

TUGAS AKHIR - TF 181801

IMPLEMENTASI FAILURE MODE EFFECT AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA) DAN RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PADA AMINE REGENERATION SYSTEM DI PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED

M FATHUR AL FAROBI
NRP. 02311940000142

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc.
NIP.196009011987011001

Program Studi S1 Teknik Fisika
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024



Tugas Akhir - TF 181801

IMPLEMENTASI FAILURE MODE EFFECT AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA) DAN RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PADA AMINE REGENERATION SYSTEM DI PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED

M FATHUR AL FAROBI

NRP 02311940000142

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc.

NIP.196009011987011001

Program Studi S1 Teknik Fisika

Departemen Teknik Fisika

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024



FINAL PROJECT - TF 181801

IMPLEMENTATION OF FAILURE MODE EFFECT AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA) AND RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) IN THE AMINE REGENERATION SYSTEM AT PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED

M FATHUR AL FAROBI
NRP 02311940000142

Advisor

Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc.
NIP.196009011987011001

Study Program Bachelor of Engineering Physics
Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama Mahasiswa / NRP : M Fathur Al Farobi / 02311940000142

Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika

Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc. / 196009011987011001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “*Implementasi Failure Mode Effect Criticality Analysis (FMECA) dan Reliability Centered Maintenance (RCM)* pada *Amine Regeneration System* di PT. SAKA Indonesia Pangkah Limited” adalah hasil karya saya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 30 Januari 2024

Mengetahui

Mahasiswa,

Dosen Pembimbing

Materai

6000

(Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc.)

(M Fathur Al Farobi)

NIP. 196009011987011001

NRP. 02311940000142

Halaman ini sengaja dikosongkan

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : M Fathur Al Farobi / 02311940000142

Department : Engineering Physics

Advisor / NIP : Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc. / 196009011987011001

hereby declare that the Final Project with the title of “Implementation Of Failure Mode Effect Criticality Analysis (FMECA) AND Reliability Cetered Maintenance (RCM) In The Amine Regeneration System At PT. Saka Indonesia Pangkah Limited” is 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, 30 January 2024

Acknowledged

Advisor

Student

(Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc.)

NIP. 196009011987011001

(M Fathur Al Farobi)

NRP. 02311940000142

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

IMPLEMENTASI FAILURE MODE EFFECT CRITICALITY ANALYSIS (FMECA) DAN RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PADA AMINE REGENERATION SYSTEM DI PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Sarjana Teknik Fisika
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **M Fathur Al Farobi**

NRP. 02311940000142

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | |
|--|--------------|
| 1. Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc. | Pembimbing I |
| 2. Ir. Harsono, M.Sc., Ph.D. | Penguji |
| 3. Dr. Muhammad Khamim Asy'ari, S.T., M.T. | Penguji |
| 4. Dr.rer.nat. Ruri Agung Wahyuono, S.T., M.T. | Penguji |

SURABAYA

Januari, 2024

Halaman ini sengaja dikosongkan

APPROVAL SHEET

IMPLEMENTATION OF FAILURE MODE EFFECT AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA) AND RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) IN THE AMINE REGENERATION SYSTEM AT PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree Bachelor of Engineering at
Undergraduate Study Program of Engineering Physics
Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

M Fathur Al Farobi

NRP. 02311940000142

Approved by the Final Assignment Examining Team:

- | | |
|--|----------|
| 1. Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc. | Advisor |
| 2. Ir. Harsono, M.Sc., Ph.D. | Examiner |
| 3. Dr. Muhammad Khamim Asy'ari, S.T., M.T. | Examiner |
| 4. Dr.rer.nat. Ruri Agung Wahyuono, S.T., M.T. | Examiner |

SURABAYA

January, 2024

Halaman ini sengaja dikosongkan

**IMPLEMENTASI FAILURE MODE EFFECT AND CRITICALITY
ANALYSIS (FMECA) DAN RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE
(RCM) PADA AMINE REGENERATION SYSTEM DI PT. SAKA
INDONESIA PANGKAH LIMITED**

Nama Mahasiswa / NRP : M Fathur Al Farobi / 023119400001

Departemen : Teknik Fisika FTIRS – ITS

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc.

Abstrak

Penelitian tugas akhir ini telah dilakukan identifikasi sistem, analisis kualitatif, dan analisis kuantitatif. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui *equipment unit* kritis penyusun *amine regeneration system*, serta menentukan jenis dan jadwal perawatan yang efektif untuk mencegah terjadinya kegagalan dan meningkatkan keandalan. Metode pertama yang digunakan adalah metode kualitatif dengan *Failure Mode Effect Criticality Analysis (FMECA)* yang berguna untuk menentukan jenis, penyebab, dan dampak kegagalan dari *equipment*, menentukan *equipment* kritis berdasarkan nilai *Risk Priority Number (RPN)* dan *Critically Analysis (CA)*, serta menentukan jenis perawatan untuk mengatasi setiap kegagalan yang terjadi pada *equipment* penyusun sistem dengan *Reliability Centered Maintenance (RCM) Decision Worksheet*. Metode kedua adalah metode kuantitatif dengan evaluasi keandalan untuk mengetahui interval waktu perawatan *equipment unit*, serta evaluasi *preventive maintenance* untuk meningkatkan nilai keandalan dari *equipment unit*. *Equipment unit* kritis penyusun *amine regeneration system* antara lain, *rich amine exchanger*, *hot lean amine pump*, *amine mechanical filter*, *solvent filter*, *amine reflux drum*, dan *amine reflux pump* yang diperoleh berdasarkan hasil *critically analysis*. Jenis perawatan yang efektif pada *equipment unit* ditentukan berdasarkan *failure mode* dengan nilai RPN tertinggi. Jadwal perawatan *equipment unit* ditentukan berdasarkan waktu operasi pada saat nilai *reliability equipment unit* $R(t) = 55\%$, serta *preventive maintenance (PM)* pada *equipment unit* dengan jenis laju kegagalan IFR (*increasing failure rate*).

Kata Kunci: *Amine Regeneration System, FMECA, RCM, Preventive Maintenance*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**IMPLEMENTATION OF FAILURE MODE EFFECT AND
CRITICALITY ANALYSIS (FMECA) AND RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE (RCM) IN THE AMINE REGENERATION SYSTEM
AT PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED**

Student Name /NRP : M Fathur Al Farobi /02311940000142

Department : Teknik Fisika FTIRS – ITS

Advisor : Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M Sc.

Abstract

This final project research has carried out system identification, qualitative analysis, and quantitative analysis. The purpose of this research is to determine the critical unit equipment that makes up the amine regeneration system, as well as determine the type and schedule of effective maintenance to prevent failure and increase reliability. The first method used is a qualitative method with Failure Mode Effective Criticality Analysis (FMECA) which is useful for determining the type, cause and impact of equipment failure, determining critical equipment based on the Risk Priority Number (RPN) and Critically Analysis (CA) values, and determining type of maintenance to overcome any failures that occur on the equipment that makes up the system with the Reliability Centered Maintenance (RCM) Decision Worksheet. The second method is a quantitative method with reliability evaluation to determine the time interval for equipment unit maintenance, as well as preventive maintenance evaluation to increase the reliability value of the equipment unit. The critical unit equipment that makes up the amine regeneration system includes rich amine exchanger, hot lean amine pump, amine mechanical filter, solvent filter, amine reflux drum, and amine reflux pump which were obtained based on the results of critical analysis. The type of effective maintenance on unit equipment is determined based on the failure mode with the highest RPN value. The equipment unit maintenance schedule is determined based on operating time when the equipment unit reliability value is $R(t) = 55\%$, as well as preventive maintenance (PM) on equipment units with the IFR (increasing failure rate) type of failure rate.

Keywords: Amine Regeneration System, FMECA, RCM, Preventive Maintenance

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, dan kebesaran-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir Teknik Fisika ITS dengan judul “*Implementasi Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Failure Mode Effect Criticality Analysis (FMECA)* pada *Amine Regeneration System* di PT. SAKA Indonesia Pangkah Limited. Selama menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T selaku Kepala Departemen Teknik Fisika
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc. selaku dosen pembimbing
3. Bapak Khamim Asyari yang memberi arahan dalam penggerjaan Tugas Akhir
4. Keluarga di rumah yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan proses Tugas Akhir
5. Alif dan Faishal selaku teman dalam pengambilan data Tugas Akhir
6. Alm. Fadhil, Faajid, Gamal, Farhan selaku sahabat terbaik
7. Teman-teman asisten Laboratorium PKRK

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Penulis menyadari Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis sangat terbuka terhadap saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Tanggal 12 Januari 2024

M Fathur Al Farobi

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
LEMBAR PENGESAHAN	ix
APPROVAL SHEET.....	xi
Abstrak	xiii
Abstract.....	xv
KATA PENGANTAR.....	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxii
DAFTAR TABEL	xxvii
DAFTAR SIMBOL.....	xxix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Amine Regeneration System	5
2.2 Keandalan (<i>Reliability</i>)	6
2.3 Laju Kegagalan (<i>Failure Rate</i>)	7
2.4 Distribusi Kegagalan (<i>Failure Rate Distribution</i>)	7
2.5 Keterawatan (<i>Maintainability</i>).....	10
2.6 Ketersediaan (<i>Availability</i>)	12
2.7 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	12
2.8 Langkah – Langkah Penerapan RCM	12

2.9	Fungsi dan Standar Kinerja (<i>System Functions and Performance Standard</i>)	14
2.10	<i>Failure Mode Effect Criticality Analysis (FMECA)</i>	14
2.11	Konsekuensi Kegagalan (<i>Failure Consequences</i>)	17
2.12	Teknik Penanganan Kegagalan (<i>Failure Management Techniques</i>)	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Identifikasi Masalah dan Studi Literatur	22
3.2	Pengumpulan Data dan Identifikasi Sistem, Unit, dan Komponen	22
3.3	Pengolahan Data	26
3.4	Menentukan Manajemen Perawatan	30
3.5	Jenis dan Jadwal Perawatan <i>Equipment Unit Amine Regeneration System</i>	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Analisis Kualitatif	31
4.2	Analisis Kuantitatif	46
4.3	Jenis dan Jadwal Perawatan <i>Equipment Unit Amine Regeneration System</i>	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN A		67
LAMPIRAN B		69
LAMPIRAN C		71
LAMPIRAN D		77
LAMPIRAN E		83
LAMPIRAN F		99
LAMPIRAN G		115
LAMPIRAN H		121

LAMPIRAN I.....	127
BIODATA PENULIS.....	130

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	21
Gambar 3.2 <i>Process Flow Diagram Amine Regeneration System</i>	23
Gambar 3.3 <i>Flowchart RCM decision worksheet</i>	27
Gambar 4.1 <i>Amine Contactor</i>	31
Gambar 4.2 Keandalan <i>amine contactor</i>	47
Gambar 4.3 Keandalan <i>amine overhead gas ko drum</i>	47
Gambar 4.4 Keandalan <i>amine flash drum</i>	48
Gambar 4.5 Keandalan <i>rich amine filter</i>	49
Gambar 4.6 Keandalan <i>rich amine exchanger</i>	50
Gambar 4.7 Keandalan <i>amine regenerator</i>	50
Gambar 4.8 Keandalan <i>amine regenerator re-boiler</i>	51
Gambar 4.9 Keandalan <i>hot lean amine pump</i>	52
Gambar 4.10 Keandalan <i>amine mechanical filter</i>	53
Gambar 4.11 Keandalan <i>amine carbon filter</i>	53
Gambar 4.12 Keandalan <i>amine surge vessel</i>	54
Gambar 4.13 Keandalan <i>solvent filter</i>	55
Gambar 4.14 Keandalan <i>amine reflux drum</i>	56
Gambar 4.15 Keandalan <i>amine reflux pump</i>	56
Gambar 4.16 Keandalan <i>amine drain vessel</i>	57
Gambar 4.17 Laju kegagalan <i>rich amine exchanger</i>	59
Gambar 4.18 Keandalan <i>rich amine exchanger</i> dengan PM	59
Gambar 4.19 Laju kegagalan <i>amine reflux drum</i>	60
Gambar 4.20 Keandalan <i>amine reflux drum</i> dengan PM.....	60
Gambar 4.21 Laju kegagalan <i>amine reflux pump</i>	61
Gambar 4.22 Keandalan <i>amine reflux pump</i> dengan PM	61
Gambar F.1 <i>Availability amine contactor</i>	100
Gambar F.2 <i>Maintainability amine contactor</i>	100
Gambar F.3 <i>Availability amine overhead gas ko drum</i>	101
Gambar F.4 <i>Maintainability amine overhead gas ko drum</i>	101
Gambar F.5 <i>Availability amine flash drum</i>	102
Gambar F.6 <i>Maintainability amine flash drum</i>	102

Gambar F.7 Availability rich amine filter.....	103
Gambar F.8 Maintainability rich amine filter	103
Gambar F.9 Availability rich amine exchanger.....	104
Gambar F.10 Maintainability rich amine exchanger.....	104
Gambar F.11 Availability amine regenerator.....	105
Gambar F.12 Maintainability amine regenerator	105
Gambar F.13 Availability amine regenerator re-boiler.....	106
Gambar F.14 Maintainability amine regenerator re-boiler	106
Gambar F.15 Availability hot lean amine pump	107
Gambar F.16 Maintainability hot lean amine pump.....	107
Gambar F.17 Availability amine mechanical filter.....	108
Gambar F.18 Maintainability amine mechanical filter	108
Gambar F.19 Availability amine carbon filter.....	109
Gambar F.20 Maintainability amine carbon filter	109
Gambar F.21 Availability amine surge vessel	110
Gambar F.22 Maintainability amine surge vessel	110
Gambar F.23 Availability solvent filter.....	111
Gambar F.24 Maintainability solvent filter	111
Gambar F.25 Availability amine reflux drum	112
Gambar F.26 Maintainability amine reflux drum.....	112
Gambar F.27 Availability amine reflux pump.....	113
Gambar F.28 Maintainability amine reflux pump	113
Gambar F.29 Availability amine drain vessel.....	114
Gambar F.30 Maintainability amine drain vessel	114
Gambar G.1 Failure rate amine contactor	116
Gambar G.2 Failure rate amine overhead gas ko drum	116
Gambar G.3 Failure rate amine flash drum	116
Gambar G.4 Failure rate rich amine filter	117
Gambar G.5 Failure rate rich amine exchanger	117
Gambar G.6 Failure rate amine regenerator	117
Gambar G.7 Failure rate amine regenerator re-boiler	118
Gambar G.8 Failure rate hot lean amine pump	118
Gambar G.9 Failure rate amine mechanical filter	118

Gambar G.10	<i>Failure rate amine carbon filter</i>	119
Gambar G.11	<i>Failure rate amine surge vessel</i>	119
Gambar G.12	<i>Failure rate solvent filter</i>	119
Gambar G.13	<i>Failure rate amine reflux drum.....</i>	120
Gambar G.14	<i>Failure rate amine reflux pump</i>	120
Gambar G.15	<i>Failure rate amine drain vessel</i>	120

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar <i>failure mode</i>	14
Tabel 2.2 Skala Penentuan Nilai <i>Severity (S)</i>	15
Tabel 2.3 Skala Penentuan <i>Occurrance (O)</i>	16
Tabel 2.4 Skala Penentuan <i>Detection (D)</i>	16
Tabel 2.5 Skala Penentuan Nilai <i>Criticality</i>	17
Tabel 3.1 Deskripsi Fungsi Komponen, Fungsi Kegagalan, dan FMEA	27
Tabel 3.2 <i>Decision worksheet</i> dari RCM II	27
Tabel 4.1 Deskripsi FMEA <i>amine contactor</i>	32
Tabel 4.2 <i>Decision worksheet amine contactor</i>	32
Tabel 4.3 Deskripsi FMEA <i>amine overhead gas ko drum</i>	33
Tabel 4.4 <i>Decision worksheet amine overhead gas ko drum</i>	33
Tabel 4.5 Deskripsi FMEA <i>amine flash drum</i>	34
Tabel 4.6 <i>Decision worksheet amine flash drum</i>	34
Tabel 4.7 Deskripsi FMEA <i>rich amine filter</i>	35
Tabel 4.8 <i>Decision worksheet rich amine filter</i>	35
Tabel 4.9 Deskripsi FMEA <i>rich amine exchanger</i>	36
Tabel 4.10 <i>Decision worksheet rich amine exchanger</i>	36
Tabel 4.11 Deskripsi FMEA <i>Amine Regenerator</i>	36
Tabel 4.12 <i>Decision worksheet amine regenerator</i>	37
Tabel 4.13 Deskripsi FMEA <i>amine regenerator re-boiler</i>	37
Tabel 4.14 <i>Decision worksheet amine regenerator re-boiler</i>	37
Tabel 4.15 Deskripsi FMEA <i>hot lean amine pump</i>	38
Tabel 4.16 <i>Decision worksheet hot lean amine pump</i>	38
Tabel 4.17 Deskripsi FMEA <i>amine mechanical filter</i>	39
Tabel 4.18 <i>Decision worksheet amine mechanical filter</i>	39
Tabel 4.19 Deskripsi FMEA <i>amine carbon filter</i>	40
Tabel 4.20 <i>Decision worksheet amine carbon filter</i>	40
Tabel 4.21 Deskripsi FMEA <i>amine surge vessel</i>	40
Tabel 4.22 <i>Decision worksheet amine surge vessel</i>	41
Tabel 4.23 Deskripsi FMEA <i>solvent filter</i>	41
Tabel 4.24 <i>Decision worksheet solvent filter</i>	42
Tabel 4.25 Deskripsi FMEA <i>amine reflux drum</i>	42

Tabel 4.26 Decision worksheet amine reflux drum	42
Tabel 4.27 Deskripsi FMEA amine reflux pump	43
Tabel 4.28 Decision worksheet amine reflux pump	43
Tabel 4.29 Deskripsi FMEA amine drain vessel	44
Tabel 4.30 Decision worksheet amine drain vessel	44
Tabel 4.31 Analisis titik kritis equipment unit amine regeneration system.....	45
Tabel 4.32 Parameter distribusi data TTF dan TTR	46
Tabel 4.33 Rekomendasi maintenance equipment unit amine regeneration system.	58
Tabel 4.34 Jenis dan jadwal perawatan equipment unit amine regeneration system	62

DAFTAR SIMBOL

A(t)	= <i>Availability</i>
C	= <i>Critically Analysis</i>
CFR	= <i>Constant Failure Rate</i>
CO ₂	= Karbon Dioksida
Cr	= <i>Critically Number</i>
D	= <i>Detection</i>
DFR	= <i>Decreasing Failure Rate</i>
F	= <i>Function</i>
F(t)	= <i>Cummulative Distribution Function (CDF)</i>
f(t)	= <i>Probability Density Function (PDF)</i>
FC	= <i>Failure Consequence</i>
FF	= <i>Function Failure</i>
FM	= <i>Failure Mode</i>
FMECA	= <i>Failure Mode Effect and Criticality Analysis</i>
H S E O	= <i>Hidden Safety Environment Operational</i>
H ₂ S	= Hidrogen Sulfida
IFR	= <i>Increasing Failure Rate</i>
M(t)	= <i>Maintainability</i>
MTTF	= <i>Mean Time to Failure</i>
MTTR	= <i>Mean Time to Repair</i>
O	= <i>Occurrence</i>
P&ID	= <i>Piping and Instrument Diagram</i>
PFD	= <i>Process Flow Diagram</i>
PM	= <i>Preventive Maintenance</i>
R(t)	= <i>Reliability Function</i>
RCM	= <i>Reliability Centered Maintenance</i>
RPN	= <i>Risk Priority Number</i>
R(T) ⁿ	= Probabilitas ketahanan sampai dengan PM ke-n
R(t - nT)	= Probabilitas ketahanan selama jangka waktu t-nT
S	= <i>Saverity</i>
T	= Total waktu operasi

t	= Waktu
TTF	= <i>Time to Failure</i>
TTR	= <i>Time to Repair</i>
β	= Bentuk parameter (<i>shape parameter</i>)
η	= Parameter skala (<i>scale parameter</i>)
μ	= Rata-rata data
σ	= Simpangan baku
$\lambda(t)$	= <i>Failure Rate</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri minyak dan gas sangat berpengaruh terhadap pembangunan nasional, terutama dalam pemenuhan kebutuhan energi dan bahan baku industri. Gas bumi adalah suatu campuran hidrokarbon gas dengan kandungan gas metana sebagai komponen terbanyak. Gas bumi dijumpai dalam sumur (*reservoir*) baik bergabung dengan minyak bumi sebagai *associated gas*; atau dalam sumur gas tanpa kandungan minyak bumi, sebagai *non-associated gas*. Gas bumi kering (*dry natural gas*) tidak mengandung hidrokarbon tinggi atau kondensat, tetapi gas bumi yang mengandung hidrokarbon cair di atas 0.3 gal/ MCF, maka gas tersebut dikategorikan sebagai gas basah (*wet gas*) (A.S.Nasution, 2011).

Gas bumi yang keluar dari sumur mengandung senyawa hidrokarbon cair harus dilakukan proses pemisahan dengan *separator* sebelum memasuki proses *gas sweetening*. *Gas Sweetening Process* adalah proses pemurnian gas alam bertujuan untuk membersihkan gas alam dari kandungan yang tidak diinginkan seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan karbon dioksida (CO_2) (Havard, OIL AND GAS PRODUCTION HANDBOOK, 2008). Hidrogen sulfida (H_2S) merupakan polutan berbahaya dan bersifat beracun korosif, dan asam. Hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dikarenakan sifat korosifnya dan juga dapat menyebabkan kematian manusia (Ahmed Y. Ibrahim, 2021). Serta kandungan karbon dioksida pada gas alam, juga dapat menimbulkan korosi (*corrosion*) pada peralatan yang terbuat dari besi, sehingga menyebabkan masalah pada proses operasi industri (J.Kittel, 2009).

Sistem pemurnian gas (*gas sweetening system*) terjadi pada *Amine Regeneration Unit* yang berfungsi untuk memproses *rich amine* dari semua unit kilang menjadi *lean amine*. *Lean amine* kemudian didaur ulang untuk menyerap H_2S di semua unit kilang sehingga menghasilkan *sweet gas stream* (Ahmed Y. Ibrahim, 2021). *Amine regeneration system* dirancang untuk meregenerasi larutan *amine* untuk digunakan kembali sebagai media penghilang H_2S dan CO_2 dari gas asam (Saka Indonesia Pankah Limited, 2009). Oleh karena itu, sistem *amine regeneration* harus beroperasi dengan baik sehingga gas yang dihasilkan tidak mengandung senyawa asam. Berdasarkan uraian diatas, maka *amine regeneration unit* tersebut perlu dilakukan evaluasi karena fluida gas pada sistem ini mengandung senyawa H_2S dan CO_2 yang dapat menyebabkan korosi pada komponen sehingga terjadinya kegagalan yang berdampak

pada sistem kerja secara keseluruhan. Dalam rangka menghindari gangguan proses produksi, manajemen pemeliharaan suatu perusahaan memerlukan strategi perawatan yang tepat untuk mengoptimalkan pemeliharaan dan program manajemen keandalan. Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan (Wahyudi, 2010). Usaha untuk meningkatkan keandalan dari suatu sistem, dibutuhkan metode perawatan yang berkaitan dengan fungsi waktu operasi dan kegagalan komponen saat proses produksi.

Jenis kegiatan perawatan (*maintenance*) yang dilakukan oleh PT. SAKA Indonesia Pangkah Limited adalah *corrective maintenance* dan *preventive maintenance*. Kegiatan *preventive maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan sebelum kerusakan terjadi, sedangkan *corrective maintenance* yaitu perawatan yang dilakukan apabila kerusakan terjadi dan diperlukan perbaikan segera. *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dapat dikatakan sebagai pendekatan perawatan yang mengkombinasikan antara *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* untuk memanfaatkan umur dan fungsi aset atau sistem dengan meminimalkan *cost* yang ada (Aji, 2018). RCM adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan supaya suatu aset dapat bekerja dengan terus menerus sesuai dengan fungsinya dalam konteks operasi pada saat dilakukan (Moubray, 1997). RCM perlu diterapkan karena merupakan bentuk manajemen perawatan yang berbasis keandalan sistem (Wahyudi, 2010). Penerapan dari RCM diharapkan dapat mencegah dan menyelesaikan kegagalan yang terjadi, serta menjaga keandalan pada *amine regeneration system*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana menganalisis aspek kualitatif dalam menentukan *equipment unit* kritis dan jenis perawatan *equipment unit* penyusun sistem *amine regeneration* menggunakan metode *Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA)* dan *Reliability Centered Maintenance (RCM)*?
- b) Bagaimana menganalisis aspek kuantitatif dalam menentukan jadwal usaha perawatan terhadap *equipment unit* penyusun *amine regeneration system* menggunakan evaluasi keandalan?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a) Menganalisis aspek kualitatif dalam menentukan *equipment unit* kritis dan jenis perawatan *equipment unit* penyusun sistem *amine regeneration* menggunakan metode *Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA)* dan *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.
- b) Menganalisis aspek kuantitatif dalam menentukan jadwal usaha perawatan terhadap *equipment unit* penyusun *amine regeneration system* menggunakan evaluasi keandalan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- a) Evaluasi *equipment unit* kritis dibatasi dengan nilai *risk priority number, critically*, dan *risk category* tertinggi dari setiap *failure mode* pada *equipment unit*.
- b) Data yang digunakan adalah data perawatan (*failure – repair*) untuk masing–masing unit atau komponen yang dominan terhadap kejadian kegagalan dengan kurun waktu 5 tahun.
- c) Distribusi kegagalan disetiap *equipment unit* diperoleh dengan menggunakan *tools software* Minitab.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.

Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab II ini membahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, seperti *aminee regeneration system, reliability, failure rate, failure rate distribution, maintainability, availability, failure mode effect criticality analysis*, dan *reliability centered maintenance*.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab III ini membahas mengenai rancangan dan langkah-langkah dari penelitian yang akan dilakukan.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV ini berisi hasil dan pembahasan dari analisis kualitatif dan kuantitatif, serta menentukan jenis dan jadwal perawatan dari *equipment unit* penyusun *amine regeneration system*.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab V berisi kesimpulan dari tugas akhir dan saran sebagai penunjang maupun pengembangan penelitian tugas akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Amine Regeneration System

Amina adalah senyawa organik yang merupakan turunan dari ammonia, amina mengandung atom-atom nitrogen trivalen yang terikat pada satu atom karbon atau lebih. Berdasarkan gugus tempat terikatnya amina, maka amina dapat dikelompokkan dalam alkilamina dan arilamina. Amina diklasifikasikan berdasarkan jumlah sunstituen organik yang terikat pada nitrogen yaitu amina primer ($R-NH_2$), amina sekunder (R_2NH), dan amina tersier (R_3N) (Fadhillah, 2018). Amina digunakan dalam proses untuk menghilangkan gas asam, larutan amina digunakan dalam proses absorpsi yang disebut dengan proses *alkanolamine* (Mokhatab, 2015).

Proses untuk menghilangkan gas asam disebut dengan “*sweetening process*”, proses ini bertujuan untuk menurunkan kandungan gas asam, terutama H_2S sampai konsentrasi dibawah 0,25 grain/100 scf atau sekitar 4 ppm. Hidrogen sulfida akan membentuk ikatan lemah dengan basa yang dapat diregenerasi dengan mudah (Rahimpour, 2013). Gas yang mengandung gas asam akan dikontakkan dengan larutan amina dalam suatu kolom dan akan terjadi absorpsi gas H_2S oleh larutan amina tersebut. Gas yang mengalir keluar kolom telah bebas dari senyawa sulfur dan larutan amina yang telah jenuh dengan gas asam dapat diregenerasi untuk digunakan kembali (Bahadori, 2014).

Amine regeneration system berfungsi untuk memproses *rich amine* dari semua unit kilang menjadi *lean amine*. *Lean amine* kemudian didaur ulang untuk menyerap H_2S di semua unit kilang sehingga menghasilkan *sweet gas stream* (Ahmed Y. Ibrahim, 2021). *Amine regeneration system* dirancang untuk meregenerasi larutan *amine* untuk digunakan kembali sebagai media penghilang H_2S dan CO_2 dari gas asam. Dalam *amine regenerator*, gas asam dihilangkan dari *rich amine*, dengan hasil dari *lean amine* digunakan kembali dalam *amine contactor*. Proses pada *amine regeneration* meliputi beberapa proses sebagai berikut (Saka Indonesia Pankah Limited, 2009):

- *Flashing* (mengurangi tekanan untuk menghilangkan hidrokarbon yang diserap dari *rich amine*).
- Pemanasan di *re-boiler* untuk menghilangkan H_2S .
- *Filtration* (menghilangkan kontaminan dan hidrokarbon dari *amine*).

2.2 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu sistem akan bekerja dengan baik untuk jangka waktu tertentu di bawah serangkaian kondisi operasi tertentu (Lewis, 1994). Keandalan merupakan probabilitas yang nilainya selalu diantara 0 dan 1 (Kiemele, 1997). Berdasarkan definisi tersebut, nilai keandalan dari suatu komponen atau sistem dapat mempengaruhi kegiatan produksi. Nilai keandalan dapat dapat dihitung dengan persamaan 2.1 (Lewis, 1994).

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

Di mana,

$R(t)$: *Reliability Function*

$F(t)$: *Cummulative Distribution Function (CDF)*

$f(t)$: *Probability Density Function (PDF)*

Evaluasi keandalan dilakukan berdasarkan metode kuantitatif dan kualitatif. Pada dasarnya, kedua jenis analisis tersebut saling berkaitan dan saling melengkapi satu sama lain.

a) Metode kualitatif

Metode kualitatif merupakan metode analisis secara *quality* melalui perspektif praktis dari suatu masalah. di mana analisis kualitatif juga banyak melibatkan studi dari observasi lapangan atau wawancara dengan pakar. Metode kualitatif dapat digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang pengalaman pengguna terkait masalah keandalan, dampaknya, dan persepsi mereka terhadap sistem yang diuji.

b) Metode Kuantitatif

Metode kuantitatif merupakan metode perhitungan matematik yang dilakukan dengan pendekatan/distribusi *numeric* atau berbasis angka. Metode ini dilakukan terhadap data *maintenance (equipment record)* terhadap waktu kegagalan (*time to failure*) dan waktu perbaikan (*time to repair*). Waktu kegagalan adalah waktu komponen atau sistem dari mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan dan waktu perbaikan adalah waktu perbaikan yang diperlukan oleh komponen supaya dapat berfungsi kembali. Data TTF dan TTR dari komponen dapat diperoleh dengan beberapa pendekatan distribusi kegagalan yang telah dikenal antara lain distribusi normal, lognormal, eksponensial dan *weibull*.

2.3 Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Laju kegagalan atau *failure rate* (λ) adalah rasio dari total jumlah kegagalan dengan total waktu operasi. *Failure rate* menunjukkan seberapa sering suatu item mengalami kegagalan pada periode waktu tertentu (Wahyudi, 2010). *Failure rate* dapat dihitung dengan Persamaan 2.2, Persamaan 2.3, atau Persamaan 2.4 (Ebeling, 1997).

$$\lambda(t) = \frac{f}{T} \quad (2.2)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTTF} \quad (2.4)$$

Di mana,

f : Banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T : Total waktu operasi

MTTF : Rata-rata kegagalan (*failure*) yang terjadi

2.4 Distribusi Kegagalan (*Failure Rate Distribution*)

Distribusi kegagalan didapatkan dari data TTF (*time to failure*) dan TTR (*time to repair*). TTF (*time to failure*) adalah waktu yang dilewati oleh komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan. Sedangkan, TTR (*time to repair*) adalah waktu perbaikan yang diperlukan oleh komponen agar dapat berfungsi kembali. Parameter-parameter implementasi yang didapatkan dari pendekatan jenis distribusi data selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai keandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*), dan keterawatan (*maintainability*) dari setiap komponen. Berikut adalah jenis-jenis dari distribusi kegagalan (Ebeling, 1997):

a) Distribusi Normal

Distribusi normal atau distribusi *gaussian* adalah distribusi yang paling sering digunakan untuk menjelaskan penyebaran data. *Probability Density Function* (*PFD*) dari distribusi normal didapatkan dengan Persamaan 2.5 berikut (Ebeling, 1997):

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \quad (2.5)$$

Di mana:

t : Waktu (variabel)

μ : Rata-rata data

σ : Simpangan baku

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi normal, maka dapat menggunakan Persamaan 2.6 untuk mengetahui fungsi keandalan (*reliability*) dan Persamaan 2.7 untuk mengetahui laju kegagalan berikut (Ebeling, 1997):

- Fungsi *reliability* $R(t)$

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.6)$$

- Laju kegagalan $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.7)$$

b) Distribusi Lognormal

Distribusi ini memiliki dua parameter yang sama seperti distribusi normal. *Probability Density Function (PDF)* dari distribusi lognormal diperoleh dengan Persamaan 2.8 berikut (Ebeling, 1997):

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right) \quad (2.8)$$

Di mana:

- t : Waktu (variabel)
- μ : Parameter lokasi
- σ : Parameter skala

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi lognormal, maka dapat menggunakan Persamaan 2.9 untuk mengetahui fungsi keandalan (*reliability*) dan Persamaan 2.10 untuk mengetahui laju kegagalan berikut (Ebeling, 1997):

- Fungsi *reliability* $R(t)$

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.9)$$

- Laju kegagalan $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.10)$$

c) Distribusi Weibull

Distribusi *weibull* dapat dipakai untuk merepresentasikan bentuk variasi data yang luas. Karakteristik distribusi *weibull* adalah memiliki beberapa parameter pada distribusinya. Distribusi *weibull* tipe 2 memiliki dua parameter, yaitu beta (β) dan eta (η), sedangkan distribusi *weibull* tipe 3 memiliki tiga parameter, yaitu beta (β), eta (η),

dan gamma (γ). *Probability Density Function (PDF)* dari distribusi *weibull* didapatkan dengan persamaan 2.11 berikut (Ebeling, 1997):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \right) \exp \left(- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right) \quad (2.11)$$

Di mana:

- t : Waktu (variabel)
- β : Bentuk parameter (*shape parameter*)
- η : Parameter skala (*scale parameter*)
- γ : Parameter lokasi (*location parameter*)

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi *weibull*, maka dapat menggunakan Persamaan 2.12 untuk mengetahui fungsi keandalan (*reliability*) dan Persamaan 2.13 untuk mengetahui laju kegagalan berikut (Ebeling, 1997):

- Fungsi *reliability* $R(t)$

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right\} \quad (2.12)$$

- Laju kegagalan $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.13)$$

d) Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan terhadap suatu komponen atau unit dengan jumlah data kegagalan di bawah 5 kali (Wahyudi, 2010). Distribusi eksponensial tipe 1 memiliki satu parameter, yaitu lambda (λ), sedangkan distribusi eksponensial tipe 2 memiliki dua parameter, yaitu lambda (λ) dan gamma (γ). *Probability Density Function (PDF)* dari distribusi *weibull* didapatkan dengan persamaan 2.14 berikut (Ebeling, 1997):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}, t > 0, \lambda > 0, t \geq \gamma \quad (2.14)$$

Di mana:

- λ : Parameter tambahan untuk pola distribusi eksponensial tipe kedua

Bila distribusi kegagalan suatu sistem menggunakan distribusi eksponensial, maka dapat menggunakan Persamaan 2.15 untuk mengetahui fungsi keandalan (*reliability*) dan Persamaan 2.16 untuk mengetahui laju kegagalan berikut (Ebeling, 1997):

- Fungsi *reliability* $R(t)$

$$R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (2.15)$$

- Laju kegagalan $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.16)$$

2.5 Keterawatan (*Maintainability*)

Keterawatan atau *maintainability* $M(t)$ merupakan kemampuan suatu komponen yang rusak untuk dapat dirawat maupun diperbaiki, dengan tujuan untuk kembali seperti keadaan awal dan dalam periode tertentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. *Maintainability* memiliki rumus matematis yang berbeda-beda, bergantung dari distribusi datanya (Ebeling, 1997). Persamaan 2.17, Persamaan 2.18, Persamaan 2.19, dan Persamaan 2.20 digunakan untuk menentukan nilai *maintainability* ($M(t)$) berdasarkan jenis distribusinya. Nilai *maintainability* didapatkan dari distribusi data TTR (*time to repair*) didapatkan dengan persamaan berikut (Ebeling, 1997):

a) Distribusi Normal

$$M(t) = \varphi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.17)$$

Di mana:

t : Waktu (*variable*)

μ : Rata-rata

σ : Simpangan baku

b) Distribusi Lognormal

$$M(t) = \varphi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.18)$$

Di mana:

t : Waktu (*variable*)

μ : Rata-rata

σ : Simpangan baku

c) Distribusi Weibull

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.19)$$

Di mana:

t : Waktu (*variable*)

β : Bentuk parameter (*shape parameter*)

η : Parameter skala (*scale parameter*)

γ : Parameter lokasi (*location parameter*)

d) Distribusi Eksponensial

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{MTTR}\right)} \quad (2.20)$$

Di mana:

t : Waktu (*variable*)

MTTR : *Mean time to repair*

Secara umum terdapat tiga jenis maintenance yang umum dikenal yaitu:

2.5.1 *Reactive Maintenance*

Tindakan yang dilakukan dalam jenis maintenance ini adalah membiarkan proses tetap berjalan pada suatu peralatan tertentu sampai peralatan tersebut mengalami kerusakan fungsi. Tidak ada aksi atau tindakan yang diambil untuk mengembalikan peralatan tersebut kedalam *design life*-nya.

2.5.2 *Proactive Maintenance*

Tindakan proaktif merupakan upaya untuk mencegah terjadinya kegagalan, tindakan ini dibagi menjadi dua yakni (Moubray, 1997):

- a. *Predictive Maintenance*, merupakan tindakan proaktif yang dilakukan guna melakukan pencegahan terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan, namun kegiatanya tidak terjadwal secara teratur. *Predictive maintenance* mencegah kegagalan peralatan sebelum terjadi kerusakan total.
- b. *Preventive Maintenance*, merupakan tindakan proaktif atau upaya pemeliharaan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan. *Preventive maintenance* diaplikasikan terhadap peralatan yang mengalami fase *wear-out* atau dengan kata lain peralatan yang memiliki distribusi normal. Hal ini dilakukan untuk menjaga peralatan tersebut agar tetap menjalankan fungsi nya dengan baik, bahkan dapat membantu peralatan tersebut kembali pada fase *usefull life* nya. Secara matematis, *preventive maintenance* dirumuskan sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$R_m(t) = R(T)^n R(t - nT) \quad (2.21)$$

Dimana:

$nT \leq t < (n + 1)T$, dengan $n = 0, 1, 2, \dots$

$R(T)^n$ = probabilitas ketahanan sampai dengan PM ke-n

$R(t - nT)$ = probabilitas ketahanan selama jangka waktu $t - nT$

2.6 Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan atau *availability* $A(t)$ adalah ketersediaan suatu komponen dalam jangka waktu tertentu. Ketersediaan juga dapat dikatakan sebagai kemungkinan suatu komponen untuk menjalankan fungsinya dengan berbagai aspek keandalan, kemampurawatan, serta dukungan pemeliharaan. *Availability* yang berubah terhadap waktu dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.22 berikut (Ebeling, 1997):

$$A(t) = \left[\left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) + \left(\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right) \right] \quad (2.22)$$

Di mana:

λ : *Failure rate* dari waktu antar kegagalan

μ : 1/MTTR

t : Waktu

2.7 Reliability Centered Maintenance (RCM)

RCM merupakan suatu proses yang menentukan perawatan yang efektif dalam suatu aset fisik. RCM mengkombinasikan praktik dan strategi dari *preventive maintenance*, *condition based*, dan *corrective maintenance* untuk memaksimalkan umur (*lifetime*) dan fungsi sistem atau aset dengan biaya minimal (*minimum cost*) (NASA, 2008).

