



TUGAS AKHIR - TF1801

**OPTIMISASI BIAYA PERAWATAN
MENGUNAKAN METODE *GENETIC
ALGORITHM (GA)* PADA TURBO *EXPANDER*
BERBASIS *RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE (RCM)* DI PT. SIPL**

ANNISAA AULIYAA SEPTIANTHY
NRP. 0231154000062

Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



FINAL PROJECT - TF1801

**MAINTENANCE COST OPTIMIZATION USING
GENETIC ALGORITHM (GA) METHOD ON
TURBO EXPANDER BASED ON RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE (RCM) AT PT.
SIPL**

ANNISAA AULIYAA SEPTIANTHY
NRP. 0231154000062

Supervisor :
Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019*

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Annisaa Auliyaa Septianthy
NRP : 02311540000062
Departemen / Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul "*Optimisasi Biaya Perawatan Menggunakan Genetic Algorithm (GA) pada Turbo Expander Berbasis Reliability Centered Maintenance (RCM) di PT. SIPL*" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Juli 2019
Yang membuat pernyataan,



Annisaa Auliyaa Septianthy

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

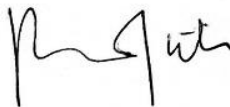
**OPTIMISASI BIAYA PERAWATAN MENGGUNAKAN
GENETIC ALGORITHM (GA) PADA TURBO EXPANDER
BERBASIS RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE
(RCM) DI PT. SIPL**

Oleh:

Annisaa Auliyaa Septianthy
NRP. 0231154000062

Surabaya, 24 Juli 2019

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**



Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes
NIPN. 19571126 198403 2 002

**Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Mubandaz Hatta, S.T., M.Si, Ph.D
NIPN. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**OPTIMISASI BIAYA PERAWATAN MENGGUNAKAN
GENETIC ALGORITHM (GA) PADA TURBO EXPANDER
BERBASIS RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE
(RCM) DI PT. SIPL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Annisaa Auliyaa Septianthy
NRP. 0231154000062

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc. (Ketua Penguji)
3. Dr. Imam Abadi, ST., MT. (Penguji 1)
4. Iwan Cony S., ST., MT. (Penguji 2)

**SURABAYA
JULI, 2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

OPTIMISASI BIAYA PERAWATAN MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM (GA)* PADA *TURBO EXPANDER* BERBASIS *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) DI PT. SIPL

Nama : Annisaa Auliyaa Septianthy
NRP : 0231154000062
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes

Salah satu masalah yang hampir sering terjadi dalam dunia kerja, kebanyakan diantaranya timbul dari hal-hal yang tidak diinginkan atau tidak terduga sebelumnya. Sehingga perlu adanya identifikasi risiko sebelum menentukan perawatan yang digunakan ataupun menjalankan suatu industri guna meminimalisir *human error*. Terdapat berbagai macam perawatan yang dapat dilakukan, khususnya pada industri minyak dan gas, salah satunya adalah RCM (*Reliability Centered Maintenance*), yang dapat menentukan apa yang harus dilakukan untuk memastikan *physical asset* dapat terus bekerja sesuai dengan keinginan pengguna dalam konteks pengoperasian saat ini. *Maintenance* yang baik harus memiliki membutuhkan biaya perawatan yang minimal, namun tetap menjaga performansi yang baik. Penerapan optimisasi biaya perawatan dengan metode *Genetic Algorithm (GA)* pada Unit *Turbo Expander* terbukti memberikan *saving* pada perusahaan dengan *time interval* perawatan *instrument* sebagai variabel yang dioptimisasi. Didapatkan bahwa perusahaan akan mendapatkan *saving* sebesar 82% pada implementasi optimisasi minimal *reliability* 0,70. Sedangkan pada implementasi *reliability* 0,80 dan 0,90 didapatkan penghematan sebesar 72% dan 44% berturut-turut dalam kurun waktu 5 tahun.

Kata Kunci : Biaya perawatan, GA, RCM, *Turbo Expander*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

MAINTENANCE COST OPTIMIZATION USING GENETIC ALGORITHM (GA) METHOD ON TURBO EXPANDER BASED ON RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) AT PT. SIPL

Name : Annisaa Auliyaa Septianthy
NRP : 0231154000062
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervysor : Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes

One of the problems that almost often occurs in the world of work, most of which arise from things that are not desirable or immeasurable before. So it is necessary to identify risks before determining the treatments used or running an industry, improper treatment allows human error. There are various types of treatments that can be done, especially in the oil and gas industry, one of which is RCM (Reliability Centered Maintenance), which can determine what must be done to ensure that physical assets can continue to work in accordance with the wishes of users in the current operating context. Good maintenance must have minimal maintenance costs, but still maintain good performance. The application of maintenance cost optimization with the Genetic Algorithm (GA) method on the Turbo Expander Unit proved to provide savings to the company with time interval maintenance as optimization variabel. Found that the company will get savings of 82% when the implementation of reliability optimization minimal 0.70. While the implementation of reliability of 0.80 and 0.90 obtained savings of 72% and 44% of successes within a period of 5 years.

Keywords : Maintenance Cost, GA, RCM, Turbo Expander.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilalamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **OPTIMISASI BIAYA PERAWATAN MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM (GA) PADA TURBO EXPANDER BERBASIS RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DI PT. SIPL.**

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Ucapan terimakasih ini, khususnya diberikan kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta fasilitas selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes. selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Pengukuran Fisis yang telah memberikan ilmu, petunjuk, serta waktu dalam kurun satu semester ini.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa' , M.Sc, Dr. Imam Abadi S. T. , MT. , dan Iwan Cony S., S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir.
4. Bapak Arif Afandy, selaku pembimbing lapangan dan pihak-pihak yang telah membantu dalam pengambilan data di PT. SIPL
5. Bapak Totok Ruki Biyanto, Ph.D. selaku dosen wali penulis yang telah membimbing dengan sabar dan perhatian selama perkuliahan.
6. Orang tua serta keluarga penulis yang telah memberikan doa, kasih sayang , serta dukungan moril dan materil.
7. Seluruh teman-teman angkatan 2015 Teknik Fisika dan Asisten Laboratorium yang ada di Teknik Fisika, khususnya *Workshop Instrumentasi*, penulis ucapkan atas ketersediaan selama menempuh perkuliahan.

8. Teman-teman seperjuangan tugas akhir yang telah banyak membantu dan memberikan semangat.
9. Seluruh mahasiswa ITS yang telah banyak membantu dan memberikan semangat serta pelajaran selama kegiatan di kampus.
10. Kolega Ngopi, PRISMA BEM FTI, FORDA BADUY, BEM FTI-ITS, Siti Salma Fauziah, Section ITS Expo, yang telah menjadi keluarga baru serta menemani selama berada di Surabaya.
11. Isnay Kusuma Ramadhany, Nala Cittamanikam, Rika Yuliantri Fitri, Amalia Devi Fitriani, dan High Camp Squad yang tersebar di daerah Jabodetabek, Serang, dan Jawa Tengah yang telah memberikan dukungan moral.
12. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika FTI-ITS, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidaklah sempurna, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan permintaan maaf atas kekeliruan apabila ditemukan dikemudian hari. Namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 7 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	4
1.4. Lingkup Kerja	4
1.5. Sistematika Laporan.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	7
2.1. <i>Turbo Expander</i>	7
2.2. <i>Maintenance</i>	7
2.3. <i>Reliability</i>	9
2.4. Laju Kegagalan (<i>Failure Rate</i>).....	9
2.4.1. <i>Failure Rate</i> Distribusi Normal	10
2.4.2. <i>Failure Rate</i> Distribusi <i>Lognormal</i>	11
2.4.3. <i>Failure Rate</i> Distribusi <i>Weibull</i>	11
2.4.4. <i>Failure Rate</i> Distribusi Exponensial.....	13
2.5. <i>Availability</i>	14
2.6. <i>Maintainability</i>	14
2.6.1. <i>Maintainability</i> Distribusi Normal	14
2.6.2. <i>Maintainability</i> Distribusi <i>Lognormal</i>	14
2.6.3. <i>Maintainability</i> Distribusi <i>Weibull</i>	15
2.6.4. <i>Maintainability</i> Distribusi <i>Exponential</i>	15
2.7. <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	15
2.7.1. <i>Function System and Functional Failure</i>	16
2.7.2. <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> ...	17
2.7.3. <i>Failure Consequences (Konsekuensi</i> <i>Kegagalan)</i>	18

2.7.4.	<i>Proactive Task dan Initial Interval</i>	18
2.7.5.	<i>Default Action</i>	19
2.8.	Biaya Perawatan (<i>Maintenance Cost</i>)	21
2.9.	<i>Genetic Algorithm (GA)</i>	22
BAB III	METODOLOGI	25
3.1.	Pengambilan data	26
3.2.	Pengolahan dan Analisis Data RCM	27
3.2.1.	Analisa Kuantitatif	27
3.2.2.	Analisa Kualitatif	29
3.3.	Optimisasi <i>Maintenance Cost</i>	31
BAB IV	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	35
4.1.	Analisa Data Secara Kuantitatif	35
4.1.1.	Analisa Kuantitatif <i>Turbo Expander (482-C-01)</i>	35
4.1.2.	Analisa Kuantitatif <i>Recompressor (482-C-02)</i>	37
4.1.3.	Analisa Kuantitatif <i>Shutdown Valve (482-SDV-350, 351, 352, dan 354)</i>	40
4.1.4.	Analisa Kuantitatif <i>Pressure Valve (482-PV-344)</i>	42
4.1.5.	Analisa Kuantitatif <i>Flow Valve (482-FV-339)</i>	44
4.1.6.	Analisa Kuantitatif <i>Speed Transmitter (482-ST-341)</i>	47
4.1.7.	Analisa Kuantitatif <i>Flow Transmitter (482-FT-339)</i>	49
4.1.8.	Analisa Kuantitatif <i>Pressure Different Transmitter (482-PDT-332)</i>	51
4.1.9.	Analisa Kuantitatif <i>Pressure Transmitter (482-PT-331, 336, 339)</i>	53
4.1.10.	Analisa Kuantitatif <i>Temperature Transmitter (482-TT-334, 356)</i>	56
4.2.	Analisa Data Secara Kualitatif	58
4.2.1.	Analisa Kualitatif <i>Turbo Expander (482-C-01)</i>	58
4.2.2.	Analisa Kualitatif <i>Recompressor (482-C-02)</i> 60	

4.2.3.	Analisa Kualitatif <i>Shutdown valve</i> (482-SDV-350, 351, 352, 354).....	61
4.2.4.	Analisa Kualitatif <i>Control Valve</i> (482-PV-344 dan 482-FV-339).....	63
4.2.5.	Analisa Kualitatif <i>Temperature Transmitter</i> (482-TT-334, 356).....	64
4.2.6.	Analisa Kualitatif <i>Pressure Transmitter</i> (482-PT-331, 336, 339).....	65
4.2.7.	Analisa Kualitatif <i>Pressure Different Transmitter</i> (482-PDT 332).....	66
4.2.8.	Analisa Kualitatif <i>Speed Transmitter</i> (482-ST 341).....	67
4.2.9.	Analisa Kualitatif <i>Flow Transmitter</i> (482-FT 339).....	68
4.3.	<i>Maintenance Cost</i>	69
4.4.	Pembahasan	74
BAB V KESIMPULAN		77
5.1.	Kesimpulan	77
5.2.	Saran	78
DAFTAR PUSTAKA.....		79
LAMPIRAN A DATA PERHITUNGAN KUANTITATIF UNIT <i>TURBO EXPANDER</i>		83
LAMPIRAN B DATA PERHITUNGAN <i>MAINTENANCE COST</i>		101
LAMPIRAN C PFD DAN P&ID		105
LAMPIRAN D DATA MAINTENANCE PADA UNIT <i>TURBO EXPANDER</i>		108
LAMPIRAN E KODINGAN MATLAB GENETIC ALGORITHM VARIASI <i>RELIABILITY</i> 0,90		113

