada suatu gerbang (biasanya pada gerbang inhibit dan Priority AND). Jadi kejadian output terjadi jika kejadian input terjadi dan memenuhi kondisi tertentu.



Gambar 2.3 *Conditioning Event*

4) *External Event*

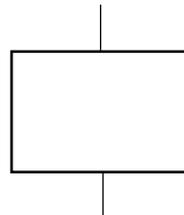
External Event merupakan simbol yang menyatakan kejadian yang diharapkan muncul secara normal dan tidak termasuk dalam kejadian gagal.



Gambar 2.4 *External Event*

5) *Intermediate Event*

Intermediate Event merupakan simbol yang menyatakan kejadian yang muncul dari kombinasi kejadian-kejadian input gagal yang masuk ke gerbang.



Gambar 2.5 *Intermediate Event*

b. Simbol Gerbang

Simbol gerbang merupakan simbol yang menunjukkan hubungan diantara kejadian input yang mengarah kepada kejadian output. Dengan kata lain, kejadian output disebabkan oleh kejadian input yang berhubungan dengan cara tertentu, yang terdiri dari:

1) Gerbang OR

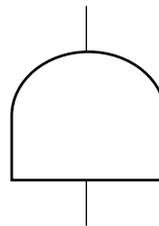
Gerbang OR merupakan simbol yang menyatakan bahwa kejadian akan terjadi jika satu atau lebih kejadian gagal atau input terjadi.



Gambar 2.6 Gerbang OR

2) Gerbang AND

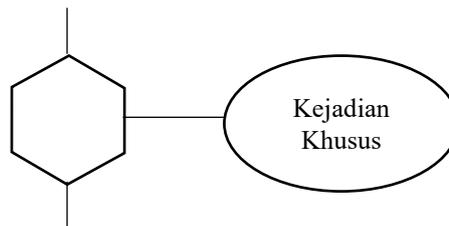
Gerbang AND merupakan simbol yang menyatakan bahwa kejadian output muncul jika semua input terjadi.



Gambar 2.7 Gerbang AND

3) Gerbang INHIBIT

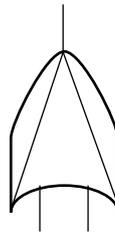
Gerbang INHIBIT merupakan kasus khusus dari gerbang AND. Output disebabkan oleh satu input, tetapi juga harus memenuhi kondisi tertentu sebelum input dapat menghasilkan output.



Gambar 2.8 Gerbang Inhibit

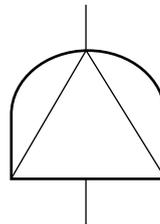
4) Gerbang EXCLUSIVE OR

Gerbang EXCLUSIVE OR merupakan simbol Gerbang OR dengan kasus tertentu, yaitu kejadian output muncul jika tepat satu kejadian ikut muncul



Gambar 2.9 Gerbang EXCLUSIVE OR

- 5) Gerbang PRIORITY AND
 Gerbang PRIORITY AND merupakan simbol Gerbang AND dengan syarat dimana kejadian output muncul hanya jika semua kejadian input muncul dengan urutan tertentu



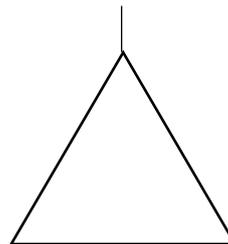
Gambar 2.10 Gerbang PRIORITY AND

c. Simbol Transfer

Simbol transfer dibagi menjadi dua, yaitu:

1) *Transfer-in*

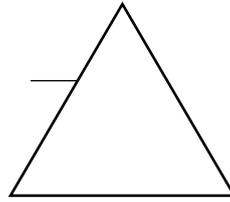
Transfer-in atau dapat disebut *triangle-in* merupakan simbol transfer dimana *sub-fault tree* dapat dimulai sebagai kelanjutan dari *transfer-out*



Gambar 2.11 *Transfer-In*

2) *Transfer-out*

Transfer-out atau dapat disebut *triangle-out* merupakan simbol transfer dimana *fault tree* dipecah menjadi *sub-fault tree*



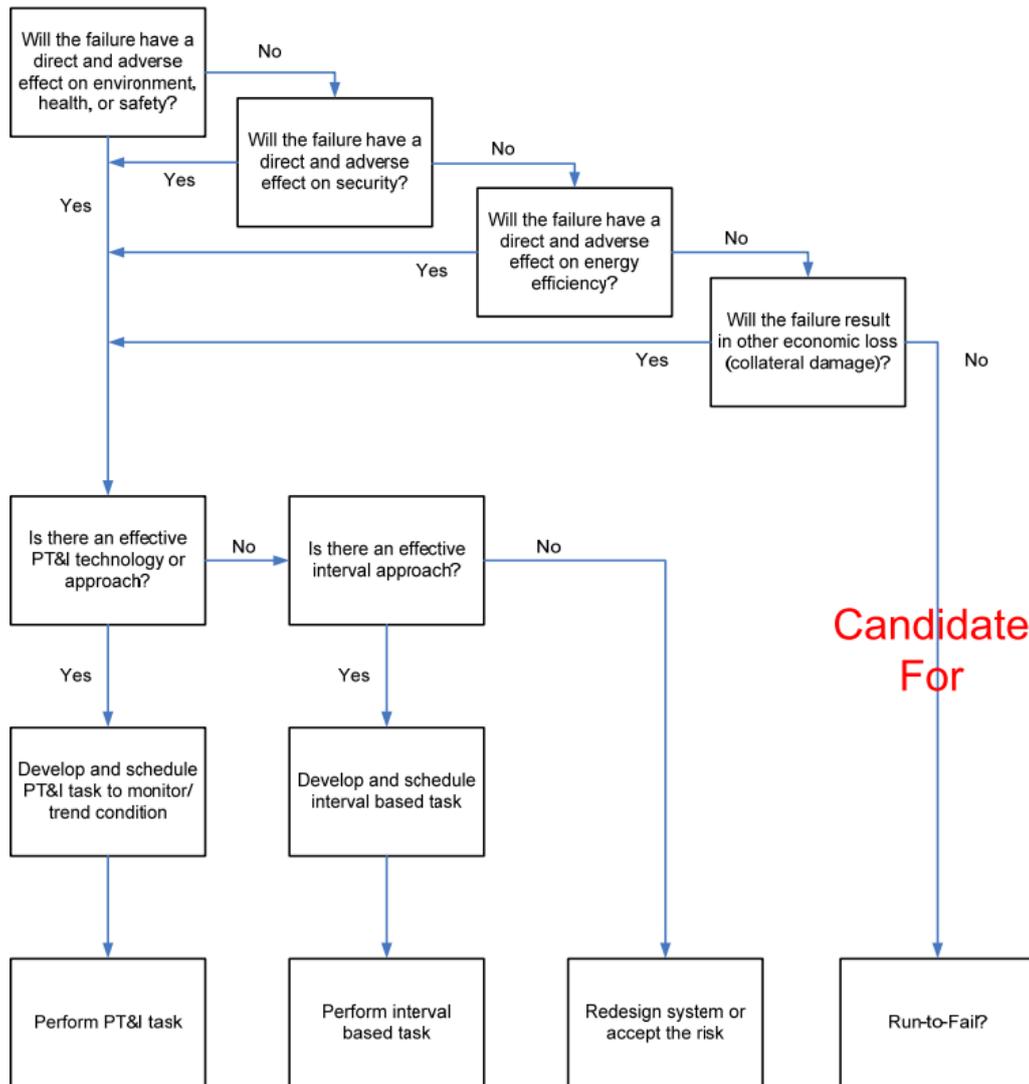
Gambar 2.12 *Transfer-Out*

2.6 Analisa dan Penentuan *Maintenance Task*

Analisa dan penentuan *maintenance task* yang sesuai dengan masing masing komponen akan dilakukan dengan menggunakan metode RCM, yaitu RCM *logic tree* dan kemudian dilanjutkan dengan pengisian RCM *decision worksheet*.

2.6.1 RCM Logic Tree

RCM *logic tree* memberikan pendekatan yang konsisten untuk kegiatan pemeliharaan dari semua komponen peralatan. RCM *logic tree* akan memberikan jenis jenis pemeliharaan untuk masing masing komponen sesuai dengan efek kegagalannya.



Gambar 2.13 NASA RCM Logic Tree

Berikut merupakan penjelasan dari gambar 2.13 untuk mendapatkan jenis pemeliharaan untuk masing-masing komponen:

- a. PT & I (*Predictive* atau *Condition-Based Maintenance*)
 Jenis pemeliharaan Predictive ini digunakan jika kegagalan yang terjadi memiliki efek terhadap lingkungan, kesehatan, dan keselamatan kerja, atau efek terhadap keamanan, efisiensi, dan kerugian terhadap hal-hal lainnya yang memiliki dampak terhadap perusahaan. Jika terdapat teknologi PT&I yang efektif untuk memantau kondisi dari equipment yang diteliti, maka selanjutnya dikembangkan pekerjaan dan penjadwalan untuk melakukan monitoring dan analisis terhadap kondisi dari komponen peralatan.
- b. Interval Based Task (*Preventive Maintenance*)
Preventive maintenance dilakukan ketika tidak terdapat pendekatan teknologi PT&I yang efektif. Jika ada pendekatan interval yang efektif, maka digunakan jenis preventive maintenance ini.
- c. *Redesign System*
Redesign dilakukan jika tidak ada *preventive maintenance* yang efektif untuk dilakukan pada komponen peralatan, sehingga setelah dilakukan *redesign* dapat dilakukan pemeliharaan dengan jenis *predictive* atau *preventive*

d. *Run-to-Fail (Corrective Maintenance)*

Run-to-fail dilakukan ketika kegagalan yang terjadi tidak memiliki efek terhadap lingkungan, kesehatan, keselamatan kerja, keamanan, efisiensi, dan kerugian yang memiliki dampak terhadap perusahaan. Ketika semua efek yang diperhitungkan ini tidak memiliki dampak, maka komponen peralatan akan dijalankan hingga mengalami kerusakan dan akan diganti setelahnya.

2.6.2 RCM Decision Worksheet

RCM *decision worksheet* digunakan untuk memperoleh *maintenance task* yang sesuai dengan mode kegagalan yang telah dianalisa sebelumnya. Pada RCM *decision worksheet* juga terdapat *consequence evaluation* yang disebabkan oleh mode kegagalan tersebut. Terakhir akan ditentukan kegiatan yang akan dilakukan untuk mencegah atau mengurangi mode kegagalan tersebut.

Tabel 2.5 RCM Decision Worksheet

RCM Decision Worksheet													
Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task
							S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	
1	A	1	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	Redesign komponen
1	A	2	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	Pengecekan dan analisa vibrasi komponen
2	A	1	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	Penggantian oli setiap 2 bulan

Berikut penjelasan dari masing-masing kolom pada RCM *Decision Worksheet* pada tabel 2.5:

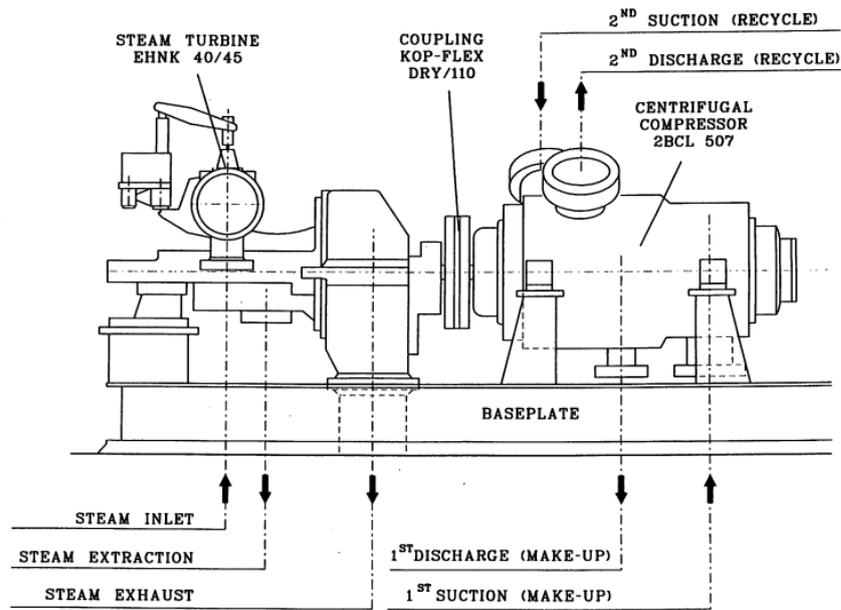
- Kolom 1-3 adalah *information reference* yang berisi data RCM *information worksheet* berupa analisa *Failure (F)*, *Functional Failure (FF)*, dan *Failure Mode (FM)*.
- Kolom 4-7 merupakan *consequence evaluation* yang menunjukkan konsekuensi yang ditimbulkan karena terjadinya kegagalan fungsi atau dampak yang ditimbulkan terhadap sistem. Konsekuensi tersebut terbagi menjadi 4 jenis yaitu *hidden failure consequences (H)*, *safety consequences (S)*, *environmental consequences (E)*, dan *operational consequences (O)*. Kolom-kolom tersebut dapat diisi dengan YES (Y) apabila *failure mode* berdampak atau memiliki konsekuensi dari aspek tersebut dan dapat diisi dengan NO (N) apabila sebaliknya. Analisa *consequence evaluation* digunakan untuk menentukan strategi *maintenance task* yang tepat
- Kolom 8-10 yaitu kolom *schedule task* yang merupakan penentuan tindakan yang akan dilakukan. Pada kolom 8 terdiri dari (H1/S1/O1/N1) yang dapat diisi dengan Yes (Y) apabila kebijakan pemeliharaan yang tepat dalam mengantisipasi atau mencegah failure mode yaitu dengan *scheduled on condition task*. Dan diisi dengan No (N) apabila sebaliknya. Pada kolom 9 terdiri dari (H2/S2/O2/N2) yang dapat diisi dengan Yes (Y)

apabila kebijakan pemeliharaan dalam mengantisipasi atau mencegah *failure mode* yang terjadi yaitu dengan *scheduled restoration task*, dan diisi dengan No (N) apabila sebaliknya. pada kolom 10 terdiri dari (H3/S3/O3/N3) dapat diisi Yes (Y) apabila kebijakan pemeliharaan yang tepat dalam mengatasi *failure mode* yaitu dengan *scheduled discard task*, dan diisi dengan No (N) apabila sebaliknya.