Tujuan dari *Reliability Centered Maintenance (RCM)* yaitu sebagai berikut (Moubray, 1997):

- a) Mengurangi biaya perawatan selama ini hingga titik efektif.
- b) Meningkatkan keselamatan termasuk keamanan lingkungan.
- c) Menambah umur komponen karena pengembangan sistem perawatan yang digunakan sudah sesuai dengan *treatment* terhadap masing-masing komponen.
- d) Memperoleh informasi penting untuk mengembangkan desain awal yang kurang baik.

2.8 Langkah – Langkah Penerapan RCM

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menerapkan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* adalah sebagai berikut (Smith, 2004):

- a) Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi (*System Selection and Information Collection*).

Beberapa kriteria yang harus diperhatikan dalam pemilihan sistem adalah:

- a. Sistem yang memiliki masalah keselamatan dan lingkungan
- b. Sistem yang memiliki biaya *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* yang tinggi.

c. Sistem yang memiliki kontribusi yang tinggi terhadap terjadinya *downtime*.

Dokumen dan infomasi yang dibutuhkan dalam penerapan RCM adalah:

- a. *Piping and Instrumentation (P&ID)*, adalah skema ilustrasi dari hubungan fungsi komponen peralatan, instrument, dan sistem.
- b. *Schematic/Block Diagram*, adalah sebuah gambaran sistem, rangkaian, atau program yang fungsinya masing-masing digambar kotak ber label dan hubungan antar kotak digambarkan dengan garis penghubung.
- c. *Manual Book*, adalah dokumen data dan informasi mengenai desain operasi tiap komponen.
- d. *Equipment History*, adalah kumpulan data kegagalan komponen dan peralatan dengan data *corrective maintenance* yang pernah dilakukan.

b) Defenisi Batas Sistem (*System Boundary Defenition*).

Defenisi batas sistem digunakan untuk memberikan batasan terhadap sistem karena sistem yang tersedia sangat banyak di dalam suatu pabrik. Pendefenisian batas sistem ini dilakukan untuk menjelaskan Batasan suatu sistem yang akan dianalisis agar semua fungsi dapat diketahui dengan baik dan benar. Jika Batasan sistem sudah dirumuskan dengan tepat, maka akan menjamin keakuratan proses analisis sistem.

c) Deskripsi Sistem dan Diagram Blok Fungsional (*System Description and Functional Block Diagram*).

Deskripsi sistem dan blok diagram fungsional merupakan gambaran yang jelas dari fungsi utama setiap sistem berupa blok yang berisi fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut sehingga dibuat tahapan identifikasi dari sistem yang meliputi:

- Deskripsi sistem

Penjelasan dan uraian sistem yang menjelaskan tentang cara kerja sistem serta penggunaan instrumen yang ada dalam sistem.

- *Functional Block Diagram (FBD)*

Interaksi antara satu blok diagram fungsi dengan blok diagram fungsi lainnya.

- *In and Out Interface*

Penetapan batas-batas sistem dan pengembangan fungsi subsistem memungkinkan untuk melengkapi dan mendokumentasikan fakta dari elemen yang melintasi batas sistem. Beberapa elemen berperan sebagai masukan (*input*) dan beberapa 18 elemen berperan sebagai keluaran (*output*) yang melintasi subsistem.

- *System Work Breakdown Structure (SWBS)*

Penggambaran kelompok bagian-bagian peralatan yang menggambarkan fungsi tertentu.

2.9 Fungsi dan Standar Kinerja (*System Functions and Performance Standard*)

Fungsi sistem adalah suatu fungsi dari komponen yang diharapkan oleh pengguna tetapi masih dalam level performa standart kemampuan sejak dari awal dibuat. Fungsi sistem dibagi menjadi dua yaitu *primary function* dan *secondary function*. *Primary function* adalah fungsi utama dari suatu aset tersebut, sedangkan *secondary function* adalah kemampuan suatu aset untuk mengerjakan lebih dari fungsi utamanya (Moubray, 1997).

2.10 Failure Mode Effect Criticality Analysis (FMECA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah alat manajemen risiko, yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu proses, produk, atau layanan sebelum terjadi, sehingga langkah proaktif dapat diambil untuk merancang dan menerapkan proses yang kuat (Karen Claxton, 2017). *Failure mode* bertujuan untuk menentukan akar permasalahan dari kegagalan yang terjadi, sedangkan *failure effect* menjelaskan dampak yang diakibatkan apabila *failure mode* telah terjadi. Proses identifikasi terhadap fungsi, *failure mode*, dan *failure effect* sangat penting untuk dilakukan karena dapat menentukan perbaikan performansi suatu aset (Moubray, 1997). Penentuan *failure mode* berdasarkan standar OREDA yang terdiri dari beberapa jenis kegagalan seperti Tabel 2.1 (OREDA, 2002).

Tabel 2.1 Daftar *failure mode*

AIR	<i>Abnormal Instrument reading</i>	SER	<i>Minor in service problem</i>
<i>BRD</i>	<i>Breakdown</i>	<i>NOI</i>	<i>Noise</i>
<i>ERO</i>	<i>Erratic output</i>	<i>OTH</i>	<i>Other</i>
<i>ELP</i>	<i>External leakage - Process medium</i>	<i>OHE</i>	<i>Overheating</i>
<i>ELU</i>	<i>External leakage - Utility medium</i>	<i>PDE</i>	<i>Parameter deviation</i>
<i>FTS</i>	<i>Fail to start on demand</i>	<i>UST</i>	<i>Spurious stop</i>
<i>STP</i>	<i>Fail to stop on demand</i>	<i>STD</i>	<i>Structural deficiency</i>
<i>HIO</i>	<i>High output</i>	<i>UNK</i>	<i>Unknown</i>
<i>INL</i>	<i>Internal leakage</i>	<i>VIB</i>	<i>Vibration</i>
<i>LLO</i>	<i>Low output</i>		

Implementasi FMEA melibatkan pembuatan *Risk Priority Number (RPN)* yang dihasilkan oleh peringkat tingkat keparahan setiap potensi kegagalan atau *Savertainty (S)*, kemungkinan terjadinya kegagalan atau *Occurrence (O)* dan kemungkinan *Detection (D)* sebelum efek kegagalan (McChain, 2006). Keuntungan utama menggunakan metode FMEA adalah: pengurangan biaya, dengan dampak penting pada pengembalian garansi, pengurangan

waktu yang dibutuhkan dari fase proyek hingga peluncuran pasar dan peningkatan kualitas dan keandalan produk, sementara meningkatkan keselamatan operasi mereka. Tujuan akhir untuk mencapai manfaat ini adalah peningkatan kepuasan pelanggan, yang menjamin pertumbuhan organisasi yang kompetitif dan kompetitif (Kapil Dev Sharma, 2018).

FMEA menentukan prioritas risiko mode kegagalan melalui nomor prioritas risiko (RPN), yang merupakan produk dari *severity* (*S*), *occurrence* (*O*), dan *detection* (*D*) (Kapil Dev Sharma, 2018). Pengukuran terhadap besarnya nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* pada proses produksi adalah sebagai berikut (Alfianto, 2019):

- Severity* adalah langkah pertama untuk menganalisa risiko, yaitu menghitung seberapa besar dampak atau intensitas kejadian memengaruhi hasil akhir proses. Dampak tersebut di rating mulai skala 1 sampai 10, dimana 10 merupakan dampak terburuk.
- Occurrence* merupakan kemungkinan bahwa penyebab kegagalan akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa produksi produk.
- Detection* berfungsi untuk upaya pencegahan terhadap proses produksi dan mengurangi tingkat kegagalan pada proses produksi.

Skala yang digunakan untuk menentukan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* menggunakan standar pada Tabel 2.2, Tabel 2.3, Tabel 2.4 (Patil, 2022).

Tabel 2.2 Skala Penentuan Nilai *Severity* (*S*)

Sr. No	Failure Effect Severity Category	Severity Category Description	Rank
1		The failure of the boiler system may cause risk to the operator's life with or without warning.	10
2	Very High	Failure causes complete system failure or system inoperable.	9
3		The system requires major maintenance, is time-consuming, and incurs very high maintenance costs.	8
4	High	Loss of primary function.	7
5		System performance is degraded.	6
6		Moderate effect on system performance.	5
7	Moderate	The subsystem/component requires major repair, moderate cost of repair.	4
8	Low	Subsystem/component requires minor repair and low maintenance costs.	3
9		Minor effect on system performance	2
10	Minor	Very minor effects or no effect on system performance.	1

Tabel 2.3 Skala Penentuan *Occurrence (O)*

Sr. No	Occurrence Criterion	Ranking Meaning	Possible Ranking Failure	Rank
1	Very Frequent	Occurrence is almost certain	Every Month	10
			Between 1 month to 3 months	9
2	Frequent	Failure occurs repeatedly	Between 3 month to 6 months	8
			Between 6 months to 1 Year	7
3	Occasional	Failure occurs occasionally	Between 1 Year to 4 Years	6
			Between 4 Years to 8 Years	5
4	Remote	Few failure expected	Between 8 Years to 10 Years	4
			Between 10 Years to 12 Years	3
5	Extremely Unlikely	Occurrence is quite unlikely	Between 12 Years to 15 Years	2
			More than 15 Years	1

Tabel 2.4 Skala Penentuan *Detection (D)*

Sr. No	Detectability	Criteria Meaning	Rank
1	Impossible	The present system is not able to detect failure mode or cause, or there is no control over failure.	10
2	Absolute Uncertain		9
3	Highly Difficult		8
4	Moderately Difficult	Very low probability the current monitoring system detects the failure.	7
5	Difficult		6
6	Less Difficult	Possibly detecting the failure.	5
7	Very Less Difficult		4
8	Easy to Detect	High probability the current method can detect the failure.	3
9	Very Easy to Detect		2
10	Almost Certain	Present method almost certainly detect the failure.	1

FMECA adalah perubahan dari FMEA dengan menentukan nilai kekritisan atau prioritas yang kemudian dikaitan dengan dampak dari mode kegagalan yang ditimbulkan oleh sebuah komponen. Nilai Cr (*Criticality Number*) yang tinggi menentukan tingginya tingkat kegagalan komponen dan prioritas utama dalam kegiatan perawatan.

Tujuan dari FMECA yaitu untuk mengambil tindakan guna menghilangkan atau mengurangi kegagalan, berdasarkan prioritas tertinggi yang dilakukan sesuai dengan hasil perhitungan RPN. Pengkategorian *risk* dengan menggunakan *critically analysis (C)* ini memungkinkan analisis risiko dan menetapkan ambang batas penerimaan untuk masing-masing mode gagal (Cendani, 2021). Skala penentuan nilai *criticality* menggunakan standar pada Tabel 2.5 (Yssaad, 2014).

Tabel 2.5 Skala Penentuan Nilai *Criticality*

<i>Criticality (C)</i>	<i>Degree of criticality</i>	<i>Value</i>	<i>Risk or Hazard</i>
	<i>Minor</i>	0 - 30	<i>Acceptable</i>
	<i>Medium</i>	31 - 60	
	<i>High</i>	61 - 180	<i>Tolerable</i>
	<i>Very High</i>	181 - 252	
	<i>Critical</i>	252 - 324	<i>Unacceptable</i>
	<i>Very Critical</i>	>324	

2.11 Konsekuensi Kegagalan (*Failure Consequences*)

Konsekuensi kegagalan adalah akibat dari terjadinya kegagalan. Dalam metode RCM, tujuan dilakukannya *proactive task* adalah mengurangi terjadinya *failure consequences*. Oleh karena itu konsekuensi kegagalan sangat penting dalam menentukan kebijakan perawatan yang tepat. Konsekuensi kegagalan terdiri dari empat klasifikasi sebagai berikut (Moubray, 1997):

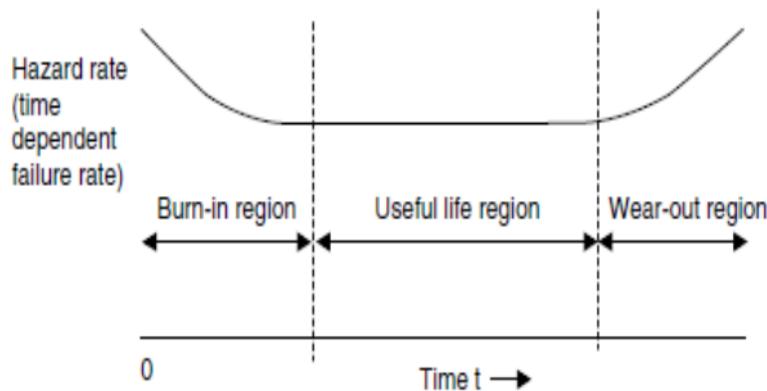
- Hidden Failure Consequences*: Kondisi dimana operator tidak dapat mengetahui konsekuensi kegagalan dalam kondisi normal.
- Safety Consequences*: Kondisi yang terjadi apabila kegagalan dapat membahayakan seseorang.
- Environmental Consequences*: Kondisi yang terjadi apabila kegagalan yang terjadi dapat melanggar peraturan atau standar dampak lingkungan.
- Operational Consequences*: Kondisi dimana kegagalan yang terjadi memiliki dampak dalam sistem operasional seperti hasil prosuksi, kualitas produksi, kepuasan pelanggan, biaya tambahan.

2.12 Teknik Penanganan Kegagalan (*Failure Management Techniques*)

Teknik penanganan kegagalan dibagi menjadi dua kategori sebagai berikut (Barai, 2012):

- Proactive Task* adalah tindakan yang dilakukan sebelum terjadinya kegagalan agar aset atau alat mampu memenuhi fungsinya. Terdapat tiga kategori dalam *proactive task*, yaitu:
 - *Scheduled Restoration Task* merupakan kegiatan rekondisi untuk mengembalikan kemampuan atau melakukan proses *overhaul* pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan tanpa memandang kondisi komponen pada saat dilaksanakan proses perawatan.

- *Scheduled Discard Task* merupakan kegiatan untuk mengganti komponen dengan komponen yang baru pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan tanpa memandang kondisi komponen saat penggantian.
- *Schedule on Condition Task* merupakan mencakup kegiatan pengecekan sehingga dapat dilakukan ketika kegagalan dapat memberikan beberapa informasi atau peringatan bahwa kegagalan tersebut akan terjadi. Peringatan ini dikenal dengan *potential failure*.



Gambar 2.1. Bathtub Curve

Bathtub curve adalah salah satu konsep yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan bentuk *maintenance* yang sesuai untuk suatu sistem atau komponen berdasarkan jenis laju kegagalan yang berubah terhadap waktu. Pada *bathtub curve*, suatu komponen dapat dijelaskan menurut tiga fase utama, yaitu fase *burn-in*, *useful life*, serta *wear-out* (Dhilon, 1997). Penjelasan dari ketiga fase adalah sebagai berikut:

- *Burn-in (early failure)* adalah kegagalan yang terjadi pada masa awal pengoperasian suatu item (fase awal suatu komponen yang baru diproduksi), yang ditandai dengan laju kerusakan yang menurun. Kegagalan yang mungkin terjadi dalam fase ini antara lain adalah ketidak sempurnaan proses manufaktur, kontrol kualitas yang kurang maksimal, cara *packaging* yang kurang tepat, atau kekurangan proses lainnya.
- *Useful life (random failure)* adalah kegagalan yang terjadi pada item yang berjalan normal ditandai dengan laju kegagalan konstan. Kegagalan yang mungkin terjadi dalam fase ini antara lain cacat komponen yang tidak terdeteksi,

penyalahgunaan komponen, faktor keamanan yang rendah, human errors, maupun kondisi lingkungan tertentu yang sulit dihindari.

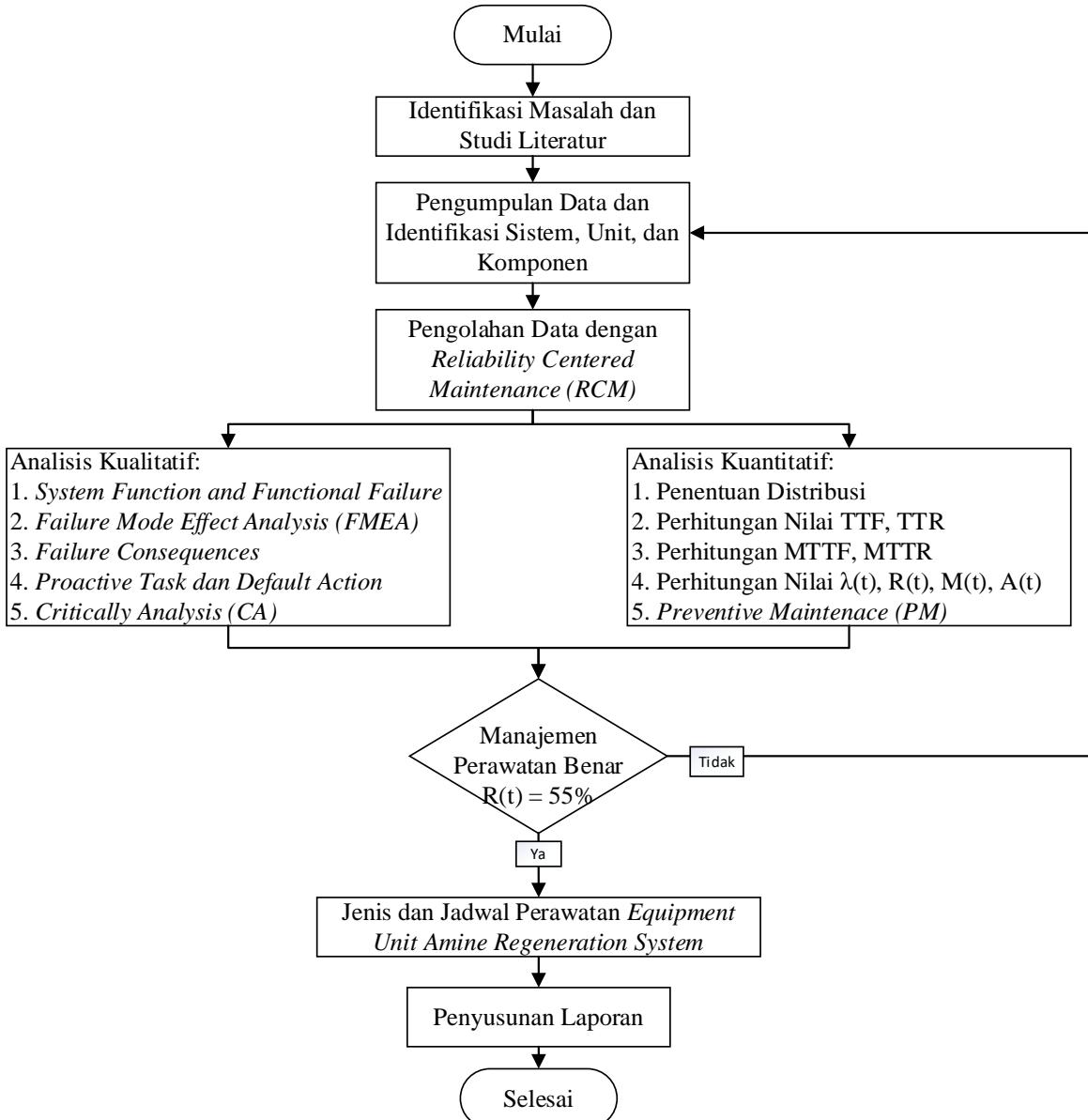
- *Wear out failure* adalah Kegagalan yang terjadi pada usia kegunaan tertentu yang ditandai dengan laju kerusakan yang semakin meningkat yang menuntut segera dilakukan penggantian sebagian alat atau keseluruhan dengan yang baru. Kegagalan yang mungkin terjadi di antaranya pemeliharaan yang buruk, terjadinya korosi, maupun pemeriksaan (*overhaul*) yang tidak tepat.
- b) *Default action* adalah kegiatan yang dilakukan ketika komponen sudah dalam kondisi gagal. *Default action* dilakukan apabila *proactive task* tidak dapat dilakukan. Terdapat tiga jenis dalam *default action*, yaitu:
- *Failure Finding* adalah kegiatan yang dilakukan dengan memeriksa fungsi tersembunyi dari suatu komponen secara berkala untuk mengetahui apakah fungsi tersebut gagal.
 - *Redesign* adalah perubahan yang dilakukan terhadap suatu sistem dari sistem lama menjadi sistem baru dengan cara modifikasi, mengganti, menambah komponen mesin, atau mengganti mesin secara keseluruhan.
 - *No Scheduled Maintenance* adalah kondisi dimana tidak dilakukan apapun terhadap kegagalan yang terjadi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang harus dikerjakan yaitu sesuai diagram alir seperti pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

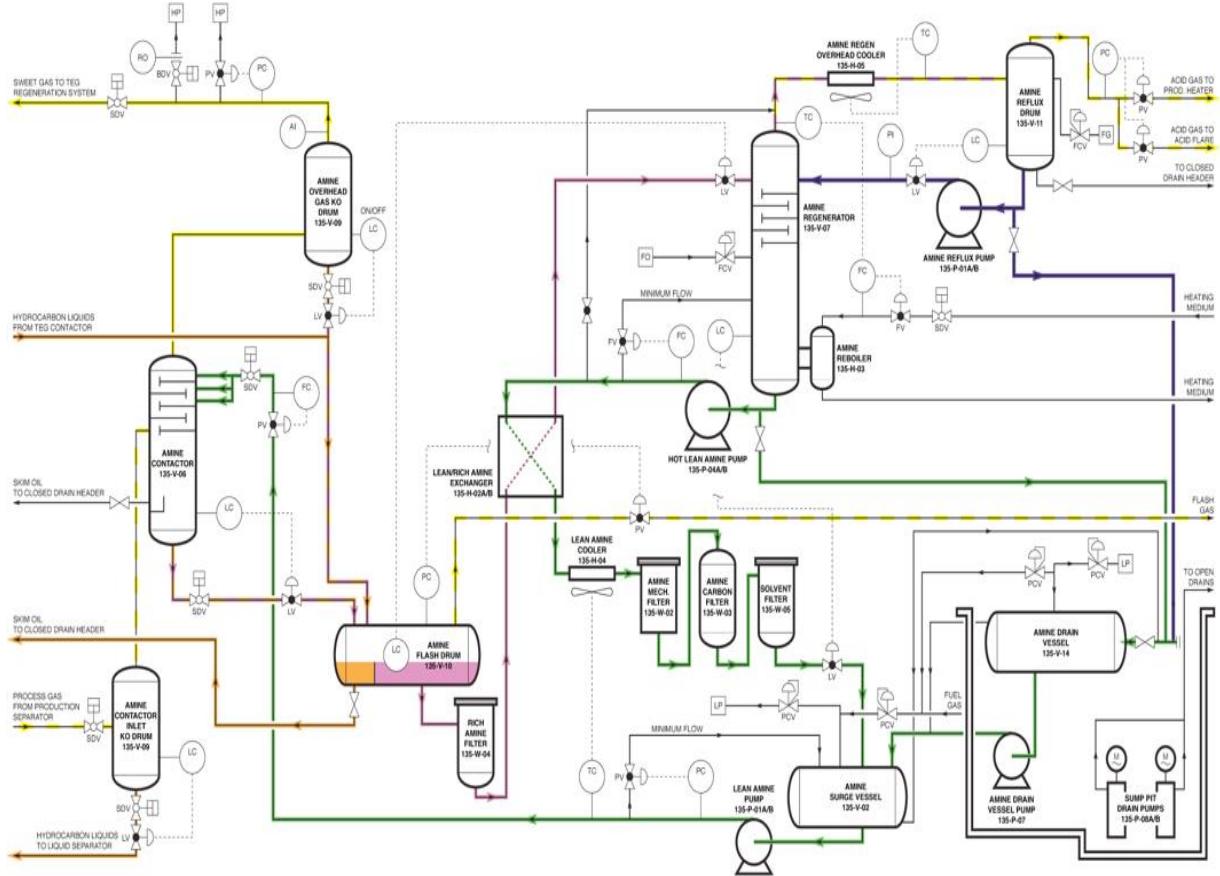
3.1 Identifikasi Masalah dan Studi Literatur

Tahap ini bertujuan untuk mencari dan menemukan masalah yang ada di unit *Amine Regeneration System*. Penelitian ini berdasarkan permasalahan pada *equipment unit* kritis dari *amine regeneration system*. Penentuan *equipment unit* kritis berdasarkan nilai *risk priority number, critically*, dan *risk category* tertinggi dari *failure mode equipment unit* penyusun *amine regeneration system*. *Amine regeneration system* dalam operasinya berhubungan langsung dengan gas asam (*sour gas*) yang mengandung H₂S dan CO₂ sebagai kontaminan, sehingga rentan untuk terjadinya kegagalan akibat adanya penipisan korosi dan dapat membahayakan keselamatan bagi para pekerja. Tahap ini juga mengidentifikasi dari kondisi peralatan yang telah beroperasi.

Setelah dilakukan indentifikasi masalah, diperlukan adanya studi literatur yang berhubungan dengan penelitian ini untuk menunjang keberhasilan dari penelitian. Literatur yang digunakan antara lain buku, jurnal, artikel ilmiah, dan penelitian sebelumnya mengenai keandalan (*reliability*), kegagalan (*failure*), keterawatan (*Maintainability*), ketersediaan (*availability*), dan metode perawatan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* yang berhubungan dengan *Amine Regeneration System*.

3.2 Pengumpulan Data dan Identifikasi Sistem, Unit, dan Komponen

Data yang didapatkan berupa data *maintenance* dari *amine regeneration system*, dimana data *maintenance* ini memiliki *record* dalam kurun waktu 5 tahun. Setelah data diperoleh, diperlukan adanya identifikasi sistem untuk mengetahui kegunaan atau fungsi dari masing-masing bagian penyusun *amine regeneration system* serta bagaimana sistem itu bekerja terhadap waktu, juga bagaimana cara kerja dari masing-masing bagian pendukung proses tersebut. Berikut adalah *Process Flow Diagram (PFD)* dari *amine regeneration system* pada Gambar 3.2 (Saka Indonesia Pankah Limited, 2009).



Gambar 3.2 Process Flow Diagram Amine Regeneration System

Dari PFD di atas gas asam (*acid gas*) yang mengandung H₂S dan CO₂ memasuki bagian bawah *Amine Contactor* 135-V-06 melalui *Amine Contactor Inlet KO Drum* 135-V-09, dan mengalir ke atas melawan *lean amine* yang didinginkan, yang masuk ke bagian atas *amine contactor*. *Sweetened gas* yang dihasilkan pada proses sebelumnya, meninggalkan bagian atas *amine contactor* dan mengalir melalui *Amine Overhead Gas KO Drum* 135-V-09 dan menuju *TEG dehydration process*. Pada *Overhead KO Drum*, cairan dikeluarkan dari aliran gas dan mengalir ke *Amine Flash Drum* 135-V-10. *Amine surge vessel* sebagai pemasok bagi *Lean Amine Pumps* 135-P-01A/B, yang memompa *lean amine* ke *contactor amine* untuk mempermanis gas asam. Larutan amina kaya asam (*acid rich amine*) meninggalkan bagian bawah *contactor amine* saat suhu meningkat, karena terjadinya penyerapan eksotermik, lalu mengalir ke *flash drum* di mana terjadi pemisahan hidrokarbon dari larutan kaya amina (*rich amine*). *Amine regeneration system* merupakan sekumpulan *equipment unit* yang terdiri, antara lain (Saka Indonesia Pankah Limited, 2009):

a. *Amine Contactor* 135-V-06

Amine contactor berfungsi sebagai penghilang H₂S dari gas asam menggunakan cairan *amine*, dengan cara menyerap H₂S. *Amine contactor* terdiri dari sebuah tabung absorpsi yang diisi dengan *amine* dan aliran gas asam. Selama proses berlangsung, senyawa asam dalam gas bereaksi dan diikat dengan *amine*, sementara gas yang telah dimurnikan keluar dari tabung.

b. *Amine Overhead Gas KO Drum* 135-V-09

Setelah gas masuk ke dalam *amine contactor* dan mengalami proses absorpsi, gas yang telah dimurnikan akan keluar dari bagian atas tabung absorpsi dan masuk ke dalam *Amine overhead gas ko drum* untuk dipisahkan dari *amine* yang terbawa dalam gas yang keluar. *amine overhead gas ko drum* berfungsi sebagai *separator* untuk memisahkan gas yang telah dimurnikan dari *amine* dan mengembalikan *amine* yang terbawa dalam gas ke dalam tabung absorpsi.

c. *Amine Flash Drum* 135-V-10

Amine flash drum adalah sebuah tangki yang digunakan dalam proses pemurnian gas dengan *amine* sebagai agen penangkap untuk memisahkan gas dari cairan *amine*. Di dalam *amine flash drum*, gas akan mengalami proses relatif cepat dari tekanan yang tinggi ke tekanan yang lebih rendah, sehingga terjadi pemisahan gas dari cairan *amine*.

d. *Rich Amine Filter* 135-W-04

rich amine filter adalah sebuah filter yang digunakan dalam proses pemurnian gas dengan *amine* sebagai agen penangkap untuk menghilangkan partikel-partikel padatan dan kontaminan dari cairan *amine* yang terkumpul dalam bejana absorpsi.

e. *Rich Amine Exchanger* 135-H-02A/B

rich amine exchanger adalah sebuah penukar panas yang digunakan dalam proses pemurnian gas dengan *amine* sebagai agen penangkap untuk mengembalikan panas yang dihasilkan oleh reaksi antara gas asam dan *amine* ke dalam tabung absorpsi.

f. *Amine Regenerator* 135-V-07

Amine regenerator adalah sebuah unit dalam proses pemurnian gas dengan *amine* sebagai agen penangkap yang digunakan untuk memisahkan senyawa asam dari cairan *amine* sehingga *amine* dapat digunakan kembali dalam proses absorpsi. Di dalam *amine regenerator*, cairan *amine* dipanaskan untuk memecah ikatan antara *amine* dan senyawa asam yang terikat, sehingga senyawa asam dilepaskan dan terpisah dari *amine*.

g. *Amine Regenerator Re-boiler 135-H-03*

Amine regenerator re-boiler berfungsi untuk memanaskan *amine* yang jenuh dengan gas asam sehingga gas asam terpisah dari *amine*. Panas yang diperlukan untuk memanaskan *amine* diperoleh dari uap yang dilewatkan melalui *re-boiler*.

h. *Hot Lean Amine Pump 135-P-04A/B*

Hot lean amine pump adalah jenis pompa yang digunakan pada unit pemurnian gas alam untuk mengalirkan *amine* panas dan bersih dari regenerator ke tabung absorber. Pompa ini bekerja dengan cara menarik *amine* panas dari *amine regenerator re-boiler* dan memompa *amine* tersebut menuju tabung *absorber*.

i. *Amine Mechanical Filter 135-W-02*

Amine mechanical filter ditempatkan pada jalur pengaliran larutan *amine* yang mengalir dari tabung absorber ke tabung regenerator. Filter ini berfungsi untuk menyaring partikel-partikel kasar seperti kerak atau kotoran yang terbawa oleh larutan *amine* dan dapat menyebabkan kerusakan pada pompa atau peralatan lainnya di dalam proses. Dengan menggunakan *amine mechanical filter*, partikel-partikel kasar ini dapat dihilangkan sehingga dapat menjaga kinerja dan efisiensi dari proses pemurnian gas alam menggunakan teknologi *amine*.

j. *Amine Carbon Filter 135-W-03*

Amine carbon filter berfungsi untuk menghilangkan senyawa karbon dari larutan *amine* dengan cara menyerap senyawa-senyawa tersebut ke dalam lapisan karbon aktif di dalam filter. Karbon aktif ini memiliki permukaan yang sangat luas sehingga dapat menyerap senyawa-senyawa organik dan menghasilkan larutan *amine* yang kembali segar dan bebas dari senyawa karbon.

k. *Amine Surge Vessel 135-V-02*

Amine surge vessel ditempatkan pada jalur pengaliran larutan *amine* yang mengalir dari tabung absorber ke tabung regenerator. Tangki ini berfungsi untuk menampung sementara larutan *amine* yang mengalir dari tabung absorber sehingga dapat menjaga aliran yang stabil dan terus menerus ke tabung regenerator.

l. *Solvent Filter 135-W-05*

Solvent filter adalah jenis filter yang digunakan untuk menyaring atau memurnikan pelarut yang mengandung *amine* atau senyawa organik nitrogen yang terdiri dari gugus amina. *Solvent filter* biasanya digunakan dalam industri kimia, khususnya dalam proses pembersihan gas, seperti pembersihan gas asam dan pembersihan gas karbon dioksida.

m. *Amine Reflux Drum 135-V-11*

Amine reflux drum berfungsi sebagai tempat penampungan sementara untuk gas-gas asam yang telah dipisahkan dari larutan amina pada proses regenerasi. *Amine reflux drum* juga berfungsi untuk memisahkan *acid* gas yang tidak dapat terkondensasi dari uap air/hidrokarbon yang keluar dari *amine regenerator overhead cooler*.

n. *Amine Reflux Pumps 135-P-02A/B*

Amine reflux pumps adalah pompa yang digunakan dalam proses *amine treating* untuk memompa larutan *amine* dari *amine reflux drum* ke proses regenerasi. Setelah *amine reflux drum* mengumpulkan gas-gas asam dari proses regenerasi, larutan *amine* yang tidak jenuh diambil dari drum dan dipompa kembali ke atas kolom absorpsi untuk proses penangkapan gas-gas asam dari gas alam.

o. *Amine Drain Vessel 135-V-14*

Amine drain vessel adalah tangki atau drum yang digunakan dalam proses *amine treating* untuk menampung larutan *amine* yang telah digunakan dari *amine drain header* dan mengalir keluar dari kolom absorpsi atau peralatan lainnya.

3.3 Pengolahan Data

Data yang didapatkan diolah dengan dua metode, yaitu metode kualitatif dan metode kuantitatif, berikut merupakan penjelasan mengenai kedua metode tersebut:

3.3.1 Analisis Kualitatif

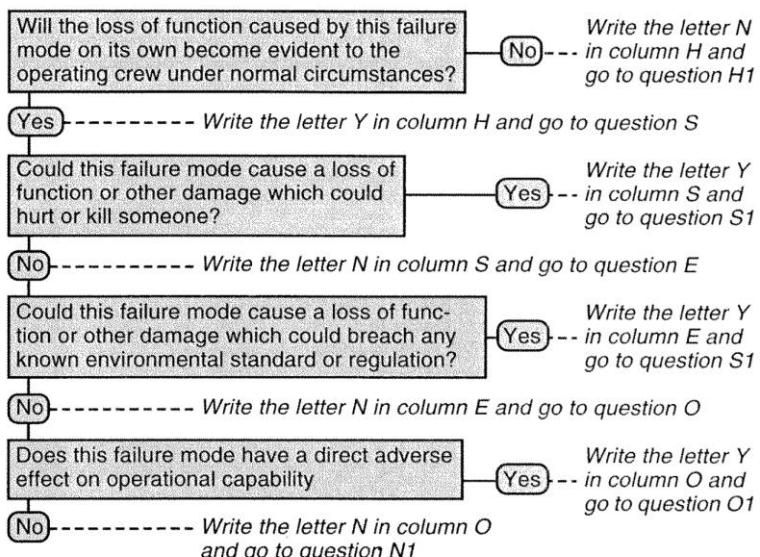
Analisis kualitatif berupa identifikasi fungsi komponen (*system function*), fungsi kegagalan (*functional failure*), FMECA (*failure mode effects criticality analysis*), konsekuensi kegagalan (*failure consequence*), tindakan proaktif (*proactive task*) dan *initial interval*. Berikut merupakan penjelasan dari analisis kualitatif diatas.

- a. Fungsi komponen (*system function*), menjelaskan tentang fungsi dari setiap komponen yang menyusun *amine regeneration system*.
- b. Fungsi kegagalan (*functional failure*), menjelaskan tentang kegagalan komponen penyusun sistem dalam menjalankan fungsinya.
- c. *Failure mode and effect analysis (FMEA)*, menjelaskan tentang bentuk kegagalan dan dampak dari kegagalan tersebut. Tabel FMEA dapat dilihat pada Tabel 3.1 (Moubray, 1997).

Tabel 3.1 Deskripsi Fungsi Komponen, Fungsi Kegagalan, dan FMEA

System Function		Functional Failure		Failure Mode		Failure Effect	
1	To reduce exhaust noise level to ISO noise rating 30 at 50 meters	A	Noise level exceeds ISO noise rating 30 at 50 m.	1	Silencer material retaining mesh corroded away	Most of the material would be blown out, but some might fall to the bottom of stack and obstruct the turbine outlet, causing high EGT and possible turbine shutdown. Noise levels would rise gradually. Downtime to repair about 2 weeks.etc	
					2	Duct leaks outside turbine	

- d. Konsekuensi kegagalan (*failure consequence*), menjelaskan tentang konsekuensi kegagalan kedalam empat kategori yaitu *hidden failure*, *safety failure*, *environment failure*, dan *operational failure*. Penentuan konsekuensi kegagalan mengikuti diagram alir pada Gambar 3.3 (Moubray, 1997).

**Gambar 3.3** Flowchart RCM decision worksheet

Konsekuensi kegagalan yang sudah ditentukan menggunakan *flowchart* pada Gambar 3.3, dituliskan kedalam Tabel 3.2 sesuai dengan jenis konsekuensi kegagalannya.

Tabel 3.2 Decision worksheet dari RCM II

Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	
							N1	N2	N3	H4	H5	S4	
1	A	1	Y	N	Y	Y	Y						Scheduled discard task

- e. *Proactive task*, menjelaskan tentang tindakan yang dilakukan sebelum terjadinya kegagalan agar aset atau alat mampu memenuhi fungsinya. Kegiatan *proactive task* dikategorikan menjadi tiga yaitu *schedule on condition task (predictive maintenance)*, *schedule restoration task* dan *schedule discard task (preventive maintenance)*.
- f. *Default action* adalah kegiatan yang dilakukan ketika komponen sudah dalam kondisi gagal. *Default action* dilakukan apabila *proactive task* tidak dapat dilakukan. Terdapat tiga jenis dalam *default action* yaitu *failure finding, redesign, no scheduled maintenance*.
- g. Analisis titik kritis, menjelaskan tentang tingkat kekritisan *equipment unit* berdasarkan hasil perkalian dari nilai *severity, occurrence, dan detection*. Hasil perkalian tersebut adalah nilai *risk priority number*, lalu berdasarkan nilai tersebut ditentukan nilai *critically* dan *risk category*.