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	P&ID <i>Turbo Expander</i>	8
Gambar 2.2.	RCM II <i>Decision Diagram</i>	20
Gambar 2.3.	RCM II <i>Decision Diagram</i> (Lanjutan).....	21
Gambar 2.4.	<i>Flowchart</i> GA.....	23
Gambar 3.1.	<i>Flowchart</i> Penelitian	25
Gambar 4.1	Grafik <i>Reliability, Availability, Maintainability</i> <i>Turbo Expander</i>	35
Gambar 4.2	Grafik <i>Preventive Maintenance Turbo Expander</i>	37
Gambar 4.3	Grafik <i>Reliability, Availability, Maintainability</i> <i>Recompressor</i>	38
Gambar 4.4	Grafik <i>Preventive Maintenance Recompresor</i>	39
Gambar 4.5	Grafik <i>Reliability, Availability, Maintainability</i> SDV.....	40
Gambar 4.6	Grafik <i>Preventive Maintenance Shutdown valve</i>	41
Gambar 4.7	Grafik <i>Reliability, Availability, Maintainability</i> <i>Pressure Valve</i>	42
Gambar 4.8	Grafik <i>Preventive Maintenance Pressure Valve</i> ..	44
Gambar 4.9	Grafik <i>Reliability, Availability, Maintainability</i> <i>Flow Valve</i>	45
Gambar 4.10	Grafik <i>Preventive Maintenance Flow Valve</i>	46
Gambar 4.11	Grafik <i>Reliability, Availability, Maintainability</i> <i>Speed Transmitter</i>	47
Gambar 4.12	Grafik <i>Preventive Maintenance Speed Transmitter</i>	48
Gambar 4.13	Grafik <i>Reliability, Availability, Maintainability</i> <i>Flow transmitter</i>	49
Gambar 4.14	Grafik <i>Preventive Maintenance Flow Transmitter</i>	50
Gambar 4.15	Grafik <i>Reliability, Availability, Maintainability</i> <i>Pressure Different Transmitter</i>	51
Gambar 4.16	Grafik <i>Preventive Maintenance PDT</i>	53

Gambar 4.17	Grafik <i>Reliability, Availability, Maintainability Pressure Transmitter</i>	54
Gambar 4.18	Grafik <i>Preventive Maintenance Pressure Transmitter</i>	55
Gambar 4.19	Grafik <i>Reliability, Availability, Maintainability Temperature Transmitter</i>	56
Gambar 4.20	Grafik <i>Preventive Maintenance Temperature Transmitter</i>	58
Gambar 4.21.	Grafik optimisasi GA	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Contoh Deskripsi <i>Function System and Functional Failure</i>	16
Tabel 2.2.	Contoh Deskripsikan <i>Failure Mode and Failure Effect</i>	17
Tabel 3.1.	Data <i>Failure Rate (λ)</i> Sistem <i>Turbo Expander</i>	26
Tabel 3.2.	Data <i>Time Interval</i> pada Sistem <i>Turbo Expander</i> ...	27
Tabel 3.3.	Tabel nilai dan distribusi MTTR	28
Tabel 3.4.	Tabel nilai dan distribusi MTTR (Lanjutan)	29
Tabel 3.5.	Contoh Pendeskripsikan FMEA	30
Tabel 3.6.	Contoh Deskripsikan <i>Failure Consequences</i>	30
Tabel 3.7.	Data referensi harga maintenance [15].....	32
Tabel 4.1	Mode dan Penyebab Kegagalan komponen <i>Turbo expander</i>	59
Tabel 4.2	Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada <i>Turbo expander</i>	60
Tabel 4.3	Mode dan Penyebab Kegagalan komponen <i>Recompressor</i>	60
Tabel 4.4	Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada <i>Recompressor</i>	61
Tabel 4.5	Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada <i>Shutdown Valve</i>	61
Tabel 4.6	Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada <i>Shutdown Valve</i> (Lanjutan)	62
Tabel 4.7	Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada <i>Shutdown valve</i>	62
Tabel 4.8	Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada <i>Control Valve</i>	63
Tabel 4.9	Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada <i>Control Valve</i>	64
Tabel 4.10	Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada <i>Temperature Transmitter</i>	64

Tabel 4.11	Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada <i>Temperature Transmitter</i> (Lanjutan).....	65
Tabel 4.12	Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada <i>Temperature Transmitter</i>	65
Tabel 4.13	Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada <i>Pressure Transmitter</i>	66
Tabel 4.14	Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada <i>Pressure Transmitter</i>	66
Tabel 4.15	Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada <i>Pressure Different Transmitter</i>	66
Tabel 4.16	Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada <i>Pressure Different Transmitter</i>	67
Tabel 4.17	Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada <i>Speed Transmitter</i>	67
Tabel 4.18	Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada <i>Speed Transmitter</i>	68
Tabel 4.19	Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada <i>Flow Transmitter</i>	68
Tabel 4.20	Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada <i>Flow Transmitter</i>	69
Tabel 4.21	Nilai <i>Maintenace Cost</i> sebelum dioptimisasi dalam kurun waktu lima (5) tahun	69
Tabel 4.22	Nilai <i>Maintenace Cost</i> sebelum dioptimisasi dalam kurun waktu lima (5) tahun (Lanjutan)	70
Tabel 4.23	Nilai <i>Time Interval</i> yang telah dioptimisasi	72
Tabel 4.24	Biaya Maintenance Sesudah Optimisasi.....	73
Tabel 4.25	Perbandingan <i>maintenance cost</i> sebelum dan setelah di optimisasi.....	74

DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI

A	<i>Availability</i>
AIR	<i>Abnormal Instrument Reading</i>
DOP	<i>Delayed Operation</i>
E	<i>Environment Consequences</i>
ELP	<i>External Leakage</i>
FM	<i>Failure Mode</i>
FT	<i>Flow Transmitter</i>
FTC	<i>Failed To Close On Demand</i>
FTO	<i>Failed To Open On Demand</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FV	<i>Flow Valve</i>
GA	<i>Genetic Algorithm</i>
H	<i>Hidden Failure Consequences</i>
LCP	<i>Leakage In Closed Position</i>
M	<i>Maintainability</i>
MTTF	<i>Mean Time To Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
N	<i>Non Operational Consequences</i>
O	<i>Operational Consequences</i>
OHE	<i>Over Heating</i>
P&ID	<i>Piping And Instrument Diagram</i>
PDF	<i>Probability Density Function</i>
PDT	<i>Pressure Different Transmitter</i>
PFD	<i>Process Flow Diagram</i>
PLU	<i>Chocked/Plugged</i>
PM	<i>Preventive Maintenance</i>
PT	<i>Pressure Transmitter</i>
PV	<i>Pressure Valve</i>
R	<i>Reliability</i>
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
S	<i>Safety Consequences</i>
SDV	<i>Shutdown valve</i>
ST	<i>Speed Transmitter</i>
STD	<i>Structural Deficiency</i>
Ti	<i>Time Interval</i>
TT	<i>Temperature Transmitter</i>

TTF	<i>Time To Failure</i>
TTR	<i>Time To Repair</i>
C _{OP}	<i>Cost of Operational</i>
C _{CM}	<i>Cost of Corrective Maintenance</i>
C _T	<i>Cost of Test</i>
C _{PM}	<i>Cost of Preventive Maintenance</i>
P _c	Probabilitas Crossover
P _m	Probabilitas Mutasi
λ	<i>Failure Rate</i>
μ	Parameter Lokasi Distribusi <i>Weibull</i>
σ	Parameter Skala Distribusi <i>Weibull</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi merupakan salah satu kebutuhan manusia yang penting untuk menjalankan kehidupan, dimana kebutuhan energi ini jumlahnya akan terus meningkat seiring berjalannya waktu. Saat ini sumber energi terbesar dalam memenuhi kebutuhan energi diduduki oleh hidrokarbon, dimana jenisnya antara lain batu bara, minyak dan gas alam. Ditinjau dari penggunaannya, gas alam merupakan yang paling efisien dibandingkan minyak atau batu bara [1].

Berdasarkan data dari Menteri Perindustrian Indonesia, pada tahun 2016 industri manufaktur serta *non-oil and gas* menyumbang GDP sebesar 5.04% sedang Indonesia menghadapi ketidakpastian ekonomi global [2]. Data tersebut merepresentasikan bahwa populasi industri di Indonesia meningkat dari tahun sebelumnya. Sektor migas menjadi salah satu sektor utama yang dapat diandalkan Indonesia, dimana terdapat banyak titik eksplorasi migas. Eksplorasi lepas pantai (*offshore*) terus berkembang dan menjadikan sistem terintegrasi menjadi andalan, karena setiap titik-titik eksplorasi terkoneksi dari bagian barat hingga timur, yang masih dalam cakupan yang sama.

Tidak ada yang menjamin bahwa kecelakaan kerja tidak akan terjadi dalam keselamatan kerja. Berdasarkan laporan yang dituturkan oleh *International Labour Organization* (ILO) atau Organisasi Buruh Internasional, salah satu masalah yang hampir sering terjadi dalam dunia kerja, kebanyakan diantaranya timbul dari hal-hal yang tidak diinginkan atau tidak terduga sebelumnya, dimana setiap tahunnya terjadi 1,1 juta kematian yang disebabkan oleh hubungan pekerjaan [3]. Perlu adanya identifikasi risiko sebelum menentukan perawatan yang digunakan ataupun menjalankan suatu industri. Perawatan yang tidak tepat memungkinkan kecelakaan dapat terjadi, atau yang bisa disebut dengan *human error*.

Saat ini terdapat berbagai macam perawatan yang dapat dilakukan, khususnya pada industri minyak dan gas, salah satunya adalah RCM (*Reliability Centered Maintenance*). Metode ini dapat

didefinisikan sebagai sebuah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk memastikan *physical asset* dapat terus bekerja sesuai dengan keinginan pengguna dalam konteks pengoperasian saat ini. RCM memiliki tujuan utama terhadap optimal tugas *Preventive Maintenance* (PM) untuk peralatan dinamis [4], dimana percobaan ini pertama kali digunakan dalam aplikasi industri pesawat terbang, agar mendapatkan aspek *safety* dan *reliability* namun juga memiliki nilai harga yang efektif dan efisien. [5]

Turbo Expander dapat juga disebut sebagai turbin ekspansi, biasanya digunakan untuk mendefinisikan sebuah mesin ekspansi atau kompresor sebagai satu unit tunggal. *Turbo Expander* terdiri dari dua komponen utama, yaitu penggabungan *Radial Inflow Expansion Turbine* (Turbin Ekspansi) dan *Centrifugal Compressor* sebagai satu kesatuan, yang mana terkoneksi oleh sebuah *shaft*. Turbin Ekspansi berguna sebagai unit penghasil daya dan Kompresor sebagai untuk yang digerakan. Kompresor adalah komponen yang memberikan tekanan pada gas, atau menekan gas [6]. Adapun *Turbo Expander* umumnya digunakan pada *Gas Processing Plant* pada *Cryogenic Gas* di PT. Saka Pangkah Limited Indonesia (PT. SIPL), yang mana mengonsumsi persentase energi besar dari turbin dan dapat mempengaruhi performansi keseluruhan dan efisiensi sebuah unit/sistem.

Untuk menghindari biaya perawatan yang tinggi karena perawatan tidak tepat, maka diperlukan rencana optimisasi biaya perawatan yang dibutuhkan industri. Agar mendapatkan biaya perawatan yang optimum, digunakan metode *Genetic Algorithm* (GA), dimana metode ini yang dapat memecahkan permasalahan yang rumit, dimensi yang tinggi, diskrit, non-linear, dan diskontinyu [7]. Seng Poh Lim dan Habibollah Haron [8] membuat penelitian atas komparasi berbagai metode optimisasi yang memiliki karakter berbeda-beda, dimana optimisasi menggunakan metode GA menunjukkan hasil yang baik. Disisi lain, GA merupakan metode optimisasi paling populer diantara *Evolutionary Algorithms* (EA) karena menggunakan parameter *crossover* dan mutasi yang membuat metode GA memiliki populasi yang lebih beragam dan juga lebih bebas untuk berada pada *local*

optimum, serta dengan keberagaman dapat membantu optimisasi menjadi lebih cepat dalam mencapai *global optimum*. Sehingga menggunakan metode GA memungkinkan untuk mendapatkan keseimbangan antara *reliability* dan *maintenance cost*. Metode GA merupakan metode yang dapat memecahkan permasalahan yang rumit, dimensi yang tinggi, diskrit, non-linear, *reliability* dan *maintenance cost*. GA digunakan untuk mengoptimisasi suatu sistem dengan cara mengambil secara acak individu di dalam suatu populasi dengan mencocokkan dengan hasil yang diinginkan, kemudian dilakukan *crossover* atau reproduksi terhadap individu tersebut sehingga menghasilkan keturunan sesuai dengan yang dikehendaki [7].