- d. Kolom 11-13 yaitu kolom *default action* yang merupakan penentuan tindakan yang akan dilakukan. Kolom 11 (H4) dapat diisi dengan Yes (Y) apabila kebijakan pemeliharaan yang tepat dalam menangani *failure mode* yaitu dengan *failure finding*, dan dapat diisi No (N) apabila sebaliknya. Kolom 12 (H5) dapat diisi Yes (Y) apabila kebijakan pemeliharaan yang tepat dalam menangani *failure mode* yang terjadi yaitu dengan *redesign*, dan diisi No (N) apabila sebaliknya. Kolom 13 (S4) dapat diisi hasil Yes (Y) apabila kebijakan pemeliharaan yang tepat dalam menangani *failure mode* yang terjadi yaitu dengan *run to failure* atau *no scheduled maintenance*, dan dapat diisi No (N) apabila sebaliknya.
- e. Kolom 14 atau pada kolom terakhir merupakan *proposed task* yaitu berisi hasil maintenance task yang paling tepat atau tindakan perencanaan yang akan digunakan

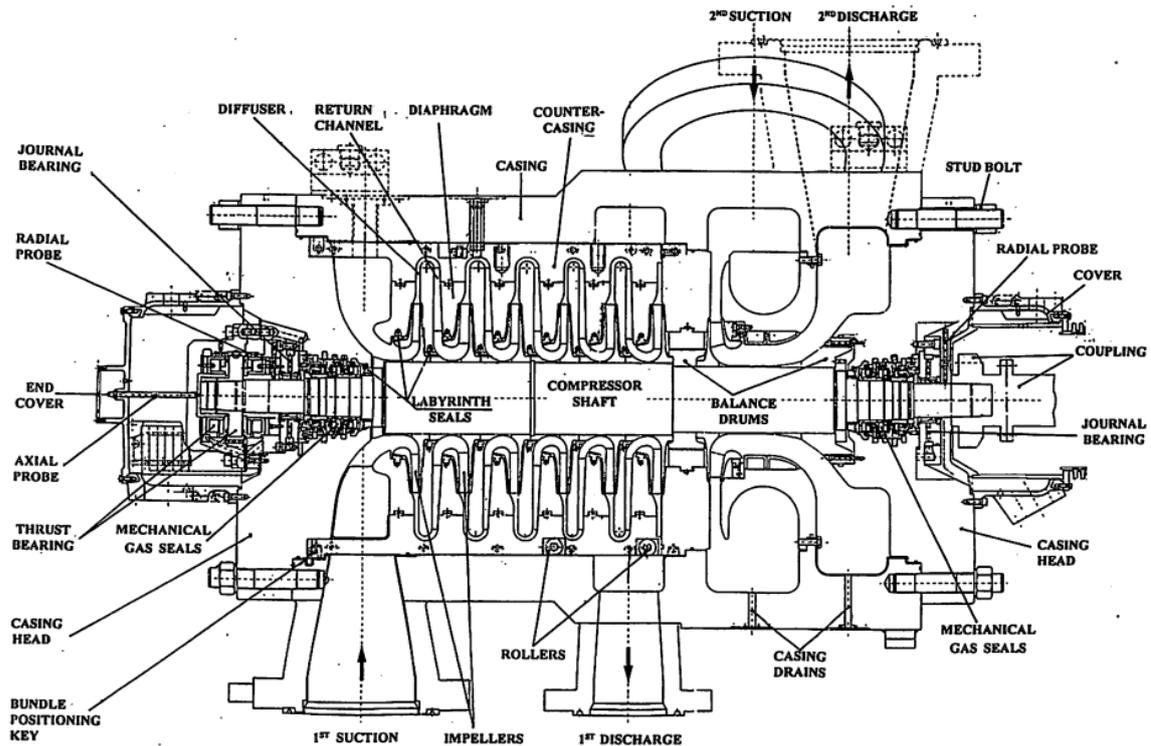
2.7 Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02

Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02 merupakan kompresor tipe *centrifugal* yang terdiri dari dua tahap kompresi, dimana *suction* dan *discharge* pertama menghadap ke bawah sedangkan *suction* dan *discharge* kedua menghadap ke atas. Tahap pertama digunakan untuk mengompresi *make up gas*. *Make up gas* merupakan natural gas yang telah diproses pada unit 100 melalui beberapa tahap seperti desulfurisasi dan dipanaskan melalui tahap *reforming* untuk membentuk senyawa utama yang diperlukan untuk proses produksi methanol, yaitu CO, CO₂, dan H₂. *Make up gas* masuk dengan tekanan 25,76 bar dan temperatur 33,76 °C, dikompresi menjadi 83 bar dengan temperatur 186,4 °C. Tahap kedua digunakan untuk mengompresi *recycle gas*. *Recycle gas* merupakan gas yang gagal menjadi *raw methanol* pada reaktor unit 200, kemudian dialirkan kembali ke *synthesis gas compressor* untuk dikompresi kembali dan kemudian dicampur dengan *make up gas* yang telah dikompresi untuk proses produksi *raw methanol*. *Recycle gas* masuk dengan tekanan 80,3 bar dan temperatur 40,41 °C dan keluar dengan tekanan 83,7 bar dan temperatur 47,2 °C. *Synthesis gas compressor* digerakkan oleh *steam turbine* yang berputar dengan kecepatan 10.060 rpm yang terhubung oleh komponen *coupling* seperti pada gambar 2.14 berikut.



Gambar 2.14 *Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02 Drawing*

Kompresor ini memiliki 1 *shaft* yang terhubung dengan *steam turbine* sebagai penggerakannya. Pada *shaft* terdapat 7 *impellers* yang terdiri dari 6 *impellers* untuk proses kompresi *make up gas* yang keluar dan masuk melalui *suction* dan *discharge* pertama, dan 1 *impeller* untuk proses kompresi *recycle gas* yang keluar dan masuk melalui *suction* dan *discharge* kedua. *Synthesis gas compressor* bekerja dengan memanfaatkan gaya sentrifugal untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida. Fluida yang bergerak dengan kecepatan yang telah ditingkatkan akan memasuki *diffuser*. Pada *diffuser* ini kecepatan gas akan berkurang dan tekanannya akan bertambah. Kemudian fluida akan dilanjutkan ke *impeller* berikutnya untuk *make up gas*, atau keluar melalui *discharge* untuk *recycle gas*. Fluida yang dikompresi pada *synthesis gas compressor* merupakan fluida yang bersifat mudah terbakar, sehingga diperlukan komponen untuk mencegah agar fluida tidak bersentuhan/kontak langsung dengan penyebab kebakaran, seperti oli pada *bearing*. Komponen tersebut adalah *dry gas seal*. *Dry gas seal* terletak pada ujung ujung *shaft* yang berfungsi untuk mencegah agar gas proses tidak bersentuhan dengan oli yang ada pada *bearing* dan tidak keluar/bocor ke lingkungan sekitar. Komponen penyusun *synthesis gas compressor* secara rinci dapat dilihat pada gambar 2.15 berikut.

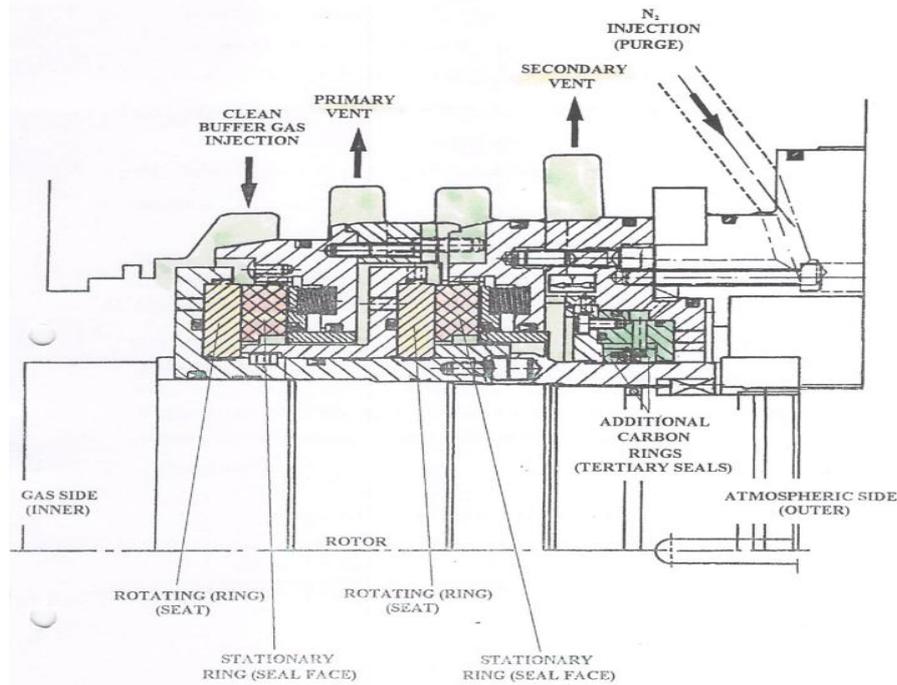


Gambar 2.15 Komponen Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02

2.7.1 Dry Gas Seal

Dry gas seal merupakan subunit yang dirancang untuk mencegah *process gas* pada kompresor keluar menuju atmosfer dan mencegah gas atmosfer untuk masuk ke dalam *process gas*. Subunit *dry gas seal* juga berfungsi untuk mencegah *process gas* bertemu dengan oli yang terdapat pada bearing. Pada *synthesis gas compressor*, jenis *dry gas seal* yang dipakai adalah jenis *tandem seal*. *Dry gas seal* ini terletak pada ujung-ujung shaft, dimana ujung shaft yang berhubungan langsung dengan *coupling* disebut dengan *drive end*, sedangkan ujung lainnya disebut dengan *non drive end*. Terdapat 2 jenis gas yang digunakan untuk proses *seal*, yaitu *Clean buffer gas* yang diambil dari *process gas* pada *impeller* kedua yang sudah difiltrasi, dan gas N_2 yang telah difiltrasi. *Dry gas seal* bekerja dengan cara mengalirkan *clean buffer gas* yang berasal dari *process gas*. Kemudian gas ini difiltrasi. Setelah itu *clean buffer gas* akan melalui *pressure control valve*. *Valve* ini berfungsi menjaga agar *clean buffer gas* memiliki tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *process gas*. Kemudian gas ini akan masuk melalui *clean buffer gas suction*. Karena memiliki tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *process gas*, maka *clean buffer gas* akan menjaga agar *process gas* tidak keluar dari *compressor casing*. Di dalam *dry gas seal*, terdapat komponen *stationary* dan *rotary* yang disebut sebagai *primary seal*. Di antara kedua komponen ini, terdapat celah berukuran 3 micron sebagai jalur keluar *clean buffer gas*. Nantinya *clean buffer gas* akan keluar melalui celah tersebut dan dialirkan melalui *primary vent* dan selanjutnya menuju *flare*. Jika terjadi kerusakan pada *primary seal*, maka *clean buffer gas* akan diarahkan menuju ke *secondary seal*. *Secondary seal* terdiri dari komponen yang sama dengan *primary seal*. Nantinya *clean buffer gas* yang gagal keluar melalui *primary vent* akan menuju ke *secondary seal*. Kemudian dari *secondary seal* akan menuju ke *secondary vent* dan akan keluar menuju atmosfer. Selain itu, terdapat gas N_2 yang dialirkan untuk mencegah agar oli yang terdapat pada *bearing* tidak bertemu dengan *process gas*. Sebelum dialirkan, gas N_2 di filtrasi terlebih dahulu. Kemudian gas N_2 akan dijaga

tekanannya sekitar 1,5 bar a agar gas N_2 memiliki tekanan yang lebih besar daripada tekanan oli. Setelah itu gas N_2 masuk melalui *suction* N_2 . Gas N_2 akan menjaga agar oli pada *bearing* tidak menemui *process gas*. *Suction* dan *discharge* dari masing masing gas yang digunakan untuk proses *seal* serta komponen *stationary* dan *rotary* dapat dilihat pada gambar 2.16 berikut.



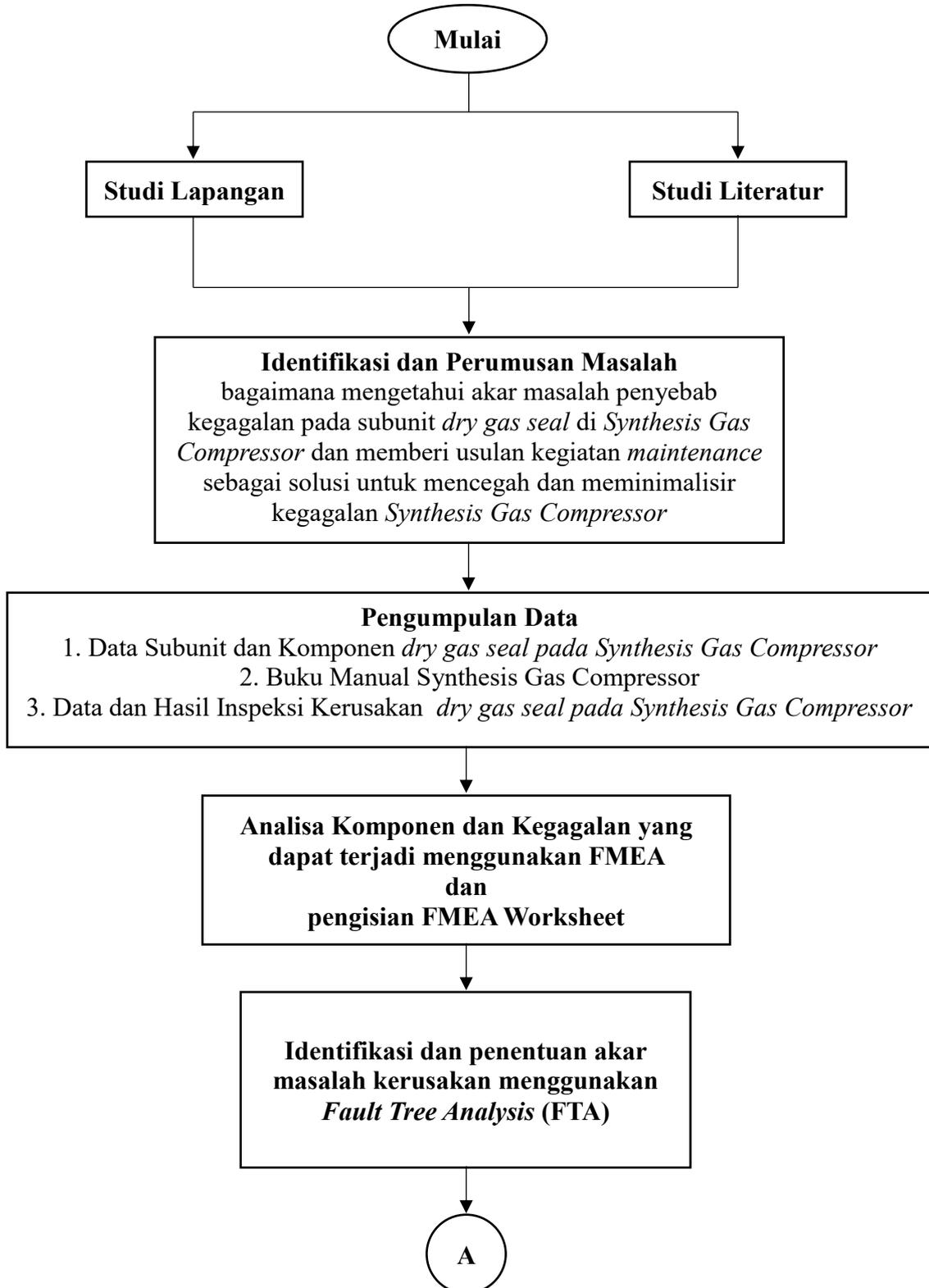
Gambar 2.16 *Komponen Internal Dry Gas Seal*