3.3.2 Analisis Kuantitatif

Analisa kuantitatif dilakukan untuk menentukan nilai distribusi, nilai TTF (*time to failure*), TTR (*time to repair*), MTTF (*mean time to failure*), MTTR (*mean time to repair*), *failure rate* (λ), *reliability function R(t)*, *availability A(t)*, dan *Maintainability M(t)*.

a. Penentuan TTF (*time to failure*) dan MTTF (*mean time to failure*)

TTF adalah waktu yang dilalui oleh komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan. Penentuan TTF (*time to failure*) didapatkan dari rekaman data *maintenance* komponen kritis *amine regeneration system* berdasarkan identifikasi variabel yang telah ditentukan. Kemudian didapatkan nilai MTTF (*mean time to failure*) atau rata-rata dari TTF menggunakan.

b. Penentuan distribusi data TTF (*time to failure*)

Penentuan distribusi kegagalan komponen *amine regeneration system* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak berupa *software Minitab*. Distribusi kegagalan komponen digunakan dalam penentuan keandalan masing-masing komponen proses. Pendekatan distribusi dilakukan dengan menggunakan *software Minitab* dikarenakan *software* ini mampu menentukan distribusi yang optimal dengan melakukan banyak pendekatan distribusi. Setelah parameter hasil pengujian distribusi didapatkan, kemudian digunakan untuk mengevaluasi keandalan $R(t)$ dan *availability A(t)* komponen.

c. Mengevaluasi keandalan $R(t)$ dan *availability* $A(t)$ komponen

Parameter hasil pengujian distribusi digunakan untuk mencari keandalan $R(t)$ dan *availability* $A(t)$ komponen. Keandalan $R(t)$ komponen terhadap waktu diperoleh menggunakan Persamaan 2.5 sampai Persamaan 2.16 berdasarkan jenis distribusi datanya. Sedangkan, *availability* $A(t)$ komponen terhadap waktu diperoleh menggunakan Persamaan 2.22.

d. Penentuan TTR (*time to repair*) dan MTTR (*mean time to repair*)

TTR (time to repair) adalah waktu perbaikan yang diperlukan oleh komponen agar dapat berfungsi kembali. Penentuan TTR didapatkan dari rekaman data *maintenance equipment unit amine regeneration system* dengan menghitung interval waktu antara mulai perbaikan sampai waktu berhenti perbaikan. Kemudian didapatkan nilai MTTR (*mean time to repair*) atau rata-rata dari TTR.

e. Penentuan distribusi data TTR (*time to repair*)

Penentuan distribusi perbaikan komponen *amine regeneration system* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak berupa *software Minitab*. Distribusi perbaikan komponen digunakan dalam penentuan keterawatan masing-masing komponen proses. Setelah parameter hasil pengujian distribusi didapatkan, kemudian digunakan untuk mengevaluasi keterawatan (*maintainability*) $M(t)$ komponen.

f. Mengevaluasi *maintainability* $M(t)$ komponen

Jenis Distribusi TTR yang sudah diperoleh menggunakan Minitab digunakan untuk menentukan *maintainability* komponen. Parameter distribusi disesuaikan dengan jenis distribusi yang telah didapatkan. *Maintainability* $M(t)$ komponen yang di uji diperoleh menggunakan Persamaan 2.17 sampai dengan Persamaan 2.20.

g. Mengevaluasi keandalan dengan *preventive maintenance*

Evaluasi keandalan pada komponen kritis *amine regeneration system* dilakukan untuk menentukan jadwal dan jenis pemeliharaan yang tepat setelah kegiatan *preventive maintenance* diterapkan. Evaluasi keandalan dilakukan pada komponen yang memiliki jenis laju kegagalan *increasing failure rate (IFR)*. Komponen yang memiliki jenis laju kegagalan *constant failure rate (CFR)* dan *decreasing failure rate (DFR)* tidak dilakukan kegiatan PM.

3.4 Menentukan Manajemen Perawatan

Manajemen perawatan ditentukan pada saat nilai *reliability* $R(t) = 55\%$ dengan pertimbangan jika nilai ambang batas pada keandalan sistem sebesar 50%, maka sistem memiliki peluang kegagalan yang tinggi dan akan sulit dicegah. Analisis yang dilakukan pada penelitian sebelumnya yang menggunakan Powersim Software, dimana hasilnya menunjukkan bahwa komponen yang direkomendasikan untuk melakukan perawatan dengan nilai keandalan 0,55 atau 55% dengan peluang sukses komponen sedikit lebih tinggi dibanding peluang gagalnya (Syerly, 2022). Nilai *reliability* dapat di plot dalam sebuah grafik hubungan antara nilai keandalan dengan waktu operasional. Waktu operasional pada saat nilai *reliability* $R(t) = 55\%$, ditetapkan sebagai interval waktu manajemen perawatan.

3.5 Jenis dan Jadwal Perawatan *Equipment Unit Amine Regeneration System*

Data yang didapatkan menggunakan analisis kualitatif dan kuantitatif digunakan untuk menentukan jadwal pemeliharaan berdasarkan analisis kuantitatif sesuai dengan nilai evaluasi keandalan, serta manajemen perawatan terhadap kerusakan pada setiap komponen berdasarkan analisis kualitatif dengan menanyakan langsung atau wawancara dengan pakar yang menangani *amine regeneration system*.

BAB IV

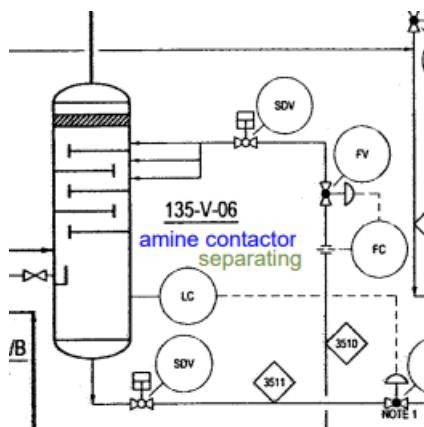
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kualitatif

Evaluasi kualitatif dilakukan dengan menganalisis fungsi (*function*), kegagalan fungsi (*function failure*), mode kegagalan (*failure mode*), efek kegagalan (*failure effect*), konsekuensi kegagalan (*failure consequence*), *proactive task*, dan *default action*. Analisis kualitatif dilakukan pada masing-masing *equipment unit* penyusun *amine regeneration system* sebagaimana yang tercantum pada Lampiran C.

4.1.1 Amine Contactor

Amine contactor berfungsi sebagai penghilang H₂S dari gas asam menggunakan cairan *amine*, dengan cara menyerap H₂S. *Amine contactor* terdiri dari sebuah tabung absorpsi yang diisi dengan *amine* dan aliran gas asam, serta dilengkapi dengan *pipe branch distributor*, *trays*, dan *instrument control*. *Amine contactor* dapat dilihat pada Gambar 4.1, sementara untuk gambar *equipment unit* selanjutnya dapat dilihat sesuai *node* urutan *equipment unit* pada Lampiran A.



Gambar 4.1 Amine Contactor

Kegagalan fungsi *amine contactor* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine contactor* pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Deskripsi FMEA *amine contactor*

<i>Maintainable Items</i>	<i>Failure Mode</i>		<i>Failure Cause</i>	<i>Failure Effect</i>
<i>Pipe Branch Distributor</i>	1 <i>Vibration (VIB)</i>		Adanya getaran dengan intensitas tinggi akibat tekanan pulsasi (osilasi aliran) dalam pipa	Kebocoran pada pipa sehingga fluida yang ada didalamnya keluar
<i>Trays</i>	2 <i>Plugged/Choked (PLU)</i>		Adanya plak pada permukaan tray ketika gas yang lewat mengandung parafin	Terganggunya proses adsorbsi H2S pada <i>sour gas</i> yang dapat menyebabkan <i>shutdown</i> pada sistem
<i>Instrument level</i> <i>Instrument pressure</i> <i>Instrument temperature</i> <i>Instrument flow</i>	3 <i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>		Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin, <i>instrument failure - general</i>	Tidak dapat mengendalikan jalannya proses, <i>shutdown system</i>

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine contactor*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Decision worksheet amine contactor*

FM	RCM Decision Worksheet												
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Propose Task Maintenance Plan		
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4			
1	Y	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>		
											<i>Inspection</i>		
2	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>		
											<i>Inspection</i>		
3	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>		
											<i>Conditioning monitoring (CM)</i>		

Contoh penjelasan *decision worksheet amine contactor* pada baris satu, terdapat FM 1 yang artinya *failure mode* pertama pada deskripsi FMEA yang sudah dilakukan sebelumnya yaitu *vibration (VIB)*. Kolom *consequence evaluation* terdapat H S E O yang ditulis Y N Y Y, karena FM 1 memiliki dampak *hidden failure* (H), *environment* (E), *operational* (O), dan tidak memiliki dampak *safety* (S). Kolom *proactive task* (H S O N) ditulis Y N N, karena jenis tindakan perawatan yang tepat terhadap untuk FM 1 adalah *scheduled on conditioning task*. Penjelasan *decision worksheet* pada setiap *equipment unit* selanjutnya mengikuti penjelasan diatas.

4.1.2 Amine Overhead Gas KO Drum

Amine overhead gas ko drum berfungsi sebagai *separator* untuk memisahkan gas yang telah dimurnikan dari *amine* dan mengembalikan *amine* yang terbawa dalam gas ke dalam tabung absorpsi. Kegagalan fungsi *amine overhead gas ko drum* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine overhead gas ko drum* pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Deskripsi FMEA *amine overhead gas ko drum*

Maintainable Items	Failure Mode	Failure Cause	Failure Effect
<i>Instrument level</i> <i>Instrument pressure</i> <i>Instrument temperature</i>	1 <i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin, <i>instrument failure - general</i>	Tidak dapat mengendalikan jalannya proses, <i>shutdown system</i>
<i>Control unit</i>	2 <i>High Output (HIO)</i>	Kegagalan pada <i>upstream equipment</i>	Cairan akan terbawa dan mencemari proses <i>downstream</i>

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine overhead gas ko drum*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Decision worksheet *amine overhead gas ko drum*

FM	RCM Decision Worksheet										
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action		Propose Task Maintenance Plan	
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4	
1	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>
											<i>Conditioning monitoring (CM)</i>
2	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>
											<i>Check operation of equipment</i>

4.1.3 Amine Flash Drum

Amine flash drum adalah sebuah tangki yang digunakan dalam proses pemurnian gas dengan *amine* sebagai agen penangkap untuk memisahkan gas dari cairan *amine*. Kegagalan fungsi *amine flash drum* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine flash drum* pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Deskripsi FMEA *amine flash drum*

<i>Maintainable Items</i>		<i>Failure Mode</i>		<i>Failure Cause</i>			<i>Failure Effect</i>		
<i>Instrument flow</i>		1	<i>High Output (HIO)</i>	Sisa hidrokarbon dari penyerap			Pembentukan busa dan berkurangnya penyerapan gas asam		
<i>Instrument pressure</i>		2	<i>High Output (HIO)</i>	Kandungan hidrokarbon berlebih dalam cairan <i>amine</i>			<i>Regenerator</i> berbusa, <i>Sulfur Recovery Unit (SRU)</i> rusak atau kotor		
<i>Instrument pressure</i>		3	<i>Low Output (LOO)</i>	<i>System venting failure</i>			Tidak dapat mengalir ke <i>regenerator</i>		

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine flash drum*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 *Decision worksheet amine flash drum*

FM	RCM Decision Worksheet											
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action		Propose Task Maintenance Plan		
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4		
1	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	
											<i>Correct absorber operation</i>	
2	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	
											<i>Correct absorber operation</i>	
3	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	
											<i>Checking system</i>	

4.1.4 Rich Amine Filter

Rich amine filter adalah sebuah filter yang digunakan dalam proses pemurnian gas dengan *amine* sebagai agen penangkap untuk menghilangkan partikel-partikel padatan dan kontaminan dari cairan *amine* yang terkumpul dalam bejana absorpsi. Kegagalan fungsi *rich amine filter* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *rich amine filter* pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Deskripsi FMEA *rich amine filter*

Maintainable Items	Failure Mode			Failure Cause			Failure Effect		
<i>Filters</i>	1	<i>Plugged/Choked (PLU)</i>			Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin			Pembentukan busa dan kotoran pada penyaring	
<i>Instrument pressure</i>	2	<i>High Output (HIO)</i>			Penumpukan kontaminan dan kegagalan pada media filter			Mengurangi laju filtrasi, menyebabkan pembentukan busa dan pengotoran	
<i>Instrument pressure</i>	3	<i>Low Output (LOO)</i>			Aliran rendah, kegagalan media filter atau internal			Penumpukan kontaminan dalam amina akan menyebabkan pembentukan busa dan korosi	

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *rich amine filter*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Decision worksheet *rich amine filter*

FM	RCM Decision Worksheet									
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action		
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4
1	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-
2	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-
3	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-

Scheduled Restoration Task
Repair filter components

Scheduled on Conditioning Task
Check piping for filter line-up

Scheduled on Conditioning Task
Check piping for filter line-up

4.1.5 Rich Amine Exchanger

Rich amine exchanger adalah sebuah penukar panas yang digunakan dalam proses pemurnian gas dengan *amine* sebagai agen penangkap untuk mengembalikan panas yang dihasilkan oleh reaksi antara gas asam dan *amine* ke dalam tabung absorpsi. Kegagalan fungsi *rich amine exchanger* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *rich amine exchanger* pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Deskripsi FMEA *rich amine exchanger*

Maintainable Items	Failure Mode				Failure Cause			Failure Effect		
Body/Shell	1	<i>Structural Deficiency (STD)</i>				Anion format terdegradasi menjadi asam format			Keretakan bagian bawah area paking penukar amina, <i>risk and fire potency</i>	
Local pressure gauges	2	<i>High Output (HIO)</i>				Pengotoran dan kerusakan peralatan			Berkurangnya sirkulasi dan perpindahan panas	

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *rich amine exchanger*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Decision worksheet *rich amine exchanger*

FM	RCM Decision Worksheet										
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Propose Task Maintenance Plan
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4	
1	Y	Y	N	Y	N	Y	N	-	-	-	Scheduled Restoration Task
											Regular repair and checking system
2	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task
											Locate the point of high pressure

4.1.6 Amine Regenerator

Amine regenerator adalah sebuah unit dalam proses pemurnian gas dengan *amine* sebagai agen penangkap yang digunakan untuk memisahkan senyawa asam dari cairan *amine* sehingga *amine* dapat digunakan kembali dalam proses absorpsi. Kegagalan fungsi *amine regenerator* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine regenerator* pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Deskripsi FMEA *Amine Regenerator*

Maintainable Items	Failure Mode			Failure Cause	Failure Effect
Pressure gage (field), transmitter/recorder alarm (board)	1	<i>Low Output (LOO)</i>		Pengontrol tekanan gagal, hilangnya sumber panas reboiler, hilangnya umpan, hilangnya penahan	Gangguan/shutdown sulfur unit, kebocoran, unit shutdown
Pressure gage (field), transmitter/recorder alarm (board)	2	<i>High Output (HIO)</i>		Masalah pada downstream unit, saluran keluar tersumbat, pengontrol tekanan gagal	Unit shutdown, penurunan masukan panas

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine regenerator*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Decision worksheet *amine regenerator*

FM	RCM Decision Worksheet											
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action		Propose Task Maintenance Plan		
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4		
1	N	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	
											<i>Determine cause for loss of feed or</i>	
2	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	
											<i>Raise reflux temperature</i>	

4.1.7 Amine Regenerator Re-Boiler

Amine regenerator re-boiler berfungsi untuk memanaskan *amine* yang jenuh dengan gas asam sehingga gas asam terpisah dari *amine*. Kegagalan fungsi *amine regenerator re-boiler* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine regenerator re-boiler* pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Deskripsi FMEA *amine regenerator re-boiler*

Maintainable Items	Failure Mode		Failure Cause			Failure Effect
Flow indicating controller	1 <i>Low Output (LOO)</i>		Kegagalan pengontrol, hilangnya pasokan, kemacetan sistem kondensat			Hilangnya kemampuan perawatan, produk di luar spesifikasi

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine regenerator re-boiler*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Decision worksheet *amine regenerator re-boiler*

FM	RCM Decision Worksheet											
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action		Propose Task Maintenance Plan		
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4		
1	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	
											<i>Restore supply of heating media</i>	

4.1.8 Hot Lean Amine Pump

Hot lean amine pump adalah jenis pompa yang digunakan pada unit pemurnian gas alam untuk mengalirkan *amine* panas dan bersih dari regenerator ke tabung absorber. Kegagalan fungsi *hot lean amine pump* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *hot lean amine pump* pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Deskripsi FMEA *hot lean amine pump*

Maintainable Items	Failure Mode	Failure Cause	Failure Effect
Pump motor	1 <i>Vibration (VIB)</i>	Ketidakseimbangan dan ketidaksejajaran listrik motor	Menyebabkan getaran dan penyumbatan total pada bantalan
Instrument general	2 <i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin	Tidak dapat mengendalikan jalannya proses, <i>shutdown system</i>
Instrument pressure	3 <i>High Output (HIO)</i>	Pembebanan <i>lean amine</i> yang berlebihan	Gas asam keluar dari larutan seiring dengan menurunnya tekanan melalui pipa
Body/Shell	4 <i>Structural Deficiency (STD)</i>	Gas-gas asam membentuk suatu area yang terlokalisasi konsentrasi tinggi	Pembentukan pola seperti lubang pada permukaan atau gigitan logam

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *hot lean amine pump*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Decision worksheet hot lean amine pump

FM	RCM Decision Worksheet										
	Consequence Evaluation			Proactive Task			Default Action		Propose Task Maintenance Plan		
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4	
1	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task Inspection
2	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task Conditioning monitoring (CM)
3	N	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task Conditioning monitoring (CM)
4	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	Scheduled Restoration Task Repair system components

4.1.9 Amine Mechanical Filter

Amine mechanical filter berfungsi untuk menyaring partikel-partikel kasar seperti kerak atau kotoran yang terbawa oleh larutan *amine* dan dapat menyebabkan kerusakan pada pompa atau peralatan lainnya di dalam proses. Kegagalan fungsi *amine mechanical filter* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine mechanical filter* pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Deskripsi FMEA *amine mechanical filter*

Maintainable Items	Failure Mode			Failure Cause			Failure Effect		
<i>Pressure differential indicator</i>	1	<i>Overheating (OHE)</i>			Reaksi amina dengan asam yang lebih kuat dari H2S atau CO2.			Bersifat surfaktan yang dapat menyebabkan pembentukan busa	
<i>Pressure differential transmitter</i>	2	<i>High Output (HIO)</i>			Konsentrasi partikulat yang berlebihan			Buruknya kontak antara gas amina/umpam dan gas yang tidak sesuai spesifikasi	
<i>Body/Shell</i>	3	<i>Structural Deficiency (STD)</i>			Pengadukan dan suhu yang tidak sesuai			Erosi logam atau lapisan pasivasi yang melindunginya	

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine mechanical filter*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Decision worksheet *amine mechanical filter*

FM	RCM Decision Worksheet											
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Propose Task Maintenance Plan	
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4		
1	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	
											<i>Conditioning monitoring (CM)</i>	
2	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	
											<i>Inspection</i>	
3	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task</i>	
											<i>Repair system components</i>	

4.1.10 Amine Carbon Filter

Amine carbon filter berfungsi untuk menghilangkan senyawa karbon dari larutan *amine* dengan cara menyerap senyawa-senyawa tersebut ke dalam lapisan karbon aktif di dalam filter. Kegagalan fungsi *amine carbon filter* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki

dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine carbon filter* pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Deskripsi FMEA *amine carbon filter*

Maintainable Items	Failure Mode			Failure Cause			Failure Effect		
Subunit	1	<i>Plugged/Choked (PLU)</i>			Konsentrasi partikulat yang berlebihan			Penyumbatan pada filter karbon	
Instrument pressure	2	<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>			Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin			Perubahan tekanan pada sistem filter	

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine carbon filter*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Decision worksheet *amine carbon filter*

FM	RCM Decision Worksheet										
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Propose Task Maintenance Plan
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4	
1	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task
											Inspection
2	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task
											Conditioning monitoring (CM)

4.1.11 Amine Surge Vessel

Tangki ini berfungsi untuk menampung sementara larutan *amine* yang mengalir dari tabung absorber sehingga dapat menjaga aliran yang stabil dan terus menerus ke tabung regenerator. Kegagalan fungsi *amine surge vessel* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine surge vessel* pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Deskripsi FMEA *amine surge vessel*

Maintainable Items	Failure Mode			Failure Cause	Failure Effect
Instrument pressure Instrument level Instrument temperature	1	<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>		Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin	Tidak dapat mengendalikan jalannya proses, <i>shutdown system</i>
Piping	2	<i>External Leakage (PLU)</i>		Kebocoran pada pipa hisap kompresor	Menimbulkan korosi dan <i>heat stable salts (HSS)</i>
Field level indicator	3	<i>High Output (HIO)</i>		Kebocoran air sehingga terjadi pengenceran <i>amine</i>	Kemungkinan tangki meluap

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine surge vessel*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Decision worksheet *amine surge vessel*

FM	RCM Decision Worksheet											
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action		Propose Task Maintenance Plan		
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4		
1	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	<i>Conditioning monitoring (CM)</i>
2	Y	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	<i>Conditioning monitoring (CM)</i>
3	N	Y	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	<i>Check amine strength</i>

4.1.12 Solvent Filter

Solvent filter adalah jenis filter yang digunakan untuk menyaring atau memurnikan pelarut yang mengandung *amine* atau senyawa organik nitrogen yang terdiri dari gugus amina. Kegagalan fungsi *solvent filter* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *solvent filter* pada Tabel 4.23

Tabel 4.23 Deskripsi FMEA *solvent filter*

Maintainable Items	Failure Mode		Failure Cause	Failure Effect
<i>Instrument-general</i>	1	<i>High Output (HIO)</i>	Adanya peningkatan kadar produk degradasi viskositas tinggi	Penghalang perpindahan massa tambahan pada proses pengolahan
<i>Subunit</i>	2	<i>Structural Deficiency (STD)</i>	<i>Mechanical failure general</i>	kegagalan dalam penyaringan
<i>Instrument-pressure</i>	3	<i>Parameter Deviation (PDE)</i>	kesalahan dalam mengatur tekanan pelarut dan gas	kondensasi gas hidrokarbon dan menyebabkan pembentukan busa

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *solvent filter*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Decision worksheet solvent filter

FM	RCM Decision Worksheet											
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Propose Task Maintenance Plan	
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4		
1	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	Conditioning monitoring (CM)
2	N	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	Scheduled Restoration Task	Repair filter components
3	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	Measurement and calibration

4.1.13 Amine Reflux Drum

Amine reflux drum berfungsi sebagai tempat penampungan sementara untuk gas-gas asam yang telah dipisahkan dari larutan amina pada proses regenerasi. Kegagalan fungsi *amine reflux drum* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine reflux drum* pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Deskripsi FMEA *amine reflux drum*

Maintainable Items	Failure Mode			Failure Cause			Failure Effect	
Instrument pressure Instrument level	1	Low Output (LOO)			Media pendingin terlalu banyak dan terlalu dingin			Saluran udara tersumbat dengan hidrat atau NH ₃
Coolers	2	External Leakage (PLU)			Perubahan laju aliran secara tiba-tiba			Merusak bagian dalam alat

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine reflux drum*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Decision worksheet *amine reflux drum*

FM	RCM Decision Worksheet											
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Propose Task Maintenance Plan	
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4		
1	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	Measurement and calibration
2	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	Scheduled Restoration Task	Regular repair and checking system

4.1.14 Amine Reflux Pump

Amine reflux pump adalah pompa yang digunakan dalam proses *amine treating* untuk memompa larutan *amine* dari *Amine Reflux pump* ke proses regenerasi. Kegagalan fungsi *amine reflux pumps* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine reflux pump* pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Deskripsi FMEA *amine reflux pump*

Maintainable Items	Failure Mode			Failure Cause			Failure Effect		
<i>Control unit</i>	1	<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>		kegagalan kontrol, kebocoran, penyumbatan, kotor, <i>pump failure</i>			Masalah dalam perpindahan panas/massa, mengurangi sirkulasi dan keluaran		
<i>Control unit</i>	2	<i>Plugged/Choked (PLU)</i>		kesalahan kontrol, penyumbatan masukan panas <i>reboiler</i> , masalah pompa			Pemuatan <i>lean</i> yang tinggi menyebabkan produk di luar spesifikasi		
<i>Flow indicating controller</i>	3	<i>Low Output (LOO)</i>		Kehilangan atau penurunan masukan panas			Kelebihan air ke unit sulfur hilir, peningkatan tekanan yang mempercepat korosi		
<i>Flow indicating controller</i>	4	<i>High Output (HIO)</i>		Keseimbangan air tidak tepat, suhu puncak menara terlalu rendah			Kekuatan amina tidak menentu, saluran udara tersumbat		
<i>Subunit</i>	5	<i>Structural Deficiency (STD)</i>		Jarang dibersihkan, sistem pencucian air tidak beroperasi			Korosi sistem <i>overhead</i> , <i>refluks H2S</i> kembali ke bagian pengupasan regenerator		

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine reflux pump*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Decision worksheet *amine reflux pump*

FM	RCM Decision Worksheet											
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action		Propose Task Maintenance Plan		
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4		
1	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	<i>Check the control system</i>
2	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	<i>Measurement and calibration</i>
3	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	<i>Increase heat input to reboiler</i>
4	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	<i>Compute water balance</i>
5	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task</i>	<i>Regular repair and checking system</i>

4.1.15 Amine Drain Vessel

Amine drain vessel adalah tangki atau drum yang digunakan dalam proses *amine treating* untuk menampung larutan *amine* yang telah digunakan dari *Amine Drain Header* dan mengalir keluar dari kolom absorpsi atau peralatan lainnya. Kegagalan fungsi *amine drain vessel* disebabkan oleh beberapa jenis kegagalan serta memiliki dampak kegagalan yang berbeda sesuai dengan jenis kegagalannya. Berikut penjelasan secara lengkap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dari *amine drain vessel* pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Deskripsi FMEA *amine drain vessel*

Maintainable Items	Failure Mode		Failure Cause	Failure Effect
<i>Instrument general</i>	1	<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin	Tidak dapat mengendalikan jalannya proses sehingga variabel proses tidak sesuai dengan nilai yang ditentukan
<i>Electrical general</i>	2	<i>Faulty Output Voltage (FOV)</i>	<i>Electric power-failure</i>	Kehilangan media pemanas ke <i>Low Pressure Flare Header</i>

Setelah dilakukan analisis pada jenis dan dampak kegagalan yang ditimbulkan pada *amine drain vessel*, selanjutnya menentukan konsekuensi kegagalan dan jenis tindakan yang harus dilakukan menggunakan *decision worksheet* seperti pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Decision worksheet *amine drain vessel*

FM	RCM Decision Worksheet											
	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action		Propose Task Maintenance Plan		
	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4		
1	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task</i>	
	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Conditioning monitoring (CM)</i>	
2	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task</i>	
	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Conditioning monitoring (CM)</i>	

4.1.16 Analisis Titik Kritis

Analisis titik kritis atau *critically analysis* dilakukan untuk menentukan tingkat kekritisan dari setiap *equipment unit* penyusun *amine regeneration system*. Titik kritis dari setiap *equipment unit* ditentukan berdasarkan hasil perhitungan *risk priority number* yang diperoleh dari perkalian nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D). Nilai RPN yang diperoleh dari setiap *failure mode* dengan hasil tertinggi akan menjadi titik kritis dari *equipment unit*. Nilai SOD didapatkan melalui wawancara dengan asisten pembimbing lapangan, dimana hasilnya disesuaikan dengan skala yang tertulis pada Tabel 2.2, 2.3, 2.4. Hasil analisis titik kritis pada *amine regeneration system* dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Analisis titik kritis *equipment unit amine regeneration system*

NO	<i>Equipment Unit</i>	<i>Critically Analysis</i>					
		S	O	D	RPN	<i>Critically</i>	<i>Risk Category</i>
1	<i>Amine Contactor</i>	9	6	2	108	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>
2	<i>Amine Overhead Gas KO Drum</i>	9	6	2	108	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>
3	<i>Amine Flash Drum</i>	6	7	2	84	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>
4	<i>Rich Amine Filter</i>	6	7	5	210	<i>Very High</i>	<i>Unacceptable</i>
5	<i>Rich Amine Exchanger</i>	9	6	5	270	<i>Critical</i>	<i>Unacceptable</i>
6	<i>Amine Regenerator</i>	9	6	2	108	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>
7	<i>Amine Regenerator Re-Boiler</i>	6	5	2	60	<i>Medium</i>	<i>Tolerable</i>
8	<i>Hot Lean Amine Pump</i>	8	4	5	160	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>
9	<i>Amine Mechanical Filter</i>	8	6	4	192	<i>Very High</i>	<i>Unacceptable</i>
10	<i>Amine Carbon Filter</i>	8	2	4	64	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>
11	<i>Amine Surge Vessel</i>	9	4	2	72	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>
12	<i>Solvent Filter</i>	8	6	4	192	<i>Very High</i>	<i>Unacceptable</i>
13	<i>Amine Reflux Drum</i>	8	7	4	224	<i>Very High</i>	<i>Unacceptable</i>
14	<i>Amine Reflux Pump</i>	9	5	5	225	<i>Very High</i>	<i>Unacceptable</i>
15	<i>Amine Drain Vessel</i>	9	6	3	162	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>

Contoh penjelasan analisis titik kritis pada baris satu atau *equipment unit amine contactor*, pada kolom S O D ditulis nilai 9 6 2. Kolom S ditulis angka 9 karena, *amine contactor* memiliki kegagalan yang menyebabkan kegagalan sistem sepenuhnya atau sistem tidak dapat beroperasi. Kolom O ditulis angka 6 karena, *amine contactor* memiliki frekuensi kegagalan antara satu hingga empat kali dalam satu tahun. Kolom D ditulis angka 2 karena, kegagalan *amine contactor* dapat dideteksi dari *control room* dengan adanya sensor yang terpasang pada alat. Kolom RPN diperoleh dari hasil perkalian nilai S O D, sehingga diperoleh nilai 108. Berdasarkan nilai RPN yang diperoleh, nilai tersebut termasuk dalam nilai *critically “high”* dan *risk category “tolerable”*. Nilai *critically* dan *risk category* diperoleh berdasarkan standar yang sudah ditentukan pada Tabel 2.5. Penjelasan analisis titik kritis pada setiap *equipment unit* selanjutnya mengikuti penjelasan diatas. Berdasarkan hasil analisis titik kritis pada Tabel 4.31, diperoleh enam *equipment unit* kritis *amine regeneration system*. Penentuan *equipment unit* kritis berdasarkan *risk category* dengan skala nilai *unacceptable*, *equipment unit* tersebut adalah *rich amine filter*, *rich amine exchanger*, *amine mechanical filter*, *solvent filter*, *amine reflux drum*, dan *amine reflux drum*. *Amine regeneration system* memiliki persentase *equipment unit* dengan nilai *critically* dengan nilai *medium* 6,67%, *high* 53,33%, *very high* 33,33%, dan *critical* 6,67%. Penjelasan hasil analisis titik kritis dapat dilihat secara lengkap berdasarkan setiap *failure mode* dari *equipment unit* penyusun *amine regeneration system* Pada Lampiran C.

4.2 Analisis Kuantitatif

Analisa kuantitatif dilakukan untuk menentukan nilai keandalan *equipment unit* penyusun sistem, dengan cara menentukan nilai TTF (*time to failure*), TTR (*time to repair*), serta jenis dan nilai parameter distribusi data yang didapatkan dari *software* Minitab, kemudian dimasukan ke dalam persamaan sesuai dengan jenis distribusinya untuk mendapatkan nilai keandalan dari masing-masing komponen. Perhitungan nilai keandalan berdasarkan pada parameter dari data TTF (*time to failure*) sedangkan untuk *Maintainability* berdasarkan pada parameter dari data TTR (*time to repair*). evaluasi keandalan terhadap masing-masing *equipment unit* *amine regeneration system* bertujuan untuk mengetahui komponen kritis dan mendapatkan jadwal perawatan yang optimal. Model distribusi data untuk masing-masing komponen pada *software* Minitab ditampilkan pada Tabel 4.32.

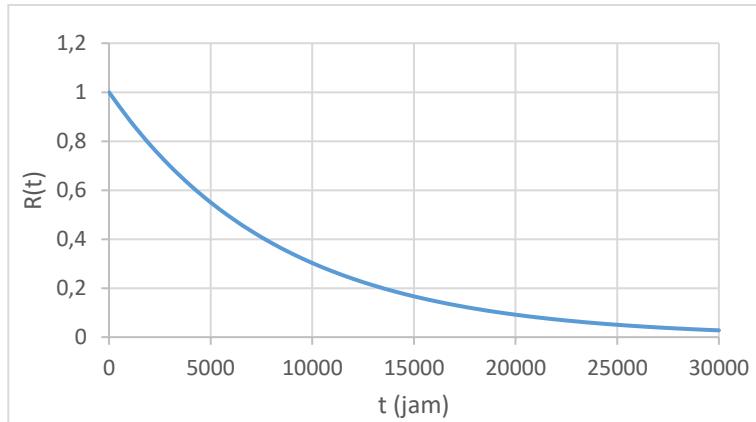
Tabel 4.32 Parameter distribusi data TTF dan TTR

NO	<i>Equipment Class</i>	Distribusi	
		TTF	TTR
1	<i>Amine Contactor</i>	Exponensial	Weibull
2	<i>Amine Overhead Gas KO Drum</i>	Exponensial	Weibull
3	<i>Amine Flash Drum</i>	Exponensial	Weibull
4	<i>Rich Amine Filter</i>	Exponensial	Weibull
5	<i>Rich Amine Exchanger</i>	Weibull	Weibull
6	<i>Amine Regenerator</i>	Exponensial	Weibull
7	<i>Amine Regenerator Reboiler</i>	Exponensial	Exponensial
8	<i>Hot Lean Amine Pump</i>	Exponensial	Lognormal
9	<i>Amine Mechanical Filter</i>	Lognormal	Weibull
10	<i>Amine Carbon Filter</i>	Lognormal	Lognormal
11	<i>Amine Surge Vessel</i>	Exponensial	Exponensial
12	<i>Solvent Filter</i>	Exponensial	Exponensial
13	<i>Amine Reflux Drum</i>	Weibull	Weibull
14	<i>Amine Reflux Pump</i>	Weibull	Weibull
15	<i>Amine Drain Vessel</i>	Exponensial	Exponensial

4.2.1 Evaluasi Keandalan *Amine Contactor*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine contactor* pada Lampiran D.1, jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0001195$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.15 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (t).

Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut:

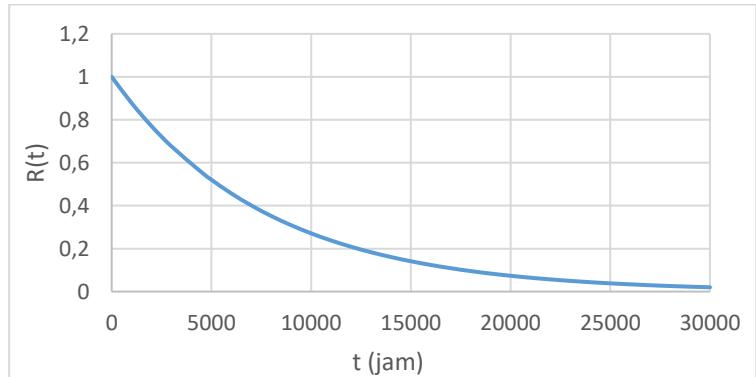


Gambar 4.2 Keandalan *amine contactor*

Berdasarkan Gambar 4.2, nilai keandalan *amine contactor* akan menurun hingga 55% saat mencapai 5000 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (*t*) pada 5000 jam operasi senilai 0,93 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.1. Jenis distribusi yang optimal dari data waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi *weibull 2* dengan parameter $\beta=0,909867$ dan $\eta=459,115$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.19, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *amine contactor* dengan interval waktu (*t*) pada 5000 jam operasi senilai 0,99. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (*t*) dapat dilihat pada Lampiran F.1.

4.2.2 Evaluasi Keandalan Amine Overhead Gas KO Drum

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine overhead gas ko drum* pada Lampiran D.1, jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0001305$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.15 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (*t*). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut:

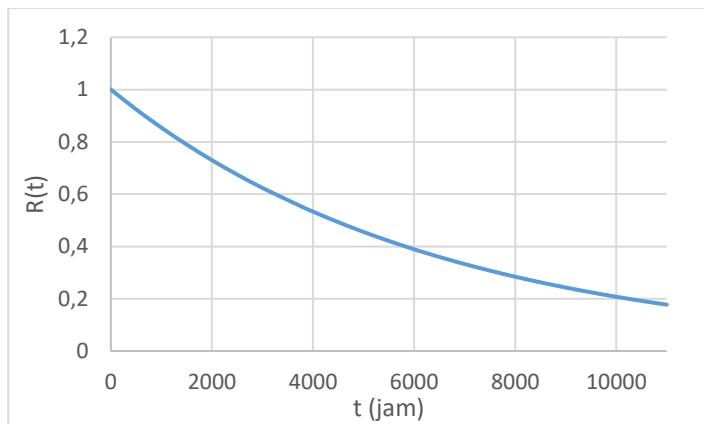


Gambar 4.3 Keandalan *amine overhead gas ko drum*

Berdasarkan Gambar 4.3, nilai keandalan *amine overhead gas ko drum* akan menurun hingga 55% saat mencapai 4550 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (t) pada 4550 jam operasi senilai 0,77 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.2. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=0,634406$ dan $\eta=909,818$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.19, sehingga diperoleh nilai *Maintainability* dari *amine overhead gas ko drum* dengan interval waktu (t) pada 4550 jam operasi senilai 0,93. Hasil pengolahan data *availability* dan *Maintainability* pada interval waktu (t) dapat dilihat pada Lampiran F.2.

4.2.3 Evaluasi Keandalan *Amine Flash Drum*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine flash drum* pada Lampiran D.1, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0001573$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.15 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (t). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.4 berikut:

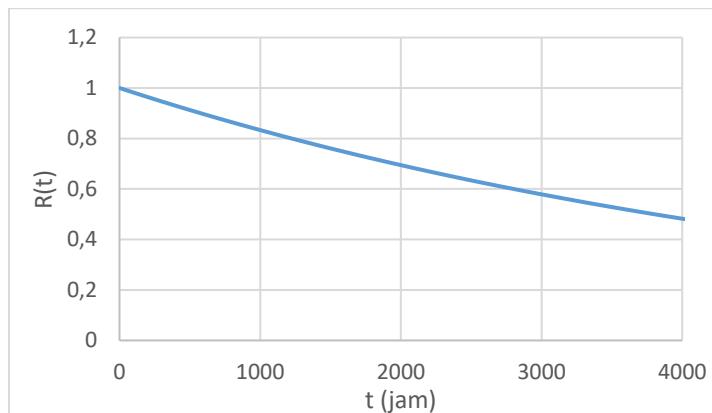


Gambar 4.4 Keandalan *amine flash drum*

Berdasarkan Gambar 4.4, keandalan *amine flash drum* akan menurun hingga 55% saat mencapai 3800 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (t) pada 3800 jam operasi senilai 0,99 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.3. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=1,60881$ dan $\eta=268,36$. Paramater tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.19, sehingga diperoleh nilai *Maintainability* dari *amine flash drum* dengan interval waktu (t) pada 3800 jam operasi senilai 1. Hasil pengolahan data *availability* dan *Maintainability* pada interval waktu (t) dapat dilihat pada Lampiran F.3.