Pada Tugas Akhir ini optimisasi dilakukan pada *turbo expander* yang dilakukan pada tiap *equipment*. Dengan menjadikan biaya perawatan (*maintenance cost*) sebagai fungsi objektif yang dioptimisasi minimal serta *time interval* sebagai batasan dari mendapatkan nilai optimal dari *maintenance cost* yang diharapkan.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian yang diangkat dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagaimana menganalisa keandalan pada komponen dari Turbo *Expander* berdasarkan data perawatan (*maintenance record*)?
- b. Bagaimana menentukan perawatan yang tepat dipandang dari aspek konsekuensi kegagalan yang ditimbulkan dan usaha pencegahan untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan?
- c. Bagaimana mengatur penjadwalan terhadap peralatan atau komponen dari *turbo expander*?
- d. Berapakah biaya perawatan yang diperlukan untuk merawat instrumen pada unit *turbo expander* setelah dioptimisasi? Apakah lebih menguntungkan daripada sebelum dioptimisasi?

1.3. Tujuan

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- a. Analisa keandalan pada komponen dari unit *turbo expander* berdasarkan data perawatan (*maintenance record*).
- b. Menentukan perawatan yang tepat dipandang dari aspek konsekuensi kegagalan yang ditimbulkan dan usaha pencegahan untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan.
- c. Mengatur penjadwalan terhadap peralatan atau komponen dari *turbo expander*.
- d. Mendapatkan hasil biaya perawatan yang optimal.

1.4. Lingkup Kerja

Ruang lingkup dalam tugas akhir ini adalah pertama mengumpulkan data mulai dari PFD, P&ID dari *turbo expander*. Dalam menentukan *maintenance task* digunakan metode manual berdasarkan RCM II *decision diagram*. Serta dalam penentuan *interval* waktu perawatan dilakukan hanya pada komponen-komponen kritis saja. Adapun penelitian ini dilakukan pada *turbo expander* dan menekankan lebih kepada *instrument* dari sistem tersebut.

1.5. Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut.

BAB I Pendahuluan

Bab I ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, lingkup kerja dan sistematika laporan.

BAB II Dasar Teori

Bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, seperti *reliability*, analisa RCM, *maintenance cost*, serta optimisasi menggunakan metode GA.

BAB III Metodologi

Bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV ini berisi tentang data hasil penelitian dari perancangan Optimisasi biaya perawatan dengan dengan metode GA pada *turbo expander* berbasis RCM

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir ini dan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

DASAR TEORI

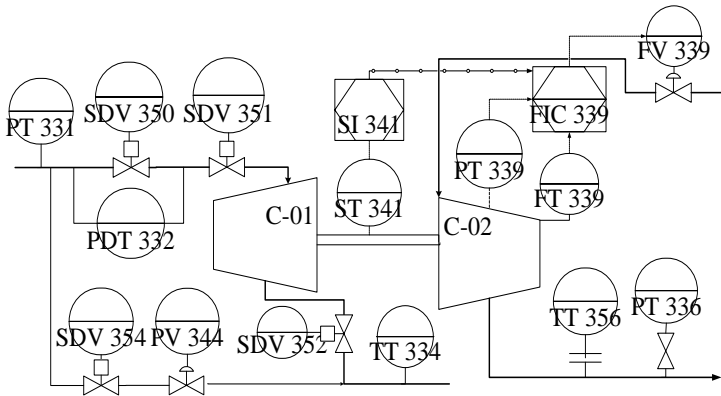
2.1. Turbo Expander

Turbo expander berfungsi untuk menaikkan tekanan gas. Unit *Turbo Expander* berfungsi untuk mengekspansi tekanan dari umpan keluaran *process gas* yang berasal dari *Cold Separator*. Proses ekspansi ini bertujuan untuk menurunkan tekanan dari *process gas* dari tekanan sekitar 62barg menjadi 22barg. Penurunan tekanan di unit ini akan menurunkan pula suhu dari *process gas* yang diharapkan turun hingga -70°C . Penurunan suhu ini akan mengakibatkan *process gas* berubah menjadi dua fase yang terpisah, yaitu gas yang memiliki banyak komposisi fraksi ringan (C1 dan C2) dan *liquid* yang memiliki komposisi fraksi berat (C3+). Selanjutnya, campuran *liquid vapour* ini akan dikirim menuju *De-Ethimizer Column*. *Recompressor* merupakan unit yang mengambil energi dari *expander* untuk memampatkan gas residu yang masuk dari *Inlet Gas Exchanger* untuk diumpankan menuju ke *Recompressor Cooler*.

Sistem kontrol berfungsi untuk membaca kondisi mesin secara aktual dan memberi informasi kepada operator. Jika terdapat malfungsi dalam pengoperasian mesin, maka *control* berupa *alarm* akan bekerja memberi informasi berupa peringatan kepada operator. Adapun ketika pembacaan sudah melebihi batas maksimal toleransi, maka *instrument* akan memberikan sinyal berupa elektrik kepada *control*, dan segera mematikan aliran kepada mesin, dimana pada umumnya digunakan SDV (*Shutdown Valve*). Adapun *Piping and Instrument Diagram* (P&ID) pada *turbo expander* tercantum pada Gambar 2.1

2.2. Maintenance

Maintenance atau perawatan adalah kegiatan untuk menjamin alat untuk mampu memaksimalkan fungsinya sesuai juga sesuai dengan keinginan pemakainya. Seiring perkembangan yang ada, *maintenance* menjadi perhatian yang akan mempengaruhi kinerja perusahaan. Tujuan adanya *maintenance* diantaranya adalah untuk menyediakan mesin atau alat dalam kondisi yang baik atau berupa memberikan menguntungkan peng-



Gambar 2.1. P&ID *Turbo Expander*

guna, keselamatan dalam lingkup kerja alatnya, baik pengguna, keselamatan dalam lingkup kerja alatnya, baik lingkungan ataupun manusia sekitarnya, serta diharapkan usia pakai mesin menjadi lebih panjang. Secara umum, pemeliharaan suatu alat dapat dibagikan menjadi tiga, yaitu [9]

- a. **Time Based Maintenance**, yang dapat diartikan bahwa pemeliharaan alat berdasarkan waktu atau periode tertentu untuk mempertahankan fungsi guna peralatan.
- b. **Condition Based Maintenance**, yaitu pemeliharaan sesuai penjadwalan pada masing-masing peralatan berdasarkan *monitoring* kondisi aktual dari peralatan.
- c. **Breakdown Maintenance**, yaitu perbaikan yang dilakukan sampai peralatan dioperasikan rusak. Sistem tersebut digunakan jika kegagalan alat tidak mempengaruhi produksi.

Preventive Maintenance adalah aktifitas pemeliharaan yang menggabungkan *time based maintenance* dan *condition based maintenance*, dilakukan secara berkala untuk deteksi kondisi alat yang memungkinkan menyebabkan *breakdown* serta mengendalikan kondisi tersebut dan juga mengembalikan kondisi menjadi semula, secara rutin dan periodik dengan *interval* waktu pelaksanaan yang tetap dan singkat. Adapun penggunaan aktifitas *maintenance* tersebut umum secara berkala.

2.3. *Reliability*

Reliability atau keandalan merupakan kemungkinan dari suatu komponen atau sistem untuk dapat beroperasi atau melaksanakan fungsinya, dalam jangka waktu dan kondisi waktu tertentu. Sehingga keandalan adalah kemungkinan suatu sistem atau komponen untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu (t) atau lebih. Untuk menghitung nilai keandalan dapat digunakan rumus seperti Persamaan 2.1 berikut.

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

Dimana :

$F(t)$ adalah *Cumulative Distribution Function* (CDF)

$R(t)$ adalah *Reliability Function*

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

Evaluasi keandalan dapat ditentukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode kuantitatif dan kualitatif.

2.4. *Laju Kegagalan (Failure Rate)*

Failure Rate atau Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total operasi komponen, subsistem, dan sistem. Laju kegagalan dapat dinyatakan pada Persamaan 2.2 sebagai berikut.

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

Dimana:

f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T = total waktu operasi (jam)

Menentukan *failure rate* terdapat berbagai macam distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem. Adapun macam distribusi

untuk laju kegagalan yang menunjang penelitian ini adalah sebagai berikut.

2.4.1. *Failure Rate* Distribusi Normal

Distribusi normal atau distribusi gaussian adalah salah satu jenis distribusi yang paling sering digunakan dalam menjelaskan sebaran data. PDF (*Probability Density Function*) dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*) dan dispersi terhadap nilai rata-ratanya diukur dengan nilai standar deviasi. Dengan kata lain parameter distribusi normal adalah *mean* dan standar deviasi. *Failure rate* dari distribusi normal dapat ditulis seperti Persamaan 2.3 berikut.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.3)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi normal, maka untuk mencari nilai *reliability*, *failure rate*, dan MTTF, dapat menggunakan rumus seperti yang tercantum pada Persamaan 2.4 hingga Persamaan 2.6 [10]:

- a. Fungsi keandalan distribusi normal adalah :

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.4)$$

- b. Laju kegagalan distribusi normal adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\exp[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2]}{\int_t^{\infty} \exp[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2] dt} \quad (2.5)$$

- c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi normal adalah :

$$\text{MTTF} = \mu \quad (2.6)$$

2.4.2. Failure Rate Distribusi Lognormal

Pada saat variabel acak T (waktu kegagalan) mempunyai distribusi *lognormal*, logaritma T memiliki distribusi normal. PDF untuk distribusi *lognormal* tercantum pada Persamaan 2.7

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.7)$$

Karakteristik distribusi *lognormal* mempunyai dua parameter yaitu parameter lokasi (μ) dan parameter skala (σ), sama dengan standar deviasi. Jika distribusi waktu antar kegagalan mengikuti distribusi *lognormal*, maka untuk mencari nilai *reliability*, *failure rate*, dan MTTF, dapat menggunakan rumus seperti yang tercantum pada Persamaan 2.8 hingga Persamaan 2.10

a. Fungsi keandalan distribusi *lognormal* adalah:

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (2.8)$$

b. Laju kegagalan distribusi *lognormal* adalah:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.9)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi *lognormal* adalah:

$$\text{MTTF} = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.10)$$

2.4.3. Failure Rate Distribusi Weibull

Analisis *reliability* berdistribusi *weibull* telah digunakan secara luas. Penambahan parameter didalam distribusi *weibull* dapat merepresentasikan banyak PDF, sehingga dapat digunakan untuk variasi data yang luas. Karakteristik distribusi *weibull* yaitu

memiliki beberapa parameter, yaitu dua (η, β) dan tiga (η, β, γ) . Berikut ini adalah fungsi dari parameter distribusi *weibull* :

- η , sebagai parameter skala (*scale parameter*), $\eta > 0$, disebut sebagai *characteristic life*
- β , sebagai parameter bentuk (*shape parameter*), $\beta > 0$, mendeskripsikan bentuk dari PDF (*Probability Density Function PDF*).
- γ , sebagai parameter lokasi (*locations parameter*), yaitu merepresentasikan *failure-free* atau awal periode dari penggunaan item. Jika $\gamma = 0$ maka distribusi akan berubah menjadi 2 parameter.

Fungsi padat peluang (*Probability Density Function, PDF*) distribusi *weibull* tercantum pada persamaan 2.11

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

Adapun suatu komponen, subsistem ataupun sistem yang memiliki distribusi waktu kegagalan yaitu distribusi *weibull*, maka untuk mencari nilai *reliability*, *failure rate*, dan *MTTF*, dapat menggunakan rumus seperti yang tercantum pada Persamaan 2.12 hingga Persamaan 2.14

- Fungsi keandalan distribusi *weibull* adalah:

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

- Laju kegagalan distribusi *weibull* adalah:

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

- Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* adalah:

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.14)$$

Adapun jika nilai parameter $\beta < 1$ maka akan didapatkan penurunan fungsi laju kegagalan. Saat nilai parameter $\beta > 1$ didapatkan peningkatan fungsi laju kegagalan. Sedangkan ketika nilai parameter $\beta = 1$ maka fungsi laju kegagalan menggunakan fungsi distribusi eksponensial.