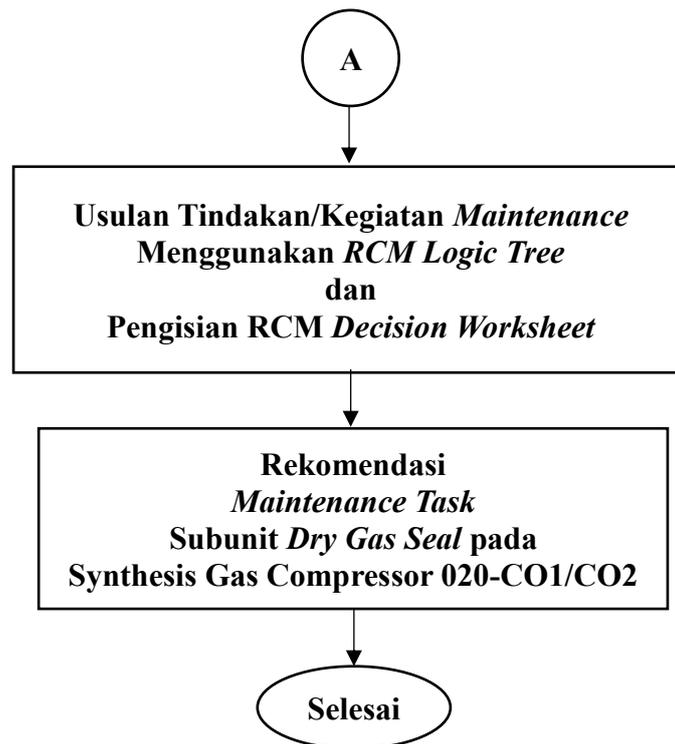
Sistem *Dry gas seal* juga memiliki komponen instrumentasi yang digunakan untuk mengukur dan memonitor parameter penting yang terdapat pada *dry gas seal*, seperti tekanan dan temperatur. Komponen instrumentasi ini terletak di sepanjang aliran gas yang digunakan oleh *dry gas seal* seperti pada gambar 2.17 berikut.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir yang digunakan dalam penelitian tugas akhir:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian pada gambar 3.1 di atas akan dijelaskan sebagai berikut :

3.2.1 Studi Lapangan, Studi Literatur dan Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahap awal yang dilakukan adalah studi lapangan dan studi literatur. Studi lapangan dilakukan di PT. Kaltim Methanol Industri. Studi lapangan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi yang terdapat pada PT. KMI, mulai dari proses produksi, mesin yang digunakan untuk proses, sistem yang ada yang mengatur segala hal yang ada pada pabrik dan beberapa masalah yang mungkin terjadi pada PT.KMI yang nantinya bisa digunakan sebagai topik tugas akhir. Didapat beberapa topik terkait permasalahan yang ada di PT.KMI, khususnya terkait mesin mesin produksi yang mengalami kerusakan baik peralatan kritis maupun tidak. Kemudian studi literatur dilakukan untuk membantu pemahaman dan mendapatkan informasi tambahan mengenai metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang ada, baik dari jurnal, buku, penelitian dan sebagainya yang sekiranya dapat digunakan untuk menunjang penelitian tugas akhir ini. Setelah dilakukan studi lapangan dan literatur, dirumuskan masalah yang terdapat pada PT.KMI yaitu *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor* yang mengalami kegagalan pada periode tahun 2022.

3.2.2 Pengumpulan data

Tahap berikutnya adalah mengumpulkan data data terkait dengan kegagalan *dry gas seal synthesis gas compressor*. Data data yang akan dikumpulkan adalah sebagai berikut:

1. Data Komponen Subunit *dry gas seal* pada *Synthesis Gas Compressor*
2. Buku Manual *Synthesis Gas Compressor*

3. Data dan Hasil Inspeksi Kerusakan *dry gas seal* pada *Synthesis Gas Compressor*

Data Komponen subunit *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor* digunakan untuk memahami sistem kerja dan mengetahui komponen apa saja yang terdapat pada *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor*. Buku manual *synthesis gas compressor* digunakan untuk memahami sistem kerja kompresor secara menyeluruh agar analisa dapat dilakukan secara komprehensif dan dapat mengetahui apabila adanya kemungkinan subunit lain sebagai penyebab kegagalan pada *dry gas seal*. Data dan hasil inspeksi kerusakan digunakan sebagai salah satu acuan untuk menentukan akar masalah penyebab kegagalan.

3.2.3 Analisa Komponen dan Kegagalan dengan FMEA dan FMEA Worksheet

Tahap selanjutnya adalah pengisian *FMEA worksheet*. *FMEA worksheet* terdiri dari kolom *function*, *functional failure*, *failure mode* dan *failure effect*. Kemudian terdapat kolom *Severity*, *Occurrence* dan *detectability* yang nantinya akan digunakan untuk menentukan *risk priority number* dari kegagalan yang mungkin terjadi pada komponen subunit *dry gas seal synthesis gas compressor*.

3.2.4 Identifikasi dan Penentuan Akar Masalah Kerusakan dengan FTA

Selanjutnya pembuatan *fault tree analysis* untuk mengetahui penyebab dari kegagalan yang dapat terjadi pada *dry gas seal* di *synthesis gas compressor*. *Failure mode* yang telah diketahui dari *FMEA worksheet* akan diketahui penyebabnya melalui pembuatan FTA ini.

3.2.5 Usulan Kegiatan *Maintenance* dengan RCM Logic Tree dan RCM Decision Worksheet

Setelah diketahui penyebab dari mode kegagalan yang sering terjadi, akan diusulkan kegiatan yang dapat dilakukan untuk mencegah dan meminimalisir mode kegagalan yang ada. RCM Logic tree akan digunakan untuk mencari tahu jenis *maintenance* apa yang sesuai dengan mode kegagalan yang ada. Setelah diketahui jenis *maintenance* yang sesuai, akan diusulkan kegiatan *maintenance* yang sesuai dengan mode kegagalan dan jenis *maintenance* yang telah ditentukan sebelumnya.

3.2.6 Rekomendasi *Maintenance Task*

Rekomendasi *maintenance task* ini dibuat berdasarkan RCM *Decision worksheet* yang telah diisi sebelumnya, kemudian disusun sesuai dengan komponen dan interval waktu untuk melakukan *maintenance*. Rekomendasi *maintenance task* merupakan daftar yang terdiri dari nama komponen, jenis *maintenance* yang dilakukan, dan kegiatan *maintenance* dari masing masing komponen.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan terkait sistem kerja dari *dry gas seal* yang terdapat pada *synthesis gas* compressor 020-C01/C02 dan juga gas-gas yang terlibat selama proses *seal*. Kemudian dilakukan analisa dan pembahasan terkait penyebab kerusakan *dry gas seal* yang terjadi pada bulan Januari 2022 dengan menggunakan data operasional harian dan foto foto penemuan yang diambil saat masa *Turn Around* pada bulan Februari 2022. Setelah itu dilakukan proses analisa komponen yang terdapat pada *dry gas seal* dan kerusakan yang mungkin terjadi dengan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* dan pengisian *FMEA Worksheet*. Setelah dilakukan pengisian, dilanjutkan dengan pembuatan *Fault Tree Analysis* untuk menentukan akar masalah dari setiap kegagalan yang mungkin terjadi. Kemudian dilakukan analisa dan penentuan *maintenance task* dengan pengisian *RCM Decision Worksheet*.

4.1 Sistem Kerja Dry Gas Seal Pada Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02

Dry gas seal merupakan komponen yang menggunakan *separation seal* pada sisi *bearing* sebagai *barrier*/penghalang. hal ini bertujuan untuk mencegah oli pelumas pada *bearing* berpindah ke *shaft* atau menuju ke dalam komponen *dry gas seal*. *Dry gas seal* juga berfungsi untuk mencegah *process gas* keluar menuju daerah *bearing* atau atmosfer.

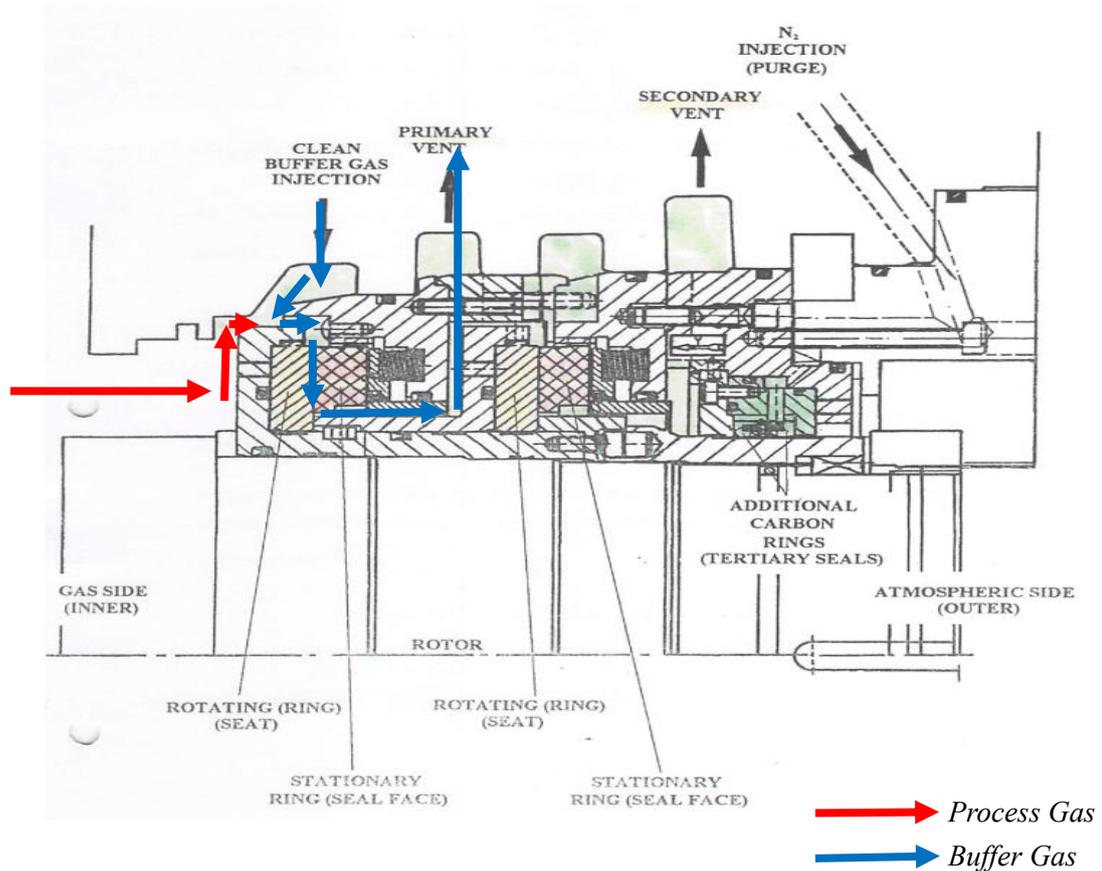
Gas yang terdapat pada *Synthesis gas compressor* 020-C01/C02 di PT. Kaltim Methanol Industri terdiri dari beberapa gas, yaitu *process gas* yang terdiri dari *make up gas* yang berasal dari unit 100 dan *recycle gas* yang berasal dari unit 200. Selain *process gas*, juga digunakan gas untuk proses *seal* pada *dry gas seal*, yaitu *buffer gas* dan *N₂ gas*. Masing-masing komposisi gas yang dipakai pada *synthesis gas compressor* dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Komposisi Gas Pada Synthesis Gas Compressor

Gas Analysis (% mol)	Molar Weight	Process Gas		N ₂ Gas
		Make Up	Recycle	Reduc-Oxid
Oxygen	32,000	0	0	00-17
Nitrogen	28,016	0,31	2,40	86-83
Water Vapor	18,016	0,24	0,05	0
Carbon Monoxide	28,010	21,67	6,40	0
Carbon Dioxide	44,010	7,93	10,30	12-00
Hydrogen	2,016	67,72	64,50	2-00
Methane	16,042	2,13	15,95	0
Methanol	32,042	0	0,4	0
Total %		100	100	100
Avg Mol Wt		11,395	10,993	29,4-28,7

Dapat dilihat pada tabel 4.1 bahwa *process gas* yaitu *make up* dan *recycle gas* mengandung gas yang mudah terbakar, yaitu karbon monoksida dan hidrogen yang cukup tinggi, sehingga diperlukan proses *seal* agar gas tersebut tidak keluar menuju atmosfer atau oli pada *bearing* yang bertekanan cukup tinggi. Proses *seal* menggunakan 2 jenis gas, yaitu *Buffer gas* dan *N₂ gas*. *Buffer gas* berasal dari *make up gas* yang diambil dari *impeller* kedua, dengan tekanan pada operasi normal berkisar antara 38-42 bar, sedangkan *N₂ gas* berasal dari unit 1100.

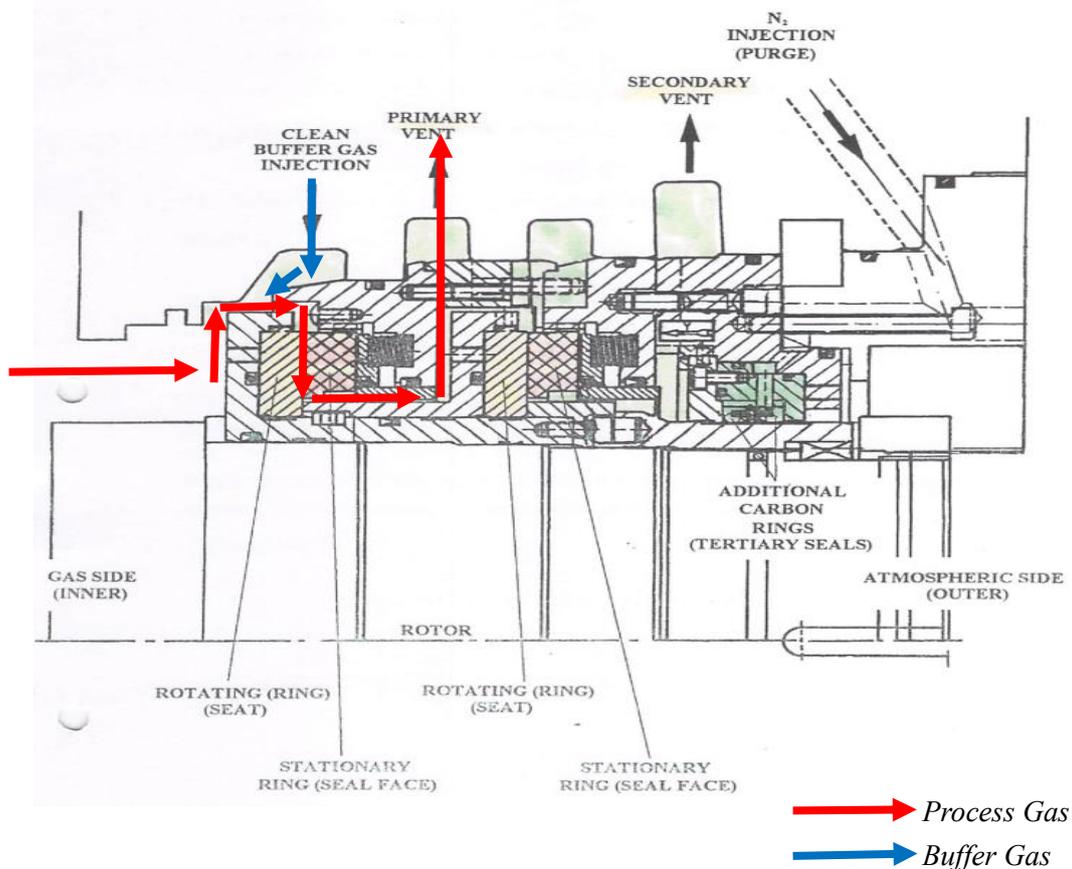
Pada kondisi normal operasi, ditandai dengan putaran kompresor yang tinggi sekitar 10.000 RPM, *buffer gas* akan menahan *process gas* agar tidak keluar dari kompresor, sedangkan N_2 gas akan menahan oli dari *bearing* agar tidak menyentuh *process gas*. Nantinya *buffer gas* akan keluar melalui *primary vent* dan N_2 gas akan keluar melalui *secondary vent* seperti yang terlihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Aliran Fluida Kerja *Dry Gas Seal* Pada Kondisi Normal (RPM lebih dari 10.000)

Gambar 4.1 merupakan ilustrasi aliran fluida yang masuk ke *dry gas seal*. Panah merah merupakan *process gas* yang masuk dari *compressor suction*, namun karena *pressure* yang dimiliki *process gas* lebih kecil daripada *pressure* yang dimiliki *buffer gas*, maka *process gas* tidak dapat masuk lebih jauh ke dalam *dry gas seal*, sedangkan *buffer gas*, yang diwakili dengan panah biru, yang memiliki *pressure* lebih tinggi masuk ke dalam *dry gas seal* melewati celah yang terbentuk antara *rotating* dan *stationary part*, dan kemudian keluar melalui *primary vent*.