4.2.4 Evaluasi Keandalan *Rich Amine Filter*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *rich amine filter* pada Lampiran D.1, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0001823$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.15 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (t). Hasil perhitungan ditunjukan pada Gambar 4.5 berikut:

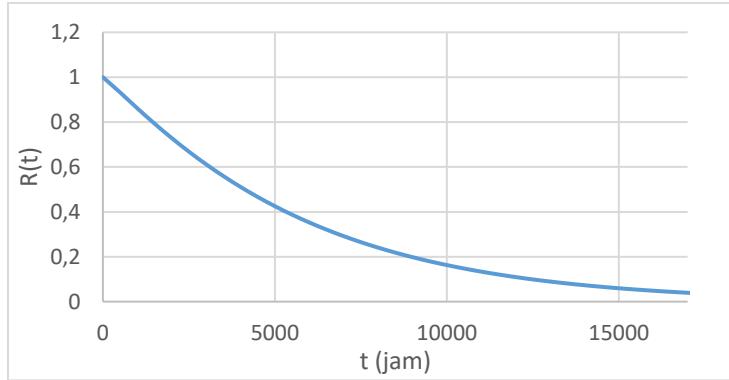


Gambar 4.5 Keandalan *rich amine filter*

Berdasarkan Gambar 4.5, keandalan *rich amine filter* akan menurun hingga 55% saat mencapai 3275 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (t) pada 3275 jam operasi senilai 0,93 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.4. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=0,872161$ dan $\eta=252,162$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.19, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *rich amine filter* dengan interval waktu (t) pada 3275 jam operasi senilai 0,99. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (t) dapat dilihat pada Lampiran F.4.

4.2.5 Evaluasi Keandalan *Rich Amine Exchanger*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *rich amine exchanger* pada Lampiran D.2, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=1,08598$ dan $\eta=5778,08$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.12 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (t). Hasil perhitungan ditunjukan pada Gambar 4.6 berikut:

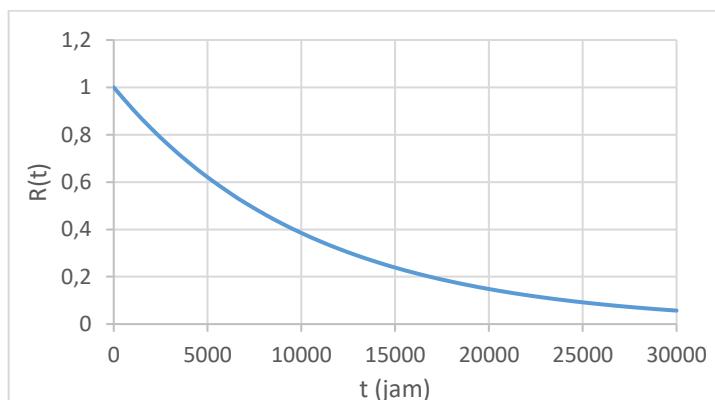


Gambar 4.6 Keandalan *rich amine exchanger*

Berdasarkan Gambar 4.6, keandalan *rich amine exchanger* akan menurun hingga 55% saat mencapai 3500 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (*t*) pada 3500 jam operasi senilai 0,98 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.5. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=0,924926$ dan $\eta=77,9929$. Parameter dimasukan kedalam persamaan 2.19, sehingga diperoleh nilai *Maintainability* dari *rich amine exchanger* dengan interval waktu (*t*) pada 3500 jam operasi senilai 1. Hasil pengolahan data *availability* dan *Maintainability* pada interval waktu (*t*) dapat dilihat pada Lampiran F.5.

4.2.6 Evaluasi Keandalan *Amine Regenerator*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine regenerator* pada Lampiran D.2, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0001823$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.15 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (*t*). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut:

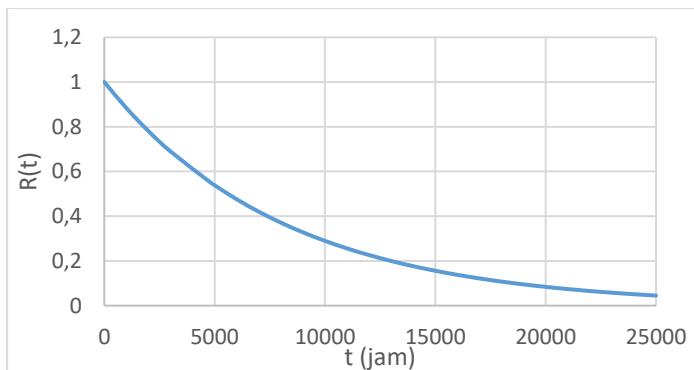


Gambar 4.7 Keandalan *amine regenerator*

Berdasarkan Gambar 4.7, keandalan *amine regenerator* akan menurun hingga 55% saat mencapai 6250 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (*t*) pada 6250 jam operasi senilai 0,99 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.6. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=2,16904$ dan $\eta=43,6883$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.19, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *amine regenerator* dengan interval waktu (*t*) pada 6350 jam operasi senilai 1. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (*t*) dapat dilihat pada Lampiran F.6.

4.2.7 Evaluasi Keandalan *Amine Regenerator Re-Boiler*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine regenerator re-boiler* pada Lampiran D.2, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0001239$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.15 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (*t*). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut:

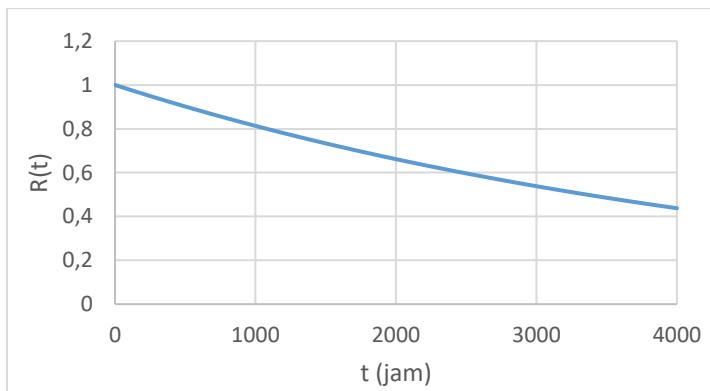


Gambar 4.8 Keandalan *amine regenerator re-boiler*

Berdasarkan Gambar 4.8, keandalan *amine regenerator re-boiler* akan menurun hingga 55% saat mencapai 4800 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (*t*) pada 4800 jam operasi senilai 0,98 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.7. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0111111$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.20, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *amine regenerator re-boiler* dengan interval waktu (*t*) pada 4800 jam operasi senilai 1. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (*t*) dapat dilihat pada Lampiran F.7.

4.2.8 Evaluasi Keandalan *Hot Lean Amine Pump*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *hot lean amine pump* pada Lampiran D.2, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0002065$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.15 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (t). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut:

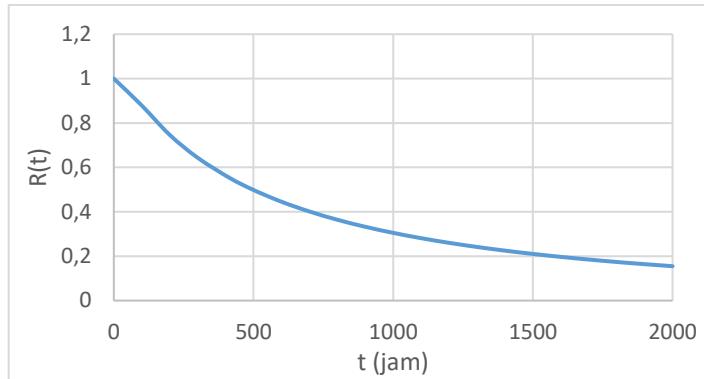


Gambar 4.9 Keandalan *hot lean amine pump*

Berdasarkan Gambar 4.9, keandalan *hot lean amine pump* akan menurun hingga 55% saat mencapai 2850 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (t) pada 2850 jam operasi senilai 0,82 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.8. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi lognormal dengan parameter $\mu=4,33228$ dan $\sigma=1,24009$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.18, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *hot lean amine pump* dengan interval waktu (t) pada 4800 jam operasi senilai 0,99. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (t) dapat dilihat pada Lampiran F.8.

4.2.9 Evaluasi Keandalan *Amine Mechanical Filter*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine mechanical filter* pada Lampiran D.3, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi lognormal dengan parameter $\mu=6,20881$ dan $\sigma=1,37119$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.9 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (t). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut:

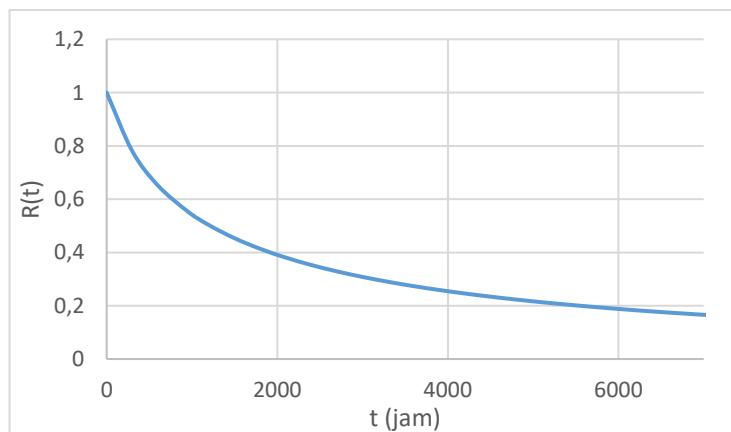


Gambar 4.10 Keandalan *amine mechanical filter*

Berdasarkan Gambar 4.10, keandalan *amine mechanical filter* akan menurun hingga 55% saat mencapai 415 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (*t*) pada 415 jam operasi senilai 0,99 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.9. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=1,83343$ dan $\eta=39,3541$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.19, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *amine mechanical filter* dengan interval waktu (*t*) pada 415 jam operasi senilai 1. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (*t*) dapat dilihat pada Lampiran F.9.

4.2.10 Evaluasi Keandalan *Amine Carbon Filter*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine carbon filter* pada Lampiran D.3, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi lognormal dengan parameter $\mu=7,101507$ dan $\sigma= 1,80615$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.9 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (*t*). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut:

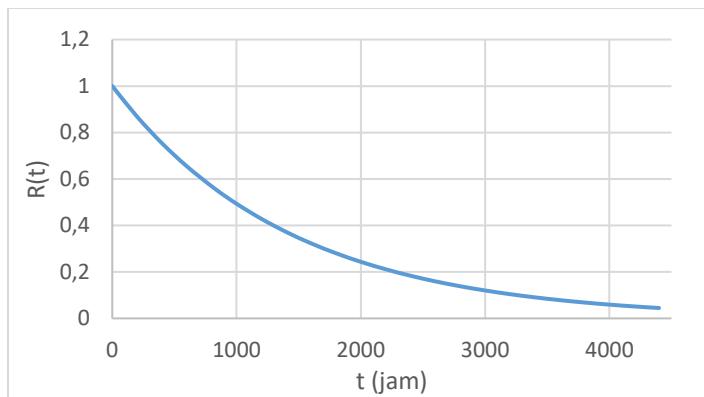


Gambar 4.11 Keandalan *amine carbon filter*

Berdasarkan Gambar 4.11, keandalan *amine carbon filter* akan menurun hingga 55% saat mencapai 950 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (*t*) pada 950 jam operasi senilai 0,71 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.10. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi lognormal dengan parameter $\mu=6,5276$ dan $\sigma=2,702222$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.18, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *amine carbon filter* dengan interval waktu (*t*) pada 950 jam operasi senilai 0,54. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (*t*) dapat dilihat pada Lampiran F.10.

4.2.11 Evaluasi Keandalan *Amine Surge Vessel*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine surge vessel* pada Lampiran D.4, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0007062$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.15 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (*t*). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.12 berikut:

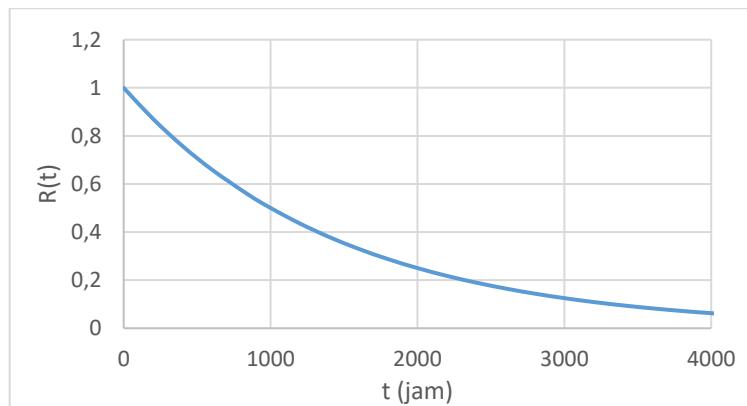


Gambar 4.12 Keandalan *amine surge vessel*

Berdasarkan Gambar 4.12, keandalan *amine surge vessel* akan menurun hingga 55% saat mencapai 825 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (*t*) pada 825 jam operasi senilai 0,93 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.11. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0104167$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.20, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *amine surge vessel* dengan interval waktu (*t*) pada 850 jam operasi senilai 0,99. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (*t*) dapat dilihat pada Lampiran F.11.

4.2.12 Evaluasi Keandalan *Solvent Filter*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *solvent filter* pada Lampiran D.4, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0006926$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.15 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (t). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.13 berikut:

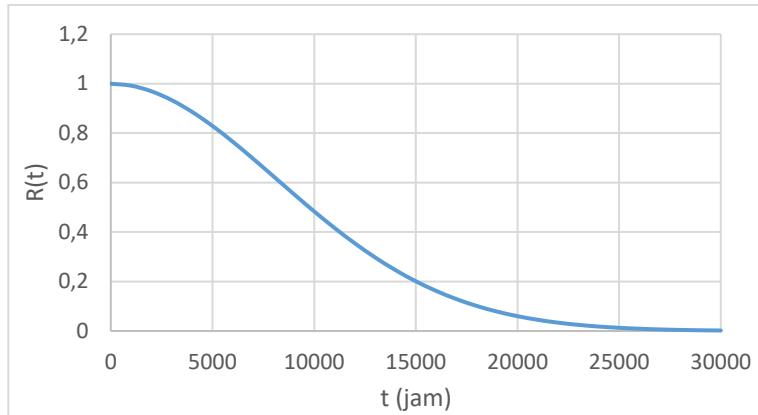


Gambar 4.13 Keandalan *solvent filter*

Berdasarkan Gambar 4.13, keandalan *solvent filter* akan menurun hingga 55% saat mencapai 850 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (t) pada 850 jam operasi senilai 0,96 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.12. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0190972$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.20, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *solvent filter* dengan interval waktu (t) pada 850 jam operasi senilai 0,99. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (t) dapat dilihat pada Lampiran F.12.

4.2.13 Evaluasi Keandalan *Amine Reflux Drum*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine reflux drum* pada Lampiran D.5, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=1,95416$ dan $\eta=11779,6$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.12 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (t). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.14 berikut:

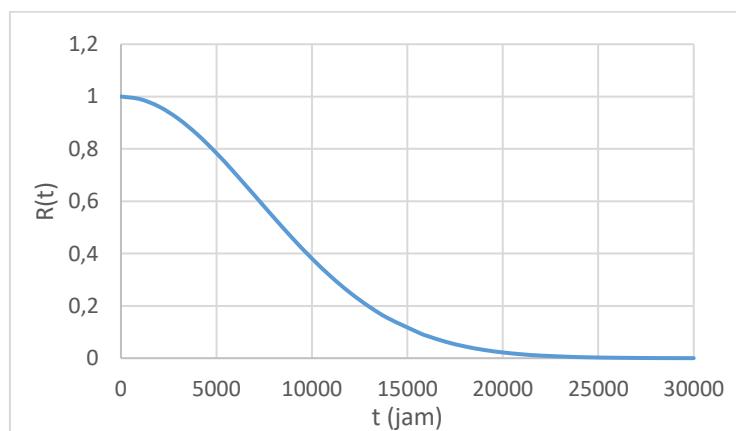


Gambar 4.14 Keandalan *amine reflux drum*

Berdasarkan Gambar 4.14, keandalan *amine reflux drum* akan menurun hingga 55% saat mencapai 9000 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (*t*) pada 9000 jam operasi senilai 0,94 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.13. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=0,790213$ dan $\eta=134,666$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.19, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *amine reflux drum* dengan interval waktu (*t*) pada 9050 jam operasi senilai 1. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (*t*) dapat dilihat pada Lampiran F.13.

4.2.14 Evaluasi Keandalan *Amine Reflux Pump*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine reflux pump* pada Lampiran D.5, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=1,98523$ dan $\eta=10184,2$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.12 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (*t*). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.15 berikut:

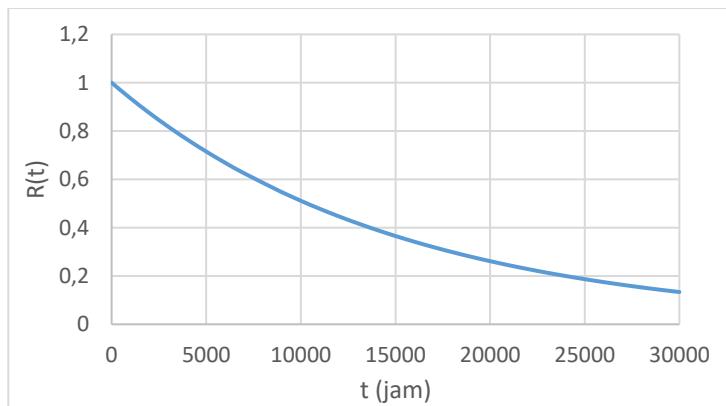


Gambar 4.15 Keandalan *amine reflux pump*

Berdasarkan Gambar 4.15, keandalan *amine reflux pump* akan menurun hingga 55% saat mencapai 7850 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (*t*) pada 7850 jam operasi senilai 0,96 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.14. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi weibull 2 dengan parameter $\beta=0,896475$ dan $\eta=135,496$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.19, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *amine reflux pump* dengan interval waktu (*t*) pada 7850 jam operasi senilai 1. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (*t*) dapat dilihat pada Lampiran F.14.

4.2.15 Evaluasi Keandalan *Amine Drain Vessel*

Berdasarkan data *maintenance record* dari *amine drain vessel* pada Lampiran D.5, didapatkan jenis distribusi data untuk waktu kegagalan (*time to failure*) yang optimal adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0000671$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.15 untuk mengetahui nilai keandalan dari *equipment unit* dalam interval waktu (*t*). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.16 berikut:



Gambar 4.16 Keandalan *amine drain vessel*

Berdasarkan Gambar 4.16, keandalan *amine drain vessel* akan menurun hingga 55% saat mencapai 8900 jam operasi, serta juga diperoleh nilai *availability* dengan interval waktu (*t*) pada 8900 jam operasi senilai 0,98 sebagaimana tercantum dalam Lampiran E.15. Jenis distribusi yang optimal untuk waktu perbaikan (*time to repair*) adalah distribusi eksponensial dengan parameter $\lambda=0,0050505$. Parameter tersebut dimasukan kedalam persamaan 2.20, sehingga diperoleh nilai *maintainability* dari *amine drain vessel* dengan interval waktu (*t*) pada 8900 jam operasi senilai 1. Hasil pengolahan data *availability* dan *maintainability* pada interval waktu (*t*) dapat dilihat pada Lampiran F.15.

4.2.16 Evaluasi Preventive Maintenance (PM)

Penentuan interval *preventive maintenance (PM)* dilakukan pada *equipment unit* dari *amine regeneration system* berdasarkan laju kegagalan atau *failure rate*. *Preventive maintenance (PM)* dilakukan pada *equipment unit* yang mengalami IFR (*increasing failure rate*), sedangkan pada DFR (*decreasing failure rate*) dan CFR (*constant failure rate*) PM tidak sesuai dilakukan. Berdasarkan hasil pengolahan data TTF dan TTR, diperoleh laju kegagalan dari *equipment unit amine regeneration system* pada Lampiran G. Terdapat 3 *equipment* dengan IFR, 10 *equipment* dengan CFR, dan 2 *equipment* dengan DFR. Rangkuman jenis laju kegagalan dan rekomendasi PM terdapat pada Tabel 4.33.

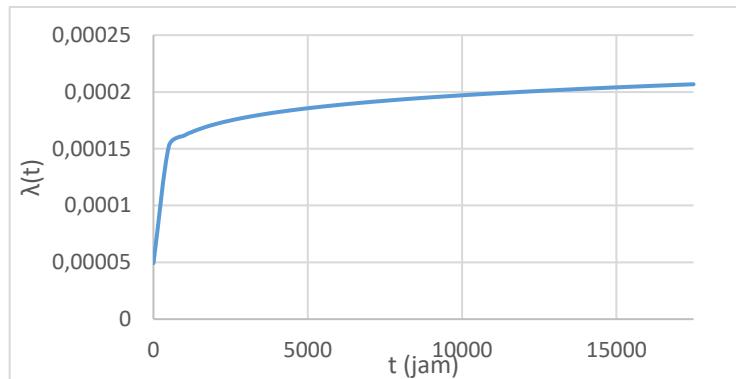
Tabel 4.33 Rekomendasi *maintenance equipment unit amine regeneration system*.

NO	Equipment Unit	Jenis Failure Rate	Rekomendasi Maintenance
1	Amine Contactor	CFR	Scheduled On Conditioning Task
2	Amine Overhead Gas KO Drum	CFR	Scheduled On Conditioning Task
3	Amine Flash Drum	CFR	Scheduled On Conditioning Task
4	Rich Amine Filter	CFR	Scheduled Restoration Task
5	Rich Amine Exchanger	IFR	Scheduled Restoration Task
6	Amine Regenerator	CFR	Scheduled On Conditioning Task
7	Amine Regenerator Re-Boiler	CFR	Scheduled On Conditioning Task
8	Hot Lean Amine Pump	CFR	Scheduled Restoration Task
9	Amine Mechanical Filter	DFR	Scheduled Restoration Task
10	Amine Carbon Filter	DFR	Scheduled On Conditioning Task
11	Amine Surge Vessel	CFR	Scheduled On Conditioning Task
12	Solvent Filter	CFR	Scheduled Restoration Task
13	Amine Reflux Drum	IFR	Scheduled Restoration Task
14	Amine Reflux Pump	IFR	Scheduled Restoration Task
15	Amine Drain Vessel	CFR	Scheduled On Conditioning Task

Berdasarkan Tabel 4.32 terdapat 3 *equipment unit* yang direkomendasikan dilakukan PM yaitu, *rich amine exchanger*, *amine reflux drum*, dan *amine reflux pump*. *Equipment unit* yang tidak direkomendasikan untuk dilakukan PM tidak dibiarkan begitu saja, akan tetapi terdapat kegiatan lain seperti pengecekan dan perbaikan untuk mengatasi kegagalan.

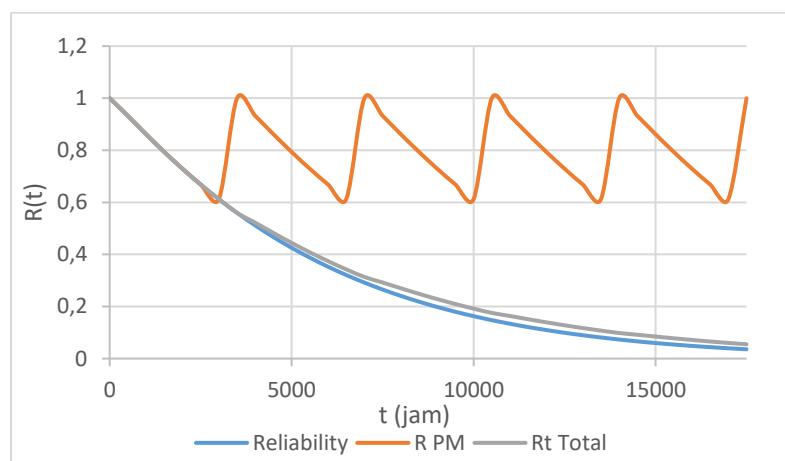
a. Evaluasi PM *Rich Amine exchanger*

Laju kegagalan pada *rich amine exchanger* mengalami kenaikan (*increasing failure rate*). *Rich amine exchanger* memiliki jenis distribusi weibull 2 parameter, sehingga nilai laju kegagalan dapat dihitung menggunakan rumus 2.13. Hasil pengolahan nilai laju kegagalan *rich amine exchanger* dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.17 Laju kegagalan *rich amine exchanger*

Evaluasi PM (*preventive maintenance*) dilakukan pada nilai keandalan $R(t)=55\%$ atau pada 3500 jam operasi, dengan menggunakan persamaan 2.21 didapatkan nilai keandalan dengan PM dengan interval waktu (t). Gambar 4.17 merupakan nilai keandalan *rich amine exchanger* dengan *preventive maintenance*.

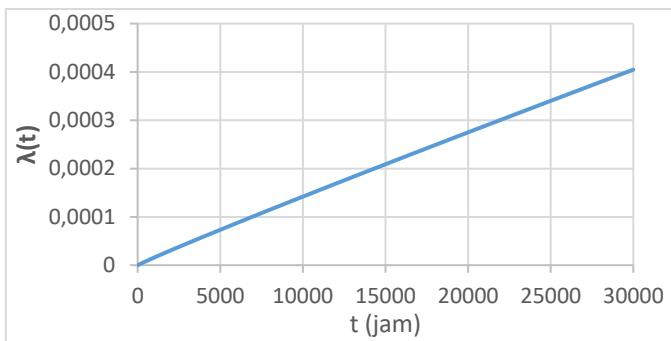


Gambar 4.18 Keandalan *rich amine exchanger* dengan PM

Gambar 4.16 menunjukkan nilai keandalan *rich amine exchanger* setelah dilakukan evaluasi PM pada $R(t)=55\%$ atau 3500 jam operasi. Kegiatan evaluasi PM optimal dilakukan, karena nilai keandalan mengalami kenaikan setelah dilakukan evaluasi PM. Berdasarkan hasil evaluasi PM yang dilakukan, jenis perawatan yang tepat pada *rich amine exchanger* adalah *scheduled restoration task* pada 3500 jam operasi.

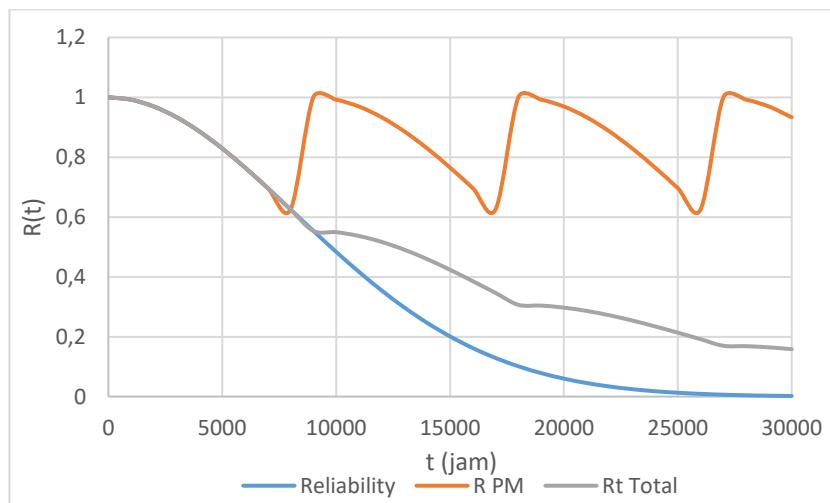
b. Evaluasi PM *Amine Reflux Drum*

Laju kegagalan pada *amine reflux drum* mengalami kenaikan (*increasing failure rate*). *Amine reflux drum* memiliki jenis distribusi weibull 2 parameter, sehingga nilai laju kegagalan dapat dihitung menggunakan rumus 2.13. Hasil pengolahan nilai laju kegagalan *amine reflux drum* dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.19 Laju kegagalan *amine reflux drum*

Evaluasi PM (*preventive maintenance*) dilakukan pada nilai keandalan $R(t)=55\%$ atau pada 9000 jam operasi, dengan menggunakan persamaan 2.21 didapatkan nilai keandalan dengan PM dengan interval waktu (t). Gambar 4.19 merupakan nilai keandalan *amine reflux drum* dengan *preventive maintenance*.

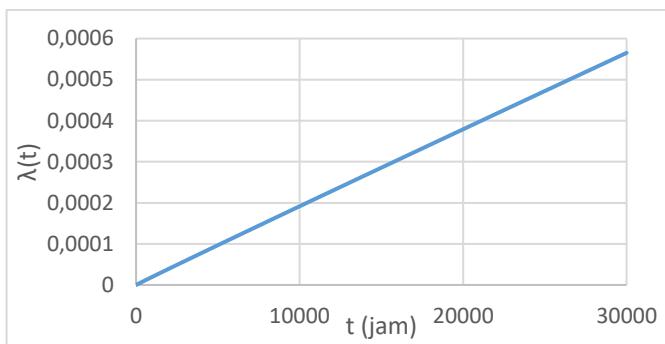


Gambar 4.20 Keandalan *amine reflux drum* dengan PM

Gambar 4.19 menunjukkan nilai keandalan *amine reflux drum* setelah dilakukan evaluasi PM pada $R(t)=55\%$ atau 9000 jam operasi. Kegiatan evaluasi PM optimal dilakukan, karena nilai keandalan mengalami kenaikan setelah dilakukan evaluasi PM. Berdasarkan hasil evaluasi PM yang dilakukan, jenis perawatan yang tepat pada *amine reflux drum* adalah *scheduled restoration task* pada 9000 jam operasi.

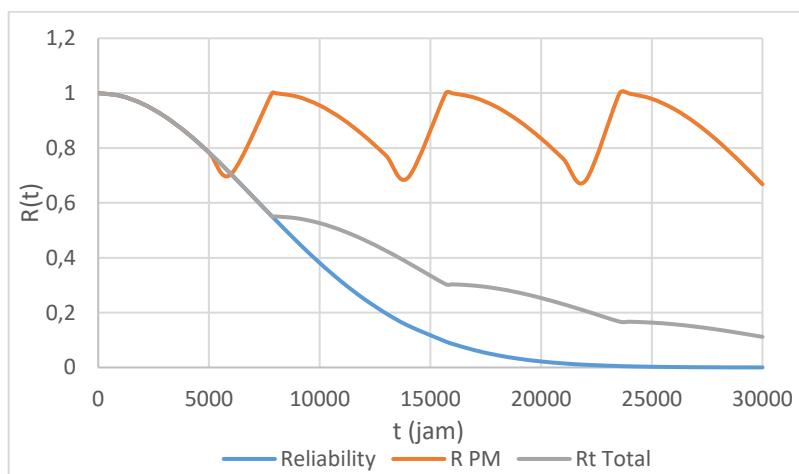
c. Evaluasi PM *Amine Reflux Pump*

Laju kegagalan pada *amine reflux pump* mengalami kenaikan (*increasing failure rate*). *Amine reflux pump* memiliki jenis distribusi weibull 2 parameter, sehingga nilai laju kegagalan dapat dihitung menggunakan rumus 2.13. Hasil pengolahan nilai laju kegagalan *amine reflux drum* dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.21 Laju kegagalan *amine reflux pump*

Evaluasi PM (*preventive maintenance*) dilakukan pada nilai keandalan $R(t)=55\%$ atau pada 7850 jam operasi, dengan menggunakan persamaan 2.21 didapatkan nilai keandalan dengan PM dengan interval waktu (t). Gambar 4.21 merupakan nilai keandalan *amine reflux pump* dengan *preventive maintenance*.



Gambar 4.22 Keandalan *amine reflux pump* dengan PM

Gambar 4.21 menunjukkan nilai keandalan *amine reflux pump* setelah dilakukan evaluasi PM pada $R(t)=55\%$ atau 7850 jam operasi. Kegiatan evaluasi PM optimal dilakukan, karena nilai keandalan mengalami kenaikan setelah dilakukan evaluasi PM. Berdasarkan hasil evaluasi PM yang dilakukan, jenis perawatan yang tepat pada *amine reflux pump* adalah *scheduled restoration task* pada 7850 jam operasi.

4.3 Jenis dan Jadwal Perawatan *Equipment Unit Amine Regeneration System*

Berdasarkan hasil analisis kualitatif dan kuantitatif pada *equipment unit* dari *amine regeneration system*, didapatkan jenis tindakan perawatan dan jadwal perawatan dari setiap *equipment*. Jenis dan jadwal perawatan *equipment* berdasarkan pada nilai keandalan $R(t) = 55\%$. Rangkuman jenis dan jadwal perawatan dari *equipment unit amine regeneration system* dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34 Jenis dan jadwal perawatan *equipment unit amine regeneration system*

NO	<i>Equipment Unit</i>	Jenis Perawatan	Jadwal Perawatan (jam)
1	<i>Amine Contactor</i>	<i>Scheduled on conditioning task</i>	5000
2	<i>Amine Overhead Gas KO Drum</i>	<i>Scheduled on conditioning task</i>	4550
3	<i>Amine Flash Drum</i>	<i>Scheduled on conditioning task</i>	3800
4	<i>Rich Amine Filter</i>	<i>Scheduled restoration task</i>	3275
5	<i>Rich Amine Exchanger</i>	<i>Scheduled restoration task</i>	3500
6	<i>Amine Regenerator</i>	<i>Scheduled on conditioning task</i>	6250
7	<i>Amine Regenerator Re-Boiler</i>	<i>Scheduled on conditioning task</i>	4800
8	<i>Hot Lean Amine Pump</i>	<i>Scheduled restoration task</i>	2850
9	<i>Amine Mechanical Filter</i>	<i>Scheduled restoration task</i>	415
10	<i>Amine Carbon Filter</i>	<i>Scheduled on conditioning task</i>	950
11	<i>Amine Surge Vessel</i>	<i>Scheduled on conditioning task</i>	825
12	<i>Solvent Filter</i>	<i>Scheduled restoration task</i>	850
13	<i>Amine Reflux Drum</i>	<i>Scheduled restoration task</i>	9000
14	<i>Amine Reflux Pump</i>	<i>Scheduled restoration task</i>	7850
15	<i>Amine Drain Vessel</i>	<i>Scheduled on conditioning task</i>	8900

Berdasarkan Tabel 4.34 terdapat 8 *equipment unit* dengan jenis perawatan *scheduled on conditioning task* dan 7 *equipment unit* dengan jenis perawatan *schedule restoration task*. Jenis perawatan dari masing-masing *equipment unit* ditentukan berdasarkan hasil analisis kualitatif, serta jadwal perawatan berdasarkan hasil analisis kuantitatif yang sudah dilakukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- a. *Equipment unit* kritis penyusun *amine regeneration system* antara lain, *rich amine filter*, *rich amine exchanger*, *amine mechanical filter*, *solvent filter*, *amine reflux drum*, dan *amine reflux pump*. Penilaian didasarkan pada hasil *critically analysis* tertinggi dari *failure mode* setiap *equipment*. Jenis perawatan yang efektif untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan berdasarkan hasil analisis kualitatif, diperoleh 8 *equipment unit* dengan jenis perawatan *scheduled on conditioning task* yaitu *amine contactor*, *amine overhead gas ko drum*, *amine flash drum*, *amine regenerator*, *amine regenerator re-boiler*, *amine carbon filter*, *amine surge vessel*, dan *amine drain vessel*. 7 *equipment unit* dengan jenis perawatan *scheduled restoration task* yaitu *rich amine filter*, *rich amine exchanger*, *hot lean amine pump*, *amine mechanical filter*, *solvent filter*, *amine reflux drum*, dan *amine reflux pump*.
- b. Jadwal perawatan yang efektif untuk meningkatkan keandalan *equipment unit* dan mencegah terjadinya kejadian kegagalan, berdasarkan hasil analisis kuantitatif dengan nilai *reliability* $R(t) = 55\%$ sebagai berikut; *amine contactor* 5000 jam operasi, *amine overhead gas ko drum* 4550 jam operasi, *amine flash drum* 3800 jam operasi, *rich amine filter* 3275 jam operasi, *rich amine exchanger* 3500 jam operasi, *amine regenerator* 6250 jam operasi, *amine regenerator re-boiler* 4800 jam operasi, *hot lean amine pump* 2850 jam operasi, *amine mechanical filter* 415 jam operasi, *amine carbon filter* 950 jam operasi, *amine surge vessel* 825 jam operasi, *solvent filter* 850 jam operasi, *amine reflux drum* 9000 jam operasi, *amine reflux pump* 7850 jam operasi, dan *amine drain vessel* 8900 jam operasi. Kegiatan *preventive maintenance (PM)* dilakukan pada tiga *equipment unit* dengan jenis laju kegagalan IFR atau *increasing failure rate*, yaitu *rich amine exchanger*, *amine reflux drum*, dan *amine reflux pump*.