2.4.4. Failure Rate Distribusi Eksponensial

Fungsi padat peluang (*probability density function*) distribusi *eksponensial* didefinisikan secara matematis seperti yang dicantumkan pada persamaan berikut.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}, \quad t > 0, \lambda > 0, t \geq \gamma \quad (2.15)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi *eksponensial*, maka untuk mencari nilai *reliability*, *failure rate*, dan MTTF, dapat menggunakan rumus seperti yang tercantum pada Persamaan 2.16 hingga Persamaan 2.18

a. Fungsi Keandalan distribusi *eksponensial* adalah

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (2.16)$$

b. Laju kegagalan distribusi *eksponensial* adalah

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.17)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi *eksponensial* adalah

$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.18)$$

2.5. *Availability*

Availability adalah kemungkinan sebuah komponen untuk menjalankan fungsinya (dengan berbagai aspek keandalan, kemampurawatan, dukungan perawatan). *Availability* yang berubah terhadap waktu mempunyai Persamaan 2.19 [10].

$$A(t) = \left[\left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) + \left(\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right) \right] \quad (2.19)$$

2.6. *Maintainability*

Maintainability merupakan kemampuan komponen untuk diperbaiki pada keandalan semula ketika keadaan rusak, dalam kurun waktu tertentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. *Maintainability* mempunyai rumus yang berbeda-beda pada setiap distribusi tergantung dari datanya [10]. Nilai *Maintainability* dapat ditulis seperti persamaan berikut ini:

2.6.1. *Maintainability Distribusi Normal*

Seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 2.4.1 dimana pada distribusi normal atau *Gaussian*, memiliki distribusi data yang simetris terhadap nilai rata-ratanya serta dispersi yang diukur dengan nilai standart deviasi terhadap nilai rata-rata terukur. Dengan parameter distribusi *mean* dan standart deviasi, sehingga didapatkan fungsi *maintainability* pada distribusi normal adalah seperti yang tercantum pada Persamaan 2.19.

$$M(t) = \varphi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad (2.20)$$

2.6.2. *Maintainability Distribusi Lognormal*

Seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 2.4.2, dimana karakteristik distribusi *lognormal* mempunyai dua parameter yaitu parameter lokasi (μ) dan parameter skala (σ) yang sama dengan standar deviasi. Sehingga didapatkan fungsi *maintainability* pada distribusi *lognormal* seperti yang tecantum pada Persamaan 2.21

$$M(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t - \mu)}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.21)$$

2.6.3. Maintainability Distribusi Weibull

Seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 2.4.3, distribusi *weibull* memiliki beberapa jenis parameter. Adapun pada persamaan *maintainability* dapat dibagi menjadi dua sesuai dengan parameternya, tercantum pada Persamaan 2.21 dan 2.24

- a. Distribusi *weibull* menggunakan dua parameter (η dan β)

$$M(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.22)$$

- b. Distribusi *weibull* menggunakan tiga parameter (η, β , dan γ)

$$M(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.23)$$

2.6.4. Maintainability Distribusi Exponential

Sedangkan pada distribusi *Exponential*, digunakan persamaan untuk menghitung *maintainability* pada distribusi ini seperti yang tercantum pada Persamaan 2.25

$$M(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{MTTR} \right) \right] \quad (2.24)$$

2.7. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin setiap aset fisik atau suatu sistem dapat berjalan dengan baik sesuatu dengan fungsi yang diinginkan penggunaannya. Pada dasarnya penelitian RCM adalah berusaha menjawab tujuh pertanyaan utama berkaitan dengan aset atau peralatan yang diteliti. Ketujuh pertanyaan utama tersebut antara lain adalah, sebagai berikut :

- a. Apakah fungsi dan hubungan performansi *standard* dari aset dalam konteks operasional pada saat ini (*system functions*)?
- b. Bagaimana aset tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?

- c. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure modes*)?
- d. Apakah yang terjadi pada saat terjadi kerusakan (*failure effect*)?
- e. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut terjadi (*failure consequences*)?
- f. Apakah yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah masing-masing kerusakan tersebut (*proactive task and task interval*)?
- g. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak ditemukan (*default action*)?

Untuk menerapkan RCM, terdapat beberapa tahapan dan langkah. Penerapan RCM yang berbeda pada setiap perusahaan atau individu yang dilakukan. Pada penelitian ini, tahapan RCM yang dilakukan tercantum pada sub-bab berikut.

2.7.1. Function System and Functional Failure

Tabel 2.1. Contoh Deskripsi *Function System and Functional Failure*

RCM II INFORMATION WORKSHEET © 1996 ALADON LTD		SYSTEM	5 MW Turbine
		SUB-SYSTEM	Exhaust System
FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE	
1	To channel all the hot turbine exhaust gas without restriction to a fixed point 10 metres above the roof of the turbine hall	A	Unable to channel gas at all
		B	Gas flow restricted
		C	Fails to contain the gas
		D	Fails to convey gas to a point 10 m above the roof
2	To reduce exhaust noise levels to ISO Noise Rating 30 at 150 metres	A	Noise level exceeds ISO Noise Rating 30 at 150 metres
3	To ensure that duct surface temperature inside turbine hall does not rise above 60°C	A	Duct surface temperature exceeds 60°C
4	To transmit a warning signal to the control system if exhaust gas temperature exceeds 475°C and a shutdown signal if it exceeds 500°C at a point 4 metres from the turbine	A	Incapable of sending a warning signal if exhaust temperature exceeds 475°C
		B	Incapable of sending a shutdown signal if exhaust temperature exceeds 500°C
5	To allow free movement of ducting in response to temperature changes	A	Does not allow free movement of ducting

Function System bertujuan untuk membuat suatu informasi yang dapat mendefinisikan fungsi sistem, langkah ini merupakan dasar penentuan kegagalan dalam analisa kualitatif RCM. Sedangkan *Functional Failure* bertujuan untuk menjelaskan

bagaimana sistem tersebut mengalami kegagalan melaksanakan fungsi dari sistem tersebut yang telah ditentukan dalam *function system*. Komponen atau alat diidentifikasi satu persatu atau bisa disebut juga dengan *asset task hierarchy*, seperti contoh pada Tabel 2.1

Pendesripsian *Function System and Functional Failure* dibutuhkan dalam analisa RCM secara kualitatif, dimana dapat dibentuk seperti tabel RCM II yang tercantum pada Tabel 2.1 sebagai langkah awal dalam menganalisa kegagalan sistem berdasarkan fungsi masing-masing komponen didalam sistem.

2.7.2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode & Effect Analysis adalah suatu teknik manajemen kegagalan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan suatu aset tidak mampu melaksanakan fungsi yang diharapkan oleh pengguna. *Failure Mode* bertujuan untuk menentukan akar permasalahan dari kegagalan yang terjadi. *Failure Effect* menjelaskan dampak yang diakibatkan apabila *failure mode* tersebut terjadi. Proses identifikasi terhadap fungsi, *failure mode* dan *failure effect* sangat penting untuk dilakukan karena dapat menentukan perbaikan performansi suatu aset.

Tabel 2.2. Contoh Deskripsikan *Failure Mode and Failure Effect*

	FAILURE MODE	FAILURE EFFECT
1	Gearbox bearings seize	Motor trips and alarm sounds in control room. 3 hours downtime to replace gearbox with spare. New bearings fitted in workshop
2	Gear teeth stripped	Motor does not trip but machine stops. 3 hours downtime to replace gearbox with spare. New gears fitted in workshop
3	Gearbox seizes due to lack of oiletc	Motor trips and alarm sounds in control room. 3 hours downtime to replace gearbox with spare. Seized gearbox would be scrapped

Tabel 2.2 merupakan contoh FMEA yang dapat dibentuk tabel RCM II, langkah lanjutan dari penetapan *Function System and Functional Failure*.

2.7.3. *Failure Consequences* (Konsekuensi Kegagalan)

Dalam *Reliability Centered Maintenance II*, konsekuensi kegagalan dapat diklasifikasikan dalam empat bagian yaitu :

a. *Hidden Failure Consequences*,

Hidden Failure adalah kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung.

b. *Safety and Environment Consequences*

Safety Consequences terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja/manusia lainnya. *Environment Consequences* terjadi apabila kegagalan fungsi berdampak pada kelestarian lingkungan.

c. *Operational Consequences*

Suatu kegagalan ketika berakibat pada produksi atau operasional (keluaran, kualitas produk, pelayanan terhadap konsumen atau biaya operasional untuk perbaikan komponen)

d. *Non Operational Consequences*

Bukti kegagalan pada kategori ini adalah yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan ataupun produksi, jadi kegagalan ini hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

2.7.4. *Proactive Task dan Initial Interval*

Tindakan ini dilakukan sebelum terjadi kegagalan dalam rangka untuk menghindari aset dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan, dan juga dilakukan untuk memprediksi atau mencegah adanya kegagalan. Kegiatan ini biasa dikenal dengan *predictive* dan *preventive maintenance*. Dalam RCM II, *predictive maintenance* dikategorikan dalam aktifitas *scheduled on condition task*, sedangkan *preventive maintenance* dikategorikan ke dalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task*. Berbeda dengan *preventive maintenance*, *prredictive maintenance* adalah kegiatan perawatan yang tidak berdasarkan waktu penjadwalan komponen. Sesuai namanya, prediksi terhadap komponen bentuk pemeliharaan yang langsung memonitor kondisi dan kinerja dari komponen pada saat operasi normal untuk

mengurangi kerusakan di waktu mendatang. Adapun kategori-kategori dalam melakukan perawatan adalah sebagai berikut.

a. *Scheduled restoration task*

Scheduled restoration task meliputi pekerjaan secara periodik atau terjadwal untuk mengganti komponen yang sudah ada sehingga dapat kembali pada kondisi awal (lebih akurat, mengembalikan pada ketahanan terhadap kegagalan seperti kondisi awal). Yang biasanya disebabkan berhubungan dengan *lifetime* komponen.

b. *Scheduled discard task*

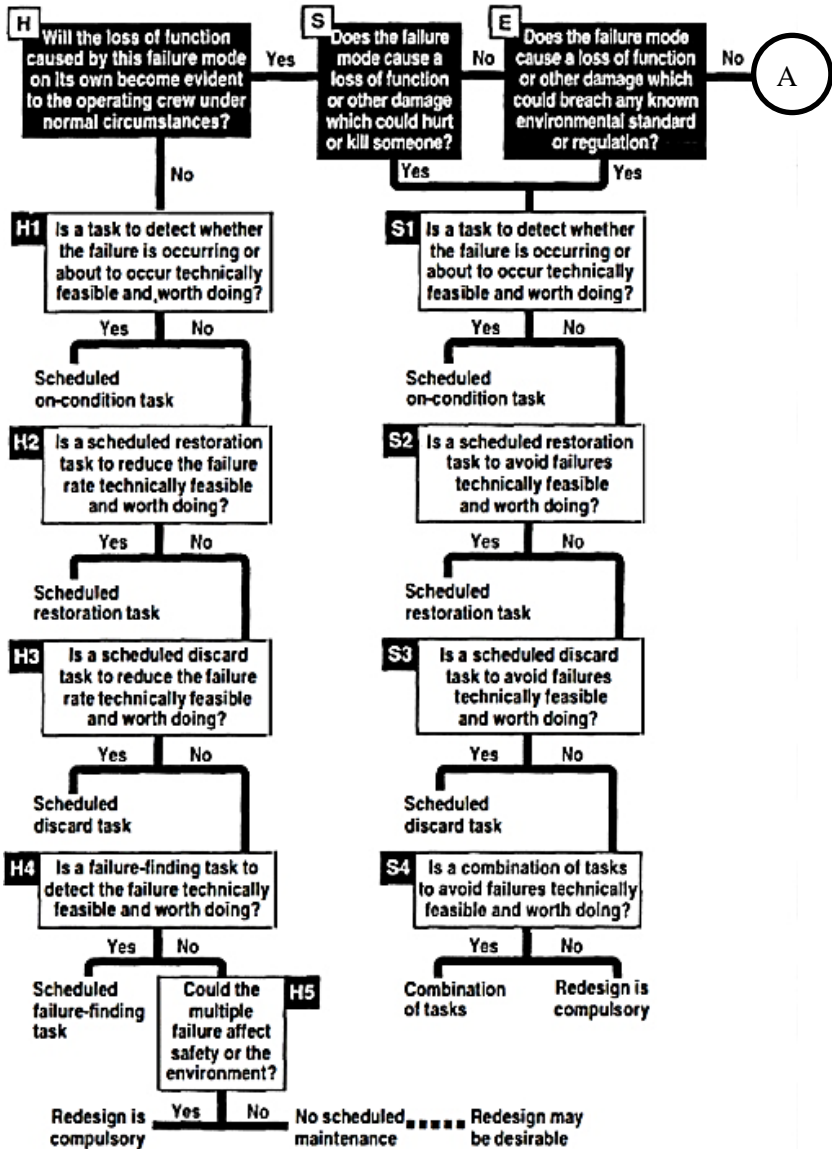
Scheduled discard task merupakan kegiatan pergantian komponen dengan komponen yang baru pada *interval* waktu tertentu. Tipe perawatan ini dapat dimungkinkan terjadi jika tindakan perawatan cenderung memberikan kerugian biaya dibandingkan dengan jika pergantian komponen dilakukan. Hal ini pada *maintenance* disebut juga sebagai *Run to Failure* (RTF).