Namun, ada beberapa kondisi dimana aliran fluida kerja tidak seperti pada gambar 4.1. Kondisi tersebut terjadi ketika kompresor dalam keadaan *idle*, ditandai dengan RPM sama dengan 0. Kondisi lainnya adalah ketika proses *shutdown* atau *start-up* kompresor. Saat kondisi ini terjadi, kompresor masih belum melakukan proses kompresi secara optimal, sehingga *buffer gas* yang berfungsi melakukan proses *seal* tidak memiliki *pressure* yang cukup untuk menahan *process gas*. Sehingga *process gas* yang akan masuk ke *dry gas seal* seperti yang terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Aliran Fluida Kerja *Dry Gas Seal* Pada Kondisi Tertentu (*Idle RPM = 0, Shutdown, Start-Up*)

Gambar 4.2 merupakan ilustrasi aliran fluida yang masuk ke *dry gas seal* pada kondisi tertentu (*idle, shutdown, start-up*). Panah merah merupakan *process gas* yang masuk dari *compressor suction*. Karena *pressure* yang dimiliki *process gas* lebih besar daripada *pressure* yang dimiliki *buffer gas* yang diwakili dengan panah biru, maka *process gas* akan masuk lebih jauh ke dalam *dry gas seal*, sedangkan *buffer gas* yang memiliki *pressure* lebih kecil akan tertahan dan tidak dapat masuk.

Buffer gas yang digunakan untuk proses *seal* pada *dry gas seal* merupakan *make up gas* yang diambil pada *impeller stage 2* dengan tekanan yang sudah disesuaikan oleh *pressure control valve* PDV 227. Sebelum *buffer gas* memasuki *dry gas seal*, *buffer gas* harus bersih dari seluruh kontaminan. Hal ini dikarenakan ketika ada kontaminan yang masuk pada *dry gas seal*, gap sebesar 3 micron yang ada dapat terbuka lebih besar dikarenakan kontaminan menahan posisi gap antara *rotating* dan *stationary ring* pada *dry gas seal*. Oleh karena itu, fluida yang akan masuk ke *synthesis gas compressor* dan *dry gas seal* akan difiltrasi agar tidak ada kontaminan yang terbawa dan dapat mengganggu proses kompresi.

Sebelum *buffer gas* masuk ke *dry gas seal*, akan dilakukan proses filtrasi. Proses filtrasi pertama terjadi pada *demister* 010-F03. *Make up gas* yang akan masuk ke *synthesis gas compressor* memiliki kandungan *water vapor* dengan persentase seperti pada tabel 4.1. Karena *make up gas* memiliki tekanan operasi sekitar 26 bar dan suhu 33,6 °C, maka *water vapor* yang ada akan berubah fasa menjadi *liquid* sehingga harus difiltrasi pada *demister* 010-F03. Proses filtrasi berikutnya terjadi pada filter 020-FC01-05A/B. Pada proses filtrasi ini, *make up gas* yang telah diambil dari *impeller stage 2* akan difilter kembali agar tidak ada kontaminan yang tersisa yang dapat masuk ke *dry gas seal*.

Dari perbandingan aliran fluida kerja yang terdapat pada *dry gas seal* seperti yang ada pada gambar 4.1 dan 4.2, serta proses yang dilalui fluida sebelum memasuki *dry gas seal*, maka dapat dipastikan aliran fluida yang masuk ke dalam *dry gas seal* merupakan *buffer gas*, karena kerusakan ditemukan ketika *synthesis gas compressor* sedang dalam kondisi normal, yaitu ketika RPM melebihi 10.000. Oleh karena itu, ketika ada kerusakan pada *dry gas seal*, maka kemungkinan penyebabnya terdapat pada komponen internal *dry gas seal* yang menyebabkan gap yang tercipta melebihi 3 micron dan tidak dapat mengembalikan gap ke angka yang seharusnya, atau pada proses filtrasi yang tidak efektif sehingga *buffer gas* yang masuk pada *dry gas seal* masih memiliki kontaminan yang dapat menyebabkan terciptanya gap lebih dari 3 micron.

4.2 Analisa Data dan Temuan Kerusakan Dry Gas Seal

Pada tahap ini akan dilakukan analisa data *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor* yang diambil pada periode Januari 2022 dan masa *Turn Around* 2022 yang dilaksanakan pada bulan Februari – Maret 2022. Analisa akan dilakukan pada komponen komponen yang dilalui oleh *process gas*, seperti *demister 010-F03*, komponen internal *dry gas seal*, dan Filter 020-FC01-05A/B. Data yang telah didapat kemudian dibandingkan dengan batas aman yang telah ditentukan dan data operasional harian. Kemudian akan dilakukan analisa terhadap foto foto temuan yang didapat pada periode *Turn Around* 2022 yang dilaksanakan pada bulan Februari – Maret 2022.

4.2.1 Data Logsheet Operasional Dry Gas Seal

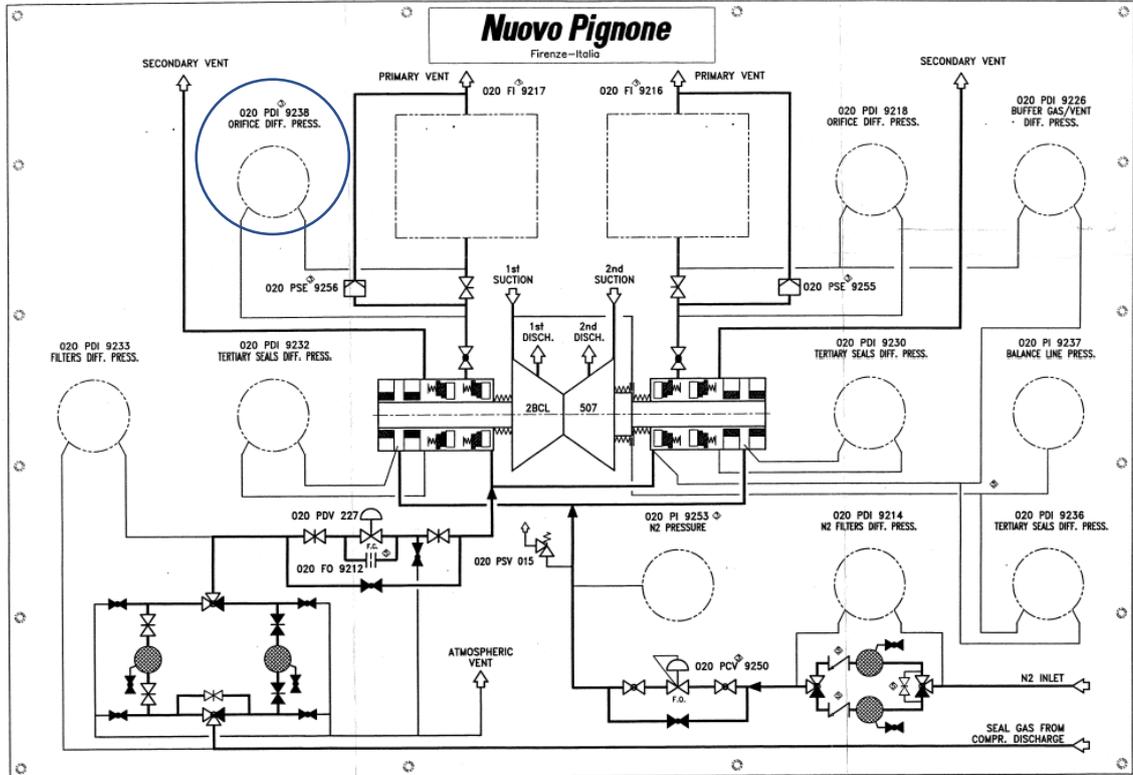
Logsheet operasional adalah form yang diisi oleh *foreman* setiap 2 jam sekali. Pada *logsheet* ini memuat beberapa parameter yang dijadikan acuan untuk menentukan kondisi dari sebuah peralatan. Berikut contoh dari *logsheet* operasional pada *dry gas seal* di *Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02*.

25-May										N2 Seal					
	PIS	UV	PDI	PDV	Seal Balance		PDI	PDI	Vent	Seal Balance		Vent	In	Out	PI
	235	202	9233	227	PI 9237	PDI 9236	9230	9218	FI 9216	PDI 9232	PDI 9238	FI 9217	Board	Board	9253
38 - 45	0 - 100	0 - 0,5	0 - 100	25 - 29	0 - 0,5	0 - 1	0 - 0,5	1,0 - 4,0	0 - 1,5	0 - 0,5	1,0 - 4,0	1 - 1,5	1 - 1,5	1 - 1,7	
Bar	%	Bar	%	Bar	Bar	Bar	Bar	Nm3/h	%	Bar	Nm3/h	Bar	Bar	Bar	
00.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,9	0	0,2	0,61	0,19	1,9	0,88	0,62	1,62
02.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,9	0	0,2	0,6	0,19	1,8	0,89	0,62	1,62
04.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,91	0	0,2	0,6	0,19	1,8	0,89	0,62	1,62
06.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,92	0	0,2	0,6	0,19	1,8	0,89	0,62	1,62
08.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,93	0	0,2	0,56	0,19	1,6	0,89	0,59	1,61
10.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,93	0	0,2	0,56	0,19	1,6	0,89	0,59	1,61
12.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,89	0	0,2	0,52	0,19	1,6	0,89	0,56	1,6
14.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,89	0	0,2	0,5	0,19	1,6	0,89	0,55	1,6
16.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,9	0	0,2	0,52	0,19	1,6	0,9	0,56	1,61
18.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,92	0	0,2	0,52	0,19	1,6	0,9	0,56	1,61
20.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,95	0	0,2	0,52	0,2	1,5	0,91	0,58	1,61
22.00	41,5	0	0,1	25	26,1	0,24	0,95	0	0,2	0,52	0,2	1,5	0,91	0,58	1,61

Gambar 4.3 Contoh *Logsheet* Operasional *Dry Gas Seal Synthesis Gas Compressor 020-C01/C02*

Pada periode sebelum *synthesis gas compressor* mengalami kegagalan, terjadi *differential pressure* tinggi yang melewati batas aman yang ditangkap oleh *pressure differential indicator 9238*. Instrumen ini merupakan komponen yang berfungsi untuk

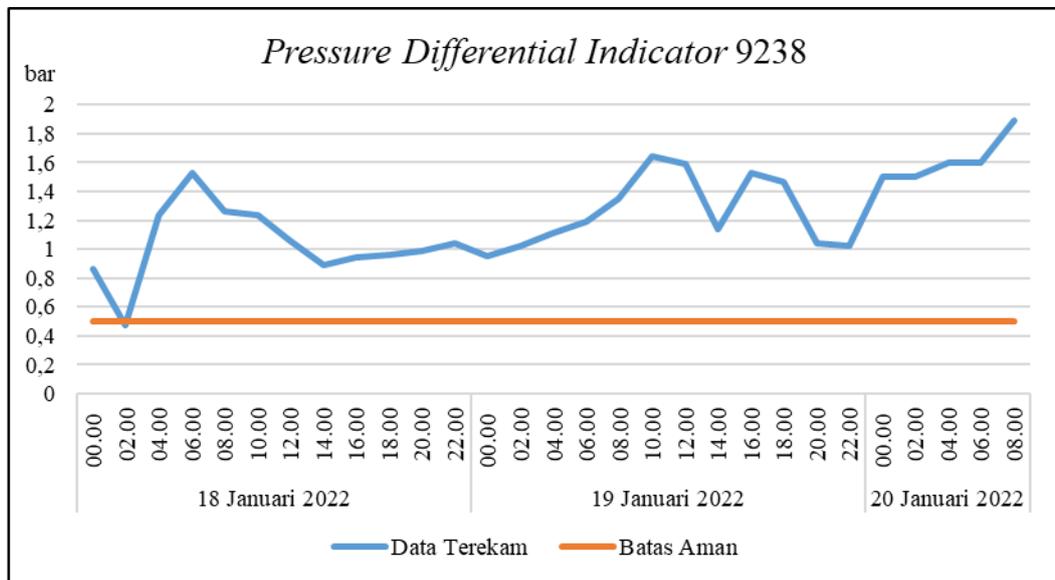
merekam perbedaan tekanan aliran sebelum dan setelah melewati *orifice* pada *primary vent*. *Pressure differential indicator* 9238 ini terletak pada aliran *buffer gas* yang akan keluar menuju *primary vent* yang terlihat seperti pada gambar 4.4. Posisi *pressure differential indicator* 9238 ditandai dengan lingkaran berwarna biru pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Letak *Pressure Differential Indicator* 9238

Pada periode sebelum *synthesis gas compressor* mengalami kegagalan, ditemukan adanya perbedaan tekanan yang tinggi, yang melewati dari batas aman. Nilai

pressure differential yang terjadi berfluktuasi dengan nilai minimal 0,47 bar dan maksimal 1,89 bar yang direkam oleh *pressure differential indicator 9238* seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Perbandingan Data Terekam dan Batas Aman pada *Pressure Differential Indicator 9238*

Dengan adanya *differential pressure* yang tinggi yang tercatat oleh PDI 9238, menandakan bahwa telah terjadi *overpressure* pada *primary vent* di *outboard dry gas seal*. Kemudian setelah beberapa waktu, *pressure* yang telah terakumulasi akhirnya menyebabkan *rupture disc 020 PSE 9256* pecah/mengalami kegagalan.

4.2.2 Data Refurbishment Dry Gas Seal

Refurbishment merupakan penggantian seluruh komponen internal dari *dry gas seal*. Hal ini dilakukan agar komponen internal *dry gas seal* dapat berjalan dengan baik. Menurut standar John Crane, *refurbishment dry gas seal* harus dilakukan pada interval waktu 5 tahun waktu penggunaan komponen, atau total 10 tahun waktu penyimpanan dan penggunaan komponen. Sebagai contoh, jika *dry gas seal* telah disimpan selama 3 tahun, maka *dry gas seal* tersebut dapat digunakan selama 5 tahun, sedangkan jika *dry gas seal* telah disimpan selama 6 tahun, maka *dry gas seal* tersebut hanya dapat digunakan selama 4 tahun *running time*.

Menurut data yang didapat dari *Maintenance Planning and Controlling Section*, *Refurbishment* komponen *dry gas seal* terakhir dilakukan pada bulan November 2018, dan kemudian dilakukan pemasangan pada masa *Turn Around 2020* yang dilaksanakan pada bulan November 2020. Oleh karena itu, *dry gas seal* yang seharusnya terpasang pada *synthesis gas compressor* dapat digunakan hingga bulan November 2025 sebelum dilakukan penggantian kembali. Dengan ditemukannya kegagalan pada *dry gas seal* di bulan Januari 2022, maka dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi kegagalan pada komponen internal *dry gas seal*.