5.2 Saran

Langkah selanjutnya untuk mengembangkan penelitian ini dapat dilakukan penentuan interval perawatan berdasarkan analisis keuangan (*cost analysis*) serta dampak kegagalan produksi terhadap *equipment unit* penyusun *amine regeneration*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

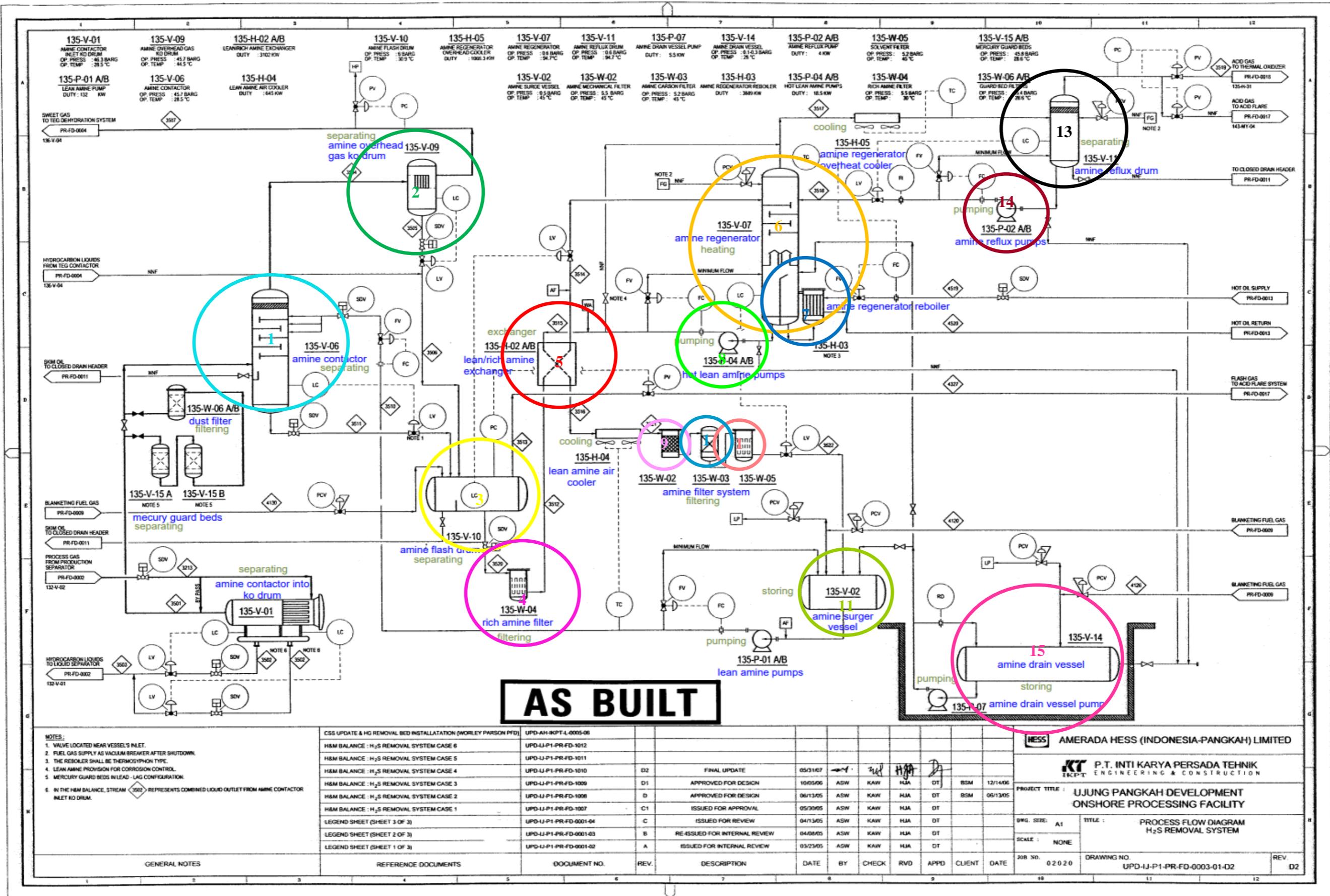
DAFTAR PUSTAKA

- A.S.Nasution. (2011). Gas Bumi untuk Bahan Bakar Gas dan Bahan Baku Petrokimia. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 45, 139-144.
- Ahmed Y. Ibrahim, F. H. (2021). Exergy study of amine regeneration unit using diethanolamine in a refinery plant: A real start-up plant. *Heliyon*.
- Aji, M. B. (2018). Perencangan Jadwal Perawatan Mesin Kompresor untuk Meningkatkan Nilai Keandalan serta Mengurangi Waktu Downtime menggunakan Metode RCM.
- Alfianto, Y. (2019). Analisis Penyebab Kecacatan Produk Weight A Handle Menggunakan Metode Fault Tree Analysis dan Failure Mode and Effect Analysis sebagai Rancangan Perbaikan Produk. *XII(2)*.
- Bahadori, A. (2014). *Natural Gas Processing Technology and Engineering Design*. Oxford UK: Gulf Professional Publishing Elsevier.
- Barai, R. M. (2012). Reliability Centered Maintenance Methodology for Goliath Crane of Transmission Tower .
- Cendani, A. S. (2021). Perbaikan Sistem Pemeliharaan Mesin Thereshers Menggunakan Metode RCM DAN FMECA.
- Dhilon, B. S. (1997). *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*. New York: CRC.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: Waveland Press Inc.
- Fadhilla, R. (2018). *MODUL KIMIA ORGANIK DASAR "Senyawa – Senyawa Amina"*. Universitas Esa Unggul.
- Havard, D. (2008). *OIL AND GAS PRODUCTION HANDBOOK*. Oslo: ABB Oil and Gas.
- Ibrahim B, J. A. (2011). Penggunaan metode FMECA (Failure Modes, Effects and Critically Analysis) dalam identifikasi titik kritis traceability industri pengolahan udang breaded. *Quality Jurnal Manajemen dan Akutansi Untuk Meningkatkan Kualitas SDM*, 34-45.
- J.Kittel. (2009). *Corrosion in MEA units for CO₂ capture: pilot plant studies*. Canada: Energy Procedia.
- Kapil Dev Sharma, S. S. (2018). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review. V(Issue 1&2 - 2018).
- Karen Claxton, N. M.-A. (2017). Failure modes effects analysis (FMEA) for review of a diagnostic genetic laboratory process. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 900-919.

- Kiemele, M. S. (1997). *Basic Statistics Tools for Continuous Improvement* (Vol. IV). Colorado: Air Academy Press Lic.
- Lewis, E. E. (1994). *Introduction to Reliability Engineering* (Vol. II). Illinois.
- McChain, C. (2006). Using FMEA in a service setting. *Quality Progress*.
- Mitra, S. (2015). A Technical Report on Gas Sweetening by Amines. *Petrofac Engineering (I) Ltd.*
- Mokhatab, S. P. (2015). *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing Principles and Practices*. Oxford UK: Gulf Professional Publishing Elsevier.
- Moubray. (1997). Reliability Centered Maintenance II. II.
- NASA. (2008). RCM Guide For Facilities and Collateral Equipment.
- OREDA. (2002). *Offshore Reliability Data Handbook*. Norway: OREDA Participants.
- Orhan, K., Mayerle, R., & Pandoe, W. W. (2015). Assessment of energy production potential from tidal stream current in Indonesia. *Energy Procedia*(76), 7-16.
- Patil, S. S. (2022). A New Approach for Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis Using ExJ-PSI Model—A Case Study on Boiler System. *Applied Sciences* , 12.
- Rahimpour, M. S. (2013). Investigation of natural gas sweetening process in corrugated packed bed column using computational fluid dynamics (CFD) model. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 127-137.
- SAE. (2002). Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA).
- Saka Indonesia Pankah Limited. (2009). *Onshore Processing Facility/Gas Plant*. Gresik.
- Smith, A. M. (2004). RCM-Gateway to World Class Maintenance.
- Syerly, K. S. (2022). Strategi Penjadwalan Perawatan Permesinan Kapal KMP. Kormomolin dengan Penerapan Dinamika Sistem. *JURNAL RISET & TEKNOLOGI TERAPAN KEMARITIMAN*, 58-62.
- Wahyudi, D. (2010). ANALISIS PERAWATAN UNIT PEMBANGKITAN GRESIK UNIT III DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE. VI.
- Wilbraham, A. d. (1992). *Pengantar Kimia Organik Dan Hayati*. Bandung: ITB.
- Yssaad, B. K. (2014). Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 108-115.

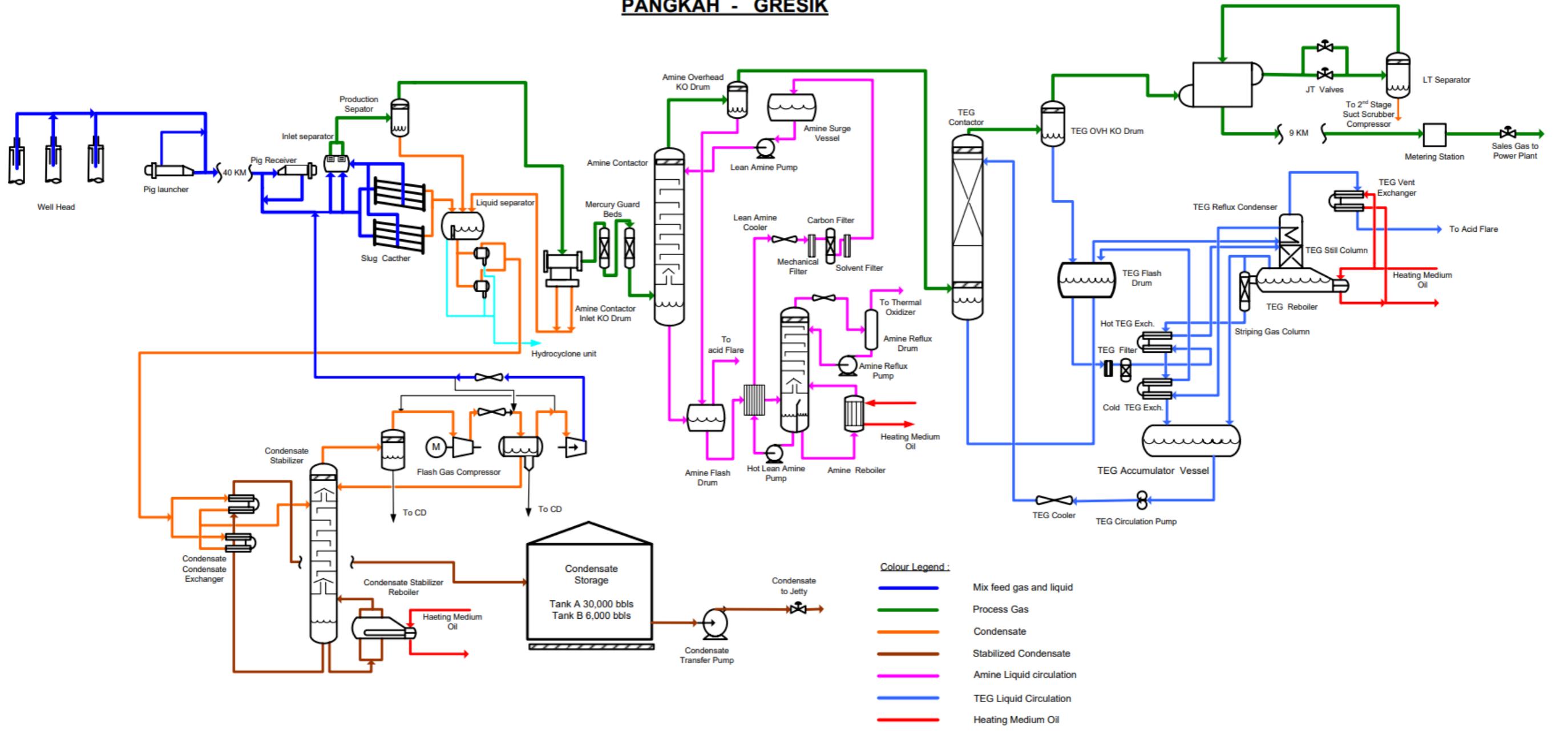
LAMPIRAN A

PIPING AND INSTRUMENT DIAGRAM (P&ID)



LAMPIRAN B
PROCESS FLOW DIAGRAM (PFD)

PROCESS FLOW DIAGRAM
ONSHORE PROCESSING FACILITY
PANGKAH - GRESIK



LAMPIRAN C

FAILURE MODE EFFECT CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)
& RCM DECISION WORKSHEET

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)									Critically Analysis (CA)						RCM Decision Worksheet										
NO	Equipment	Main Function		Function Failure		Maintainable Items	Failure Mode	Failure Cause	Failure Effect	S	O	D	RPN	Critically	Risk Category	Consequence Evaluation			Proactive Task			Default Action			Propose Task Maintenance Plan
		H	S	E	O											1	2	3	H4	H5	S4				
1	Amine Contactor	1 Menyerap H2S untuk dihapus dari gas asam menggunakan cairan amine	A Tidak dapat melakukan penyerapan terhadap H2S dari gas asam menggunakan cairan amine	Pipe Branch Distributor	1 Vibration (VIB)	Adanya getaran dengan intensitas tinggi akibat tekanan pulsasi (osilasi aliran) dalam pipa	Kebocoran pada pipa sehingga fluida yang ada didalamnya keluar	7	1	6	42	Medium	Tolerable	Y	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
					2 Plugged/Choked (PLU)	Adanya plak pada permukaan tray ketika gas yang lewat mengandung parafin	Terganggunya proses adsorpsi H2S pada sour gas yang dapat menyebabkan shutdown pada sistem	8	1	3	24	Minor	Acceptable	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
					3 Abnormal Instrument Reading (AIR)	Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin, instrument failure - general	Tidak dapat mengendalikan jalannya proses, shutdown system	9	6	2	108	High	Tolerable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
				Instrument level Instrument pressure Instrument-temperature Instrument flow	1 Abnormal Instrument Reading (AIR)	Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin, instrument failure - general	Tidak dapat mengendalikan jalannya proses, shutdown system	9	6	2	108	High	Tolerable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Conditioning monitoring (CM)	
					2 High Output (HIO)	Kegagalan pada upstream equipment	Cairan akan terbawa dan mencemari proses downstream	6	6	2	72	High	Tolerable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
				Control unit	1 High Output (HIO)	Sisa hidrokarbon dari penyerap	Pembentukan busa dan kurangnya penyerapan gas asam	6	7	2	84	High	Tolerable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Check operation of upstream equipment	
					2 High Output (HIO)	Kandungan hidrokarbon berlebih dalam cairan amine	Regenerator berbusa, Sulfur Recovery Unit (SRU) rusak atau kotor	8	5	2	80	High	Tolerable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
					3 Low Output (LOO)	System venting failure	Tidak dapat mengalir ke regenerator	5	1	2	10	Minor	Acceptable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
				Instrument flow	1 High Output (HIO)	Sisa hidrokarbon dari penyerap	Pembentukan busa dan kurangnya penyerapan gas asam	6	7	2	84	High	Tolerable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Correct absorber operation	
					2 High Output (HIO)	Kandungan hidrokarbon berlebih dalam cairan amine	Regenerator berbusa, Sulfur Recovery Unit (SRU) rusak atau kotor	8	5	2	80	High	Tolerable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
					3 Low Output (LOO)	System venting failure	Tidak dapat mengalir ke regenerator	5	1	2	10	Minor	Acceptable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
				Instrument pressure	1 High Output (HIO)	Kandungan hidrokarbon berlebih dalam cairan amine	Regenerator berbusa, Sulfur Recovery Unit (SRU) rusak atau kotor	8	5	2	80	High	Tolerable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Correct absorber operation	
					2 Low Output (LOO)	System venting failure	Tidak dapat mengalir ke regenerator	5	1	2	10	Minor	Acceptable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
					3 Low Output (LOO)	System venting failure	Tidak dapat mengalir ke regenerator	5	1	2	10	Minor	Acceptable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Checking system	
4	Rich Amine Filter	1 Sebagai agen penangkap untuk memisahkan gas dari cairan amine	A Tidak dapat menangkap partikel-partikel padatan dan kontaminan dari cairan amine	Filters	1 Plugged/Choked (PLU)	Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin	Pembentukan busa dan kotoran pada penyaring	6	7	5	210	Very High	Unacceptable	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	Scheduled Restoration Task	
					2 High Output (HIO)	Penumpukan kontaminan dan kegagalan pada media filter	Mengurangi laju filtrasi, menyebabkan pembentukan busa dan pengotoran	4	2	2	16	Minor	Acceptable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
					3 Low Output (LOO)	Aliran rendah, kegagalan media filter atau internal	Pembentukan busa dan korosi	4	1	2	8	Minor	Acceptable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Scheduled on Conditioning Task	
					3 Low Output (LOO)	Aliran rendah, kegagalan media filter atau internal	Pembentukan busa dan korosi	4	1	2	8	Minor	Acceptable	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Check piping for filter line-up	

5	Rich Amine Exchanger	1	Mengembalikan panas yang dihasilkan oleh reaksi antara gas asam dan <i>amine</i> ke dalam tabung absorpsi	A	Tidak dapat mengembalikan panas yang dihasilkan oleh reaksi antara gas asam dan <i>amine</i> ke dalam tabung absorpsi	<i>Body/Shell</i>	1	<i>Structural Deficiency (STD)</i>	Anion format terdegradasi menjadi asam format	Keretakan bagian bawah area paking penukar amina, <i>risk and fire potency</i>	9	6	5	270	<i>Critical</i>	<i>Unacceptable</i>	Y	Y	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task</i>	
							2	<i>Local pressure gauges</i>	<i>High Output (HIO)</i>	Pengotoran dan kerusakan peralatan	Berkurangnya sirkulasi dan perpindahan panas	6	6	3	108	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	Y	Y	N	-	-	-	<i>Regular repair and checking system</i>
6	Amine Regenerator	1	Memisahkan senyawa asam dari cairan <i>amine</i> sehingga <i>amine</i> dapat digunakan kembali dalam proses absorpsi.	A	Tidak dapat memisahkan senyawa asam dari cairan <i>amine</i> sehingga <i>amine</i> dapat digunakan kembali dalam proses absorpsi.	<i>Pressure gage (field), transmitter/recorder alarm (board)</i>	1	<i>Low Output (LOO)</i>	Pengontrol tekanan gagal, hilangnya sumber panas reboiler, hilangnya umpan, hilangnya penahan	Gangguan/shutdown sulfur unit, kebocoran, unit shutdown	9	6	2	108	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	
							2	<i>Pressure gage (field), transmitter/recorder alarm (board)</i>	<i>High Output (HIO)</i>	Masalah pada downstream unit, saluran keluar tersumbat, pengontrol tekanan gagal	Unit shutdown, penurunan masukan panas	9	6	2	108	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	Y	Y	N	-	-	-	<i>Determine cause for loss of feed or heating medium</i>
7	Amine Regenerator Re-boiler	1	Memanaskan <i>amine</i> yang jenuh dengan gas asam sehingga gas asam terpisah dari <i>amine</i>	A	Tidak dapat melakukan pemanasan <i>amine</i> yang jenuh dengan gas asam sehingga gas asam terpisah dari <i>amine</i>	<i>Flow indicating controller</i>	1	<i>Low Output (LOO)</i>	Kegagalan pengontrol, hilangnya pasokan, kemacetan sistem kondensat	Hilangnya kemampuan perawatan, produk di luar spesifikasi	5	6	2	60	<i>Medium</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	Y	Y	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>	
																										<i>Restore supply of heating media</i>		
8	Hot Lean Amine Pump	1	Mengalirkan <i>amine</i> panas dan bersih dari regenerator ke tabung absorber	A	Tidak dapat mengalirkan <i>amine</i> panas dan bersih dari regenerator ke tabung absorber	<i>Pump motor</i>	1	<i>Vibration (VIB)</i>	Ketidakseimbangan dan ketidaksejajaran listrik motor	Menyebabkan getaran dan penyumbatan total pada bantalan	7	4	1	28	<i>Minor</i>	<i>Acceptable</i>	Y	N	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>
							2	<i>Instrument general</i>	<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin	Tidak dapat mengendalikan jalannya proses, shutdown system	9	5	2	90	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-
						<i>Instrument pressure</i>	3	<i>High Output (HIO)</i>	Pembebanan <i>lean amine</i> yang berlebihan	Gas asam keluar dari larutan seiring dengan menurunnya tekanan melalui pipa	7	6	2	84	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Conditioning monitoring (CM)</i>
							4	<i>Body/Shell</i>	<i>Structural Deficiency (STD)</i>	Gas-gas asam membentuk suatu area yang terlokalisasi konsentrasi tinggi	Pembentukan pola seperti lubang pada permukaan atau gigitan logam	8	4	5	160	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task</i>
9	Amine Mechanical Filter	1	Menyaring partikel-partikel kasar seperti kerak atau kotoran yang terbawa oleh larutan <i>amine</i>	A	Tidak dapat menyaring partikel-partikel kasar seperti kerak atau kotoran yang terbawa oleh larutan <i>amine</i>	<i>Pressure differential indicator</i>	1	<i>Overheating (OHE)</i>	Reaksi amina dengan asam yang lebih kuat dari H2S atau CO2.	Bersifat surfaktan yang dapat menyebabkan pembentukan busa	6	9	2	108	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task</i>
							2	<i>Pressure differential transmitter</i>	<i>High Output (HIO)</i>	Konsentrasi partikulat yang berlebihan	Buruknya kontak antara gas amina/ umpan dan gas yang tidak sesuai spesifikasi	6	9	2	108	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-
						<i>Body/Shell</i>	3	<i>Structural Deficiency (STD)</i>	Pengadukan dan suhu yang tidak sesuai	Erosi logam atau lapisan pasivasi yang melindunginya	8	6	4	192	<i>Very High</i>	<i>Unacceptable</i>	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task</i>	
																									<i>Repair system components</i>			

10	<i>Amine Carbon Filter</i>	1	Menyerap senyawa karbon dari larutan <i>amine</i> dalam lapisan karbon aktif di dalam filter	A	Tidak dapat menyerap senyawa karbon dari larutan <i>amine</i> dalam lapisan karbon aktif di dalam filter	<i>Subunit</i>	1	<i>Plugged/Choked (PLU)</i>	Konsentrasi partikulat yang berlebihan	Penyumbatan pada filter karbon	8	2	4	64	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task Inspection</i>
11	<i>Amine Surge Vessel</i>	1	Menampung sementara larutan <i>amine</i> yang mengalir dari tabung absorber	A	Tidak dapat menampung sementara larutan <i>amine</i> yang mengalir dari tabung absorber	<i>Instrument pressure</i>	2	<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin	Perubahan tekanan pada sistem filter	5	6	2	60	<i>Medium</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task Conditioning monitoring (CM)</i>
							3	<i>External Leakage (PLU)</i>	Kebocoran pada pipa hisap kompresor	Menimbulkan korosi dan <i>heat stable salts (HSS)</i>	8	4	2	64	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	Y	N	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task Conditioning monitoring (CM)</i>
12	<i>Solvent Filter</i>	1	Menyaring atau memurnikan pelarut yang mengandung <i>amine</i> atau senyawa organik nitrogen yang terdiri dari gugus amina	A	Tidak dapat menyaring atau memurnikan pelarut yang mengandung <i>amine</i> atau senyawa organik nitrogen yang terdiri dari gugus amina	<i>Instrument general</i>	1	<i>High Output (HIO)</i>	Adanya peningkatan kadar produk degradasi viskositas tinggi	Penghalang perpindahan massa tambahan pada proses pengolahan	6	8	3	144	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task Conditioning monitoring (CM)</i>
							2	<i>Structural Deficiency (STD)</i>	<i>Mechanical failure general</i>	kegagalan dalam penyaringan	8	6	4	192	<i>Very High</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task Repair filter components</i>
						<i>Instrument pressure</i>	3	<i>Parameter Deviation (PDE)</i>	kesalahan dalam mengatur tekanan pelarut dan gas	kondensasi gas hidrokarbon dan menyebabkan pembentukan busa	5	9	2	90	<i>High</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task Measurement and calibration</i>
13	<i>Amine Reflux Drum</i>	1	Tempat penampungan sementara untuk gas-gas asam yang telah dipisahkan dari larutan amina pada proses regenerasi	A	Tidak dapat menampung sementara gas-gas asam yang telah dipisahkan dari larutan amina pada proses regenerasi	<i>Instrument pressure</i>	1	<i>Low Output (LOO)</i>	Media pendingin terlalu banyak dan terlalu dingin	Saluran udara tersumbat dengan hidrat atau NH ₃	6	3	2	36	<i>Medium</i>	<i>Tolerable</i>	N	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled on Conditioning Task Measurement and calibration</i>
							2	<i>External Leakage (PLU)</i>	Perubahan laju aliran secara tiba-tiba	Merusak bagian dalam alat	8	7	4	224	<i>Very High</i>	<i>Unacceptable</i>	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task Regular repair and checking system</i>

14	Amine Reflux Pump	1 Memompa larutan amina dari Amine Reflux Drum ke proses regenerasi.	A Tidak dapat memompa larutan amina dari Amine Reflux Drum ke proses regenerasi.	<p><i>Control unit</i></p> <p><i>Control unit</i></p> <p><i>Flow indicating controller</i></p> <p><i>Flow indicating controller</i></p> <p><i>Subunit</i></p>	1 <i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	kegagalan kontrol, kebocoran, penyumbatan, kotor, <i>pump failure</i>	Masalah dalam perpindahan panas/massa, mengurangi sirkulasi	7 3 3 63	High	Tolerable	N N N Y Y N N N - - -	Scheduled on Conditioning Task Check the control system
					2 <i>Plugged/Choked (PLU)</i>	kesalahan kontrol, penyumbatan masukan panas <i>reboiler</i> , masalah pompa	Pemuatan <i>lean</i> yang tinggi menyebabkan produk di luar spesifikasi	8 3 3 72	High	Tolerable	N N N Y Y N N N - - -	Scheduled on Conditioning Task Measurement and calibration
					3 <i>Low Output (LOO)</i>	Kehilangan atau penurunan masukan panas	Kelebihan air ke unit sulfur hilir, peningkatan tekanan yang mempercepat korosi	7 4 2 56	Medium	Tolerable	N N N Y Y N N N - - -	Scheduled on Conditioning Task Increase heat input to reboiler
					4 <i>High Output (HIO)</i>	Keseimbangan air tidak tepat, suhu puncak menara terlalu rendah	Kekuatan amina tidak menentu, saluran udara tersumbat	7 4 2 56	Medium	Tolerable	N N N Y Y N N N - - -	Scheduled on Conditioning Task Compute water balance
					5 <i>Structural Deficiency (STD)</i>	Jarang dibersihkan, sistem pencucian air tidak beroperasi	Korosi sistem <i>overhead</i> , <i>refluks H2S</i> kembali ke bagian pengupasan regenerator	9 5 5 225	Very High	Unacceptable	Y N N Y N Y N N - - -	Scheduled Restoration Task Regular repair and checking system
15	Amine Drain Vessel	1 Menampung larutan <i>amine</i> yang telah digunakan dari Amine Drain Header dan mengalir keluar dari kolom absorpsi atau peralatan lainnya	A Tidak dapat menampung larutan amine yang telah digunakan dari Amine Drain Header dan mengalir keluar dari kolom absorpsi atau peralatan lainnya	<p><i>Instrument general</i></p> <p><i>Electrical general</i></p>	1 <i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	Usia pemakaian dan pemakaian secara rutin	Tidak dapat mengendalikan jalannya proses, <i>shutdown system</i>	9 6 3 162	High	Tolerable	N N N Y Y N N N - - -	Scheduled on Conditioning Task Conditioning monitoring (CM)
					2 <i>Faulty Output Voltage (FOV)</i>	<i>Electric power-failure</i>	Kehilangan media pemanas ke LP Flare Header	6 4 3 72	High	Tolerable	N N N Y Y N N N - - -	Scheduled on Conditioning Task Conditioning monitoring (CM)

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN D

Data Maintenance Equipment Unit Amine Regeneration System

1. Amine Contactor (135-V-06)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	27/10/2014	28/10/2014	1	24	0	0
2	29/11/2014	03/12/2014	4	96	32	768
3	18/05/2017	02/06/2017	15	360	897	21528
4	09/02/2018	11/03/2018	30	720	252	6048
5	14/06/2019	13/08/2019	60	1440	460	11040
6	15/11/2020	25/11/2020	10	240	103	2472
Jumlah			120	2880	1744	41856
Rata- rata			20	480	290,6667	6976

2. Amine Overhead Gas KO Drum (135-V-09)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	08/02/2015	09/02/2015	1	24	0	0
2	05/03/2015	29/03/2015	24	576	24	576
3	25/05/2015	22/09/2015	120	2880	57	1368
4	09/11/2017	08/05/2018	180	4320	779	18696
5	07/04/2019	08/04/2019	1	24	334	8016
6	15/01/2020	01/02/2020	17	408	282	6768
7	27/05/2020	17/06/2020	21	504	116	2784
Jumlah			364	8736	1592	38208
Rata- rata			52	1248	227,4286	5458,286

3. Amine Flash Drum (135-V-10)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	20/09/2015	24/09/2015	4	96	0	0
2	01/05/2016	03/05/2016	2	48	220	5280
3	07/05/2016	16/05/2016	9	216	4	96
4	14/08/2018	03/09/2018	20	480	820	19680
5	05/01/2019	11/01/2019	6	144	124	2976
6	09/12/2019	20/12/2019	11	264	332	7968
7	18/03/2020	05/04/2020	18	432	89	2136
Jumlah			70	1680	1589	38136
Rata- rata			10	240	227	5448

4. Rich Amine Filter (135-W-04)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	11/08/2015	15/08/2015	4	96	0	0
2	05/06/2017	26/06/2017	21	504	660	15840
3	25/11/2017	30/12/2017	35	840	152	3648
4	13/05/2018	14/05/2018	1	24	134	3216
5	14/04/2019	16/04/2019	2	48	335	8040
6	28/04/2019	30/04/2019	2	48	12	288
7	17/07/2019	31/07/2019	14	336	78	1872
Jumlah			79	1896	1371	32904
Rata- rata			11,28571	270,8571	195,8571	4700,571

5. Rich Amine Exchanger (135-H-02A/B)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	15/01/2015	17/01/2015	2	48	0	0
2	23/08/2015	24/08/2015	1	24	218	5232
3	31/08/2015	01/09/2015	1	24	7	168
4	14/02/2016	15/02/2016	1	24	166	3984
5	04/06/2016	07/06/2016	3	72	110	2640
6	15/02/2017	16/02/2017	1	24	253	6072
7	12/07/2018	13/07/2018	1	24	511	12264
8	28/04/2020	13/05/2020	15	360	655	15720
9	24/07/2020	01/08/2020	8	192	72	1728
10	20/11/2020	21/11/2020	1	24	111	2664
Jumlah			34	816	2103	50472
Rata- rata			3,4	81,6	210,3	5047,2

6. Amine Regenerator (135-H-07)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	18/10/2015	19/10/2015	1	24	0	0
2	23/07/2018	24/07/2018	1	24	1008	24192
3	06/09/2018	08/09/2018	2	48	44	1056
4	21/02/2020	24/02/2020	3	72	531	12744
5	05/08/2020	06/08/2020	1	24	163	3912
Jumlah			8	192	1746	41904
Rata- rata			1,6	38,4	349,2	8380,8

7. Amine Regenerator Re-Boiler (135-H-03)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	08/06/2015	14/06/2015	6	144	0	0
2	16/05/2017	23/05/2017	7	168	702	16848
3	28/06/2017	29/06/2017	1	24	36	864
4	27/03/2018	28/03/2018	1	24	271	6504
Jumlah			15	360	1009	24216
Rata- rata			3,75	90	252,25	6054

8. Hot Lean Amine Pump (135-P-04A/B)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	12/01/2015	15/01/2015	3	72	0	0
2	08/03/2015	10/03/2015	2	48	52	1248
3	07/11/2015	10/11/2015	3	72	242	5808
4	20/06/2017	21/06/2017	1	24	588	14112
5	30/09/2017	01/10/2017	1	24	101	2424
6	09/01/2019	05/02/2019	27	648	465	11160
7	30/03/2019	03/04/2019	4	96	53	1272
8	16/02/2020	20/02/2020	4	96	319	7656
9	07/04/2020	08/04/2020	1	24	47	1128
10	13/08/2020	14/08/2020	1	24	127	3048
11	07/09/2020	19/10/2020	42	1008	24	576
Jumlah			89	2136	2018	48432
Rata- rata			8,090909	194,1818	183,4545	4402,909

9. Amine Mechanical Filter (135-W-02)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	23/01/2015	25/01/2015	2	48	0	0
2	28/01/2015	29/01/2015	1	24	3	72
3	20/02/2015	21/02/2015	1	24	22	528
4	10/03/2015	11/03/2015	1	24	17	408
5	13/09/2015	14/09/2015	1	24	186	4464
6	20/09/2015	24/09/2015	4	96	6	144
7	03/10/2015	07/10/2015	4	96	9	216
8	11/01/2016	12/01/2016	1	24	96	2304
9	24/03/2016	27/03/2016	3	72	72	1728
10	28/03/2016	29/03/2016	1	24	1	24
11	02/04/2016	04/04/2016	2	48	4	96
12	15/04/2016	17/04/2016	2	48	11	264
13	27/12/2016	28/12/2016	1	24	254	6096
14	11/01/2017	12/01/2017	1	24	14	336
15	13/02/2017	14/02/2017	1	24	32	768
16	04/03/2017	05/03/2017	1	24	18	432
17	27/06/2017	28/06/2017	1	24	114	2736
18	02/07/2017	04/07/2017	2	48	4	96
19	11/07/2017	15/07/2017	4	96	7	168
20	27/07/2017	28/07/2017	1	24	12	288
21	31/07/2017	01/08/2017	1	24	3	72
22	05/08/2017	06/08/2017	1	24	4	96
23	29/04/2018	30/04/2018	1	24	266	6384
24	29/10/2018	01/11/2018	3	72	182	4368
25	08/11/2018	09/11/2018	1	24	7	168
26	25/11/2018	26/11/2018	1	24	16	384
27	30/11/2018	01/12/2018	1	24	4	96
28	14/12/2018	16/12/2018	2	48	13	312
29	10/01/2019	11/01/2019	1	24	25	600
30	23/01/2019	24/01/2019	1	24	12	288
31	21/03/2019	22/03/2019	1	24	56	1344
32	06/04/2019	07/04/2019	1	24	15	360
33	13/09/2019	14/09/2019	1	24	159	3816
34	24/09/2019	25/09/2019	1	24	10	240
35	09/10/2019	10/10/2019	1	24	14	336
36	16/11/2019	18/11/2019	2	48	37	888
37	26/11/2019	27/11/2019	1	24	8	192
38	08/12/2019	09/12/2019	1	24	11	264
39	20/04/2020	21/04/2020	1	24	133	3192
40	06/07/2020	07/07/2020	1	24	76	1824
41	04/09/2020	05/09/2020	1	24	59	1416
42	26/09/2020	27/09/2020	1	24	21	504
43	28/12/2020	29/12/2020	1	24	92	2208
Jumlah			62	1488	2105	50520
Rata- rata			1,44186	34,60465	48,95349	1174,884

10. Amine Carbon Filter (135-W-03)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	11/07/2015	15/07/2015	4	96	0	0
2	19/07/2015	20/07/2015	1	24	4	96
3	11/12/2015	05/03/2017	450	10800	144	3456
4	18/10/2017	19/10/2018	366	8784	227	5448
Jumlah			821	19704	375	9000
Rata- rata			205,25	4926	93,75	2250

11. Amine Surge Vessel (135-V-02)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	28/10/2015	29/10/2015	1	24	0	0
2	20/11/2015	29/11/2015	9	216	22	528
3	04/03/2016	06/03/2016	2	48	96	2304
Jumlah			12	288	118	2832
Rata- rata			4	96	39,33333	944

12. Solvent Filter (135-W-05)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	12/06/2015	13/06/2015	1	24	0	0
2	17/06/2015	21/06/2015	4	96	4	96
3	26/10/2015	27/10/2015	1	24	127	3048
4	19/03/2016	20/03/2016	1	24	144	3456
5	06/06/2016	07/06/2016	1	24	78	1872
6	22/06/2016	23/06/2016	1	24	15	360
7	18/08/2016	07/09/2016	20	480	56	1344
8	02/12/2016	06/12/2016	4	96	86	2064
9	26/01/2017	30/01/2017	4	96	51	1224
10	31/03/2017	01/04/2017	1	24	60	1440
11	04/05/2017	05/05/2017	1	24	33	792
12	11/05/2017	15/05/2017	4	96	6	144
13	15/06/2017	16/06/2017	1	24	31	744
14	24/06/2017	25/06/2017	1	24	8	192
15	05/07/2017	06/07/2017	1	24	10	240
16	13/07/2017	14/07/2017	1	24	7	168
17	08/11/2017	09/11/2017	1	24	117	2808
18	12/02/2018	14/02/2018	2	48	95	2280
19	11/03/2018	12/03/2018	1	24	25	600
20	24/03/2018	25/03/2018	1	24	12	288
21	22/04/2018	23/04/2018	1	24	28	672
22	06/06/2018	07/06/2018	1	24	44	1056
23	22/01/2019	23/01/2019	1	24	229	5496
24	18/07/2019	19/07/2019	1	24	176	4224
25	26/07/2019	27/07/2019	1	24	7	168
26	12/08/2019	13/08/2019	1	24	16	384
27	22/08/2019	26/08/2019	4	96	9	216
28	06/01/2020	10/01/2020	4	96	133	3192
29	04/02/2020	05/02/2020	1	24	25	600
30	17/05/2020	18/05/2020	1	24	102	2448
31	13/07/2020	14/07/2020	1	24	56	1344
32	15/09/2020	16/09/2020	1	24	63	1512
33	27/11/2020	29/11/2020	2	48	72	1728
Jumlah			72	1728	1925	46200
Rata- rata			2,181818	52,36364	58,33333	1400

13. Amine Reflux Drum (135-V-11)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	17/09/2014	18/09/2014	1	24	0	0
2	07/05/2015	27/05/2015	20	480	231	5544
3	18/10/2016	19/10/2016	1	24	510	12240
4	10/02/2019	11/02/2019	1	24	844	20256
5	06/08/2019	20/08/2019	14	336	176	4224
6	24/09/2020	26/09/2020	2	48	401	9624
Jumlah			39	936	2162	51888
Rata- rata			6,5	156	360,3333	8648

14. Amine Reflux Pumps (135-P-02A/B)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	03/01/2015	07/01/2015	4	96	0	0
2	05/11/2016	25/11/2016	20	480	668	16032
3	06/01/2018	07/01/2018	1	24	407	9768
4	15/11/2018	19/11/2018	4	96	312	7488
5	14/03/2019	15/03/2019	1	24	115	2760
Jumlah			30	720	1502	36048
Rata- rata			6	144	300,4	7209,6

15. Amine Drain Vessel (135-V-14)

No.	Start Date	Finish Date	TTR (Day)	TTR (Hours)	TTF (Day)	TTF (Hours)
1	21/04/2015	22/04/2015	1	24	0	0
2	28/06/2015	15/07/2015	17	408	67	1608
3	29/01/2019	10/02/2019	12	288	1294	31056
4	27/06/2020	30/06/2020	3	72	503	12072
Jumlah			33	792	1864	44736
Rata- rata			8,25	198	466	11184

LAMPIRAN E

**Data Reliability, Availability, dan Maintainability pada
*Equipment Unit Amine Regeneration System***

1. Amine Contactor (135-V-06)

t (hours)	<i>Failure Rate</i>	<i>Reliability</i>	<i>Repair Rate</i>	<i>Availability</i>	<i>Maintainability</i>
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	0,00012	0,99999	0,00641	0,99999	0,7E-06
1000	0,00012	0,88736	0,00184	0,94774	0,86873
2000	0,00012	0,78741	0,00173	0,93715	0,97796
3000	0,00012	0,69872	0,00167	0,93365	0,99598
4000	0,00012	0,62002	0,00163	0,93177	0,99922
5000	0,00012	0,55018	0,00159	0,93043	0,99984
6000	0,00012	0,48821	0,00157	0,92935	0,99996
7000	0,00012	0,43322	0,00155	0,92843	0,99999
8000	0,00012	0,38442	0,00153	0,92763	0,99999
9000	0,00012	0,34112	0,00151	0,92691	0,99999
10000	0,00012	0,30270	0,00150	0,92626	0,99999
11000	0,00012	0,26860	0,00148	0,92567	0,99999
12000	0,00012	0,23835	0,00147	0,92513	0,99999
13000	0,00012	0,21150	0,00146	0,92463	0,99999
14000	0,00012	0,18768	0,00145	0,92417	1
15000	0,00012	0,16654	0,00144	0,92373	1
16000	0,00012	0,14778	0,00143	0,92332	1
17000	0,00012	0,13113	0,00143	0,92293	1
18000	0,00012	0,11636	0,00142	0,92256	1
19000	0,00012	0,10326	0,00141	0,92221	1
20000	0,00012	0,09162	0,00141	0,92188	1
21000	0,00012	0,08130	0,00140	0,92156	1
22000	0,00012	0,07215	0,00139	0,92126	1
23000	0,00012	0,06402	0,00139	0,92097	1
24000	0,00012	0,05681	0,00138	0,92069	1