c. *Scheduled on-condition task*

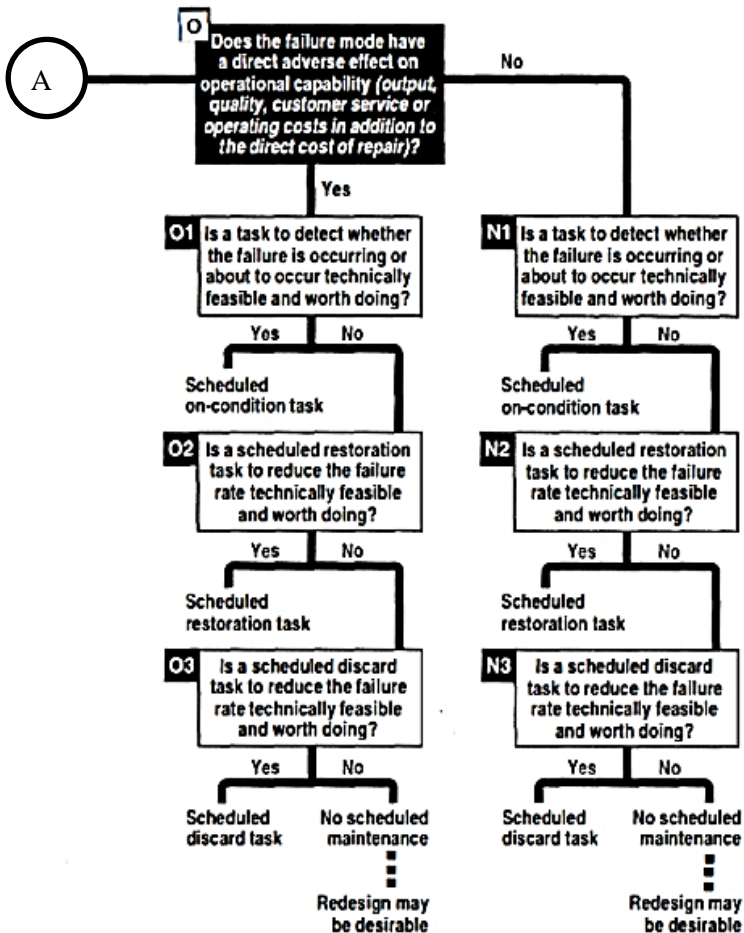
Scheduled on-condition task merupakan kegiatan dalam mengecek potensi kegagalan sehingga kegagalan tersebut dapat dicegah untuk menghindari pada konsekuensi dari terjadinya kegagalan fungsi. Adapun pada strategi perawatan ini, biasa juga disebut sebagai *predictive maintenance*. Dimana tindak *maintenance* yang dilakukan tidak berdasarkan *interval* waktu yang telah direncanakan untuk menghindari risiko kegagalan yang tidak diinginkan.

2.7.5. Default Action

Default Action adalah suatu tindakan yang dilakukan jika kondisi sudah berada dalam *failed scale*, dan dipilih ketika tindakan *proactive task* yang efektif tidak mungkin dapat dilakukan. Setelah mengetahui berbagai macam kegagalan yang akan terjadi serta menentukan pencegahannya, pengambilan keputusan *maintenance* dilakukan agar sistem tertata secara sistematis. RCM II *Decision Diagram* digunakan untuk menentukan *default action* dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2.2. RCM II Decision Diagram



Gambar 2.3. RCM II Decision Diagram (Lanjutan)

2.8. Biaya Perawatan (*Maintenance Cost*)

Biaya perawatan dipengaruhi oleh tiap-tiap *maintenance task*. Adapun persamaan dari *maintenance cost* dapat diartikan pulai sebagai *cost of operational* [11]. Adapun persamaan *maintenance cost* adalah sebagai berikut

$$C_{OP} = C_{PM} + C_T + C_{CM} \quad (2.25)$$

$$C_{PM} = M \times C_{pm} \times N \quad (2.26)$$

$$C_T = \frac{1}{T_i} \times C_t \times N \quad (2.27)$$

$$C_{CM} = \lambda_T \times C_{cm} \times N \quad (2.28)$$

Dimana:

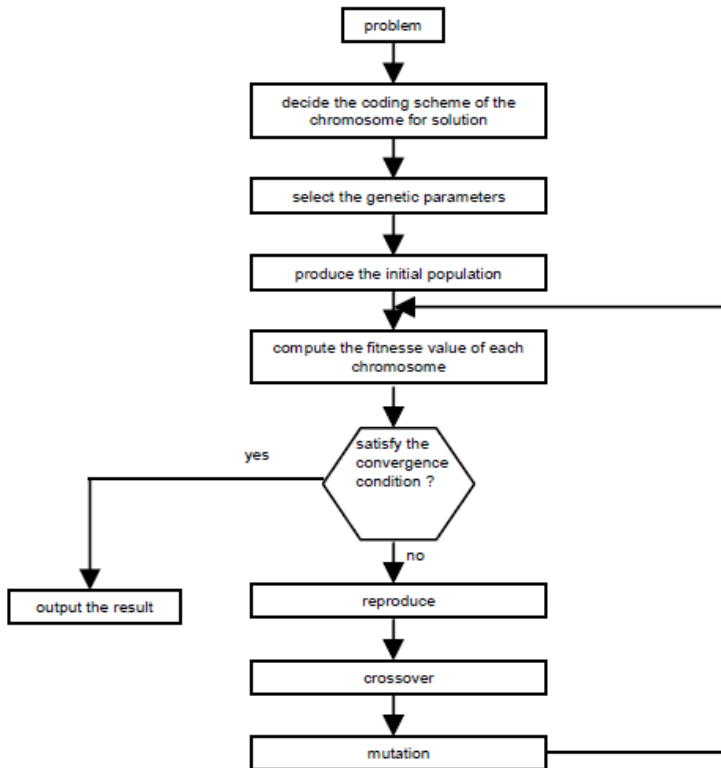
C_{OP}	= <i>Operational cost</i> (USD)
N	= Jumlah instrumen/peralatan
C_{PM}	= <i>Preventive maintenance cost</i> (USD)
C_T	= <i>Test cost</i> (USD)
C_{CM}	= <i>Corrective maintenance cost</i> (USD)
λ_T	= <i>Total failure rate</i>

2.9. Genetic Algorithm (GA)

Genetic Algorithm (GA) merupakan salah satu metode multi-objektif yang digunakan untuk memecahkan masalah berbasis proses seleksi alam dengan meniru evolusi biologi [11]. GA merupakan jenis algoritma pencarian dan pengoptimisasi metaheuristik yang terinspirasi oleh prinsip seleksi alam Darwin [12]. Metode GA merupakan metode yang dapat memecahkan permasalahan yang rumit, dimensi yang tinggi, diskrit, non-linear, *reliability* dan *maintenance cost*. GA digunakan untuk mengoptimisasi suatu sistem dengan cara mengambil secara acak individu di dalam suatu populasi dengan mencocokkan dengan hasil yang diinginkan, kemudian dilakukan *crossover* atau reproduksi terhadap individu tersebut sehingga menghasilkan keturunan sesuai dengan yang dikehendaki [7] [11]. GA yang efektif dipengaruhi oleh operator *crossover* dan komplementer mutasinya. Tingkat keefektifitasan operator *crossover* menentukan tingkat konvergensi, sedangkan operator mutasi berperan dalam mencegah algoritma dalam menghasilkan hasil optimisasi berupa hasil lokal yang optimal. Jumlah anak – anak dan mutan yang dihasilkan pada tiap generasi merupakan suatu parameter yang konstan selama dilakukannya optimisasi [13].

Terhadap tahapan atau proses dalam optimisasi menggunakan metode GA, sesuai dengan seleksi alam dan genetik,

GA menggunakan sejumlah populasi dan beberapa generasi yang digunakan untuk menentukan nilai optimum dari suatu permasalahan yang ada. Adapun tahapan-tahapan dalam metode GA dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



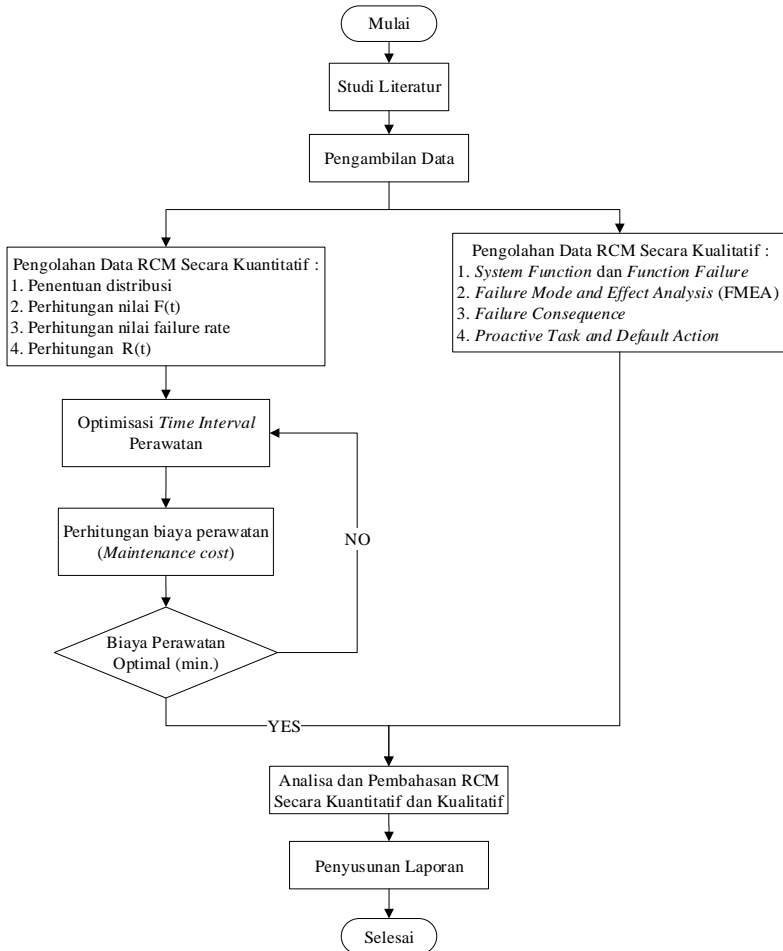
Gambar 2.4. *Flowchart GA*

Gambar 2.4 menunjukkan diagram alir (*flowchart*) GA secara umum, dimana didapatkan bahwa Teknik Optimisasi GA menggunakan beberapa tahapan logika untuk menentukan nilai optimum. Dari Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa tahap pertama dalam melakukan optimisasi dengan menggunakan GA dimulai dengan menentukan fungsi objektif [14]. Tahap selanjutnya adalah

menentukan parameter-parameter optimisasi seperti kromosom, *elitism*, *crossover rate* dan *mutation rate*. Kemudian akan dilakukan proses kawin silang terhadap individu-individu tersebut dipresentasikan dengan kromosom yang telah ditentukan. Tahap berikutnya adalah dilakukannya mutasi terhadap individu-individu baru tersebut. Proses tersebut akan berulang hingga telah mencapai iterasi atau generasi yang telah ditentukan. Tahap pertama yang dilakukan dalam melakukan optimisasi adalah menentukan fungsi objektif. Variabel yang akan dioptimisasi pada Tugas akhir ini adalah *time interval*. Sedangkan fungsi objektif pada tugas akhir ini adalah *maintenance cost*. Dari penjelasan sebelumnya, dapat diketahui bahwa hasil optimisasi yang diinginkan adalah didapatkannya nilai *time interval* yang paling optimum. Nilai *time interval* yang paling tinggi merupakan nilai yang paling optimum. Dari nilai *time interval* yang tinggi tersebut diharapkan akan menghasilkan jumlah biaya perawatan (*maintenance cost*) yang rendah.