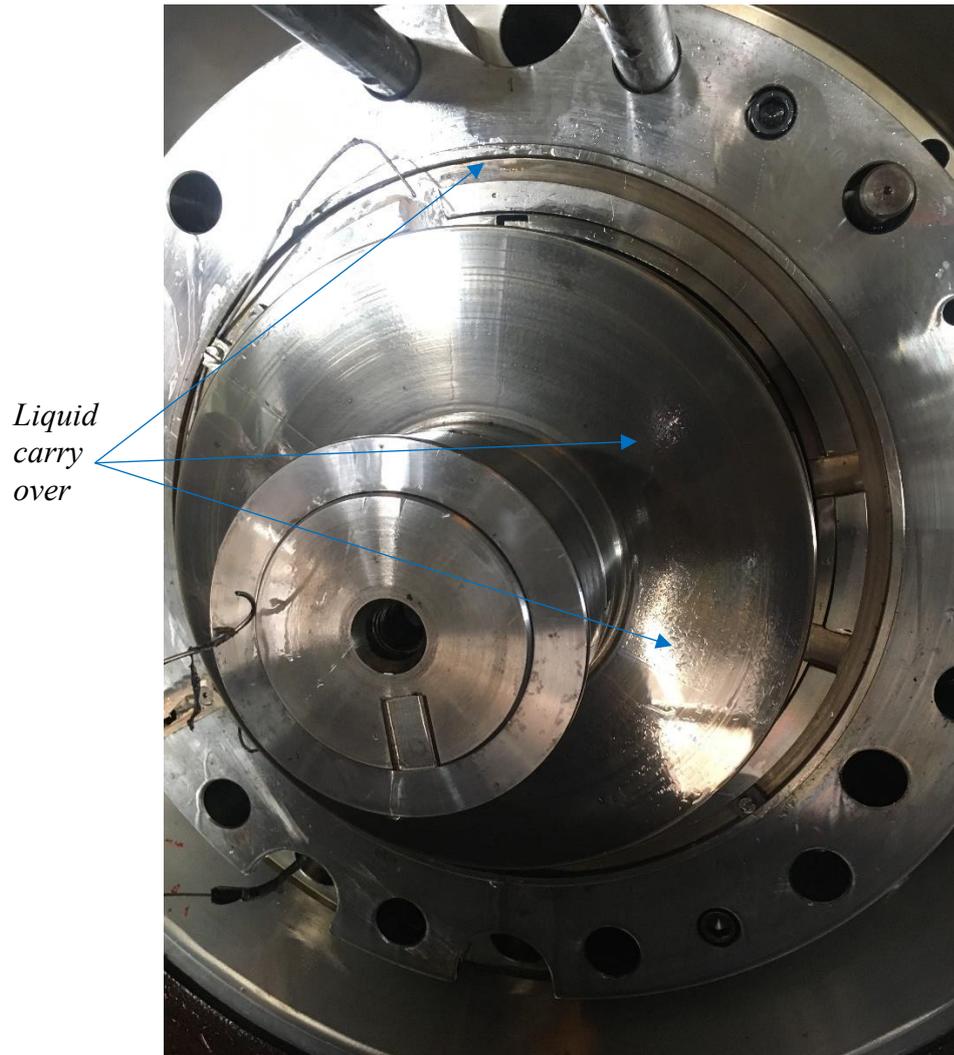
4.2.3 Analisa Temuan Pada Masa Turn Around 2022

Turn Around merupakan kegiatan *scheduled shutdown* yang dilakukan untuk penggantian, pembersihan, pengecekan peralatan peralatan yang bekerja di pabrik secara menyeluruh / sesuai dengan kebutuhan. Pada masa *Turn Around 2022*, salah satu peralatan yang dilakukan pengecekan dan penggantian komponen adalah *synthesis gas*

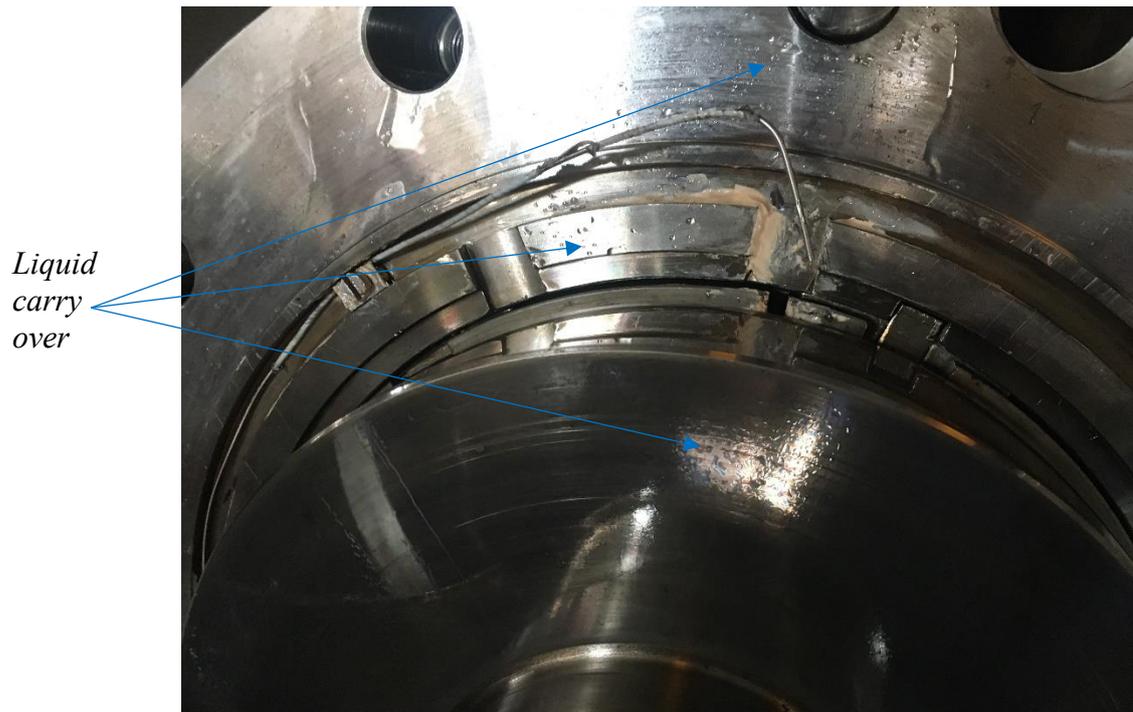
compressor. Tidak hanya pada komponen *synthesis gas compressor*, pengecekan juga dilakukan pada sistem filtrasi dari *make up gas*, yaitu Demister 010-F03 dan pengecekan data *logsheet* untuk filter 020-FC01-05A/B.

4.2.3.1 Kondensat *Liquid Carry Over* Pada Sisi *Compressor*

Pada saat dilakukan pengecekan dan *casing* dari *synthesis gas compressor* dibuka, ditemukan kondensat berupa *liquid carry over* yang terdapat pada sisi *inboard* dan *outboard*. *Liquid carry over* yang terdapat pada kompresor ditunjukkan dengan panah berwarna biru yang terdapat pada gambar 4.6, 4.7, dan 4.8.



Gambar 4.6 Kondensat *liquid carry over* pada sisi *inboard compressor*



Gambar 4.7 Kondensat *liquid carry over* pada sisi *inboard compressor*

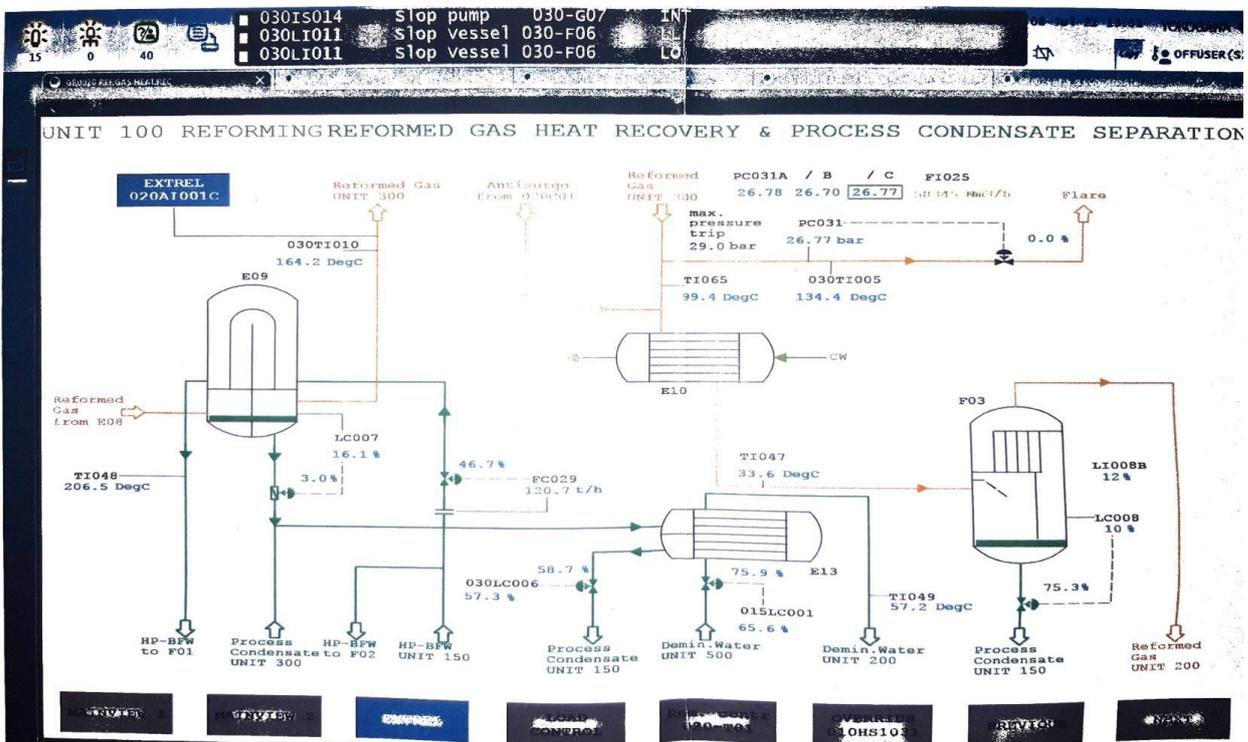


Gambar 4.8 Kondensat *liquid carry over* pada sisi *outboard compressor*

Dengan ditemukannya kondensat *liquid carry over* pada *compressor*, dapat disimpulkan bahwa *make up gas* yang akan dikompresi di *synthesis gas compressor* mengandung kondensat. Hal ini tidak diinginkan karena *buffer gas* yang digunakan untuk proses *seal* pada *dry gas seal* diambil dari impeller kedua dari *synthesis gas compressor* 020-C01, sehingga kondensat yang terkandung pada *make up gas* akan terbawa menuju *dry gas seal*.

4.2.3.2 Kerusakan Pada Demister 010-F03

Demister 010-F03 merupakan separator yang berfungsi untuk memisahkan liquid yang terbentuk pada *make up gas*. Dengan komposisi *make up gas* yang terdapat pada tabel 4.1, maka dapat terjadi pembentukan liquid. Proses pembentukan *liquid* terjadi setelah *reformed gas* didinginkan di Final Cooler 010-E10 dengan tekanan operasi sekitar 26 bar dan suhu 33,6 °C seperti yang terlihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 DCS Final Cooler 010-E10 dan Demister 010-F03

Setelah terbentuknya *liquid*, maka *liquid* tersebut akan dipisahkan oleh *demister* 010-F03. Namun pada masa *Turn Around* 2022, ditemukan kerusakan pada segment *demister* 010-F03 yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4.10 Carbon/black deposit yang ditemukan pada demister



Gambar 4.11 Ketebalan Wire demister berkurang

Pada gambar 4.10, terlihat bahwa terdapat *carbon/black deposit* ditemukan pada *demister* yang mengalami kerusakan. Posisi *demister* yang terdapat *carbon/black deposit* berada di paling bawah. *Carbon/Black deposit* dapat dilihat pada bagian berwarna hitam yang ditunjuk oleh panah biru pada gambar 4.10. Sebagai perbandingan, *demister* yang tidak terdapat *carbon/black deposit* cenderung berwarna perak seperti yang ditunjuk oleh panah merah pada gambar 4.10. Sedangkan berkurangnya ketebalan *demister* akibat tergerus aliran mencapai 30 – 40 mm seperti pada gambar 4.11. Posisi dari masing masing bagian *demister* yang terjadi kerusakan dapat dilihat pada gambar 4.12, dimana bagian yang ditandai dengan kotak putih

merupakan kerusakan *knitted mesh* dan berkurangnya ketebalan *wire mesh*, sedangkan kotak merah menandakan ditemukannya *carbon/black deposit* pada bagian tersebut.



Gambar 4.12 Posisi dari bagian *demister* yang mengalami kerusakan (kotak putih : *wire demister* mengalami kerusakan, kotak merah : Terdapat *carbon/black deposit* pada *wire mesh*)

Pada gambar 4.12, posisi ditemukannya *carbon/black deposit* berada dibagian terbawah dari *demister*. Hal ini terjadi karena *carbon/black deposit* memiliki massa jenis yang lebih besar dibandingkan dengan elemen lain yang terdapat pada fluida, seperti *liquid carry over* yang terbentuk akibat *water vapor* yang berubah fasa dikarenakan perubahan suhu dan tekanan.