2. Amine Overhead Gas KO Drum (135-V-09)

t (hours)	<i>Failure Rate</i>	<i>Reliability</i>	<i>Repair Rate</i>	<i>Availability</i>	<i>Maintainability</i>
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	0,00013	0,99999	0,10518	0,99999	0,00016
1000	0,00013	0,87765	0,00067	0,91033	0,65416
2000	0,00013	0,77028	0,00052	0,85432	0,80760
3000	0,00013	0,67604	0,00045	0,81475	0,88136
4550	0,00013	0,55223	0,00038	0,77180	0,93773
5000	0,00013	0,52074	0,00037	0,76208	0,94753
6000	0,00013	0,45703	0,00034	0,74355	0,96344
7000	0,00013	0,40111	0,00033	0,72825	0,97398
8000	0,00013	0,35204	0,00031	0,71533	0,98115
9000	0,00013	0,30897	0,00030	0,70421	0,98615
10000	0,00013	0,27117	0,00029	0,69447	0,98969
11000	0,00013	0,23799	0,00028	0,68581	0,99225
12000	0,00013	0,20887	0,00027	0,67802	0,99412
13000	0,00013	0,18332	0,00026	0,67094	0,99550
14000	0,00013	0,16089	0,00025	0,66443	0,99653
15000	0,00013	0,14121	0,00025	0,65842	0,99730
16000	0,00013	0,12393	0,00024	0,65281	0,99789
17000	0,00013	0,10877	0,00023	0,64756	0,99834
18000	0,00013	0,09546	0,00023	0,64262	0,99869
19000	0,00013	0,08378	0,00022	0,63795	0,99896
20000	0,00013	0,07353	0,00022	0,63351	0,99917
21000	0,00013	0,06453	0,00022	0,62929	0,99934
22000	0,00013	0,05664	0,00021	0,62526	0,99947
23000	0,00013	0,04971	0,00021	0,62141	0,99957
24000	0,00013	0,04363	0,00021	0,61771	0,99965
25000	0,00013	0,03829	0,00020	0,61415	0,99972
26000	0,00013	0,03360	0,00020	0,61073	0,99977
27000	0,00013	0,02949	0,00020	0,60743	0,99981
28000	0,00013	0,02588	0,00019	0,60424	0,99984
29000	0,00013	0,02272	0,00019	0,60116	0,99987
30000	0,00013	0,01994	0,00019	0,59818	0,99989

3. Amine Flash Drum (135-V-10)

t (hours)	<i>Failure Rate</i>	<i>Reliability</i>	<i>Repair Rate</i>	<i>Availability</i>	<i>Maintainability</i>
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	0,00016	0,99999	0,29698	0,99999	1,8E-09
500	0,00016	0,92436	0,00875	0,98255	0,93421
1000	0,00016	0,85444	0,01335	0,98835	0,99975
1500	0,00016	0,78982	0,01709	0,99088	0,99999
2000	0,00016	0,73008	0,02036	0,99233	1
2500	0,00016	0,67486	0,02332	0,99330	1
3000	0,00016	0,62381	0,02606	0,99400	1
3800	0,00016	0,55005	0,03010	0,99480	1
4000	0,00016	0,53301	0,03105	0,99496	1
4500	0,00016	0,49270	0,03336	0,99530	1
5000	0,00016	0,45543	0,03557	0,99559	1
5500	0,00016	0,42098	0,03769	0,99584	1
6000	0,00016	0,38914	0,03974	0,99605	1
6500	0,00016	0,35971	0,04173	0,99624	1
7000	0,00016	0,33250	0,04366	0,99641	1
7500	0,00016	0,30735	0,04553	0,99655	1
8000	0,00016	0,28410	0,04735	0,99668	1
8500	0,00016	0,26261	0,04913	0,99680	1
9000	0,00016	0,24275	0,05087	0,99691	1
9500	0,00016	0,22439	0,05258	0,99701	1
10000	0,00016	0,20742	0,05424	0,99710	1
10500	0,00016	0,19173	0,05588	0,99719	1
11000	0,00016	0,17723	0,05749	0,99727	1

4. Rich Amine Filter (135-W-04)

t (hours)	<i>Failure Rate</i>	<i>Reliability</i>	<i>Repair Rate</i>	<i>Availability</i>	<i>Maintainability</i>
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	0,00018	0,99999	0,01696	0,99999	0,00001
200	0,00018	0,96419	0,00356	0,97433	0,55824
400	0,00018	0,92967	0,00326	0,96040	0,77584
600	0,00018	0,89638	0,00309	0,95216	0,88114
800	0,00018	0,86429	0,00298	0,94699	0,93525
1000	0,00018	0,83335	0,00290	0,94357	0,96403
1200	0,00018	0,80351	0,00283	0,94117	0,97972
1400	0,00018	0,77474	0,00277	0,93939	0,98843
1600	0,00018	0,74700	0,00273	0,93801	0,99333
1800	0,00018	0,72026	0,00269	0,93689	0,99612
2000	0,00018	0,69447	0,00265	0,93595	0,99772
2200	0,00018	0,66960	0,00262	0,93513	0,99865
2400	0,00018	0,64563	0,00259	0,93440	0,99920
2600	0,00018	0,62251	0,00256	0,93373	0,99952
2800	0,00018	0,60023	0,00254	0,93312	0,99971
3000	0,00018	0,57874	0,00252	0,93256	0,99982
3275	0,00018	0,55044	0,00249	0,93184	0,99991
3400	0,00018	0,53804	0,00248	0,93153	0,99993
3600	0,00018	0,51877	0,00246	0,93106	0,99996
3800	0,00018	0,50020	0,00244	0,93062	0,99997
4000	0,00018	0,48229	0,00242	0,93019	0,99998
4200	0,00018	0,46502	0,00241	0,92978	0,99999
4400	0,00018	0,44837	0,00239	0,92939	0,99999

5. Rich Amine Exchanger (135-H-02A/B)

t (hours)	Failure Rate	Reliability	Repair Rate	Availability	Maintainability
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	0,00004	0,99999	0,02762	0,99999	0,00002
500	0,00015	0,93228	0,01031	0,98552	0,99621
1000	0,00016	0,86170	0,00979	0,98376	0,99997
1500	0,00016	0,79359	0,00949	0,98268	0,99999
2000	0,00017	0,72908	0,00929	0,98187	0,99999
2500	0,00017	0,66857	0,00914	0,98122	1
3000	0,00017	0,61216	0,00901	0,98067	1
3500	0,00018	0,55979	0,00891	0,98020	1
4000	0,00018	0,51133	0,00882	0,97978	1
4500	0,00018	0,46661	0,00874	0,97940	1
5000	0,00018	0,42543	0,00867	0,97905	1
5500	0,00018	0,38757	0,00861	0,97873	1
6000	0,00018	0,35282	0,00855	0,97844	1
6500	0,00018	0,32097	0,00850	0,97817	1
7000	0,00019	0,29181	0,00846	0,97791	1
7500	0,00019	0,26515	0,00841	0,97767	1
8000	0,00019	0,24079	0,00837	0,97744	1
8500	0,00019	0,21855	0,00833	0,97723	1
9000	0,00019	0,19827	0,00830	0,97702	1
9500	0,00019	0,17979	0,00826	0,97682	1
10000	0,00019	0,16295	0,00823	0,97664	1
10500	0,00019	0,14764	0,00820	0,97646	1
11000	0,00019	0,13370	0,00817	0,97628	1
11500	0,00019	0,12104	0,00815	0,97612	1
12000	0,00020	0,10953	0,00812	0,97596	1
12500	0,00020	0,09908	0,00810	0,97580	1
13000	0,00020	0,08960	0,00807	0,97565	1
13500	0,00020	0,08100	0,00805	0,97551	1
14000	0,00020	0,07320	0,00803	0,97537	1
14500	0,00020	0,06613	0,00801	0,97523	1
15000	0,00020	0,05972	0,00799	0,97510	1
15500	0,00020	0,05392	0,00797	0,97497	1
16000	0,00020	0,04867	0,00795	0,97485	1
16500	0,00020	0,04392	0,00793	0,97472	1
17000	0,00020	0,03962	0,00791	0,97460	1
17500	0,00020	0,03574	0,00789	0,97449	1

6. Amine Regenerator (135-H-07)

t (hours)	<i>Failure Rate</i>	<i>Reliability</i>	<i>Repair Rate</i>	<i>Availability</i>	<i>Maintainability</i>
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	0,00009	0,99999	1,8E-07	0,99999	8,6E-11
1000	0,00009	0,90891	1,9291	0,99995	1
2000	0,00009	0,82613	4,3379	0,99997	1
3000	0,00009	0,75088	6,9685	0,99998	1
4000	0,00009	0,68249	9,7544	0,99999	1
5000	0,00009	0,62033	12,661	0,99999	1
6250	0,00009	0,55052	16,435	0,99999	1
7000	0,00009	0,51247	18,763	0,99999	1
8000	0,00009	0,46579	21,934	0,99999	1
9000	0,00009	0,42337	25,171	0,99999	1
10000	0,00009	0,38481	28,471	0,99999	1
11000	0,00009	0,34976	31,827	0,99999	1
12000	0,00009	0,31790	35,235	0,99999	1
13000	0,00009	0,28895	38,691	0,99999	1
14000	0,00009	0,26263	42,192	0,99999	1
15000	0,00009	0,23871	45,736	0,99999	1
16000	0,00009	0,21696	49,321	0,99999	1
17000	0,00009	0,19720	52,943	0,99999	1
18000	0,00009	0,17924	56,602	0,99999	1
19000	0,00009	0,16291	60,295	0,99999	1
20000	0,00009	0,14808	64,021	0,99999	1
21000	0,00009	0,13459	67,779	0,99999	1
22000	0,00009	0,12233	71,567	0,99999	1
23000	0,00009	0,11119	75,384	0,99999	1
24000	0,00009	0,10106	79,230	0,99999	1
25000	0,00009	0,09185	83,103	0,99999	1
26000	0,00009	0,08349	87,002	0,99999	1
27000	0,00009	0,07588	90,926	0,99999	1
28000	0,00009	0,06897	94,875	0,99999	1
29000	0,00009	0,06269	98,848	0,99999	1

7. Amine Regenerator Re-Boiler (135-H-03)

t (hours)	Failure Rate	Reliability	Repair Rate	Availability	Maintainability
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	0,00012	0,99999	0,01111	0,99999	0,00001
1000	0,00012	0,88346	0,01111	0,98897	0,99998
2000	0,00012	0,78051	0,01111	0,98897	1
3000	0,00012	0,68956	0,01111	0,98897	1
4800	0,00012	0,55171	0,01111	0,98897	1
5000	0,00012	0,53821	0,01111	0,98897	1
6000	0,00012	0,47549	0,01111	0,98897	1
7000	0,00012	0,42008	0,01111	0,98897	1
8000	0,00012	0,37113	0,01111	0,98897	1
9000	0,00012	0,32788	0,01111	0,98897	1
10000	0,00012	0,28967	0,01111	0,98897	1
11000	0,00012	0,25591	0,01111	0,98897	1
12000	0,00012	0,22609	0,01111	0,98897	1
13000	0,00012	0,19974	0,01111	0,98897	1
14000	0,00012	0,17647	0,01111	0,98897	1
15000	0,00012	0,15590	0,01111	0,98897	1
16000	0,00012	0,13773	0,01111	0,98897	1
17000	0,00012	0,12168	0,01111	0,98897	1
18000	0,00012	0,10750	0,01111	0,98897	1
19000	0,00012	0,09497	0,01111	0,98897	1
20000	0,00012	0,08391	0,01111	0,98897	1
21000	0,00012	0,07413	0,01111	0,98897	1
22000	0,00012	0,06549	0,01111	0,98897	1
23000	0,00012	0,05786	0,01111	0,98897	1
24000	0,00012	0,05111	0,01111	0,98897	1
25000	0,00012	0,04516	0,01111	0,98897	1

8. Hot Lean Amine Pump (135-P-04A/B)

t (hours)	Failure Rate	Reliability	FBD TTR	Reliability TTR	Repair Rate	Availability	Maintainability
	$\lambda(t)$	R(t)	f(t)	R(t)	$\lambda(t)$	A(t)	M(t)
0,001	0,00021	0,99999	4,6E-16	1	4,6E-16	0,99999	6,2E-20
200	0,00021	0,95954	0,00118	0,21798	0,00544	0,97526	0,78201
400	0,00021	0,92071	0,00032	0,09045	0,00363	0,95779	0,90954
600	0,00021	0,88346	0,00013	0,04796	0,00279	0,94256	0,95203
800	0,00021	0,84772	0,00006	0,02892	0,00230	0,92871	0,97107
1000	0,00021	0,81342	0,00003	0,01890	0,00196	0,91585	0,98109
1200	0,00021	0,78051	0,00002	0,01307	0,00172	0,90376	0,98692
1400	0,00021	0,74893	0,00001	0,00943	0,00154	0,89232	0,99056
1600	0,00021	0,71863	9,8E-06	0,00702	0,00140	0,88143	0,99297
1800	0,00021	0,68956	6,9E-06	0,00537	0,00128	0,87102	0,99462
2000	0,00021	0,66166	4,9E-06	0,00419	0,00118	0,86103	0,99580
2200	0,00021	0,63489	3,6E-06	0,00333	0,00110	0,85143	0,99666
2400	0,00021	0,60920	2,7E-06	0,00269	0,00103	0,84217	0,99730
2600	0,00021	0,58455	2,1E-06	0,00220	0,00097	0,83324	0,99779
2850	0,00021	0,55514	1,5E-06	0,00174	0,00090	0,82248	0,99825
3000	0,00021	0,53821	1,3E-06	0,00152	0,00087	0,81623	0,99847
3200	0,00021	0,51643	1,0E-06	0,00128	0,00083	0,80812	0,99871
3400	0,00021	0,49554	8,6E-07	0,00109	0,00079	0,80025	0,99890
3600	0,00021	0,47549	7,0E-07	0,00093	0,00075	0,79260	0,99906
3800	0,00021	0,45625	5,8E-07	0,00080	0,00072	0,78516	0,99919
4000	0,00021	0,43779	4,8E-07	0,00069	0,00069	0,77792	0,99930

9. Amine Mechanical Filter (135-W-02)

t (hours)	PDF TTF	Reliability	Failure Rate	Repair Rate	Availability	Maintainability
	f(t)	R(t)	$\lambda(t)$	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	3,9E-18	1	3,9E-18	6,8E-06	1	3,7E-09
100	0,00146	0,87890	0,00167	0,10134	0,98378	0,99602
200	0,00116	0,74666	0,00156	0,18059	0,99142	0,99999
300	0,00090	0,64368	0,00140	0,25320	0,99447	1
415	0,00069	0,55237	0,00125	0,33183	0,99622	1
500	0,00058	0,49831	0,00116	0,38758	0,99699	1
600	0,00048	0,44543	0,00107	0,45118	0,99761	1
700	0,00040	0,40144	0,00100	0,51304	0,99804	1
800	0,00034	0,36429	0,00093	0,57343	0,99836	1
900	0,00029	0,33254	0,00088	0,63258	0,99860	1
1000	0,00025	0,30511	0,00083	0,69064	0,99878	1
1100	0,00022	0,28121	0,00079	0,74773	0,99893	1
1200	0,00019	0,26020	0,00075	0,80397	0,99905	1
1300	0,00017	0,24162	0,00072	0,85944	0,99915	1
1400	0,00015	0,22508	0,00069	0,91419	0,99924	1
1500	0,00014	0,21028	0,00066	0,96830	0,99931	1
1600	0,00012	0,19696	0,00064	1	0,99937	1
1700	0,00011	0,18493	0,00061	1	0,99942	1
1800	0,00010	0,17401	0,00059	1	0,99946	1
1900	9,4E-05	0,16407	0,00057	1	0,99950	1
2000	8,6E-05	0,15499	0,00056	1	0,99954	1

10. Amine Carbon Filter (135-W-03)

t (hours)	FBD TTF	Reliability	Failure Rate	FBD TTR	Reliability TTR	Repair Rate	Availability	Maintainability
	f(t)	R(t)	$\lambda(t)$	f(t)	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	1,9E-11	1	1,9E-11	0,00063	0,99999	0,00063	1	3,37E-07
300	0,00054	0,78049	0,00069	0,00046	0,61976	0,00075	0,83007	0,38023
600	0,00034	0,65176	0,00052	0,00024	0,51928	0,00047	0,76362	0,48071
950	0,00023	0,55395	0,00041	0,00015	0,45156	0,00034	0,71832	0,54843
1200	0,00018	0,50252	0,00036	0,00012	0,41755	0,00028	0,69554	0,58244
1500	0,00014	0,45334	0,00032	0,00009	0,38562	0,00024	0,67416	0,61437
1800	0,00011	0,41365	0,00028	0,00007	0,36009	0,00021	0,65706	0,63990
2100	0,00010	0,38075	0,00026	0,00006	0,33898	0,00019	0,64290	0,66101
2400	0,00008	0,35292	0,00024	0,00005	0,32108	0,00017	0,63089	0,67891
2700	0,00007	0,32900	0,00022	0,00004	0,30563	0,00015	0,62051	0,69436
3000	0,00006	0,30818	0,00021	0,00004	0,29210	0,00014	0,61140	0,70789
3300	0,00005	0,28987	0,00019	0,00003	0,28011	0,00013	0,60331	0,71988
3600	0,00005	0,27360	0,00018	0,00003	0,26937	0,00012	0,59605	0,73062
3900	0,00004	0,25905	0,00017	0,00003	0,25967	0,00011	0,58947	0,74032
4200	0,00004	0,24595	0,00016	0,00002	0,25086	0,00011	0,58348	0,74913
4500	0,00003	0,23407	0,00016	0,00002	0,24281	0,00010	0,57799	0,75718
4800	0,00003	0,22326	0,00015	0,00002	0,23540	0,00010	0,57293	0,76459
5100	0,00003	0,21337	0,00014	0,00002	0,22855	0,00009	0,56823	0,77144
5400	0,00002	0,20428	0,00014	0,00002	0,22220	0,00009	0,56387	0,77779
5700	0,00002	0,19589	0,00013	0,00001	0,21629	0,00008	0,55979	0,78370
6000	0,00002	0,18814	0,00013	0,00001	0,21077	0,00008	0,55597	0,78922
6300	0,00002	0,18094	0,00012	0,00001	0,20559	0,00008	0,55238	0,79440
6600	0,00002	0,17424	0,00012	0,00001	0,20072	0,00007	0,54899	0,79927
6900	0,00002	0,16798	0,00011	0,00001	0,19614	0,00007	0,54579	0,80385
7200	0,00001	0,16213	0,00011	0,00001	0,19181	0,00007	0,54276	0,80818

11. Amine Surge Vessel (135-V-02)

t (hours)	Failure Rate	Reliability	Repair Rate	Availability	Maintainability
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	0,00071	0,99999	0,01042	0,99999	0,00001
200	0,00071	0,86828	0,01042	0,94337	0,87548
400	0,00071	0,75391	0,01042	0,93725	0,98449
600	0,00071	0,65460	0,01042	0,93658	0,99806
825	0,00071	0,55843	0,01042	0,93651	0,99981
1000	0,00071	0,49351	0,01042	0,93651	0,99997
1200	0,00071	0,42851	0,01042	0,93650	0,99999
1400	0,00071	0,37206	0,01042	0,93650	0,99999
1600	0,00071	0,32305	0,01042	0,93650	0,99999
1800	0,00071	0,28050	0,01042	0,93650	0,99999
2000	0,00071	0,24355	0,01042	0,93650	0,99999
2200	0,00071	0,21147	0,01042	0,93650	1
2400	0,00071	0,18362	0,01042	0,93650	1
2600	0,00071	0,15943	0,01042	0,93650	1
2800	0,00071	0,13843	0,01042	0,93650	1
3000	0,00071	0,12019	0,01042	0,93650	1
3200	0,00071	0,10436	0,01042	0,93650	1
3400	0,00071	0,09062	0,01042	0,93650	1
3600	0,00071	0,07868	0,01042	0,93650	1
3800	0,00071	0,06831	0,01042	0,93650	1
4000	0,00071	0,05932	0,01042	0,93650	1
4200	0,00071	0,05150	0,01042	0,93650	1
4400	0,00071	0,04472	0,01042	0,93650	1

12. Solvent Filter (135-W-05)

t (hours)	Failure Rate	Reliability	Repair Rate	Availability	Maintainability
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	0,00069	0,99999	0,01909	0,99999	0,00001
200	0,00069	0,87064	0,01909	0,96567	0,97805
400	0,00069	0,75802	0,01909	0,96501	0,99951
600	0,00069	0,65997	0,01909	0,96500	0,99998
850	0,00069	0,55504	0,01909	0,96500	0,99999
1000	0,00069	0,50027	0,01909	0,96500	0,99999
1200	0,00069	0,43556	0,01909	0,96500	1
1400	0,00069	0,37921	0,01909	0,96500	1
1600	0,00069	0,33016	0,01909	0,96500	1
1800	0,00069	0,28745	0,01909	0,96500	1
2000	0,00069	0,25027	0,01909	0,96500	1
2200	0,00069	0,21789	0,01909	0,96500	1
2400	0,00069	0,18971	0,01909	0,96500	1
2600	0,00069	0,16517	0,01909	0,96500	1
2800	0,00069	0,14380	0,01909	0,96500	1
3000	0,00069	0,12520	0,01909	0,96500	1
3200	0,00069	0,10900	0,01909	0,96500	1
3400	0,00069	0,09490	0,01909	0,96500	1
3600	0,00069	0,08263	0,01909	0,96500	1
3800	0,00069	0,07194	0,01909	0,96500	1
4000	0,00069	0,06263	0,01909	0,96500	1
4200	0,00069	0,05453	0,01909	0,96500	1
4400	0,00069	0,04748	0,01909	0,96500	1

13. Amine Reflux Drum (135-V-11)

t (hours)	Failure Rate	Reliability	Repair Rate	Availability	Maintainability
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	2,9E-11	1	0,069909766	1	0,00008
1000	0,0001	0,99196	0,003853149	0,99600	0,99237
2000	0,0003	0,96921	0,003331683	0,99092	0,99978
3000	0,0004	0,93327	0,003060004	0,98551	0,99999
4000	0,0005	0,88589	0,002880789	0,97986	0,99999
5000	0,0007	0,82912	0,00274904	0,97405	0,99999
6000	0,0008	0,76522	0,002645878	0,96811	0,99999
7000	0,00010	0,69652	0,002561682	0,96208	1
8000	0,00011	0,62532	0,002490917	0,95598	1
9000	0,00012	0,55377	0,002430123	0,94984	1
10000	0,00014	0,48378	0,002376998	0,94366	1
11000	0,00015	0,41696	0,002329942	0,93747	1
12000	0,00016	0,35455	0,002287798	0,93126	1
13000	0,00018	0,29746	0,002249702	0,92505	1
14000	0,00019	0,24625	0,002214997	0,91885	1
15000	0,00020	0,20116	0,002183168	0,91266	1
16000	0,00022	0,16215	0,002153809	0,90648	1
17000	0,00023	0,12899	0,002126589	0,90033	1
18000	0,00024	0,10126	0,002101242	0,89419	1
19000	0,00026	0,07845	0,002077543	0,88809	1
20000	0,00027	0,05998	0,002055307	0,88202	1
21000	0,00028	0,04527	0,002034377	0,87598	1
22000	0,00030	0,03372	0,002014619	0,86998	1
23000	0,00031	0,02479	0,00199592	0,86401	1
24000	0,00032	0,01799	0,001978178	0,85809	1
25000	0,00034	0,01288	0,00196131	0,85220	1
26000	0,00035	0,00911	0,001945238	0,84636	1
27000	0,00036	0,00636	0,001929898	0,84056	1
28000	0,00037	0,00438	0,00191523	0,83480	1
29000	0,00039	0,00298	0,001901182	0,82909	1
30000	0,00040	0,00200	0,001887709	0,82343	1

14. Amine Reflux Pumps (135-P-02A/B)

t (hours)	Failure Rate	Reliability	Repair Rate	Availability	Maintainability
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	2,4E-11	1	0,02248	1	0,00002
1000	0,00001	0,99007	0,00537	0,996347954	0,99752
2000	0,00003	0,96126	0,00500	0,992229631	0,99998
3000	0,00005	0,91543	0,00480	0,987968748	0,99999
4000	0,00007	0,85520	0,00466	0,983615958	0,99999
5000	0,00009	0,78381	0,00455	0,979203994	1
6000	0,00011	0,70481	0,00446	0,974752969	1
7850	0,00015	0,55077	0,00434	0,966458932	1
8000	0,00015	0,53834	0,00433	0,965784443	1
9000	0,00017	0,45731	0,00428	0,961284239	1
10000	0,00019	0,38120	0,00423	0,956781714	1
11000	0,00021	0,31182	0,00419	0,952281528	1
12000	0,00022	0,25031	0,00415	0,947787484	1
13000	0,00024	0,19719	0,00412	0,943302728	1
14000	0,00026	0,15245	0,00409	0,938829897	1
15700	0,00029	0,09428	0,00404	0,931259584	1
16000	0,00030	0,08613	0,00403	0,92992858	1
17000	0,00032	0,06295	0,00401	0,925503613	1
18000	0,00034	0,04515	0,00398	0,921097712	1
19000	0,00036	0,03178	0,00396	0,916712082	1
20000	0,00037	0,02196	0,00394	0,912347764	1
21000	0,00039	0,01489	0,00392	0,908005662	1
22000	0,00041	0,00991	0,00390	0,903686558	1
23550	0,00044	0,00508	0,00387	0,897038955	1
24000	0,00045	0,00415	0,00387	0,895119968	1
25000	0,00047	0,00261	0,00385	0,890873576	1
26000	0,00049	0,00161	0,00383	0,886652389	1
27000	0,00050	0,00097	0,00382	0,882456782	1
28000	0,00052	0,00058	0,00381	0,878287073	1
29000	0,00054	0,00034	0,00379	0,874143528	1
30000	0,00056	0,00019	0,00378	0,870026372	1

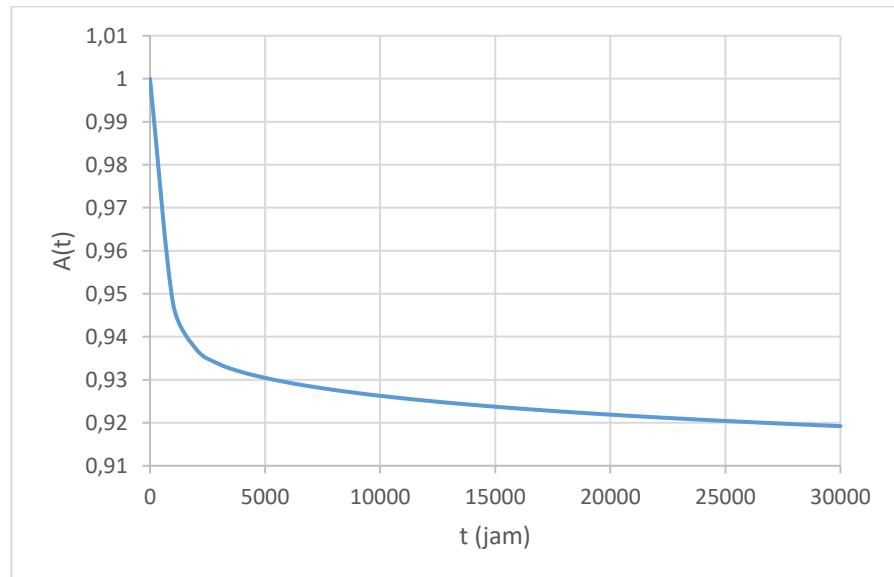
15. Amine Drain Vessel (135-V-14)

t (hours)	Failure Rate	Reliability	Repair Rate	Availability	Maintainability
	$\lambda(t)$	R(t)	m(t)	A(t)	M(t)
0,001	0,00006	0,99999	0,00505	0,99999	5,0E-06
1000	0,00006	0,93510	0,00505	0,98696	0,99359
2000	0,00006	0,87441	0,00505	0,98688	0,99995
3000	0,00006	0,81766	0,00505	0,98688	0,99999
4000	0,00006	0,76460	0,00505	0,98688	0,99999
5000	0,00006	0,71498	0,00505	0,98688	1
6000	0,00006	0,66857	0,00505	0,98688	1
7000	0,00006	0,62518	0,00505	0,98688	1
8900	0,00006	0,55035	0,00505	0,98688	1
9000	0,00006	0,54667	0,00505	0,98688	1
10000	0,00006	0,51119	0,00505	0,98688	1
11000	0,00006	0,47802	0,00505	0,98688	1
12000	0,00006	0,44699	0,00505	0,98688	1
13000	0,00006	0,41798	0,00505	0,98688	1
14000	0,00006	0,39086	0,00505	0,98688	1
15000	0,00006	0,36549	0,00505	0,98688	1
16000	0,00006	0,34177	0,00505	0,98688	1
17000	0,00006	0,31959	0,00505	0,98688	1
18000	0,00006	0,29885	0,00505	0,98688	1
19000	0,00006	0,27945	0,00505	0,98688	1
20000	0,00006	0,26132	0,00505	0,98688	1
21000	0,00006	0,24436	0,00505	0,98688	1
22000	0,00006	0,22850	0,00505	0,98688	1
23000	0,00006	0,21367	0,00505	0,98688	1
24000	0,00006	0,19980	0,00505	0,98688	1
25000	0,00006	0,18684	0,00505	0,98688	1
26000	0,00006	0,17471	0,00505	0,98688	1
27000	0,00006	0,16337	0,00505	0,98688	1
28000	0,00006	0,15277	0,00505	0,98688	1
29000	0,00006	0,14285	0,00505	0,98688	1
30000	0,00006	0,13358	0,00505	0,98688	1