BAB III METODOLOGI

Tugas akhir ini dilakukan melalui tahapan yang dijelaskan sesuai dengan *flowchart* pada gambar 3.1



Gambar 3.1. *Flowchart* Penelitian

3.1. Pengambilan data

Teknik pengambilan data yang diambil untuk menunjang penelitian ini merupakan pengumpulan data sekunder. Yang diantaranya adalah data PFD (*Process Flow Diagram*) dan P&ID (*Piping & Instrument Diagram*) sistem *turbo expander*, *maintenance record* yang dilakukan oleh pihak perusahaan, *time interval* komponen pada sistem, *cost and effect analysis* data dan FMEA yang diambil dari jurnal-jurnal penelitian sebelumnya.

Pada Tabel 3.1 dan 3.2 dijelaskan bahwa pada komponen atau instrumen yang terdapat pada sistem *turbo expander* masing-masing memiliki nilai *failure rate* yang berbeda.

Tabel 3.1. Data *Failure Rate* (λ) Sistem *Turbo Expander*

No.	Komponen	<i>Failure Rate</i> (λ)
1	<i>Turbo Expander</i> (482-C-01)	$2 \times 10^{-4}/hr$
2	<i>Recompressor</i> (482-C-02)	$1 \times 10^{-4}/hr$
3	<i>Shutdown Valve</i> (482-SDV-350)	$2,23 \times 10^{-5}/hr$
4	<i>Shutdown Valve</i> (482-SDV-351)	$2,23 \times 10^{-5}/hr$
5	<i>Shutdown Valve</i> (482-SDV-352)	$2,23 \times 10^{-5}/hr$
6	<i>Shutdown Valve</i> (482-SDV-354)	$2,23 \times 10^{-5}/hr$
7	<i>Pressure Control Valve</i> (482-PV-344)	$1,8 \times 10^{-5}/hr$
8	<i>Flow Control Valve</i> (482-FV-339)	$1,8 \times 10^{-5}/hr$
9	<i>Speed Transmitter</i> (482-ST-341)	$4,71 \times 10^{-6}/hr$
10	<i>Pressure Different Transmitter</i> (482-PDT-332)	$7,61 \times 10^{-6}/hr$
11	<i>Pressure Transmitter</i> (482-PT-331)	$1,14 \times 10^{-6}/hr$
12	<i>Pressure Transmitter</i> (482-PT-339)	$1,14 \times 10^{-6}/hr$
13	<i>Pressure Transmitter</i> (482-PT-336)	$1,14 \times 10^{-6}/hr$
14	<i>Temperature Transmitter</i> (482-TT-334)	$9,37 \times 10^{-6}/hr$
15	<i>Temperature Transmitter</i> (482-TT-356)	$9,37 \times 10^{-6}/hr$
16	<i>Flow Transmitter</i> (482-FT-339)	$1,02 \times 10^{-5}/hr$

Adapun pada Tabel 3.2 ditampilkan nilai *time interval* yaitu waktu penjadwalan yang diperlukan untuk merawat masing-masing komponen.

Tabel 3.2. Data *Time Interval* pada Sistem *Turbo Expander*

No.	Instrumen/Komponen	<i>Time Interval</i>	
		(hours)	(days)
1	<i>Turbo Expander</i> (482-C-01)	250	10
2	<i>Recompressor</i> (482-C-02)	500	21
3	<i>Shutdown Valve</i> (482-SDV-350)	2500	104
4	<i>Shutdown Valve</i> (482-SDV-351)	2500	104
5	<i>Shutdown Valve</i> (482-SDV-352)	2500	104
6	<i>Shutdown Valve</i> (482-SDV-354)	2500	104
7	<i>Pressure Control Valve</i> (482-PV-344)	4000	167
8	<i>Flow Control Valve</i> (482-FV-339)	4000	167
9	<i>Speed Transmitter</i> (482-ST-341)	10000	417
10	<i>Pressure Different Transmitter</i> (482-PDT-332)	6100	254
11	<i>Pressure Transmitter</i> (482-PT-331)	40500	1688
12	<i>Pressure Transmitter</i> (482-PT-339)	40500	1688
13	<i>Pressure Transmitter</i> (482-PT-336)	40500	1688
14	<i>Temperature Transmitter</i> (482-TT-334)	4550	190
15	<i>Temperature Transmitter</i> (482-TT-356)	4550	190
16	<i>Flow Transmitter</i> (482-FT-339)	4550	190

3.2. Pengolahan dan Analisis Data RCM

Pada tahap ini, data-data yang telah diperoleh akan diolah menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif.

3.2.1. Analisa Kuantitatif

Tahap analisa kuantitatif, akan dilakukan evaluasi nilai *reliability*, *maintainability*, *availability* dan *preventive maintenance*. Adapun pengolahan data-data dengan metode kuantitatif pada penelitian ini dilakukan seperti *point* berikut.

- a. Menentukan Nilai *Time to Failure* (TTF)
- b. Menentukan Distribusi TTF
- c. Menentukan Nilai MTTF
- d. Evaluasi keandalan $R(t)$ masing-masing komponen
- e. Menentukan TTR
- f. Menentukan Distribusi TTR
- g. Menentukan Nilai MTTR
- h. Evaluasi *Maintainability*
- i. Evaluasi *Availability*
- j. Evaluasi *Preventive Maintenance* masing-masing komponen penyusun sistem.

Adapun nilai-nilai yang dibutuhkan dalam analisa kuantitatif yang menunjang penelitian berdasarkan data sekunder didapat dari perusahaan tercantum pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3. Tabel nilai dan distribusi MTTR

No	Instrumen / Komponen	TTR	
		Distribusi	MTTR
1	<i>Turbo Expander (482-C-01)</i>	<i>Lognormal</i>	64,8
2	<i>Recompressor (482-C-02)</i>	<i>Exponential</i>	16,0
3	<i>Shutdown Valve (482-SDV-350)</i>	<i>Exponential</i>	3,1
4	<i>Shutdown Valve (482-SDV-351)</i>	<i>Exponential</i>	3,1
5	<i>Shutdown Valve (482-SDV-352)</i>	<i>Exponential</i>	3,1
6	<i>Shutdown Valve (482-SDV-354)</i>	<i>Exponential</i>	3,1
7	<i>Pressure Control Valve (482-PV-344)</i>	<i>Exponential</i>	3,3
8	<i>Flow Control Valve (482-FV-339)</i>	<i>Exponential</i>	3,3
9	<i>Speed Transmitter (482-ST-341)</i>	<i>Exponential</i>	6,3
10	<i>Pressure Different Transmitter (482-PDT-332)</i>	<i>Exponential</i>	2,3
11	<i>Pressure Transmitter (482-PT-331)</i>	<i>Exponential</i>	2,7
12	<i>Pressure Transmitter (482-PT-339)</i>	<i>Exponential</i>	2,7

Tabel 3.4. Tabel nilai dan distribusi MTTR (Lanjutan)

No	Instrumen / Komponen	TTR	
		Distribusi	MTTR
13	<i>Pressure Transmitter</i> (482-PT-336)	<i>Exponential</i>	2,7
14	<i>Temperature Transmitter</i> (482-TT-334)	<i>Exponential</i>	2,0
15	<i>Temperature Transmitter</i> (482-TT-356)	<i>Exponential</i>	2,0
16	<i>Flow Transmitter</i> (482-FT-339)	<i>Exponential</i>	2,0

3.2.2. Analisa Kualitatif

Tahap analisa kualitatif, akan dilakukan evaluasi fungsi komponen, fungsi kegagalan, FMEA, Konsekuensi kegagalan. Adapun penjelasan dari tiap tahapan secara berurut adalah sebagai berikut :

a. Fungsi Komponen (*function system*)

Mendefinisikan fungsi dari setiap komponen yang menyusun pada sistem *turbo expander* secara keseluruhan, dimana komponen tersebut dapat menunjang keberhasilan fungsi keseluruhan sistem, adapun contoh pendefinisian fungsi komponen terdapat pada Gambar 2.2.

b. Fungsi Kegagalan (*functional failure*)

Mendefinisikan bagaimana setiap komponen tersebut mengalami kegagalan dalam melaksanakan fungsinya, dimana kegagalan yang terjadi akan berdampak ketidakberhasilan seluruh sistem serta memungkinkan dapat memberikan dampak buruk atau kerugian bagi perusahaan. Adapun pendefinisian *functional failure* seperti contoh pada Gambar 2.2 seperti *function system*.

c. FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)

Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analisis*) pada tugas akhir ini digunakan untuk mengidentifikasi penyebab

kegagalan setiap komponen yang menyusun pada sistem tersebut dan juga mengidentifikasi dampak yang diakibatkan apabila komponen tersebut mengalami kegagalan dalam melaksanakan fungsinya. Adapun bentuk identifikasi metode ini berupa tabel yang ditunjukkan pada contoh Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5. Contoh Pendeskripsikan FMEA

<i>FUNCTION</i>		<i>FUNCTION FAILURE</i>		<i>FAILURE MODE</i>		<i>FAILURE EFFECT</i>
1	Untuk mengumpulkan <i>fly ash</i> (debu terbang)	A	Tidak mampu menangkap <i>fly ash</i>	1	Kegagalan <i>power supply</i> dalam kaitannya <i>synchron relay</i> .	ESP dan/atau FDG stop terindikasi <i>offline</i> , operator mengecek kegagalan 15 menit

d. Konsekuensi Kegagalan (*Failure Consequences*)

Konsekuensi kegagalan diklasifikasikan dalam empat bagian antara lain : *Hidden Failure Consequences*, *Safety and Environment Consequences*, *Operational Consequences*, *Non-Operational Consequences*. Adapun *failure consequences* dapat diinformasikan dalam bentuk tabel seperti contoh Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Contoh Deskripsikan *Failure Consequences*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default Action</i>			<i>Proposed task</i>
	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4	
					O1	O2	O3				
AIR	Y	N	N	Y	Y	-	-	Y	Y	N	<i>On-condition Task</i>

e. RCM *Decision Diagram*

Kegiatan ini biasa dikenal dengan *predictive* dan *preventive maintenance*. Dalam RCM, *predictive maintenance* dikategorikan dalam aktifitas *scheduled on condition task*, sedangkan *preventive*

maintenance dikategorikan ke dalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task*.

Tahap ini menggunakan tabel FMEA untuk mempermudah mengetahui konsekuensi kegagalan untuk menentukan *task*. Adapun langkah dalam menentukan *task* atau *decision diagram* RCM yang dijelaskan pada Gambar 2.4 dan 2.5

3.3. Optimisasi *Maintenance Cost*

Optimisasi memerlukan tiga komponen, yaitu perumusan masalah, model, dan teknik optimisasi. Model *maintenance cost* dibuat menggunakan Persamaan 2.26 sampai 2.29 dengan parameter-parameter yang ada.