Selain penemuan terkait kerusakan *demister*, menurut data dari *Maintenance Planning and Controlling, Maintenance* pada *Demister 010-F03* terakhir dilakukan pada masa *Turn Around 2019* dengan detail seperti pada tabel 4.2 berikut

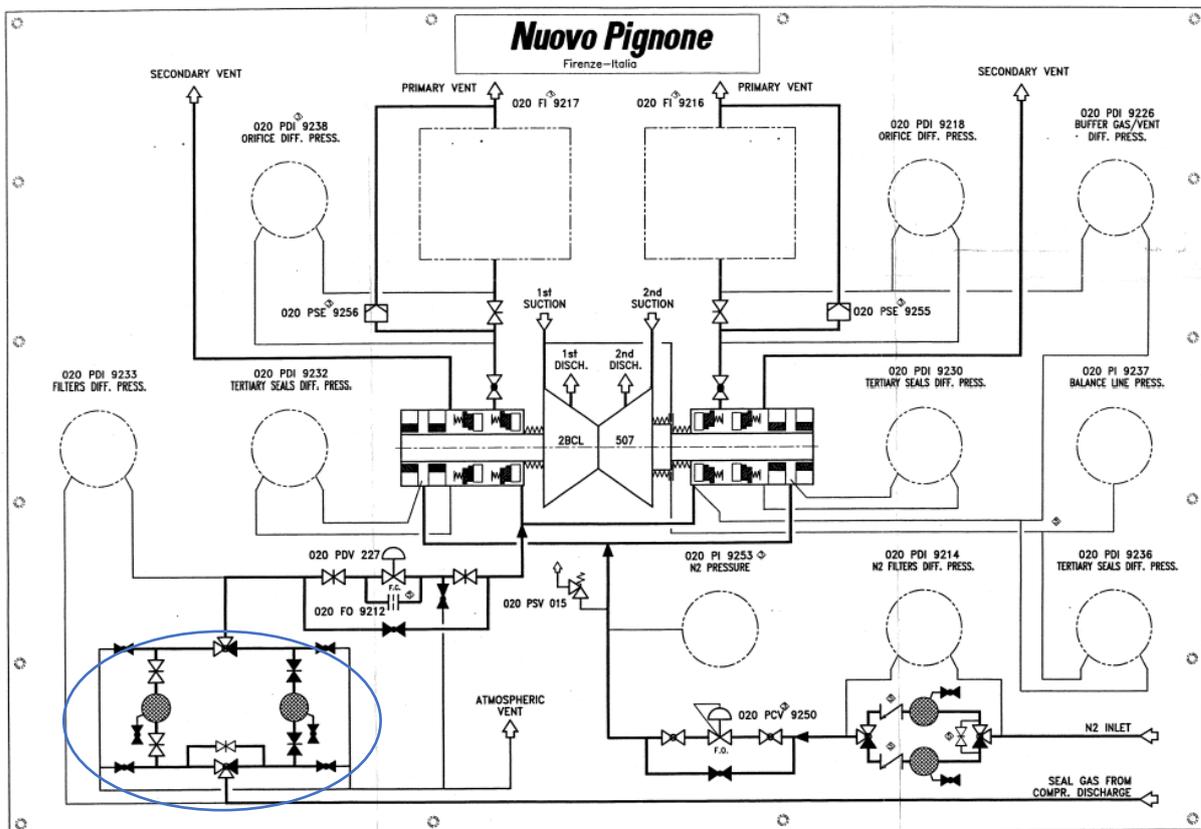
Tabel 4.2 *Maintenance* pada *Demister 010-F03*

No	Waktu	<i>Maintenance Action</i>
1	<i>Turn Around 2010</i>	Pembersihan segmen <i>Demister 010-F03</i>
2	<i>Turn Around 2016</i>	Pembersihan segmen <i>Demister 010-F03</i>
3	<i>Turn Around 2019</i>	Pembersihan segmen <i>Demister 010-F03</i>

Dengan melihat kondisi *demister* 010-F03 yang mengalami kerusakan di beberapa bagian segmen, dapat disimpulkan telah terjadi pengurangan pada *liquid removal efficiency*, dimana menurut standar Lurgi, *liquid removal efficiency* yang harus dimiliki oleh *demister* 010-F03 adalah sebesar 99,9% untuk partikel lebih dari 5 micron.

4.2.3.3 Filter 020-FC01-05A/B

Filter 020-FC01-05A/B merupakan filter yang berfungsi untuk menyaring *buffer gas* sebelum masuk ke komponen internal *dry gas seal* seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Posisi Filter 020-FC01-05A/B

Filter ini menggunakan media yang berasal dari material *Stainless Steel Mesh* 316/316L. Pada periode sebelum *synthesis gas compressor* mengalami kegagalan, 020 PDI 9233, yang merupakan instrumen untuk mengukur *differential pressure*, tidak mendeteksi adanya kenaikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa filter 020-FC01-05A/B bersih. Berdasarkan data yang didapatkan melalui *Maintenance Planning and Controlling Section*, 020-FC01-05A/B terakhir diganti pada masa *Turn Around* 2011. Dari penemuan Filter 020-FC01-05A/B yang didapatkan, bahwa proses filtrasi yang terjadi tidak efektif karena filter relatif bersih namun terdapat kondensat yang masuk menuju ke *dry gas seal*.

4.2.4 Kesimpulan Analisa Data dan Temuan Kerusakan *Dry Gas Seal*

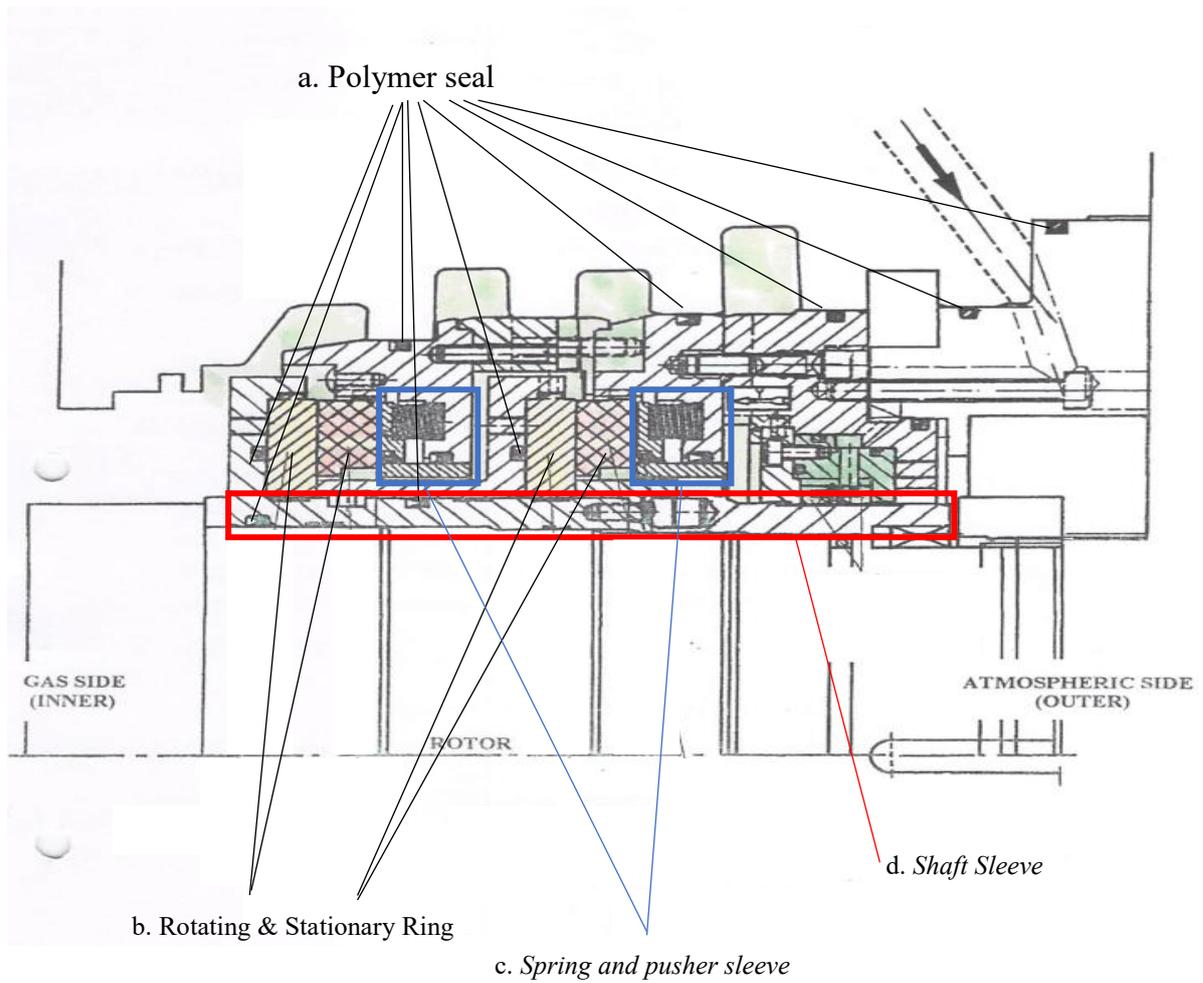
Dari hasil yang telah didapatkan dan dianalisa, dapat disimpulkan kondisi dari *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor* yang mengalami kegagalan pada tanggal 20, 23 dan 26 Januari 2022 adalah sebagai berikut :

1. Telah terjadi *overpressure* pada *primary vent* sisi *outboard dry gas seal* yang ditandai dengan adanya *differential pressure* yang tinggi antara sebelum dan sesudah *orifice* yang terekam melalui instrumen PDI 9238, kemudian *pressure* yang tinggi menyebabkan *rupture disc* 020 PSE 9256 terbuka/mengalami kegagalan
2. Ditemukannya *liquid carry over* yang terdapat pada *synthesis gas compressor* menandakan adanya kondensat yang terbawa oleh *make up gas* ke dalam *compressor*.
3. Berdasarkan data *refurbishment dry gas seal* dibandingkan dengan standar john crane, tidak terjadi kerusakan pada komponen internal *dry gas seal* karena *lifetime* dari *dry gas seal* baru akan berakhir pada bulan November 2025
4. Ditemukan kerusakan pada *Demister* 010-F03, yaitu berkurangnya ketebalan *knitted wire mesh* dan ditemukannya *carbon/black deposit*, menandakan bahwa *demister* 010-F03 bekerja secara tidak optimal dan *Liquid removal efficiency* sebesar 99,9% sesuai standar Lurgi tidak tercapai dan akan ada kondensat yang terbawa oleh *make up gas* menuju ke *synthesis gas compressor*
5. Tidak adanya *differential pressure* pada filter 020-FC01-05A/B, menandakan bahwa filter dalam kondisi bersih.

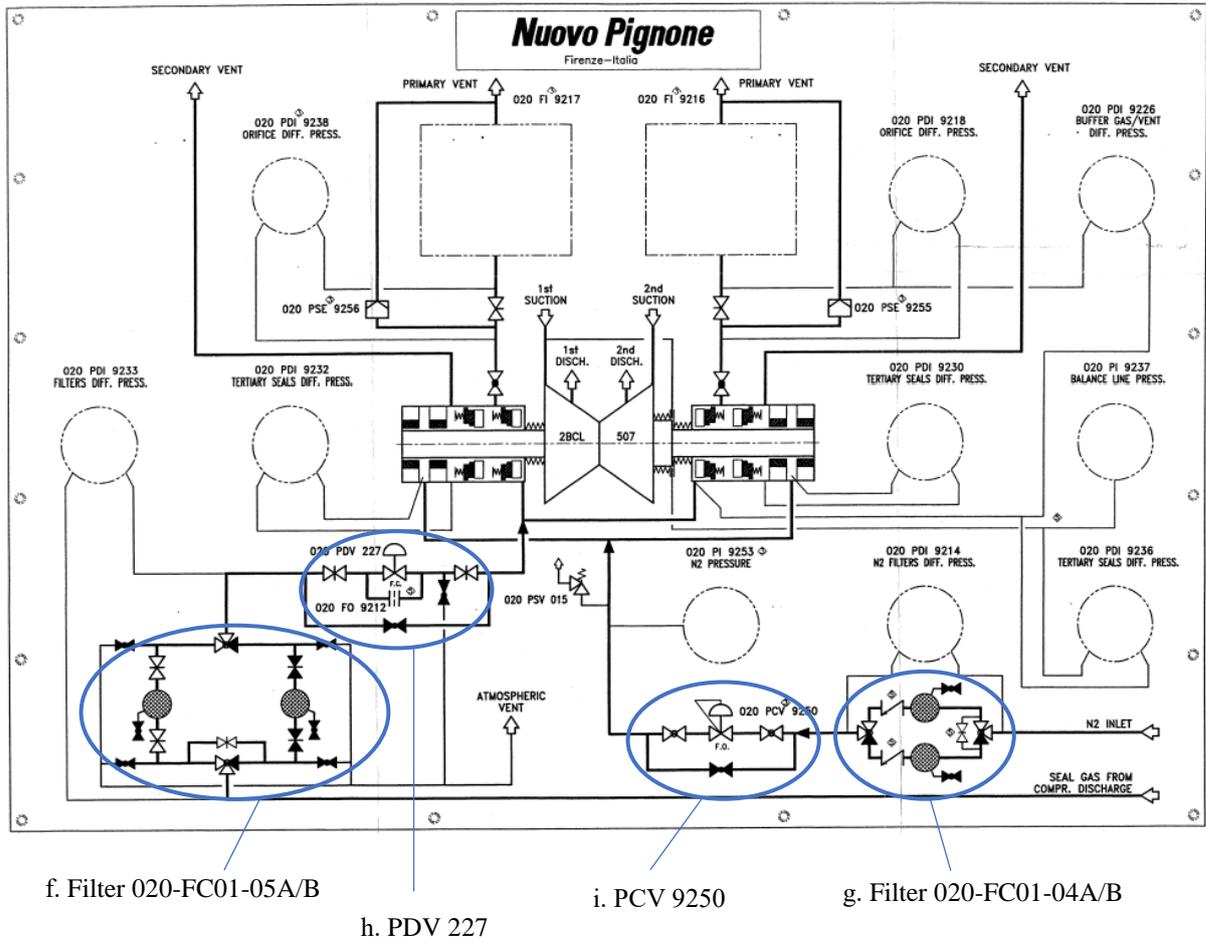
4.3 Analisa Komponen dan Kegagalan yang Dapat Terjadi dengan Metode FMEA

Pada bagian ini, akan dianalisa komponen komponen yang dapat mempengaruhi dan menyebabkan kegagalan pada *dry gas seal*. Komponen tersebut kemudian akan ditentukan fungsi, kegagalan fungsi, mode kegagalan dan efek kegagalannya. Kemudian masing masing akan dikuantitatifkan dengan melakukan pengisian *risk priority number*, dengan mempertimbangkan variabel *severity*, *occurrence* dan *detectability*. Analisa dilakukan dengan menggunakan *FMEA Worksheet*.

Komponen yang akan dianalisa adalah komponen yang berhubungan langsung dengan gas yang dipakai untuk proses *seal*, yaitu *buffer gas* dan N_2 gas. Letak komponen yang akan dianalisa dapat dilihat pada gambar 4.14 dan 4.15, sedangkan posisi *demister* 010-F03 dapat dilihat pada gambar 4.9 dan Instrumentasi pada P&ID di gambar 2.17 pada bab sebelumnya.



Gambar 4.14 Komponen Internal *Dry Gas Seal* yang akan dianalisa



Gambar 4.15 Komponen *Dry Gas Seal* yang akan dianalisa

Komponen yang dianalisa adalah komponen yang dilewati oleh *process gas* pada *synthesis gas compressor*, terbagi menjadi 3, yaitu komponen internal, komponen instrumentasi pendukung dan *demister* 010-F03. Pada gambar 4.14 dan 4.15, terdapat beberapa bagian yang akan dianalisa yang ditunjuk dengan kode alfabet a sampai j. Kode alfabet ini merujuk kepada nomor dan nama komponen yang akan dianalisa sesuai dengan *FMEA worksheet* yang terdapat pada tabel 4.3.