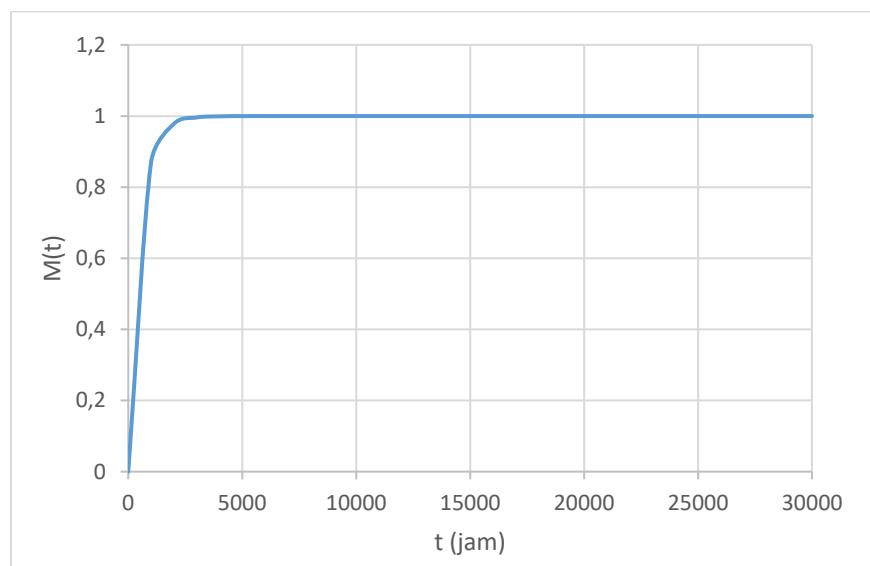
LAMPIRAN F

**Hasil Availability dan Maintainability Equipment Unit
Amine Regeneration System**

- **Amine Contactor (135-V-09)**

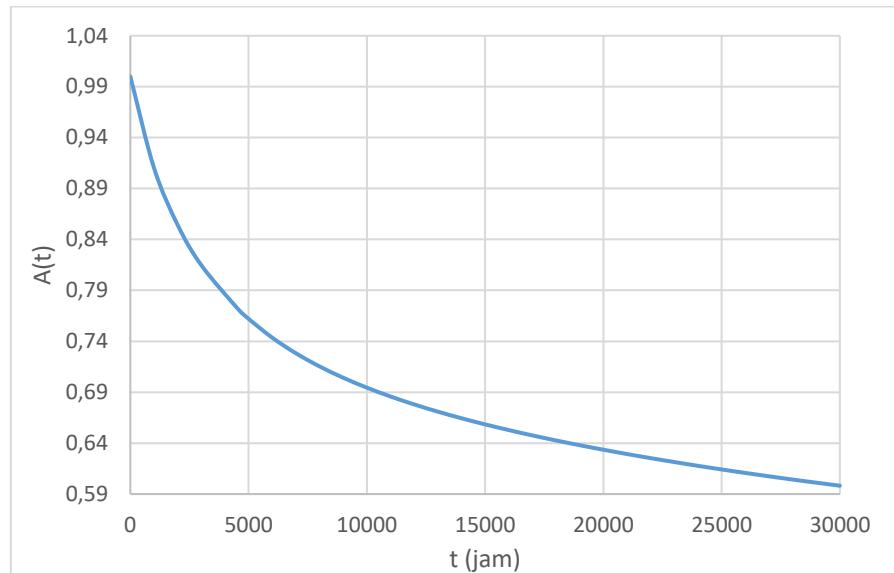


Gambar F.1 Availability amine contactor

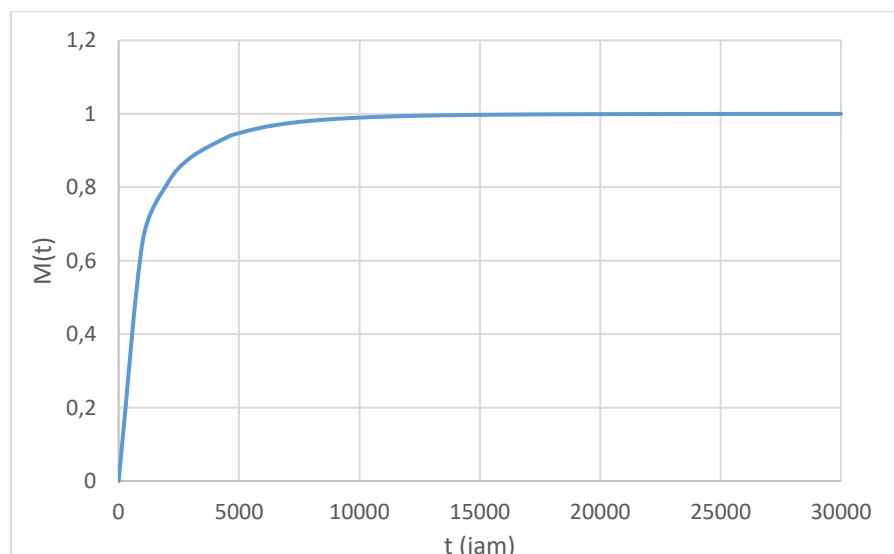


Gambar F.2 Maintainability amine contactor

- **Amine Overhead Gas KO Drum (135-V-09)**

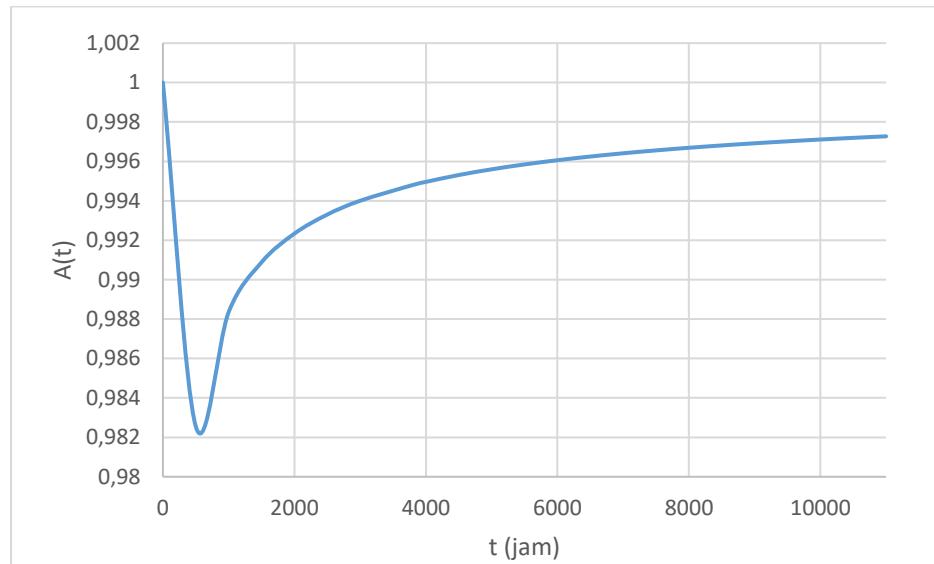


Gambar F.3 Availability amine overhead gas ko drum

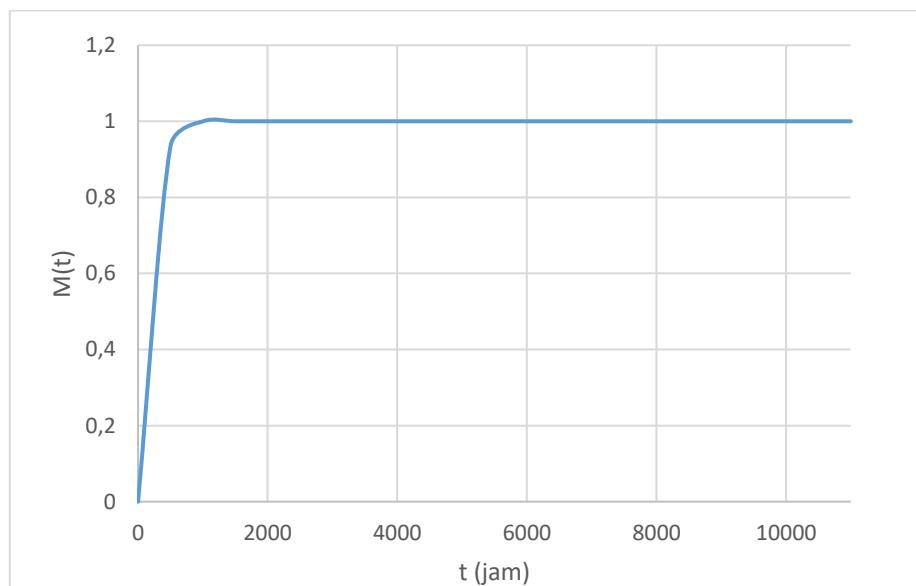


Gambar F.4 Maintainability amine overhead gas ko drum

- **Amine Flash Drum (135-V-10)**

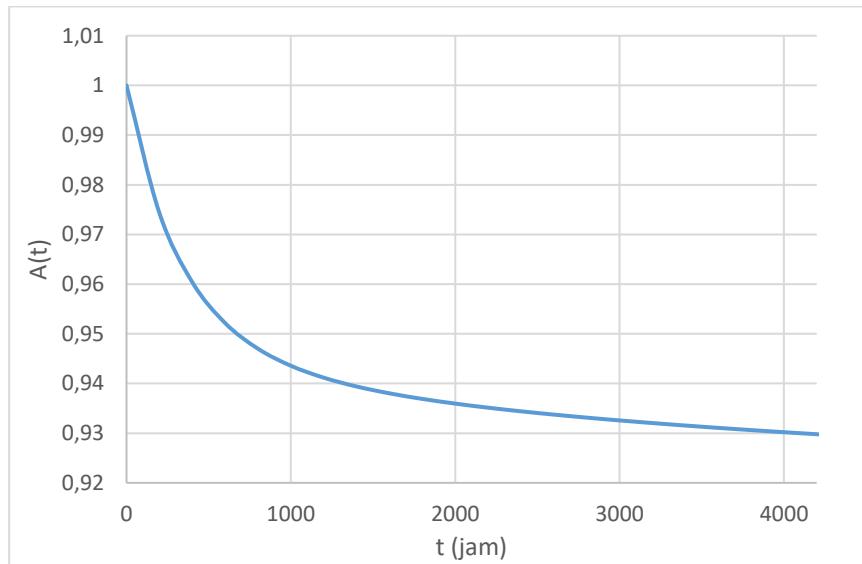


Gambar F.5 Availability amine flash drum

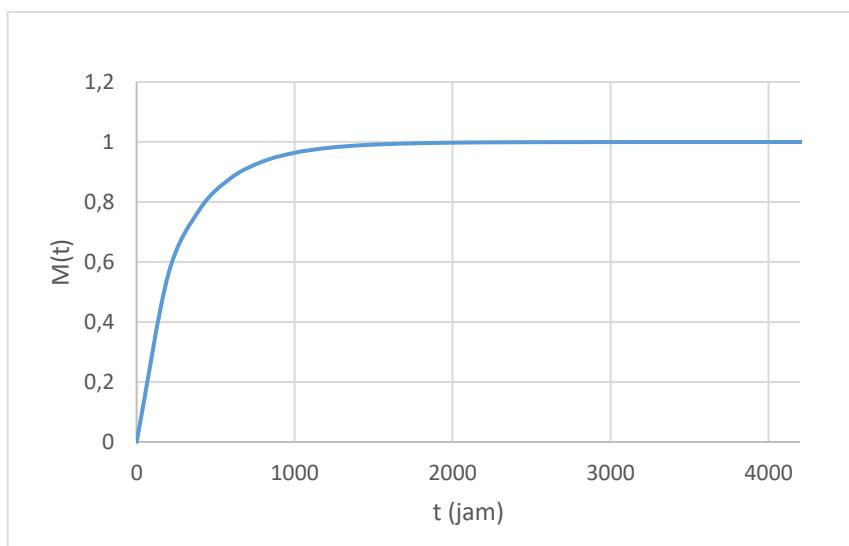


Gambar F.6 Maintainability amine flash drum

- **Rich Amine Filter (135-W-04)**

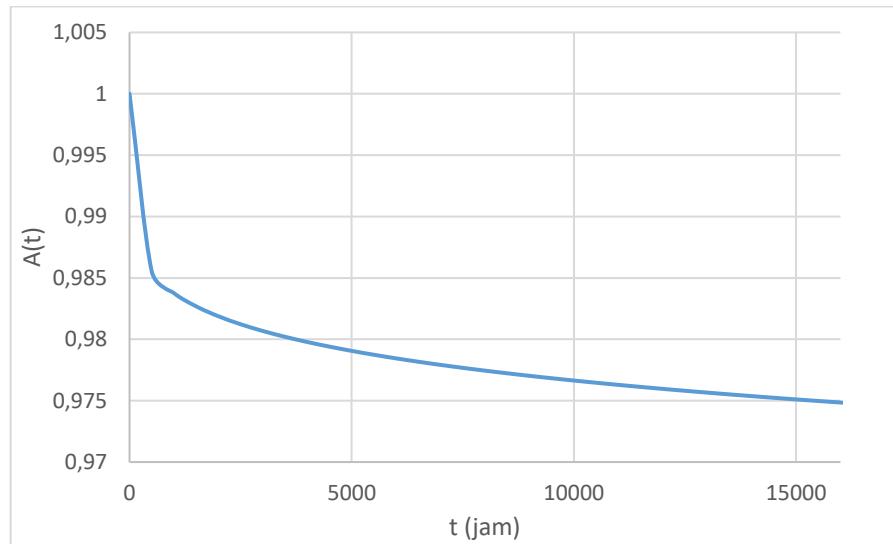


Gambar F.7 Availability rich amine filter

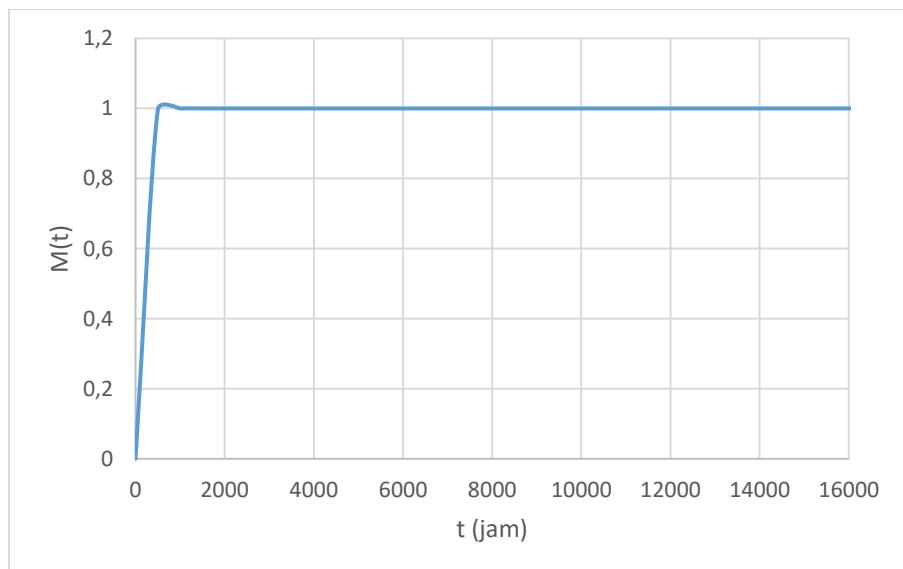


Gambar F.8 Maintainability rich amine filter

- **Rich Amine Exchanger (135-H-02A/B)**

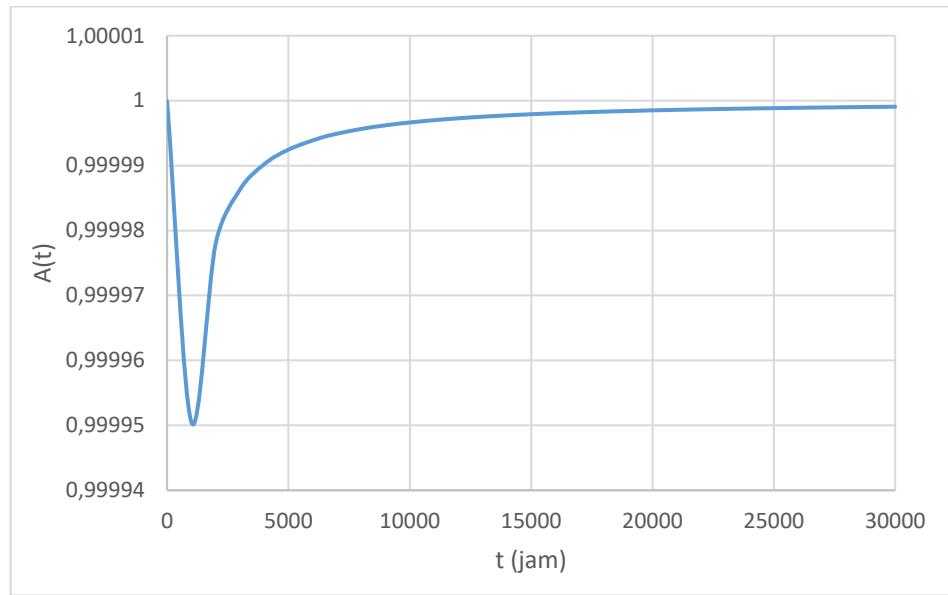


Gambar F.9 Availability rich amine exchanger

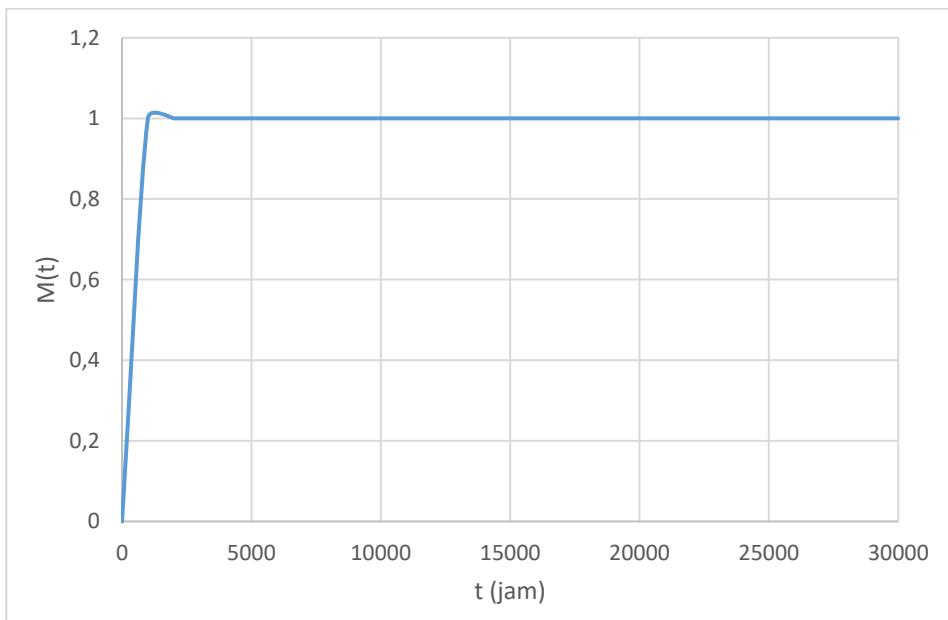


Gambar F.10 Maintainability rich amine exchanger

- **Amine Regenerator (135-H-07)**

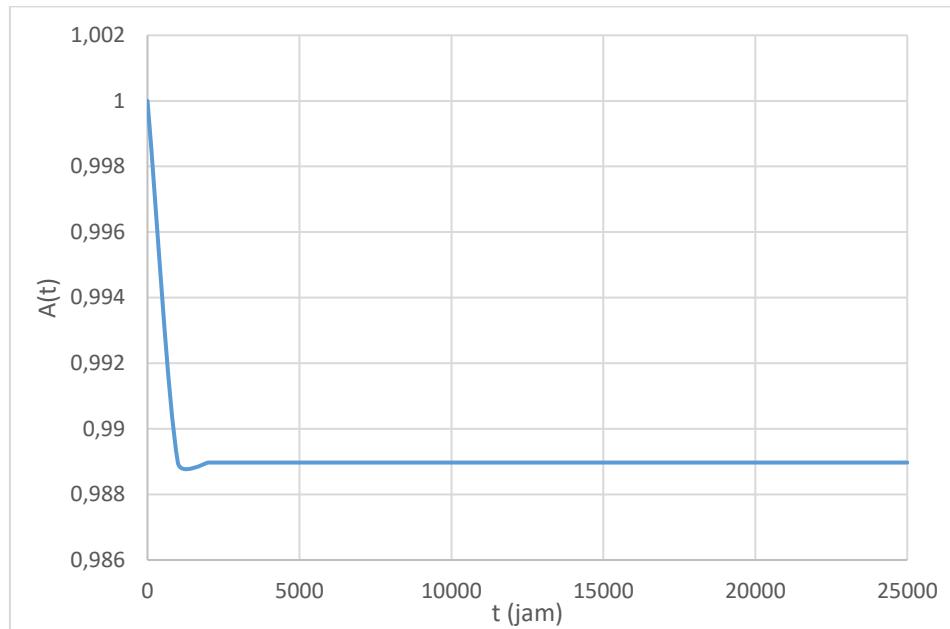


Gambar F.11 Availability amine regenerator

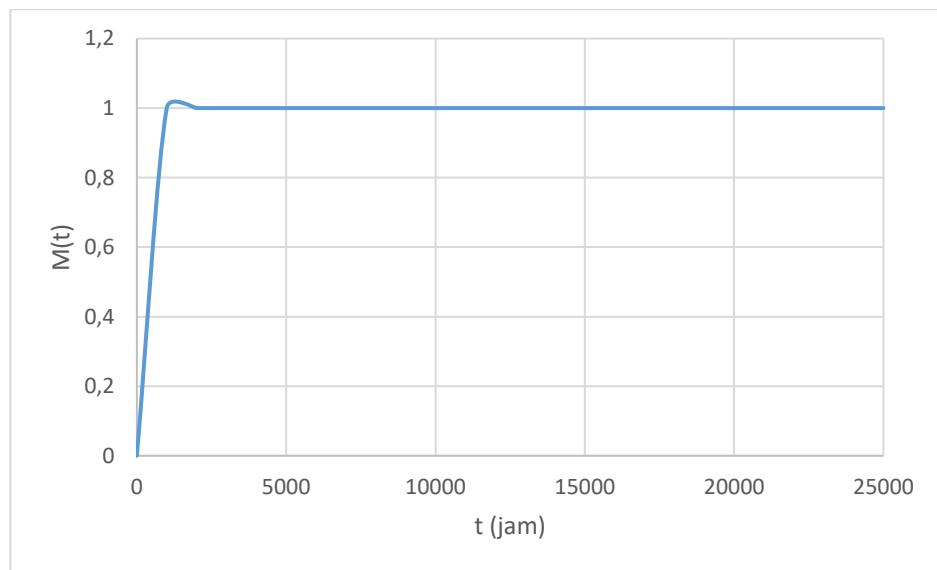


Gambar F.12 Maintainability amine regenerator

- **Amine Regenerator Re-Boiler (135-H-03)**

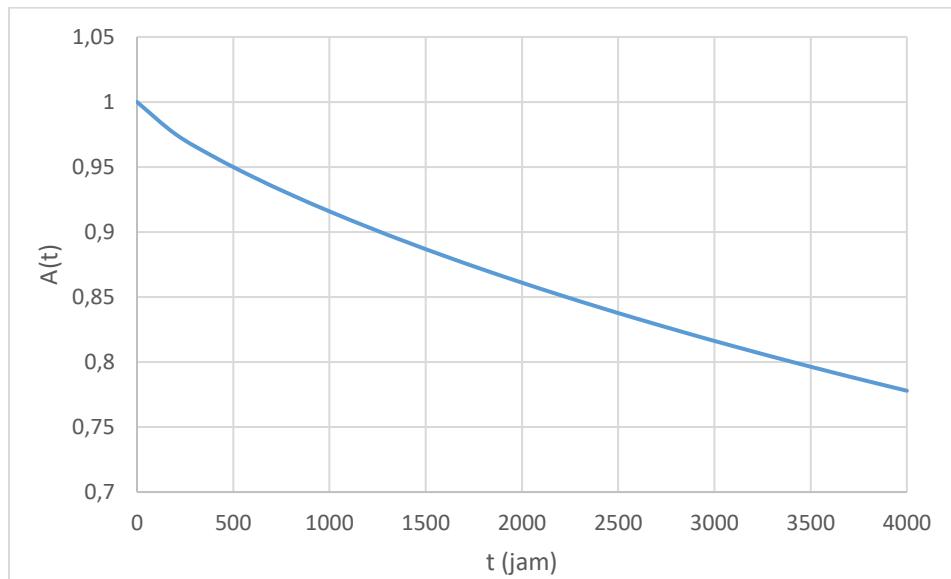


Gambar F.13 Availability amine regenerator re-boiler

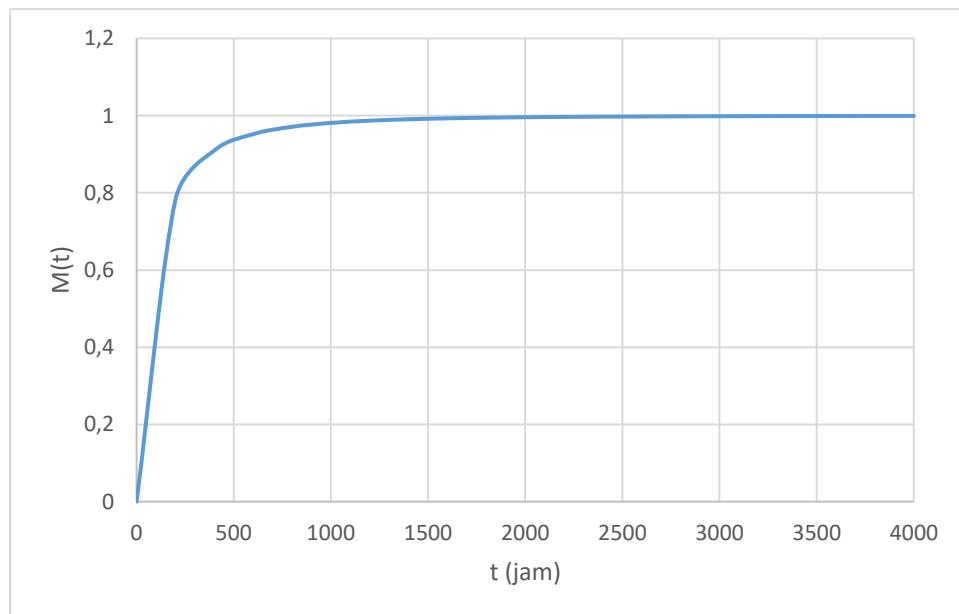


Gambar F.14 Maintainability amine regenerator re-boiler

- ***Hot Lean Amine Pump (135-P-04A/B)***

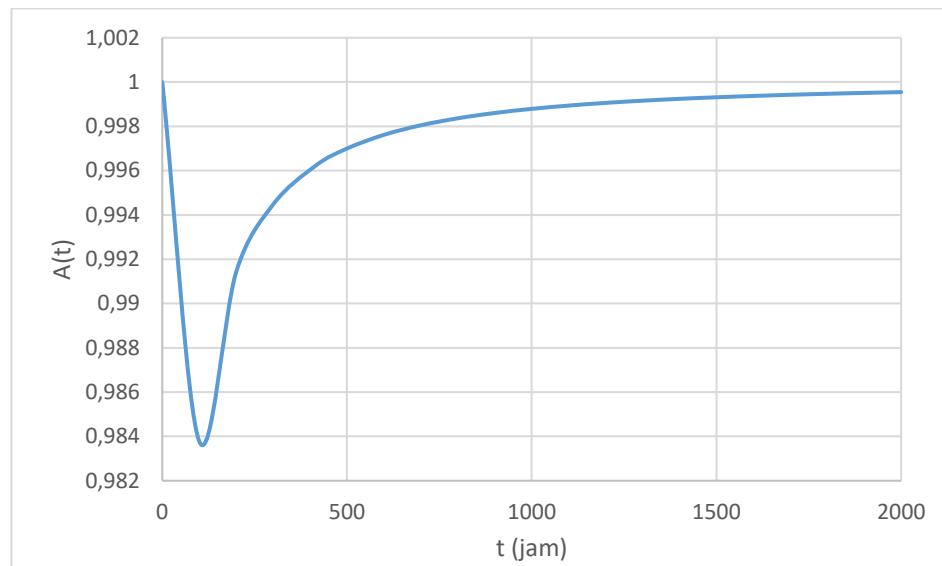


Gambar F.15 Availability hot lean amine pump

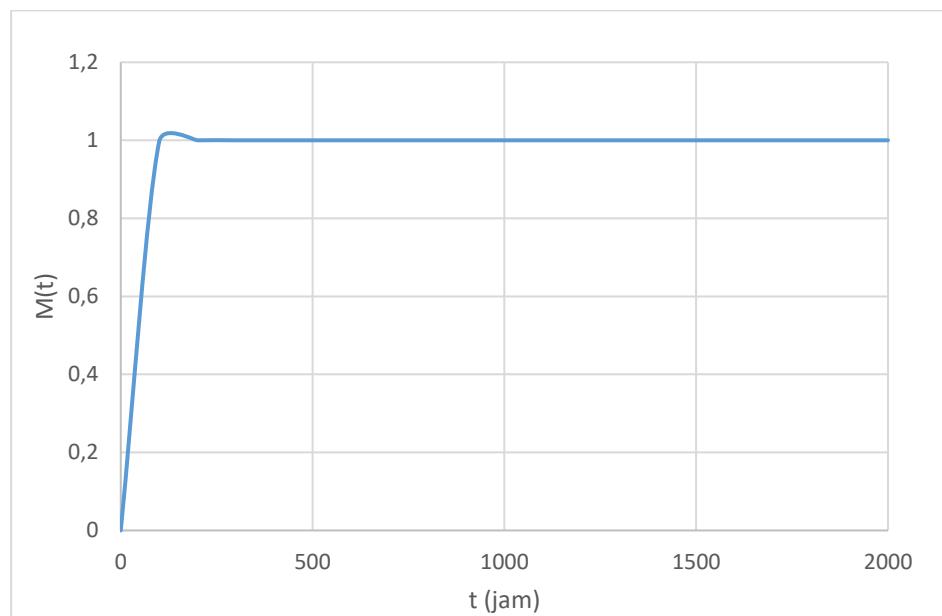


Gambar F.16 Maintainability hot lean amine pump

- **Amine Mechanical Filter (135-W-02)**

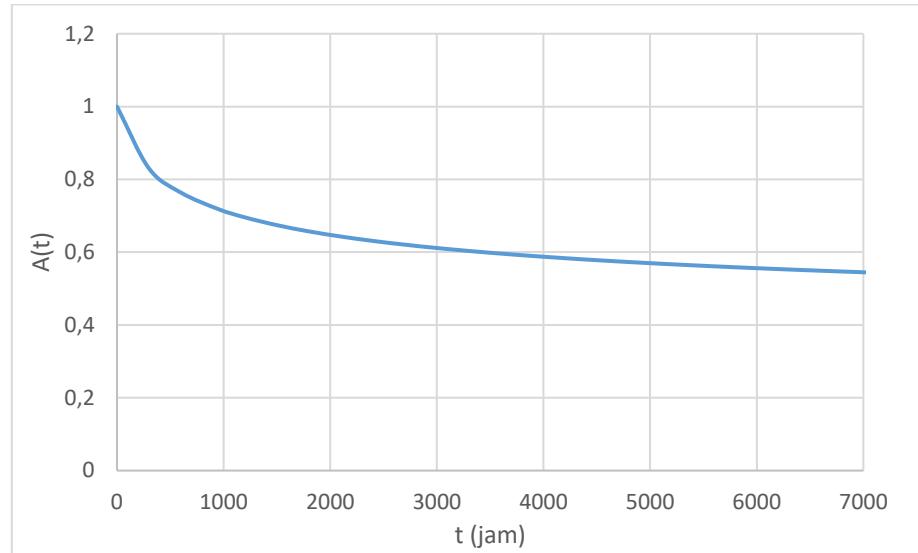


Gambar F.17 Availability amine mechanical filter

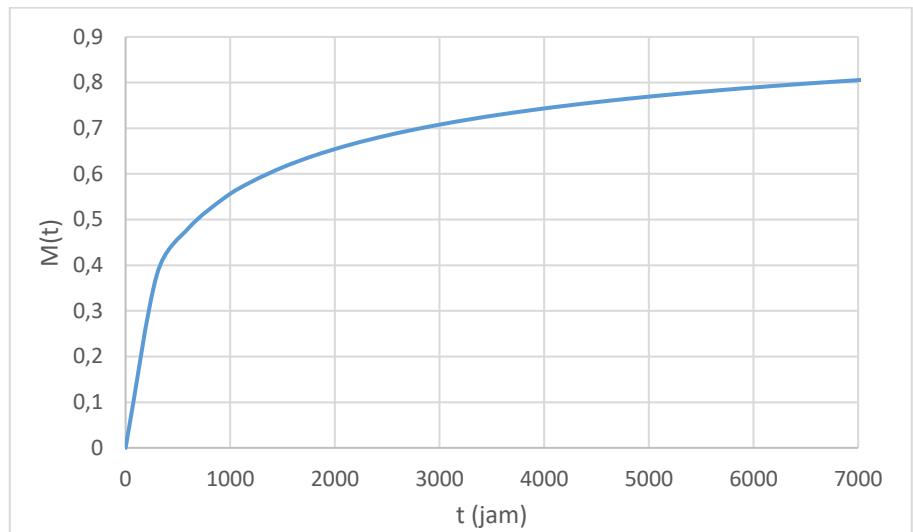


Gambar F.18 Maintainability amine mechanical filter

- **Amine Carbon Filter (135-W-03)**

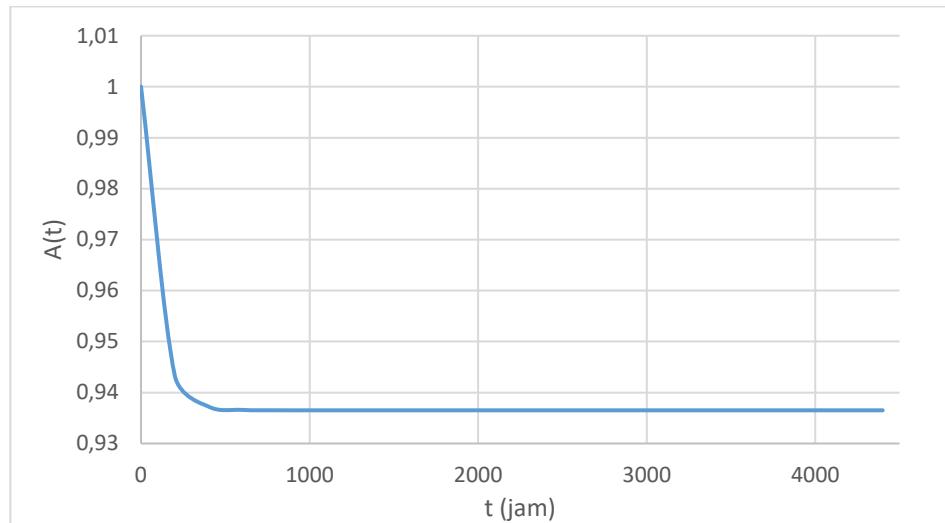


Gambar F.19 Availability amine carbon filter

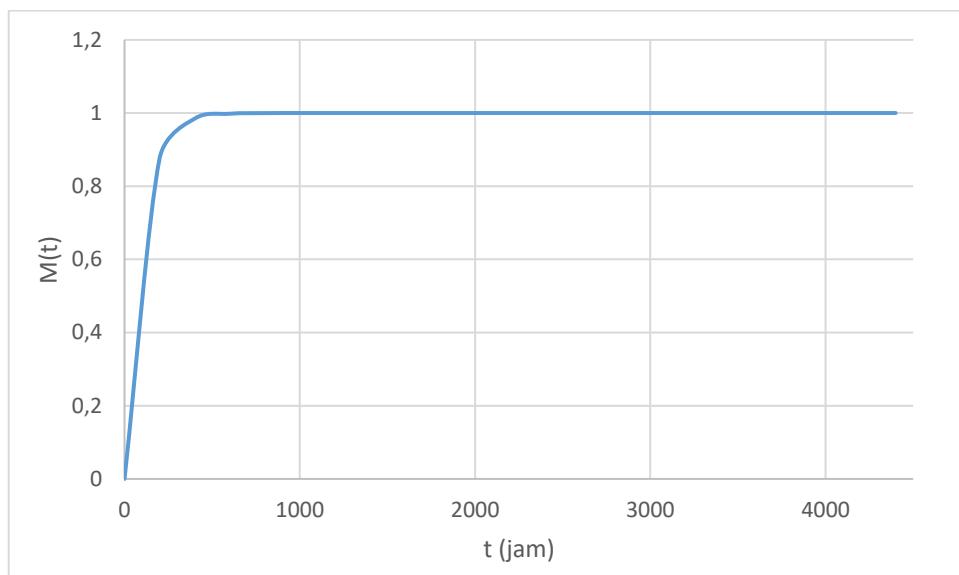


Gambar F.20 Maintainability amine carbon filter

- **Amine Surge Vessel (135-V-02)**

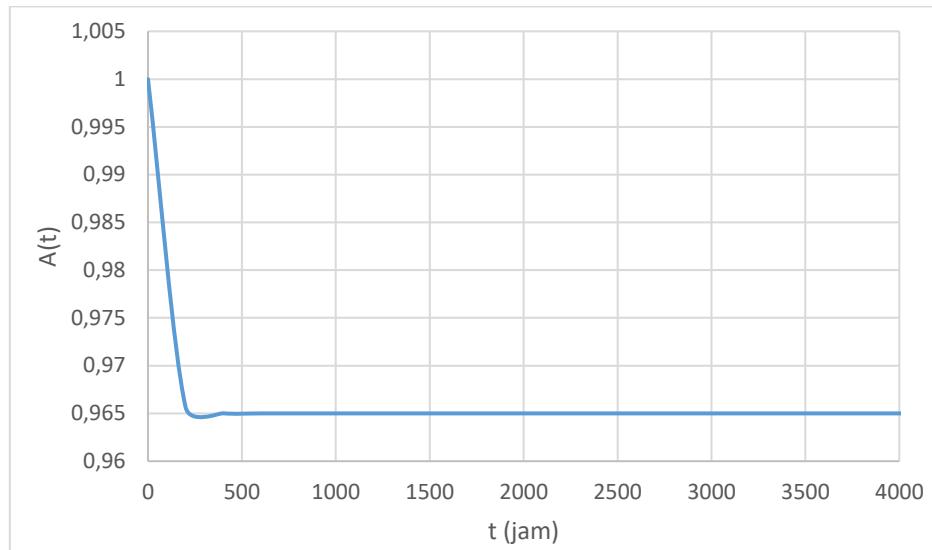


Gambar F.21 Availability amine surge vessel

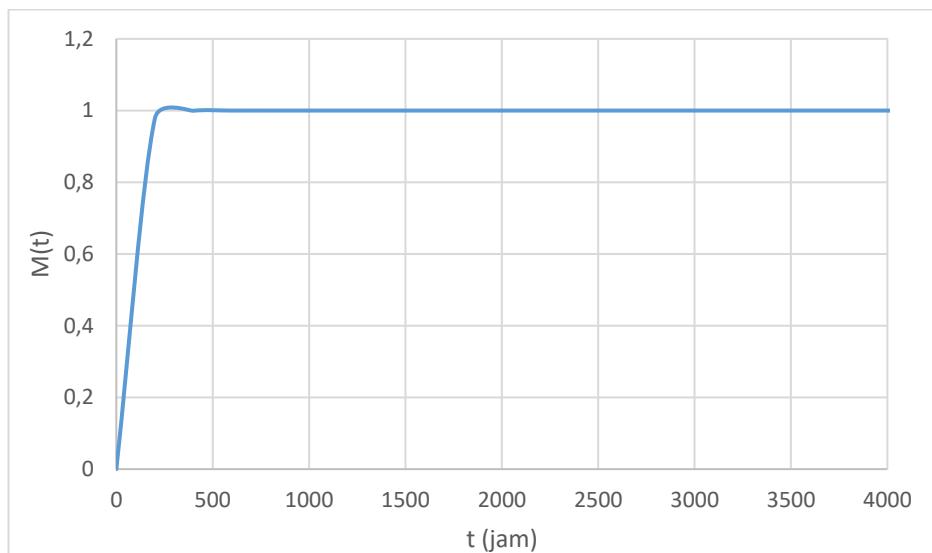


Gambar F.22 Maintainability amine surge vessel

- **Solvent Filter (135-W-05)**

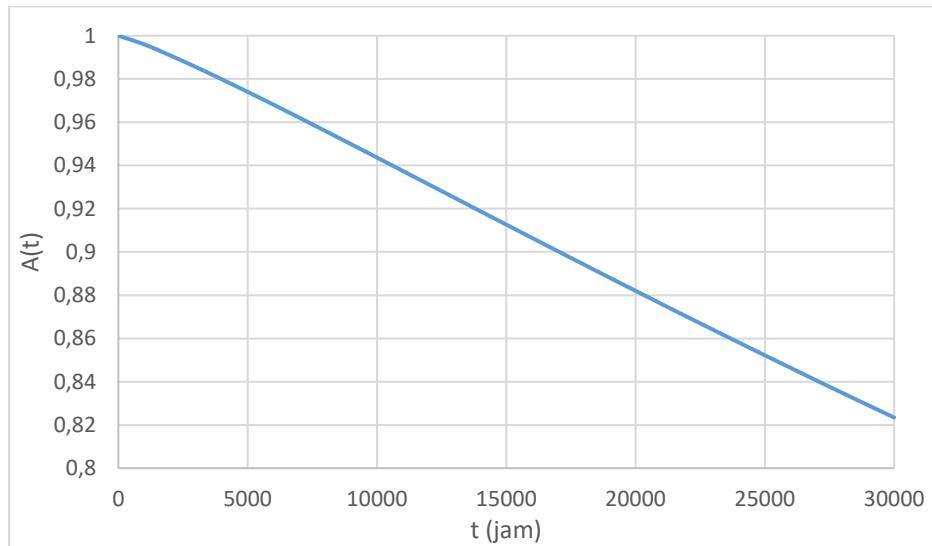


Gambar F.23 Availability solvent filter

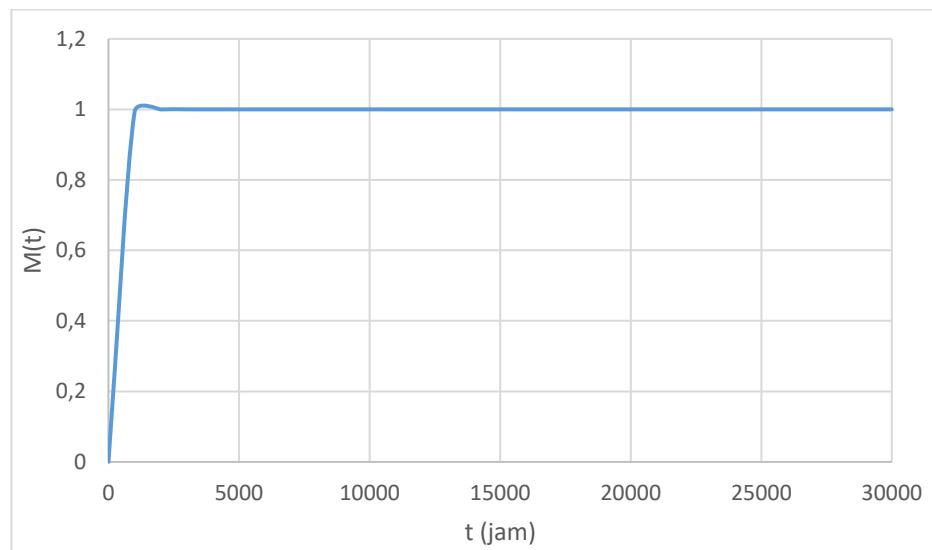


Gambar F.24 Maintainability solvent filter

- **Amine Reflux Drum (135-V-11)**

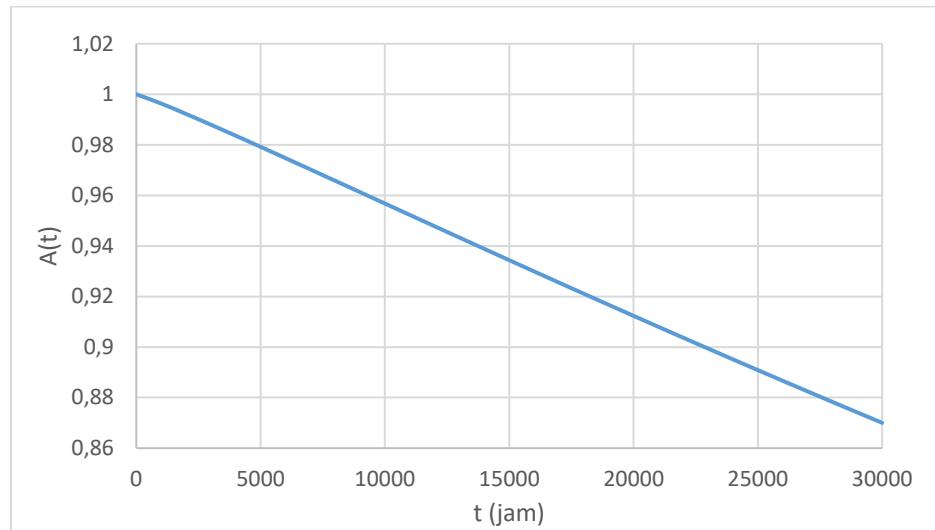


Gambar F.25 Availability amine reflux drum

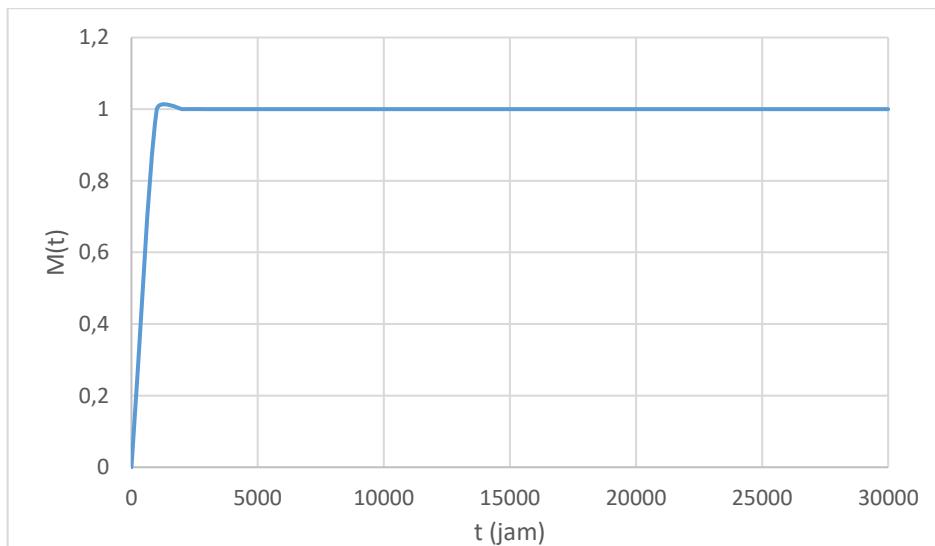


Gambar F.26 Maintainability amine reflux drum

- **Amine Reflux Pumps (135-P-02A/B)**

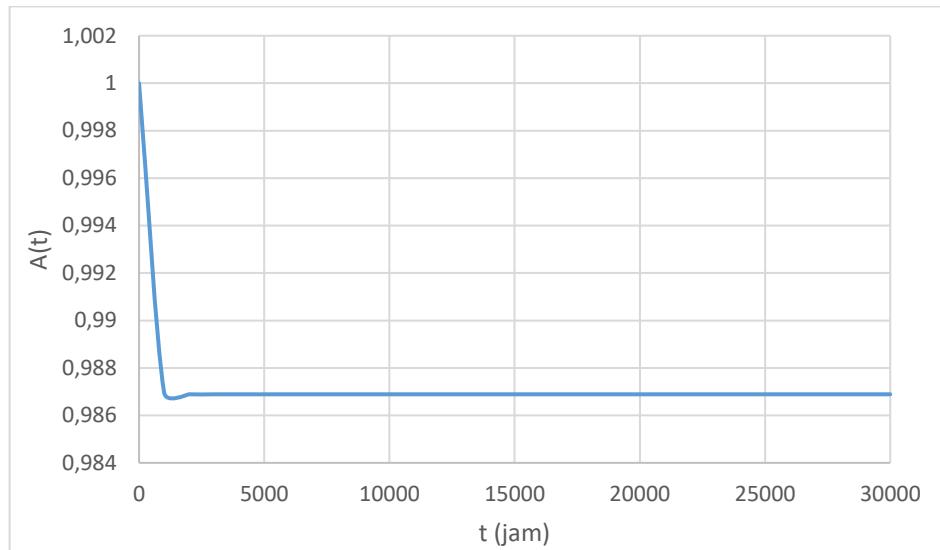


Gambar F.27 Availability amine reflux pump

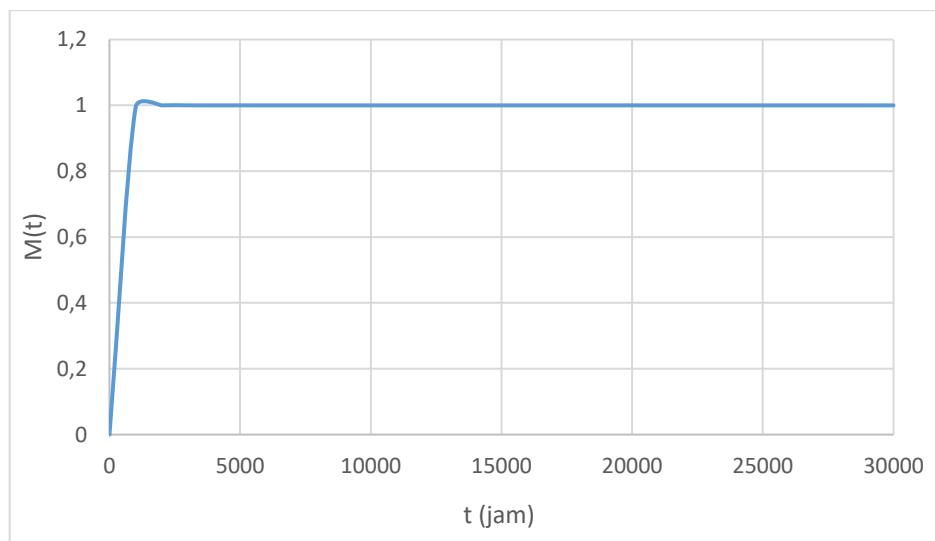


Gambar F.28 Maintainability amine reflux pump

- **Amine Drain Vessel (135-V-14)**



Gambar F.29 Availability amine drain vessel

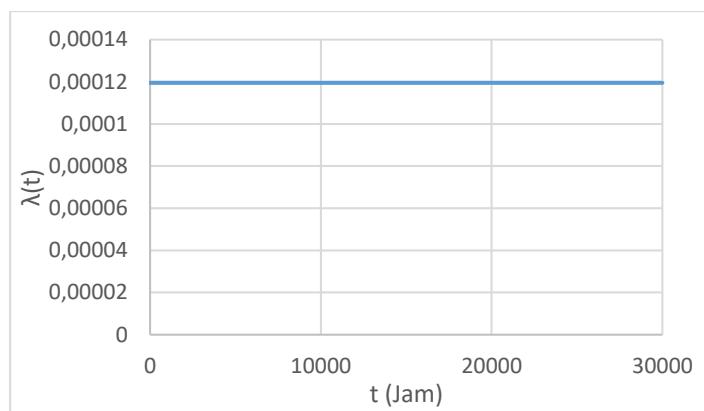


Gambar F.30 Maintainability amine drain vessel

LAMPIRAN G

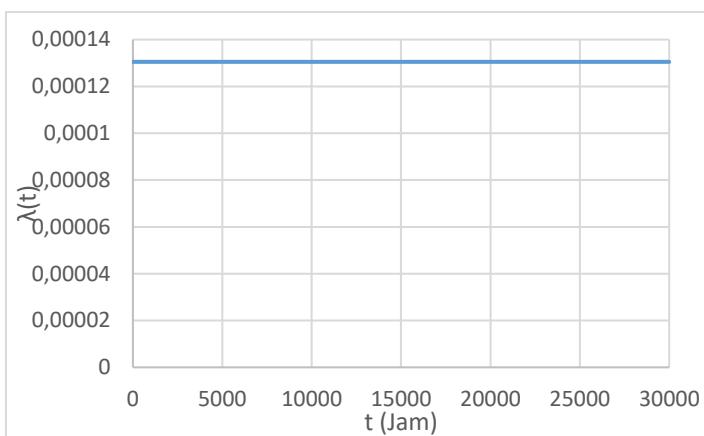
Hasil Failure Rate Equipment Unit Amine Regeneration System