Perumusan masalah terdiri dari fungsi objektif, batasan, dan variabel yang dioptimisasi. Variabel yang dioptimisasi adalah T_I (*time interval*). Batas atas yang digunakan adalah minimal *reliability* yang dimiliki pada masing-masing komponen dengan variasi batasan (*constraint*) 0,70; 0,80; dan 0,90 serta menjadikan nilai yang didapatkan sesuai dengan data sebagai batas bawah optimisasi. Fungsi objektif diturunkan dari Persamaan 2.26 dengan menghilangkan variabel *cost corrective maintenance*, dikarenakan pada penelitian ini tidak merubah desain *instrument* yang ada. Sehingga dimiliki fungsi objektif pada penelitian ini tercantum pada Persamaan 3.1

$$J_{min} = C_{OP} = C_{PM} + C_T \quad (3.1)$$

Perhitungan *maintenance cost* akan dipengaruhi oleh hasil perhitungan *reliability* dan hasil penentuan *maintenance task* pada tiap instrumen, dimana pada penelitian ini *maintenance cost* dioptimisasikan minimal. Variabel C_{CM} tidak dimasukkan kedalam fungsi objektif optimisasi *maintenance cost* dikarenakan nilai variabel konstan (tidak berubah nilainya). Seperti yang dapat dilihat pada Persamaan 2.29 bahwa variabel C_{CM} tidak dipengaruhi oleh nilai *time interval*. Pada perhitungan ini data yang digunakan adalah referensi jurnal, atau data sekunder dari jurnal, dikarenakan merupakan bagian dari rahasia perusahaan. Oleh karena itu data *maintenance cost* dari jurnal digunakan, tercantum pada Tabel 3.7

Tabel 3.7. Data referensi harga maintenance [15]

Komponen	<i>Test cost</i> (C_t)	<i>Preventive Cost</i> (C_{pm})
Transmitter	USD 85	C_{pm} = biaya pekerja perjam x jumlah pekerja x waktu pengerjaan
Valve	USD 105	

Teknik optimisasi yang digunakan untuk memecahkan masalah optimisasi pada penelitian ini adalah dengan metode *Genetic Algorithm* (GA) agar mendapatkan biaya yang minimal. Optimisasi *Genetic Algorithm* merupakan salah satu metode optimisasi berdasarkan ilmu biosains yang menerapkan sistem seleksi alam dan genetika alami. Sistem seleksi alam akan dilakukan terus pada populasi secara acak untuk mendapatkan solusi dalam menyelesaikan suatu masalah. Solusi dalam suatu populasi akan dievaluasi hingga mendapatkan solusi terbaik. Algoritma ini menyimulasikan proses evolusi sesuai jumlah generasi yang dikehendaki, dimana pengoptimisasi suatu sistem dengan cara mengambil secara acak individu di dalam suatu populasi dengan mencocokkan dengan hasil yang diinginkan, kemudian dilakukan *crossover* atau reproduksi terhadap individu tersebut. GA yang efektif dipengaruhi oleh operator *crossover* dan komplementer mutasinya. Tingkat keefektifitasan operator *crossover* menentukan tingkat konvergensi, sedangkan operator mutasi berperan dalam mencegah algoritma dalam menghasilkan hasil optimisasi berupa hasil lokal yang optimal. Jumlah anak-anak dan mutan yang dihasilkan pada tiap generasi merupakan suatu parameter yang konstan selama dilakukannya optimisasi. Adapun parameter-parameter yang digunakan pada penelitian ini, sesuai dengan diagram alir GA yang tercantum pada Gambar 2.6 antara lain yaitu

a. Jumlah populasi

Jumlah populasi pada optimisasi *maintenance cost* bertujuan untuk menentukan jumlah kromosom yang terlibat dalam proses optimisasinya. Penelitian ini digunakan populasi pada setiap generasi yang dilibatkan adalah sebanyak 100.

b. Jumlah variabel yang dioptimisasi

Variabel yang dioptimisasi adalah variabel fisis (*phenotype*). Pada penelitian ini variabel yang dioptimisasi terdiri dari 8 variabel berupa nilai *time interval* (T_i) untuk *instrument-instrument* pada *turbo expander*, yaitu *Shutdown valve* (SDV), *Pressure Control Valve* (PV), *Flow Control Valve* (FV), *Speed Transmitter* (ST), *Pressure Different Transmitter* (PDT), *Pressure Transmitter* (PT), *Temperature Transmitter* (TT), dan *Flow Transmitter* (FT).

c. Generasi

Banyaknya generasi adalah sejumlah iterasi yang akan terjadi pada setiap individu, dimana pada penelitian ini menggunakan generasi sampai dengan 500 untuk mendapatkan hasil terbaik.

Proses optimisasi *maintenance cost* menggunakan metode GA dapat dideskripsikan sebagai berikut :

- Fungsi Objektif didalam GA akan menjadi *fitness* sementara variabel yang dioptimisasi akan menjadi variabel genetik (*genotype*). *Genotype* pada penelitian ini merupakan representasi 8 variabel yang tiap variabel terdiri dari 10 bit, sehingga sebuah individu akan terdiri dari 80 bit, dan akan digenerasi kepada 500 generasi.
- Proses pada sebuah generasi yang dihasilkan melalui *crossover*, *mutation* dan *elitism*. *Crossover*, adalah proses kawin silang antara dua individu dan akan menghasilkan dua individu baru (anak). Kemungkinan kawin silang setiap individu tergantung kepada besarnya probabilitas *crossover* (P_c), pada penelitian ini menggunakan P_c sebesar 0,8, diartikan kemungkinan individu tidak mengalami kawin silang sebesar 20%.
- Proses kedua pada GA disebut *Mutation*. *Mutation* adalah perubahan isi bit secara *flip-flop* dengan kemungkinan mutasi (P_m) sangat kecil. Pada penelitian ini dipilih P_m sebesar 0,01, berarti hanya 1% individu yg terkena mutasi.

- Proses ketiga pada GA adalah *elitism*, dimana pada setiap generasi akan ada individu yang elit atau yang memiliki *fitness* yang tinggi tidak ikut dikawinkan dan mutasi pada generasi berikutnya. Hal ini bertujuan untuk menjaga individu yang terbaik yang telah didapat pada generasi sebelumnya tetap hidup pada generasi-generasi selanjutnya. Pada penelitian ini, *elitism* memiliki nilai 0,05. Yang artinya hanya 5% individu terbaik tidak dikawinkan dan mutasi pada generasi selanjutnya.

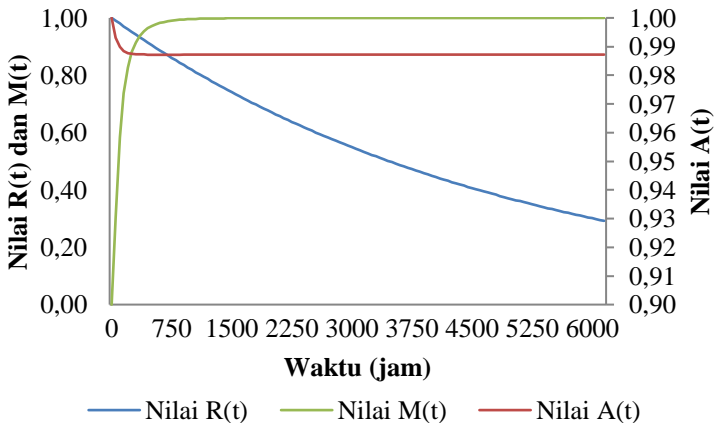
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data Secara Kuantitatif

Pengolahan data disini bertujuan untuk mendapatkan parameter kuantitatif berupa nilai *reliability*, *availability*, *maintainability* dan *preventive maintenance* dari setiap komponen ataupun bagian penyusun sistem, berikut hasil analisa yang sudah didapatkan.

4.1.1. Analisa Kuantitatif Turbo Expander (482-C-01)

Tabel 3.1 memberikan data nilai *failure rate* dari komponen, yang menjelaskan bahwa Turbo Expander memiliki nilai *failure rate* sebesar $2 \times 10^{-4}/hr$ berartikan komponen memiliki *failure rate* yang konstan, dimana dimodelkan dalam berdistribusi eksponensial tingkat kegagalan tidak terdegradasi atau menurun oleh waktu [4]. Sehingga berdasarkan nilai *failure rate* dan *time interval* yang ada, dapat dilihat bahwa *turbo expander* memiliki nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* yang telah dibentuk dalam grafik dicantumkan pada Gambar 4.1 berikut.



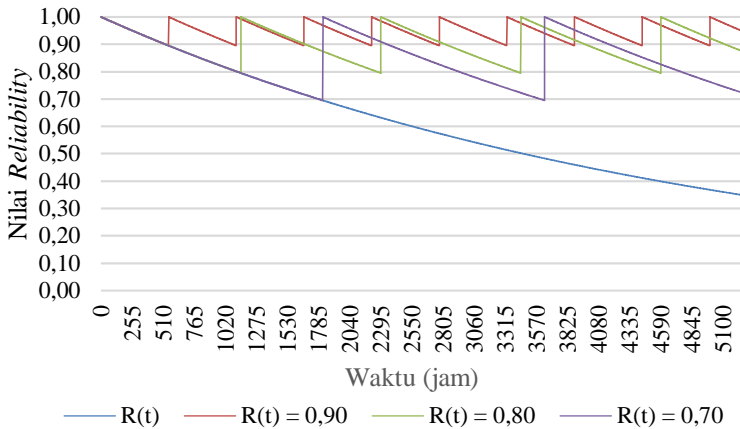
Gambar 4.1 Grafik *Reliability, Availability, Maintainability* Turbo Expander

Gambar 4.1 menunjukkan grafik nilai *Reliability*, *Availability*, *Maintainability* terhadap waktu. Karakter distribusi eksponensial (seperti yang telah dirumuskan pada persamaan tercantum pada Sub-bab 2.4.4 dan 2.6.4) tidak memiliki bentuk parameter. Nilai *reliability* atau nilai $R(t)$ yang dimiliki pada komponen *Turbo Expander* terus menurun terhadap waktu, didapatkan berdasarkan perhitungan persamaan yang tercantum pada Persamaan 2.16. Ketika *time interval* sesuai tercantum pada Tabel 3.2, yaitu 250 jam, dimana angka tersebut adalah lamanya *turbo expander* beroperasi, didapatkan nilai *reliability* sebesar 0,95.

Fungsi *Availability* (ketersediaan komponen) pada *turbo expander* dapat dihitung dengan Persamaan 2.19, sehingga terlihat pada grafik Gambar 4.1 dimana nilai *Availability* didapatkan sejak jam ke 32 bernilai sekitar sebesar 0,99 dan akan terus menurun dengan selisih kecil, yang dijelaskan pada *secondary axis* agar mempermudah melihat perbedaan nilai terhadap waktunya. Adapun nilai *availability* ketika waktu yang tercantum pada *time interval* sesuai dengan data Tabel 3.2 didapatkan sebesar 0,987.

Sedangkan untuk fungsi *maintainability* pada *turbo expander* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21, yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.1 dimana nilai *maintainability* pada waktu yang sama didapatkan nilai sebesar $M(t) = 0,88$.

Dari ketiga nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* didapatkan bahwa *turbo expander*, nilai *reliability* yang menurun seiring komponen beroperasi serta nilai *maintainability* menunjukkan kemungkinan yang dimiliki komponen untuk mengembalikan fungsinya kepada kondisi awal cukup tinggi. Maka dibuatlah upaya tindak pencegahan agar keandalan komponen terjaga, yaitu *preventive maintenance*. Berdasarkan nilai *availability* dari *turbo expander* yang tinggi, sehingga kemungkinannya komponen tidak rusak atau menurunnya performansi ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan, dan untuk menghindari kemungkinan kegagalan yang memiliki konsekuensi *maintenance cost* yang tinggi, oleh karena itu *preventive maintenance* dipilih [16]. Adapun uji performansi ketika diberi tindakan *preventive maintenance* pada komponen *turbo expander* dapat dilihat pada grafik Gambar 4.2

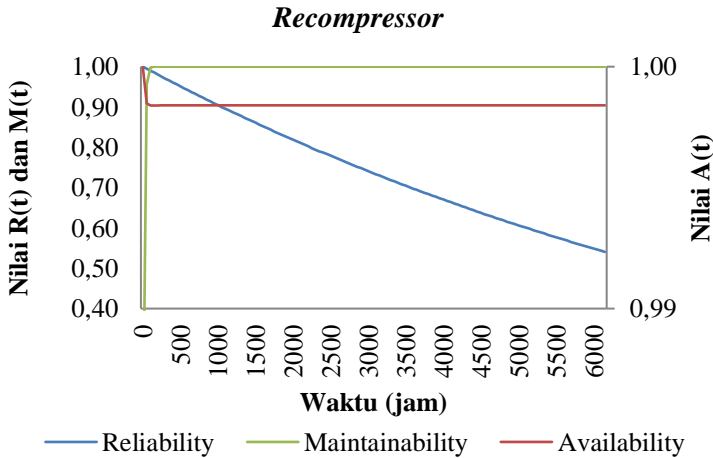


Gambar 4.2 Grafik *Preventive Maintenance Turbo Expander*

Gambar 4.2 menunjukkan grafik keandalan atau $R(t)$ tampak cenderung linear terhadap waktu, hal tersebut dikarenakan nilai *failure rate* yang cenderung rendah, sehingga *trend* dari grafik kurang terlihat *reliability* memiliki distribusi eksponensial. Didapatkan setelah diberi tindakan *preventive maintenance*, pada *reliability* 0,90, penjadwalan *maintenance* atau *time interval* yang dibutuhkan adalah 555 jam operasi atau setara dengan 23 hari. Sedangkan jika diberi maksimum penurunan *reliability* pada 0,80 diperlukan *interval maintenance* setelah 1147 jam operasi, setara 48 hari dan *reliability* pada 0,70 diberi tindakan *preventive* setelah 1800 jam operasi atau 75 hari. Sehingga didapatkan jika komponen *turbo expander* diberi perawatan, maka performansi dapat meningkat seperti dalam keadaan awal komponen digunakan.