Berikut merupakan hasil dari *FMEA Worksheet* yang telah diisi yang tampak pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 *FMEA Worksheet* pada Komponen *Dry Gas Seal*

No	Nama Komponen	Function	Functional Failure	Failure Mode	Failure Effect	S	O	D	RPN
a	Polymer seal	(1) Mencegah gas keluar komponen, sebagai secondary seal	(A) Polymer seal tidak dapat mencegah gas keluar kompo-nen	(1) Polymer seal longgar dan tidak menutupi celah yang terbentuk	Buffer gas bocor dan keluar dari komponen dry gas seal	6	2	8	96

				dari assembly komponen internal <i>dry gas seal</i>					
b	Rotating & Stationary Ring	(2) Menjaga agar tekanan gas yang keluar tidak tinggi	(A) Terbentuknya gap antara rotating & stationary ring	(1) Adanya kondensat yang menyumbat di antara rotating dan stationary ring	Terbentuk gap sehingga terjadi overpressure pada vent dan menyebabkan resiko ledakan/kebakaran	8	2	8	128
c	Spring & Pusher Sleeve	(3) Menekan stationary ring dan menjaga agar tidak terbentuk gap yang besar antara stationary dan rotating ring	(A) Spring tidak dapat mengembalikan stationary ring ke posisi yang diharuskan	(1) Spring mengalami creep/mulur	Terbentuk gap sehingga terjadi overpressure pada vent dan menyebabkan resiko ledakan/kebakaran	8	2	8	128
d	Shaft sleeve	(4) Membuat Rotating ring berputar dengan RPM yang sama dengan shaft	(A) Rotating ring tidak berputar dengan RPM yang sama dengan shaft	(1) <i>Clearance</i> terlalu besar menyebabkan <i>shaft sleeve</i> tidak dapat mencengkram <i>shaft</i>	Gas menumpuk dan menyebabkan pressure tinggi pada rotating dan stationary ring	8	2	8	128
e	<i>Demister</i> 010-F03	(5) Memfilter make up gas yang akan masuk ke <i>compressor</i>	(A) Make up gas tidak dapat difilter dengan baik	(1) Filter kotor	1. Kondensat yang terbawa dapat menyebabkan korosi 2.	7	5	7	245
				(2) Knitted wire mesh mengalami kerusakan		7	4	7	196

					Kondensat menahan rotating & stationary ring sehingga menimbulkan gap				
f	Filter 020-FC01-05A/B	(6) Memfilter <i>buffer gas</i> yang akan masuk ke <i>dry gas seal</i>	(A) Buffer gas tidak dapat difilter dengan baik	(1) Filter kotor	1. Kondensat yang terbawa dapat menyebabkan korosi	7	5	3	105
				(2) Material dan konfigurasi filter tidak efektif mencegah kondensat masuk	2. Kondensat menahan rotating & stationary ring sehingga menimbulkan gap	7	3	6	126
g	Filter 020-FC01-04A/B	(7) Memfilter N ₂ gas yang akan masuk ke <i>dry gas seal</i>	(A) N ₂ gas tidak dapat difilter dengan baik	(1) Filter kotor	Kondensat yang terbawa dapat menyebabkan korosi	6	6	3	108
h	PDV 227	(8) Mengatur tekanan <i>buffer gas</i> agar lebih tinggi dari <i>make up gas</i>	(A) tekanan <i>buffer gas</i> lebih rendah daripada <i>make up gas</i>	(1) Instrumentasi salah melakukan pembacaan dan persentase valve yang tertutup tinggi	<i>Make up gas</i> masuk dan dapat mengotori <i>dry gas seal</i>	6	3	2	36
i	PCV 9250	(9) Mengatur tekanan N ₂ agar lebih tinggi dari oli di bearing	(A) tekanan N ₂ lebih rendah daripada	(1) Instrumentasi salah melakukan	1. Oli pada <i>bearing</i> masuk dan dapat mengotori	7	3	2	42

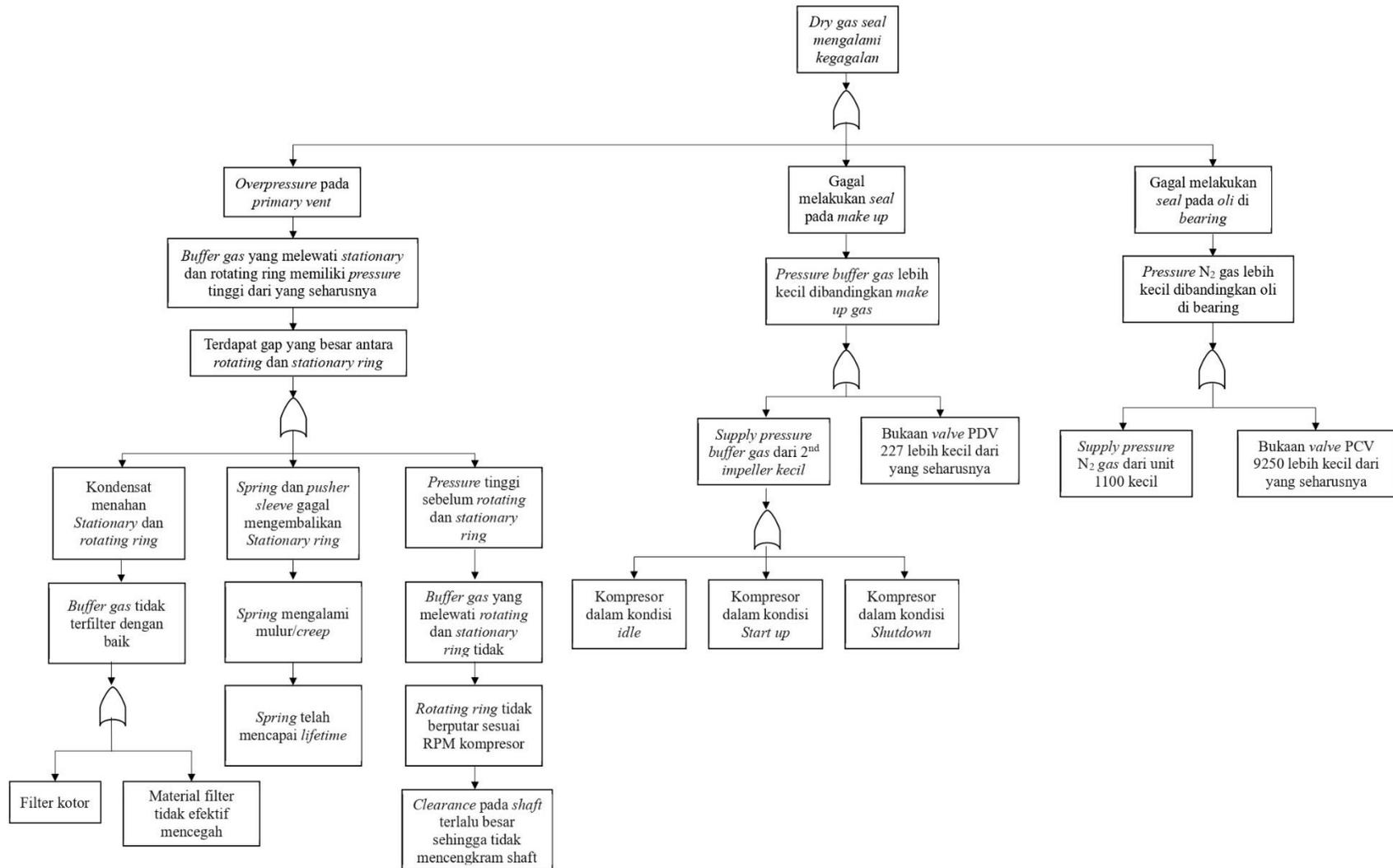
			tekanan oli di bearing	pemba- caan dan persentase valve yang tertutup tinggi	<i>dry gas seal</i> 2. Oli dapat bertemu dengan <i>process gas</i> dan dapat menyebab- kan kebakaran				
j	Instrumen- tation Part	(10) Memonitor variabel yang mempenga- ruhi kinerja Dry gas seal	(A) Variabel tidak dapat terbaca/ salah dalam melaku- kan pemba- caan	(1) Sinyal yang dikirim tidak sesuai dengan kondisi aktual	Kesalahan dalam memperki- rakan dan menentukan kondisi <i>dry gas seal</i>	4	2	3	24
Critical RPN									113,077

Kolom yang terdapat pada FMEA *worksheet* terdiri dari nomor, nama komponen, *function*, *functional failure*, *failure mode*, *failure effect*, S, O, D, RPN dan Critical RPN di akhir tabel. Nomor merupakan kode alfabet yang merujuk pada gambar 4.14 dan 4.15 dengan pengecualian nomor e merujuk pada gambar 4.19 dan nomor j merujuk pada gambar 2.17. S merupakan *severity*. O merupakan *occurrence*. D merupakan *detectability*. RPN merupakan *risk priority number* dan Critical RPN merupakan rata-rata dari total *risk priority number*.

Pada proses analisa komponen dan kegagalan menggunakan FMEA *Worksheet*, didapatkan nilai *risk priority number* yang melebihi nilai *critical* terdapat pada 3 komponen internal *dry gas seal*, yaitu *rotating & stationary ring*, *spring & pusher sleeve*, serta *shaft sleeve*. Nilai tertinggi terdapat pada variabel *severity & Detectability*. Hal ini dikarenakan jika komponen internal mengalami kegagalan, maka proses *seal* tidak dapat berjalan secara optimal sehingga akan ada resiko kebakaran/ledakan karena *process gas* yang bisa keluar ke atmosfer atau bertemu dengan oli pada bearing. Selain itu untuk mengetahui kondisi dari komponen internal *dry gas seal*, maka *dry gas seal* ini harus dibuka terlebih dahulu, yang mana tidak memungkinkan karena *synthesis gas compressor* selalu beroperasi selama 24 jam. Komponen lainnya adalah *demister* 010-F03 dan filter 020-FC01-05A/B. Sistem filtrasi merupakan hal penting pada subunit *dry gas seal* karena berfungsi untuk mengontrol kualitas gas yang akan dipakai untuk proses *seal* pada *dry gas seal*. Jika gas mengandung kondensat maka akan menyebabkan kerusakan pada komponen *internal* dari *dry gas seal*.

4.4 Identifikasi dan Penentuan Akar Masalah Kegagalan

Identifikasi dan penentuan akar masalah dilakukan dengan menggunakan *Fault Tree Analysis*. *Fault tree analysis* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan akar masalah dimana kegagalan dapat terjadi. Berdasarkan fungsi dari *dry gas seal* untuk melakukan proses *seal* terhadap *make up gas* dan oli pada bearing, serta ditemukannya *overpressure* pada *primary vent*, maka akar masalah kegagalan akan ditarik dari ketiga faktor yang menyebabkan kegagalan. Analisa akar masalah kegagalan dapat dilihat pada gambar 4.16 berikut



Gambar 4.16 Fault Tree Analysis Kegagalan Dry Gas Seal

4.5 Usulan Maintenance Task

Pada tahap ini, usulan kegiatan *maintenance* akan dilakukan dengan melakukan pengisian RCM *Decision Worksheet*. RCM *Decision Worksheet* terdiri dari *information reference* berupa *Function*, *Functional Failure* dan *Failure Mode* yang didasarkan pada FMEA *Worksheet* yang telah diisi pada subbab 4.3. Kemudian *Qonsequence Evaluation* yang terdiri dari *Hidden Failure*, *Safety*, *Environment* dan *Operational*. Masing masing kolom akan diisi dengan Y (*yes*) dan N (*no*) sesuai dengan hasil analisa. Setelah itu akan ditentukan kegiatan *maintenance* yang tepat sesuai Komponen yang dianalisa pada FMEA *Worksheet*.

Tabel 4.4 RCM *Decision Worksheet*

RCM DECISION WORKSHEET													
Information Reference			Qonsequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task
							S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	
1	A	1	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Melakukan Penggantian Komponen Internal <i>Dry Gas Seal</i> setiap 5 tahun pemakaian atau 10 tahun total penyimpanan & pemakaian
2	A	1	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	Melakukan Penggantian Komponen Internal <i>Dry Gas Seal</i> setiap 5 tahun pemakaian atau 10 tahun total penyimpanan & pemakaian

3	A	1	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	Melakukan Penggantian Komponen Internal <i>Dry Gas Seal</i> setiap 5 tahun pemakaian atau 10 tahun total penyimpanan & pemakaian
4	A	1	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	Melakukan Penggantian Komponen Internal <i>Dry Gas Seal</i> setiap 5 tahun pemakaian atau 10 tahun penyimpanan & pemakaian
5	A	1	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	Y	N	1. Melakukan pembersihan pada filter setiap 1 tahun sekali 2. Menambah Instrumen <i>Pressure Difference Indicator</i>
5	A	2	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	N	Melakukan Penggantian segmen knitted wire mesh yang rusak sesuai dengan spesifikasi

6	A	1	N	N	N	Y	Y	N	Y	N	N	N	1. Pengecekan dan analisa <i>differential pressure</i> 2. Melakukan penggantian pada filter setiap 1 tahun sekali atau ketika <i>differential pressure tinggi</i>
6	A	2	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y	N	Mengganti material dan konfigurasi yang lebih efektif dalam melakukan filtrasi
7	A	1	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N	N	1. Pengecekan dan analisa <i>differential pressure</i> 2. Melakukan penggantian pada filter setiap 1 tahun sekali atau ketika <i>differential pressure tinggi</i>
8	A	1	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	Melakukan pengecekan terhadap bukaan <i>valve</i> dan <i>pressure</i> yang dihasilkan

9	A	1	N	N	N	Y	N	N	N	Y	N	N	Melakukan pengecekan terhadap bukaan <i>valve</i> dan <i>pressure</i> yang dihasilkan
10	A	1	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	Melakukan pengecekan terhadap hasil pembacaan dan kondisi aktual

Pada RCM *decision worksheet* tabel 4.4, telah didapat *proposed task* dari masing masing komponen *dry gas seal*. Pada komponen internal *dry gas seal* nomor 1, 2, 3 dan 4, komponen harus diganti setiap 5 tahun pemakaian atau 10 tahun total penyimpanan & pemakaian. Hal ini mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh John Crane selaku *manufacturer* dari *dry gas seal* yang ada di PT. Kaltim Methanol Industri. Berikutnya untuk komponen nomor 5 yaitu *demister* 010-F03, dilakukan pembersihan filter setiap 1 tahun sekali. Hal ini dikarenakan proses produksi methanol yang dilakukan selama 24 jam tidak memungkinkan dilakukannya kegiatan *maintenance* kecuali dengan melakukan *shutdown*. Sehingga kegiatan *maintenance* pada *demister* 010-F03 dilakukan ketika *shutdown* atau masa *Turn Around* yang dilakukan setiap 1 tahun sekali. Hal yang sama juga dilakukan pada komponen nomor 6 dan 7, yaitu filter untuk *buffer gas* dan *N₂ gas*. Penggantian filter dilakukan pada masa *Turn Around* tahunan.