1. Amine Contactor



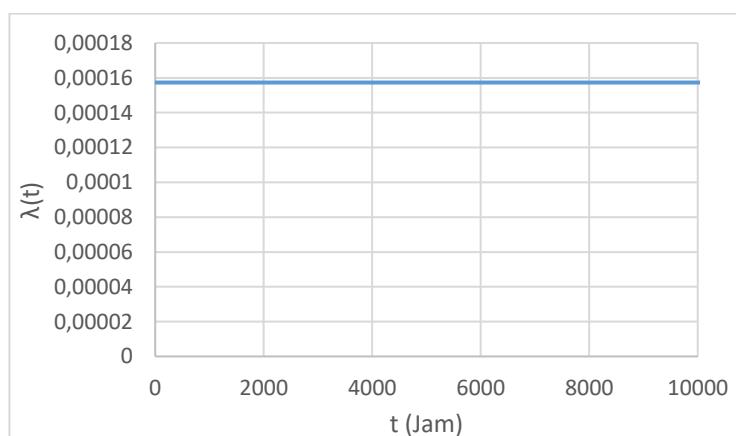
Gambar G.1 Failure rate amine contactor

2. Amine Overhead Gas KO Drum



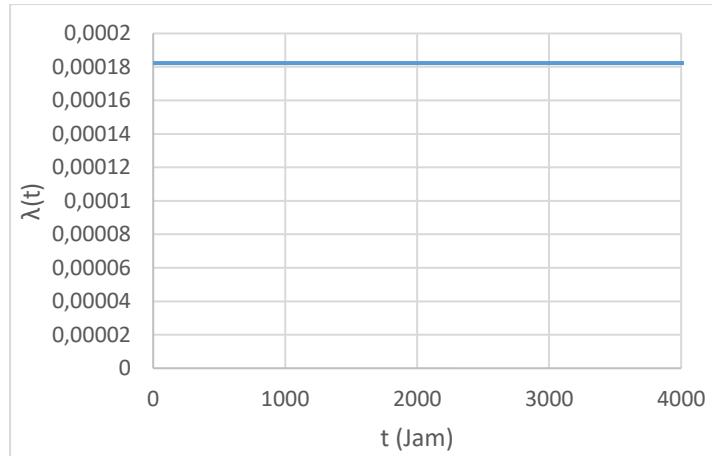
Gambar G.2 Failure rate amine overhead gas ko drum

3. Amine Flash Drum



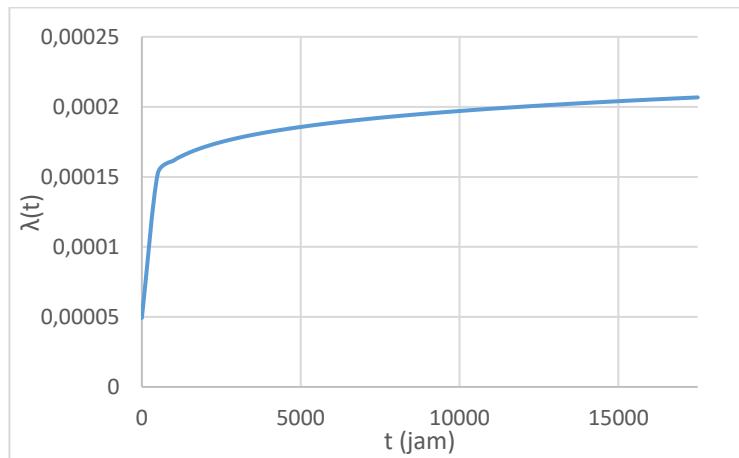
Gambar G.3 Failure rate amine flash drum

4. Rich Amine Filter



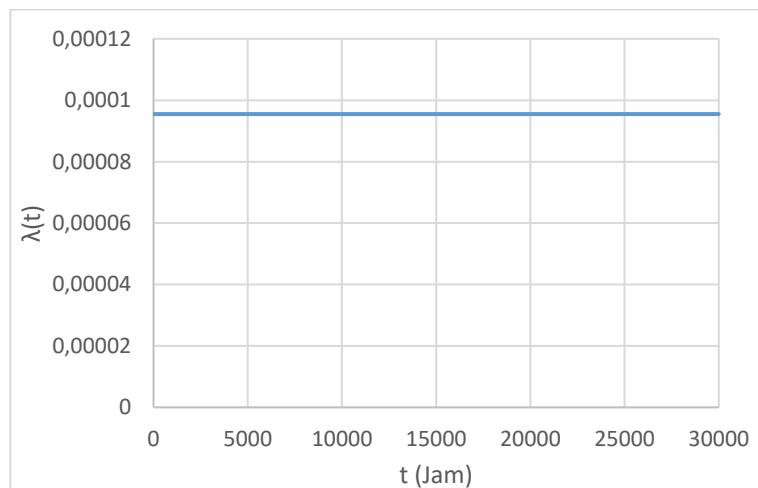
Gambar G.4 Failure rate rich amine filter

5. Rich Amine Exchanger



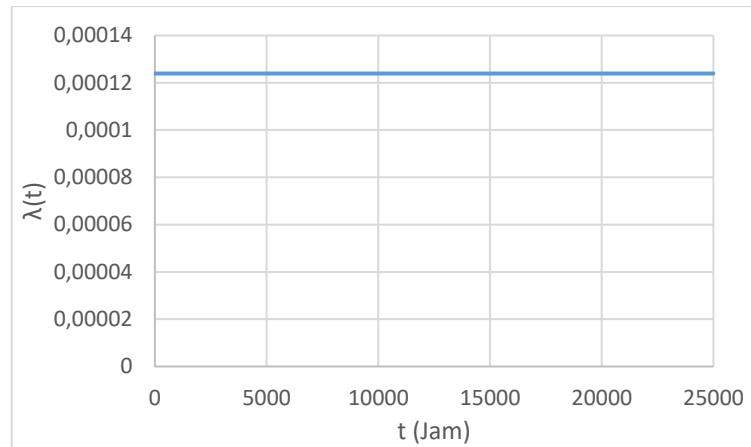
Gambar G.5 Failure rate rich amine exchanger

6. Amine Regenerator



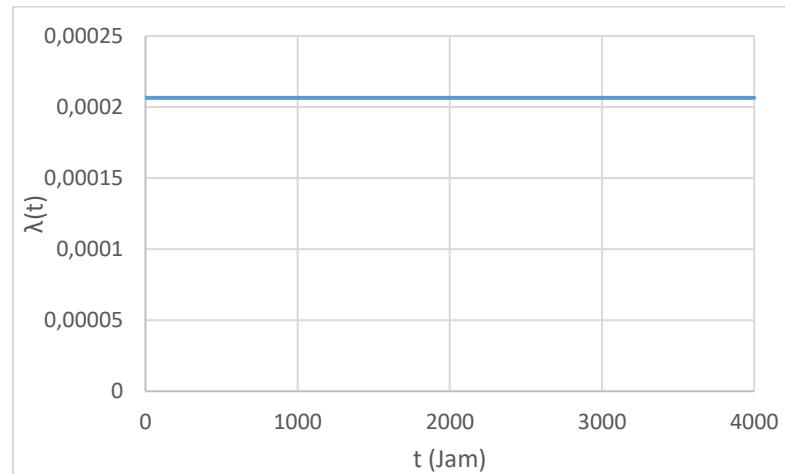
Gambar G.6 Failure rate amine regenerator

7. Amine Regenerator Re-Boiler



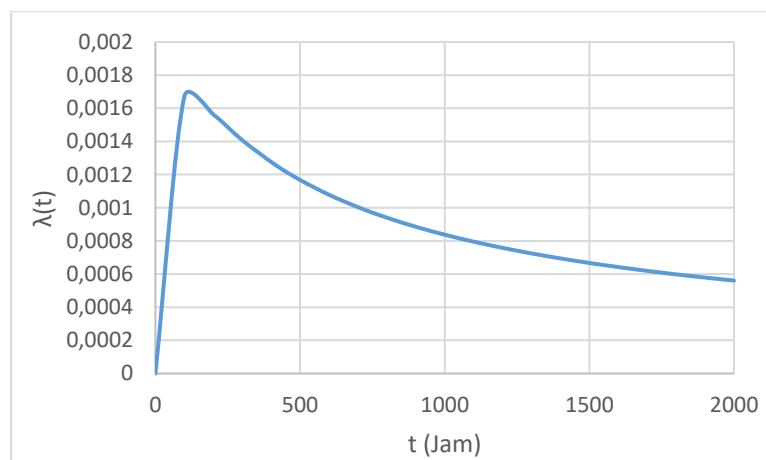
Gambar G.7 Failure rate amine regenerator re-boiler

8. Hot Lean Amine Pump



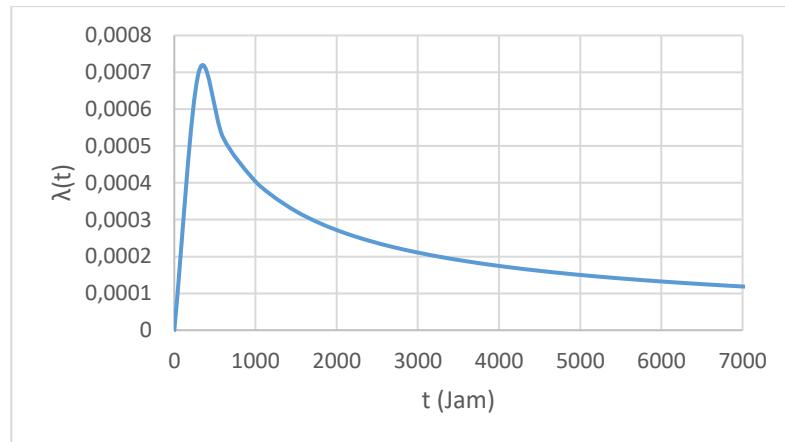
Gambar G.8 Failure rate hot lean amine pump

9. Amine Mechanical Filter



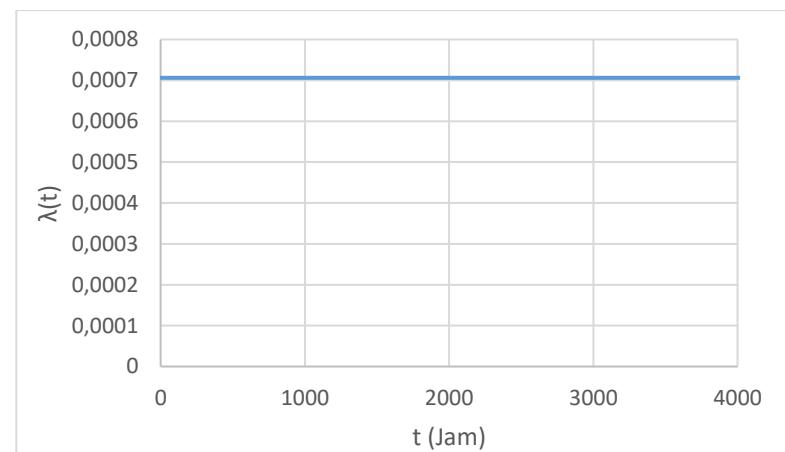
Gambar G.9 Failure rate amine mechanical filter

10. Amine Carbon Filter



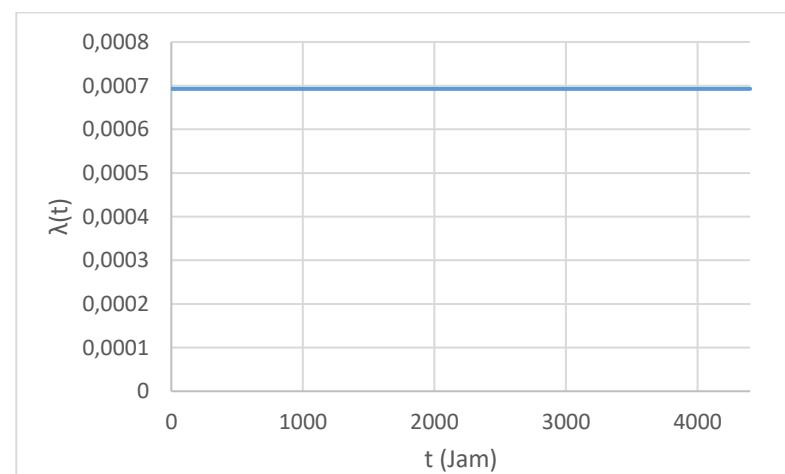
Gambar G.10 Failure rate amine carbon filter

11. Amine Surge Vessel

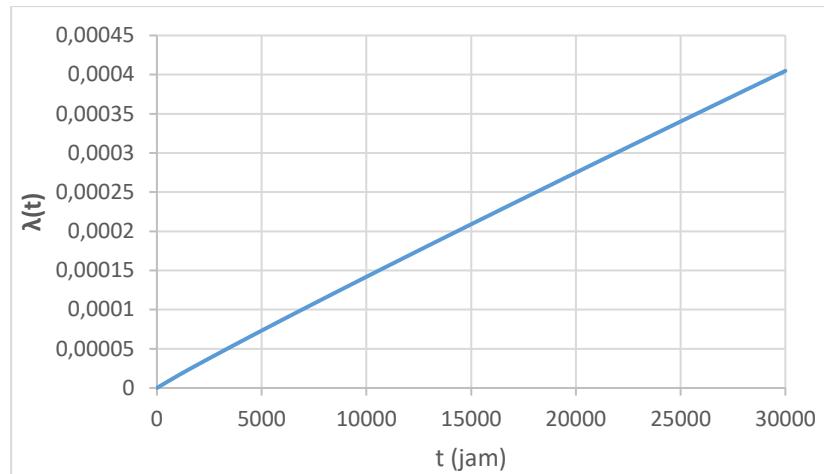
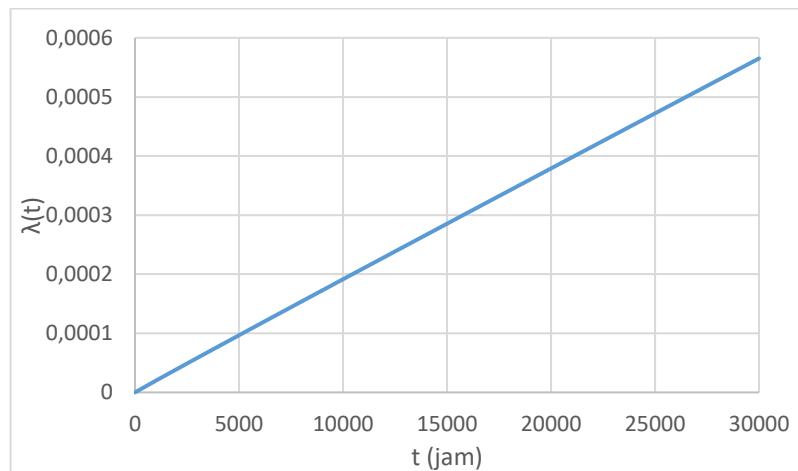
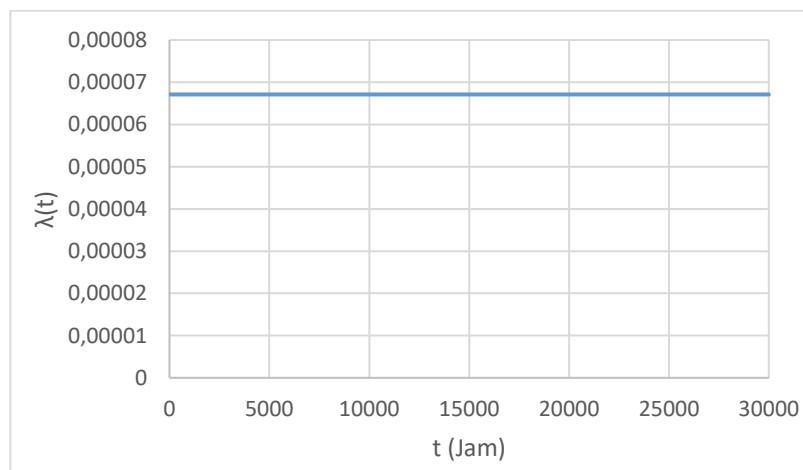


Gambar G.11 Failure rate amine surge vessel

12. Solvent Filter



Gambar G.12 Failure rate solvent filter

13. Amine Reflux Drum**Gambar G.13 Failure rate amine reflux drum****14. Amine Reflux Pump****Gambar G.14 Failure rate amine reflux pump****15. Amine Drain Vessel****Gambar G.15 Failure rate amine drain vessel**

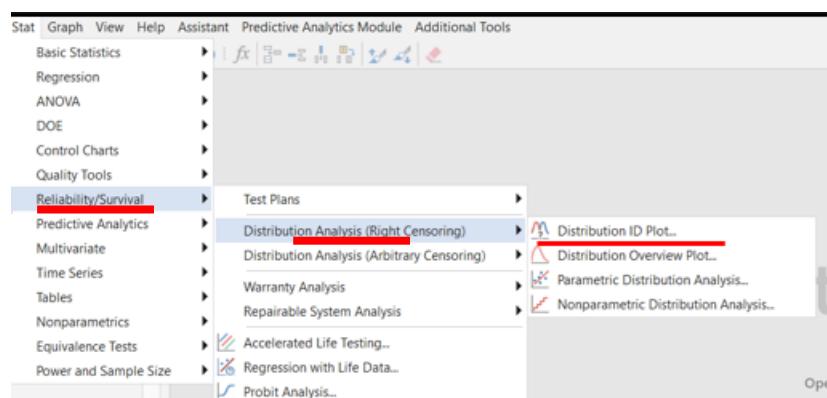
LAMPIRAN H

Penentuan Distribusi TTF dan TTR dengan Software Minitab

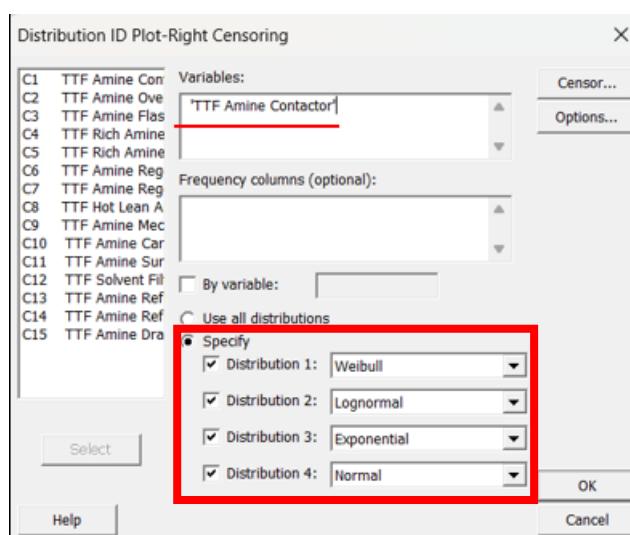
1. Masukan data TTF dan TTR setiap *equipment unit* pada kolom *worksheet*.

C1	
TTF Amine Contactor	
1	768
2	21528
3	6048
4	11040
5	2472

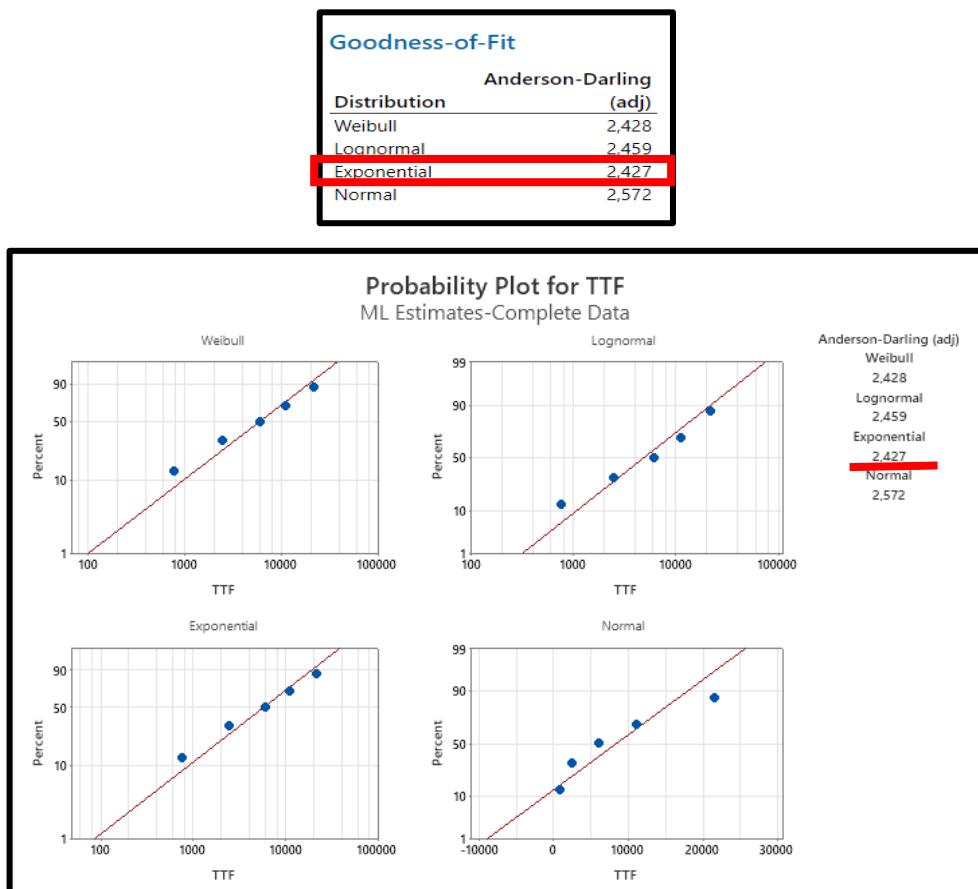
2. Tekan tab “Stat” pada pojok kiri atas Minitab > “Reliability/Survival” > “Distribution Analysis (Right Sensoring)” > “Distribution ID Plot.”



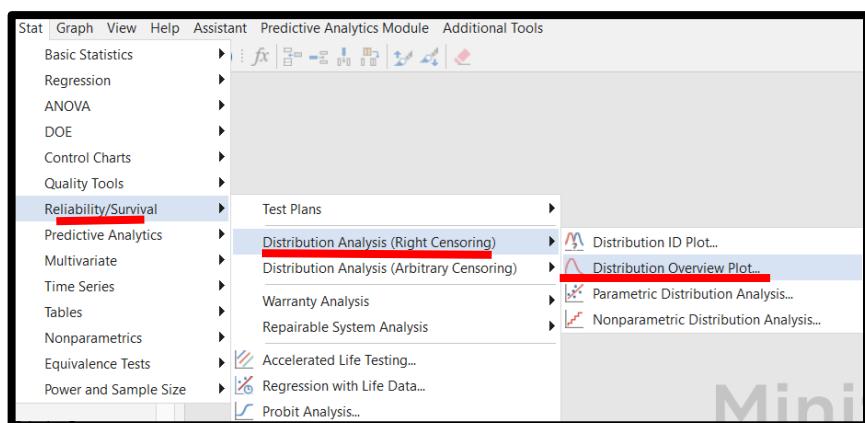
3. Pilih jenis *equipment unit* yang akan ditentukan jenis distribusinya > “Specify” jenis distribusi berdasarkan 4 jenis distribusi (Weibull, Lognormal, Exponensial, Normal) > tekan “OK.”



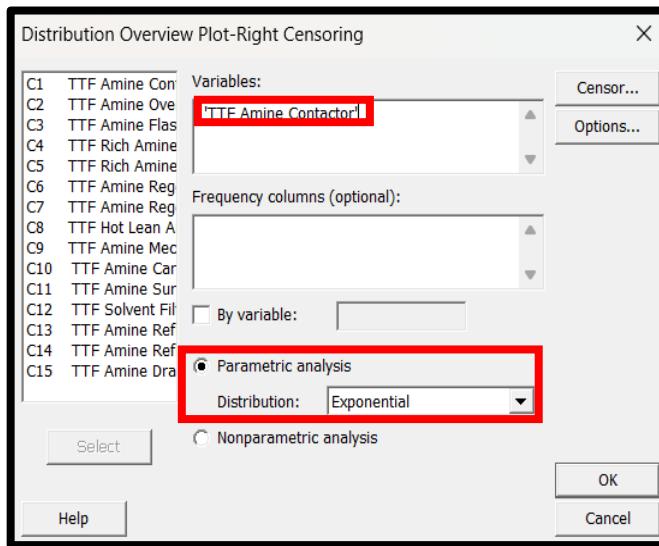
4. Setelah muncul Hasil, jenis distribusi yang sesuai adalah distribusi yang memiliki nilai “Anderson Darling (adj)” dengan nilai terkecil. “Ex: Exponensial 2,427”



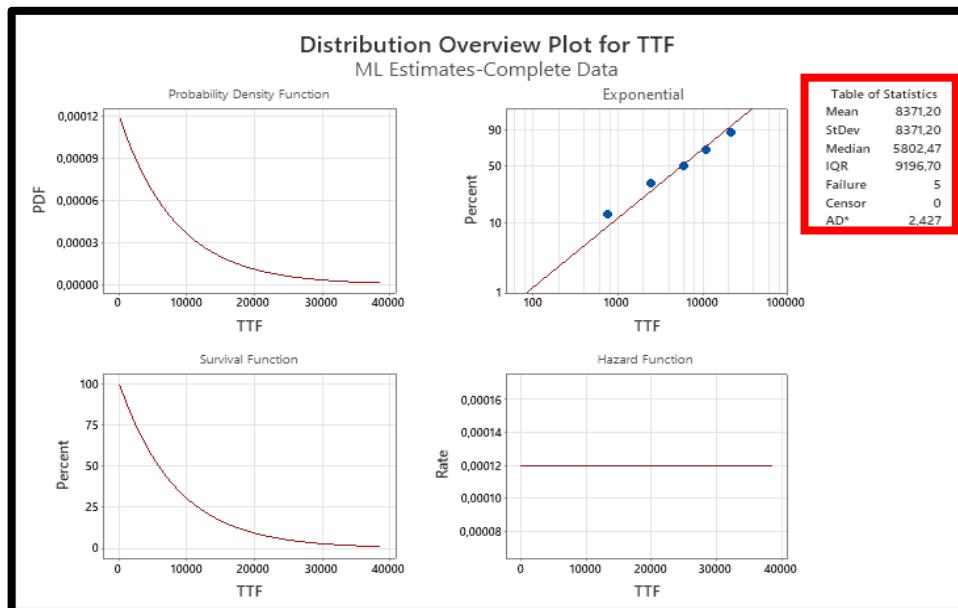
5. Ulangi Langkah “No. 2” sampai dengan langkah “Right Sensoring” lalu tekan pilihan “Distribution Overview Plot”



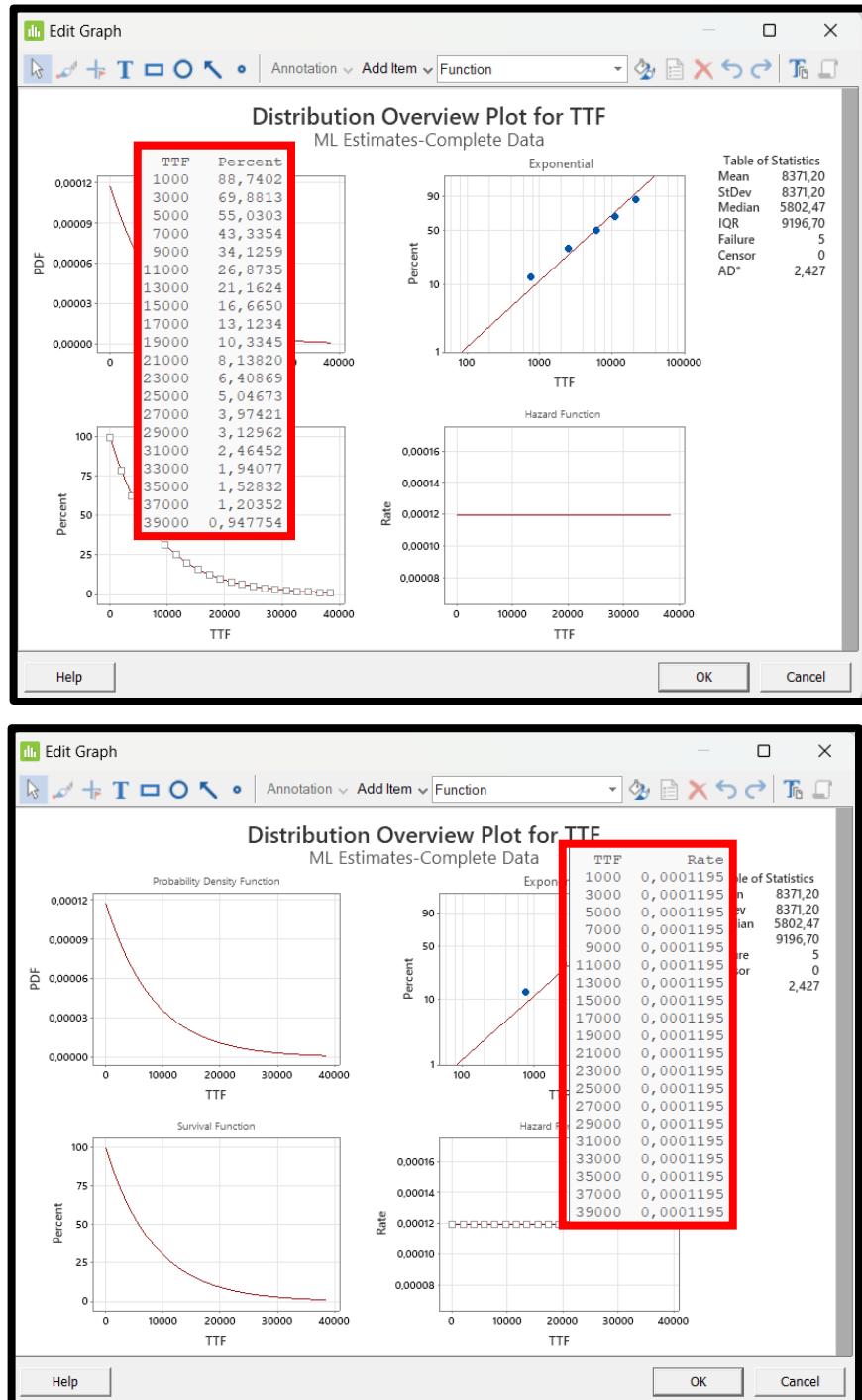
6. Pilih jenis equipment unit, lalu tentukan jenis distribusi sesuai hasil yang diperoleh pada Langkah “No. 4”. Jika hasil nilai “Adj” yang terkecil adalah “Exponensial,” pilih jenis “Exponensial” pada Tab “Parametric Analysis Distribution.”



7. Setelah muncul hasil grafik, pada bagian kanan atas terdapat parameter distribusi yang akan digunakan, lalu parameter tersebut dimasukan ke dalam rumus yang sesuai dengan jenis distribusinya untuk mencari R(t), A(t), dan M(t).



8. Pada bagian Grafik hasil juga diperoleh “Probability Density Function (PDF), Reliability R(t), dan Laju Kegagalan” berdasarkan waktu operasi sebagai validasi dari hasil perhitungan yang dilakukan dengan rumus.



9. Jika perhitungan dengan rumus menggunakan Excell sudah sesuai dengan hasil pada Minitab, Maka Langkah yang dilakukan sudah Benar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN I
Berita Acara Penelitian Tugas Akhir

BERITA ACARA

Bahwa telah dilaksanakan wawancara yang berkaitan dengan penelitian untuk memenuhi
Tugas Akhir dengan

1. Narasumber
 - Nama : John Deddy Irwanto, S.T.
 - Jabatan : Offshore DCS operator
2. Lokasi : PT. Saka Indonesia Pangkah Limited, Gresik
3. Waktu : 22 September 2023
4. Topik : Pengambilan *database* perusahaan dan wawancara
 - a. Data kerusakan TTF (*Time to Failure*) dan data perbaikan TTR (*Time to Repair*)
 - b. P&ID (*Piping and Instrument Diagram*) dan PFD (*Process Flow Diagram*)
5. Deskripsi : Pengambilan keseluruhan data penelitian dilakukan dari database perusahaan. Data *downtime Amine Regeneration System* dari tahun 2015-2020 dan data *downtime Gas Lift Compressor* dari tahun 2014-2023.

Pewawancara



1. Alif Rama Aditya Irwanto



2. M Fathur Al Farobi

Narasumber



John Deddy Irwanto, S.T.

BERITA ACARA

Bahwa telah dilaksanakan wawancara yang berkaitan dengan penelitian untuk memenuhi Tugas Akhir dengan

1. Narasumber
 - Nama : Hafid Rosyidi, S.T.
 - Jabatan : Senior Offshore Reliability and Integrity
2. Lokasi : PT. Saka Indonesia Pangkah Limited, Gresik
3. Waktu : 18 Desember 2023
4. Topik :
 - a. Validasi FMEA dan FMECA
 - b. Validasi RCM
5. Deskripsi : Validasi FMEA dan FMECA dilakukan dengan cara wawancara terkait parameter *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Selain itu didapatkan informasi terkait mode kerusakan, penyebab, dan dampak. Validasi RCM dilakukan dengan wawancara berdasarkan kerangka decision diagram RCM serta mendapatkan rekomendasi perbaikan kerusakan.

Pewancara

1. Alif Rama Aditya Irwanto

2. M Fathur Al Farobi

Narasumber

Hafid Rosyidi, S.T.

BIODATA PENULIS



Muhammad Fathur Al Farobi adalah putra dari Safwan dan Dian yang lahir di Bukittinggi, 11 Mei 2001. Penulis memulai pendidikan di SDN 06 Koto Tangah Batu Ampa dan lulus pada tahun 2013 untuk lanjut ke SMPN 1 Payakumbuh. Setelah lulus pada tahun 2016 penulis memasuki SMAN 1 Payakumbuh dan lulus pada tahun 2019. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis aktif sebagai Pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika. Penulis melaksanakan Tugas Akhirnya dengan tema Keandalan dan Manajemen Risiko. Penulis dapat dihubungi melalui email fathuralfarobi05@gmail.com.