4.6 Rekomendasi *Maintenance Task*

Rekomendasi *maintenance task* diambil berdasarkan analisa yang telah dilakukan pada subbab sebelumnya, yaitu terkait temuan temuan pada masa *Turn Around* 2022, Pengisian FMEA *Worksheet*, *Fault Tree Analysis* dan pengisian RCM *Decision Worksheet*. Didapat rekomendasi *maintenance task* untuk subunit *dry gas seal* pada *synthesis gas compressor* 020-C01/C02 seperti pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Rekomendasi *Maintenance Task* pada Subunit *Dry Gas Seal*

No	Nama Komponen	Jenis <i>Maintenance</i>	Kegiatan <i>Maintenance</i>
1	<i>Polymer seal</i>	<i>Preventive Maintenance</i>	Melakukan Penggantian Komponen Internal <i>Dry Gas Seal</i> setiap 5 tahun pemakaian atau 10 tahun total penyimpanan & pemakaian
2	<i>Rotating & Stationary Ring</i>	<i>Preventive Maintenance</i>	Melakukan Penggantian Komponen Internal <i>Dry Gas Seal</i> setiap 5 tahun pemakaian atau 10 tahun total penyimpanan & pemakaian

3	<i>Spring & Pusher Sleeve</i>	<i>Preventive Maintenance</i>	Melakukan Penggantian Komponen <i>Internal Dry Gas Seal</i> setiap 5 tahun pemakaian atau 10 tahun total penyimpanan & pemakaian
4	<i>Shaft sleeve</i>	<i>Preventive Maintenance</i>	Melakukan Penggantian Komponen <i>Internal Dry Gas Seal</i> setiap 5 tahun pemakaian atau 10 tahun total penyimpanan & pemakaian
5	<i>Demister 010-F03</i>	<i>Preventive Maintenance</i>	Melakukan pembersihan pada filter setiap 1 tahun sekali
		<i>Proactive Maintenance</i>	Menambah Instrumen <i>Pressure Difference Indicator</i>
		<i>Corrective Maintenance</i>	Melakukan Penggantian segmen <i>knitted wire mesh</i> yang rusak sesuai dengan spesifikasi
6	Filter 020-FC01-05A/B	<i>Predictive Maintenance</i>	Pengecekan dan analisa <i>differential pressure</i>
		<i>Preventive Maintenance</i>	Melakukan penggantian pada filter setiap 1 tahun sekali atau ketika <i>differential pressure tinggi</i>
		<i>Proactive Maintenance</i>	Mengganti material dan konfigurasi yang lebih efektif dalam melakukan filtrasi
7	Filter 020-FC01-04A/B	<i>Predictive Maintenance</i>	Pengecekan dan analisa <i>differential pressure</i>
		<i>Preventive Maintenance</i>	Melakukan penggantian pada filter setiap 1 tahun sekali atau ketika <i>differential pressure tinggi</i>
8	PDV 227	<i>Predictive Maintenance</i>	Melakukan pengecekan terhadap bukaan <i>valve</i> dan <i>pressure</i> yang dihasilkan
9	PCV 9250	<i>Predictive Maintenance</i>	Melakukan pengecekan terhadap bukaan <i>valve</i> dan <i>pressure</i> yang dihasilkan
10	Instrumentation Part	<i>Predictive Maintenance</i>	Melakukan pengecekan terhadap hasil pembacaan dan kondisi aktual

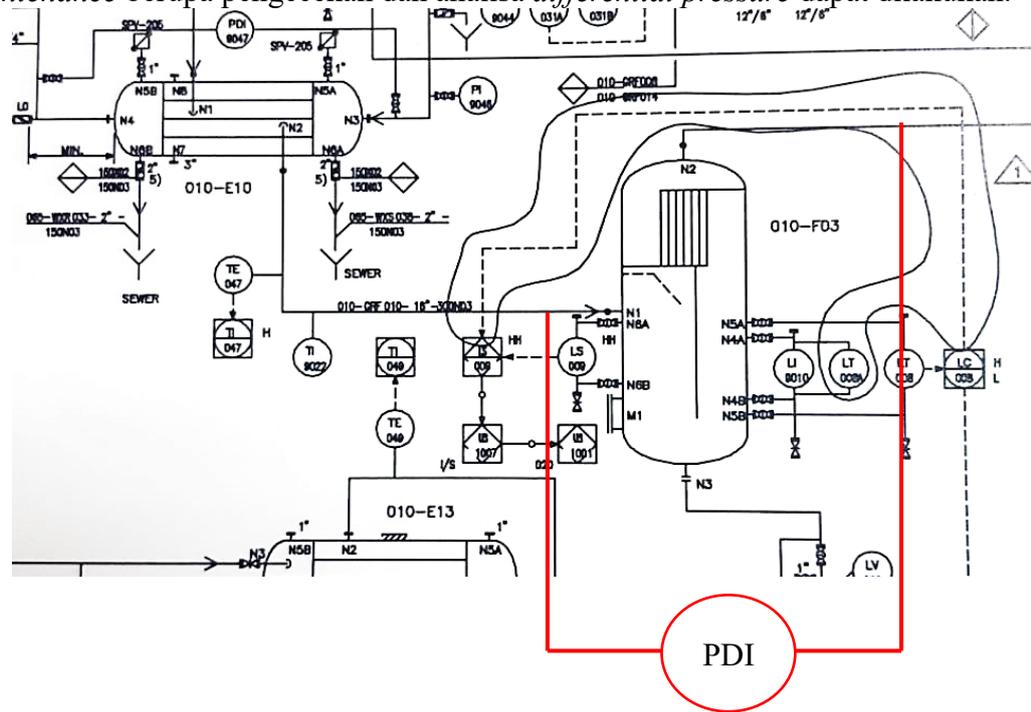
4.6.1 *Proactive Maintenance – Redesign*

Dari hasil rekomendasi *Maintenance task* yang telah dilakukan, ada beberapa komponen yang memerlukan *proactive maintenance* atau *redesign*, yaitu Komponen *Demister 010-F03* dan Filter 020-FC01-05A/B. *Redesign* akan dilakukan sesuai dengan kebutuhan.

4.6.1.1 *Demister 010-F03*

Pada sebuah sistem filtrasi, perlu diketahui *pressure differential* antara *flow inlet* dan *outlet*. Perbedaan tekanan menjadi indikasi filter tersebut kotor atau tidak. Namun, pada instrumentasi yang terpasang di sekitar *Demister 010-F03* tidak terdapat *pressure differential indicator* yang terpasang. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan dalam memperkirakan kondisi dari *demister 010-F03*. Oleh karena itu, diperlukan pemasangan *pressure differential indicator* pada *flow inlet* dan *outlet* seperti yang ditunjukkan pada

gambar 4.17. Dengan adanya *pressure differential indicator*, diharapkan *predictive maintenance* berupa pengecekan dan analisa *differential pressure* dapat dilakukan.

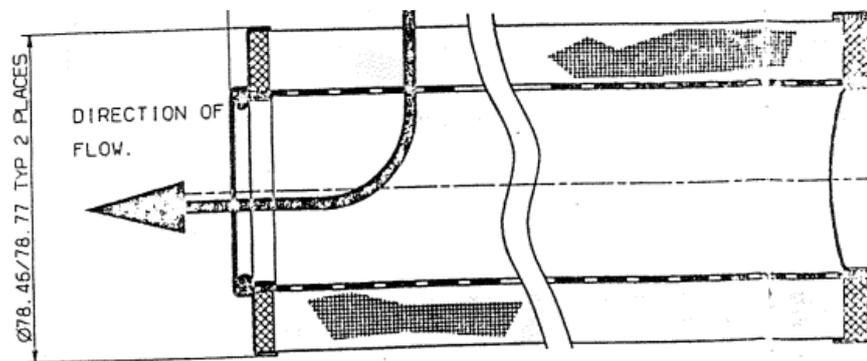


Gambar 4.17 Ilustrasi penambahan *pressure differential indicator* pada demister 010-F03

4.6.1.2 Filter 020-FC01-05A/B

Filter ini berfungsi untuk menyaring *buffer gas* sebelum memasuki komponen *dry gas seal*. Dengan ditemukannya filter 020-FC01-05A/B yang bersih namun adanya kondensat yang lewat dan memasuki komponen *dry gas seal*, maka filter ini kurang efektif dalam melakukan filtrasi. Oleh karena itu dilakukan *proactive maintenance* agar filter dapat lebih efektif dalam melakukan filtrasi.

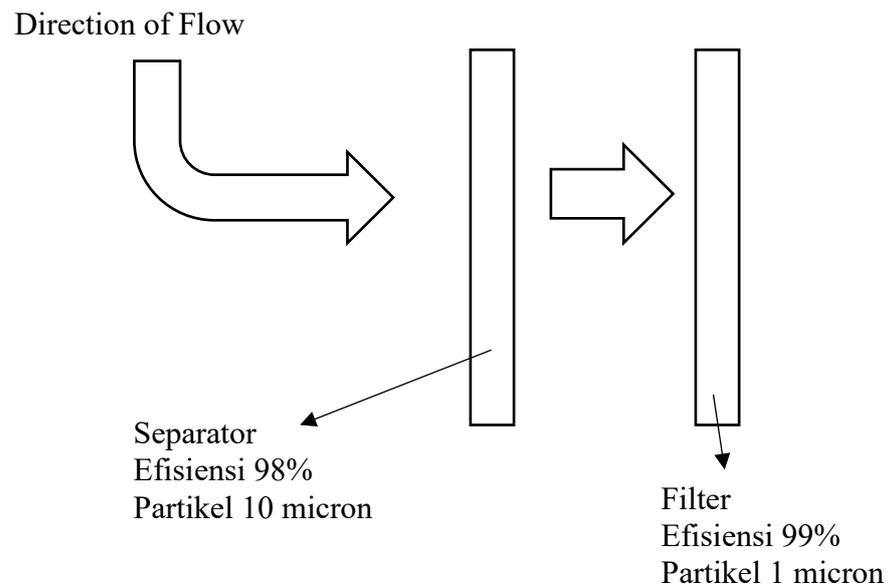
Pada filter 020-FC01-05A/B yang terpasang, hanya dilakukan 1 kali penyaringan seperti pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Ilustrasi proses filtrasi filter 020-FC01-05A/B

Redesign yang dilakukan menggunakan standar API 692, yaitu standar yang digunakan untuk desain *seal gas system*. Menurut API 692, digunakan *coalescing filter*, yaitu penggabungan antara *separator* dan filter. Separator merupakan *barrier* pertama

yang dilewati oleh gas, dengan spesifikasi untuk dapat menyaring partikel dengan ukuran lebih dari 10 micron, dengan efisiensi 98%. Kemudian dilanjutkan dengan filter yang dapat menyaring partikel dengan ukuran hingga 1 micron dengan efisiensi 99%. Hal ini menjadikan proses filtrasi lebih efektif karena gas harus melewati 2 kali proses filtrasi, namun dengan kekurangan yaitu ukuran filter akan lebih besar dibandingkan dengan filter yang lama. Proses filtrasi dapat dilihat pada gambar 4.19



Gambar 4.18 Ilustrasi proses filtrasi dengan *coalescing filter*

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan data dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari analisa data *logsheet* harian dan temuan pada masa *Turn Around 2022*, dapat disimpulkan bahwa telah terjadi *overpressure* pada *primary vent* di sisi *outboard dry gas seal* yang ditandai dengan perbedaan tekanan yang tinggi antara aliran sebelum dan sesudah *orifice* dan *rupture disc* yang mengalami kegagalan. Hal ini disebabkan oleh kondensat berupa *liquid carry over* yang berhasil masuk ke dalam *dry gas seal*. Lolosnya kondensat disebabkan karena *demister* 010-F03 yang mengalami kerusakan di beberapa segmen *knitted wire mesh* dan 020-FC01-05A/B yang tidak optimal dalam melakukan proses filtrasi.
2. Pada Analisa Komponen dan kegagalan menggunakan *FMEA Worksheet*, didapatkan 10 komponen yang dapat berpengaruh pada subunit *dry gas seal*. Dari total 10 komponen, terdapat 12 *failure mode*. Pada perhitungan *risk priority number*, didapatkan komponen *Rotating & stationary ring, spring & pusher sleeve, shaft sleeve, demister* 010-F03 dan filter 020-FC01-05A/B memiliki nilai *risk priority number* yang melebihi batas nilai *critical*.
3. Pada usulan *maintenance task* dengan menggunakan *RCM Decision Worksheet*, didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. 5 *failure mode* dapat dicegah dengan melakukan *predictive maintenance*, yaitu dengan pengecekan dan analisa *pressure differential* untuk filter dan pengecekan pada sistem instrumentasi.
 - b. 7 *failure mode* dapat dicegah dengan melakukan *preventive maintenance*, yaitu dengan melakukan pembersihan dan penggantian filter, serta penggantian komponen secara berkala.
 - c. 2 *failure mode* dapat dicegah dengan melakukan *proactive maintenance*, yaitu dengan menambah *pressure differential indicator* dan melakukan penggantian material dan konfigurasi sesuai API 692.
 - d. 1 *failure mode* dapat dicegah dengan melakukan *corrective maintenance*, yaitu mengganti komponen saat terjadi kerusakan.

5.2 Saran

1. Metode Root Cause Failure Analysis dapat dilakukan pada subunit lain pada *synthesis gas compressor* dan unit lainnya agar dapat diketahui potensi kegagalan dan dapat dicegah sebelum terjadi dengan melakukan proses *maintenance yang tepat*.
2. Adanya panduan kegiatan *maintenance* pada subunit yang ada agar proses *maintenance* dapat dilakukan dengan lebih teratur dan terarah, serta lebih mudah untuk dilakukan pengawasan
3. Adanya pengecekan dan analisa yang lebih mendalam dari sisi komponen internal *dry gas seal* setelah dibuka untuk lebih memvalidasi penyebab kegagalan dari subunit *dry gas seal*

DAFTAR PUSTAKA

- Danuputro, Sebastianus Dwi. 2015. Investigasi Penyebab Kerusakan Chain Bucket Elevator pada 7TH Finish Mill Transport System Area di Tuban IV PT. Semen Gresik. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- David L. Ransom. 2007. A Practical Guideline for Successful Root Cause Failure Analysis, Proceedings of the thirty-sixth turbomachinery symposium. Texas: San Antonio
- Dewi, D. L. 2017. Perancangan dan Penerapan Sistem Pemeliharaan dengan Metode Reliability Centered Maintenance (Studi Kasus: Automatic Block Subsystem Hard Capsule Machine PT Kapsulindo Nusantara). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mobley Keith. R., Lindley R. Higgins dan Darrin J. Wikoff. 2008. Maintenance Engineering Handbook Seventh Edition. New York: Mc Graw Hill
- NASA. 2008. RCM Guide For Facilities and Collateral Equipment. United States of America: NASA
- Prayoga, Sopan. 2016. Analisa Kegagalan Pipa Udara A312 Tipe 304H Pada Line A-1011-14” (25P2J) Unit Amonia PT. Petrokimia Gresik. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Qosim, Nanang. 2017. Analisis Kegagalan Kompresor Torak PK 60-150 dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis. Depok: Universitas Indonesia
- Ramachandran, V., Ragurham, A.C, Krisnan, R.V., Bhaumik, S.K. 2004. Failure Analysis of Engineering Structures: Methodology and Case Histories. Bangalore, India: ASM Internasional.
- Saputra, Riswan Adhitya. 2021. Pengembangan Model Gas Conditioning Unit Dalam Sistem Seal Gas di Kompresor Sentrifugal Man Turbo RB28-5: Studi Kasus Kerusakan Komponen Dry Gas Seal. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Stamatelatos, Michael dkk. 2002. Fault Tree Handbook with Aerospace Application. Washington D.C.
- Stamatis, D.H. 2003. Failure Mode and Effect Analysis FMEA from Theory to Execution. Wisconsin: ASQC Quality Press
- Utama, Hanif Perwira. 2018. Perancangan Manajemen Pemeliharaan Bucket Elevator System Finish Mill 8 di Pabrik PT Semen Indonesia (PERSERO) Tuban IV dengan Metode Reliability Centered Maintenance. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Wulandari, T. (2011). Analisa Kegagalan Sistem dengan Fault Tree. Depok: Universitas Indonesia

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bontang, 28 Januari 2000, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Yabis Bontang, SD IT Asy-Syaamil Bontang, SMP IT Daarul Hikmah Bontang dan SMA Pribadi Bandung. Setelah lulus dari SMA tahun 2018, Penulis menempuh jenjang kuliah di Departemen Teknik Mesin FTIRS - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 02111840000100.

Selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Mesin ITS Surabaya, penulis sempat aktif di beberapa kegiatan kepanitiaan dan BEM FTIRS ITS sebagai Kepala Biro Minat dan Bakat. Selain itu penulis sempat aktif dalam kepanitiaan sebagai pemandu LKMM ITS.

Selama perkuliahan, penulis mengambil fokus studi pada bidang manufaktur, tepatnya pada rekayasa sistem dan kontrol dengan tugas akhir yang berfokus pada analisa kerusakan dan *maintenance*. Penulis pernah melakukan Kerja Praktik di PT. PJB UP Gresik dan melakukan magang di PT. Kaltim Methanol Industri. Penulis dapat dihubungi melalui alamat surel mLuqmanalhakim28@gmail.com