4.1.2. Analisa Kuantitatif *Recompressor (482-C-02)*

Nilai *failure rate* dari *Recompressor* adalah konstan sebesar $1 \times 10^{-4}/hr$ dimodelkan dalam berdistribusi eksponensial, seperti halnya pada *turbo expander*. Berdasarkan data yang ada, dapat dilihat bahwa *recompressor* memiliki nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* yang telah dibentuk dalam grafik dicantumkan pada Gambar 4.3 berikut.



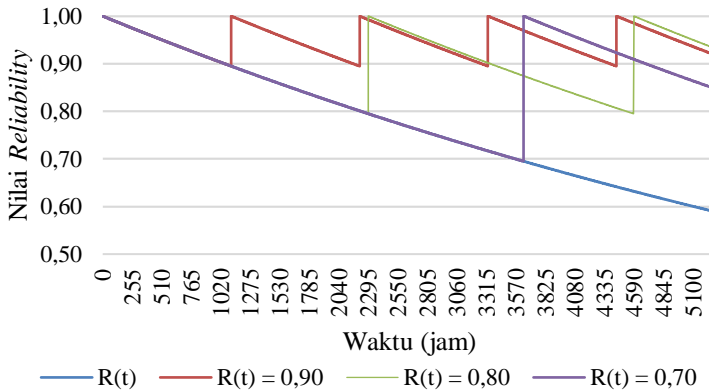
Gambar 4.3 Grafik *Reliability, Availability, Maintainability* *Recompressor*

Gambar 4.3 menunjukkan grafik nilai *Reliability, Availability, Maintainability* terhadap waktu. Seperti halnya pada *turbo expander, recompressor* memiliki karakter distribusi eksponensial. Nilai *availability* (ketersediaan komponen) pada *recompressor* dapat dihitung dengan Persamaan 2.19, sehingga terlihat pada grafik Gambar 4.3, menggunakan *secondary axis* untuk melihat perubahan nilainya terhadap waktu. Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa grafik *availability* terus menurun dan mencapai nilai konstan sebesar 0,998 setelah jam ke-400. Sehingga nilai *availability* ketika waktu yang tercantum pada *time interval* sesuai dengan data Tabel 3.2 didapatkan sebesar 0,998.

Nilai *reliability* atau $R(t)$ yang dimiliki pada komponen *recompressor* terus menurun terhadap waktu, berdasarkan perhitungan yang tercantum pada Persamaan 2.16. Ketika *time interval* sesuai tercantum pada Tabel 3.2, yaitu 500 jam, didapatkan nilai *reliability* sebesar $R(t) = 0,95$. Sedangkan untuk nilai *maintainability* pada *recompressor* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21, yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.3 dimana

nilai *maintainability* pada waktu yang sama didapatkan nilai sebesar $M(t) = 1,0$.

Ketiga nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability recompressor* yang ada, menunjukkan bahwa komponen perlu diberi tindak perawatan untuk mengembalikan fungsinya kepada kondisi awal cukup tinggi, maka dilakukan *preventive maintenance*. Nilai *availability* dari *recompressor* yang tinggi, sehingga kemungkinannya komponen tidak rusak atau menurunnya performansi ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan. Adapun uji performansi ketika diberi tindakan *preventive maintenance* pada komponen *recompressor* dapat dilihat pada grafik Gambar 4.4.



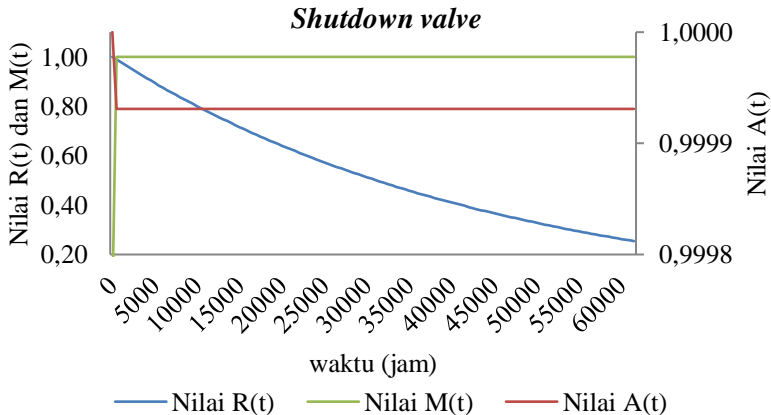
Gambar 4.4 Grafik *Preventive Maintenance Recompressor*

Gambar 4.4 terlihat bahwa *trend* grafik *preventive maintenance* pada *recompressor*, seperti halnya pada *turbo expander* terlihat bahwa grafik kurang terlihat memiliki distribusi eksponensial. Setelah diberi tindakan *preventive maintenance*, adapun pada maksimum *reliability* 0,90, penjadwalan *maintenance* atau *time interval* yang dibutuhkan agar komponen dapat memiliki nilai keandalan meningkat setelah 1110 jam operasi atau setara dengan 46 hari. Sedangkan jika diberi maksimum penurunan *reliability* pada 0,80 dan *reliability* 0,70 berturut-turut diperlukan *interval maintenance* setelah 2295 jam dan 3639 jam. Sehingga

berdasarkan Grafik 4.4 didapatkan komponen *recompressor* performansinya dapat meningkat seperti dalam keadaan awal komponen digunakan jika dilakukan *preventive maintenance*.

4.1.3. Analisa Kuantitatif *Shutdown Valve* (482-SDV-350, 351, 352, dan 354)

Analisa kuantitatif *shutdown valve* (SDV) pada sistem *turbo expander* dijadikan satu perhitungan yang sama dikarenakan nilai *failure rate* yang dimiliki setiap komponen SDV sistem *turbo expander* adalah sama berdasarkan data dan *maintenance* yang dilakukan merupakan satu pekerjaan untuk melingkupi seluruh SDV yang berada pada unit *turbo expander*, *failure rate* yang dimiliki SDV konstan yaitu sebesar $2,23 \times 10^{-5}/\text{hr}$, tercantum pada Tabel 3.1. Adapun *shutdown valve* memiliki nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* yang telah dibentuk dalam grafik dicantumkan pada Gambar 4.5 berikut.

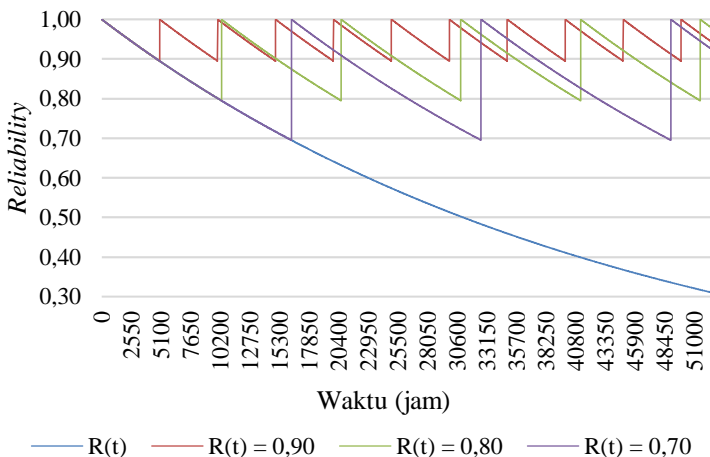


Gambar 4.5 Grafik *Reliability, Availability, Maintainability* SDV

Gambar 4.5 menunjukkan grafik nilai *Reliability, Availability, Maintainability* terhadap waktu. Ketiga nilai *reliability, availability, dan maintainability* pada *shutdown valve*, menunjukkan kriteria nilai yaitu, *reliability* yang menurun seiring komponen beroperasi serta nilai *maintainability* menunjukkan kemungkinan yang dimiliki komponen untuk mengembalikan

fungsinya kepada kondisi awal cukup tinggi. Serta nilai *availability* dari *shutdown valve* yang tinggi, sehingga memungkinkan komponen tidak rusak atau menurunnya performansi ketika *maintenance* diberikan. Seperti halnya pada *turbo expander*, *shutdown valve* memiliki karakter distribusi eksponensial. Nilai *reliability* atau nilai $R(t)$ yang dimiliki pada komponen *shutdown valve* didapatkan berdasarkan perhitungan yang tercantum pada Persamaan 2.16. Ketika *time interval* sesuai tercantum pada Tabel 3.2, yaitu 2500 jam, didapatkan nilai *reliability* sebesar $R(t) = 0,95$.

Availability (ketersediaan komponen) pada *shutdown valve* dapat dihitung dengan Persamaan 2.19. Adapun nilai *availability* SDV pada Gambar 4.5 menggunakan dengan bantuan grafik *secondary axis*, dikarenakan perubahan angka berselisih sedikit terhadap waktunya. Nilai *availability* ketika waktu yang tercantum pada *time interval* sesuai dengan data Tabel 3.2 didapatkan sebesar $A(t) = 0,999$. Adapun nilai *maintainability* pada *shutdown valve* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21, dimana nilai *maintainability* pada waktu yang sama didapatkan nilai sebesar $M(t) = 1,0$. Dengan demikian, sehingga dilakukan *preventive maintenance* yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.6.

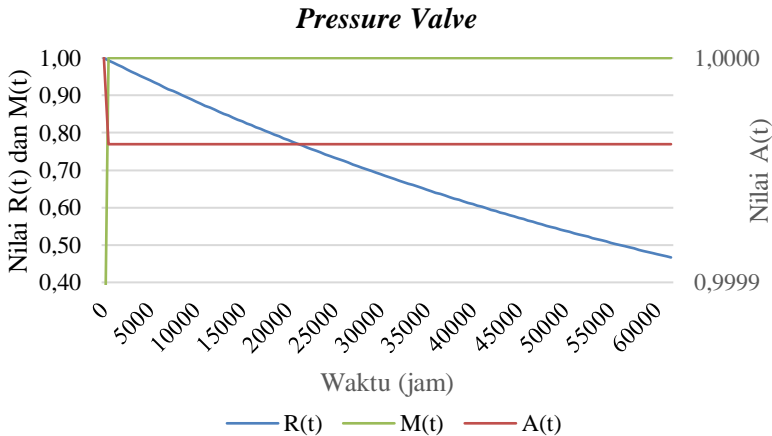


Gambar 4.6 Grafik *Preventive Maintenance Shutdown valve*

Terlihat pada Gambar 4.6 *preventive maintenance* dapat menjaga nilai *reliability*. Setelah diberi tindakan *preventive maintenance*, adapun pada maksimum *reliability* 0,90, penjadwalan *maintenance* atau *time interval* yang dibutuhkan agar komponen dapat memiliki nilai keandalan meningkat setelah 4980 jam operasi atau setara dengan 208 hari. Sedangkan jika diberi maksimum penurunan *reliability* pada 0,80 diperlukan *interval maintenance* setelah 10300 jam operasi, setara 429 hari dan *reliability* pada 0,70 diberi tindakan *preventive* setelah 16330 jam operasi atau 680 hari. Sehingga berdasarkan *trend* pada Grafik 4.6 didapatkan jika komponen *shutdown valve* diberi tindakan perawatan berupa *preventive maintenance*, maka performansinya dapat meningkat seperti dalam keadaan awal komponen digunakan.

4.1.4. Analisa Kuantitatif Pressure Valve (482-PV-344)

Nilai *failure rate* yang dimiliki *pressure valve*, yang tercantum pada Tabel 3.1 adalah konstan sebesar $1,8 \times 10^{-5}/hr$ dimodelkan dalam berdistribusi eksponensial. Berdasarkan nilai *failure rate* dapat dilihat bahwa *pressure valve* memiliki nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* yang telah dibentuk dalam grafik dicantumkan pada Gambar 4.7 berikut



Gambar 4.7 Grafik Reliability, Availability, Maintainability Pressure Valve

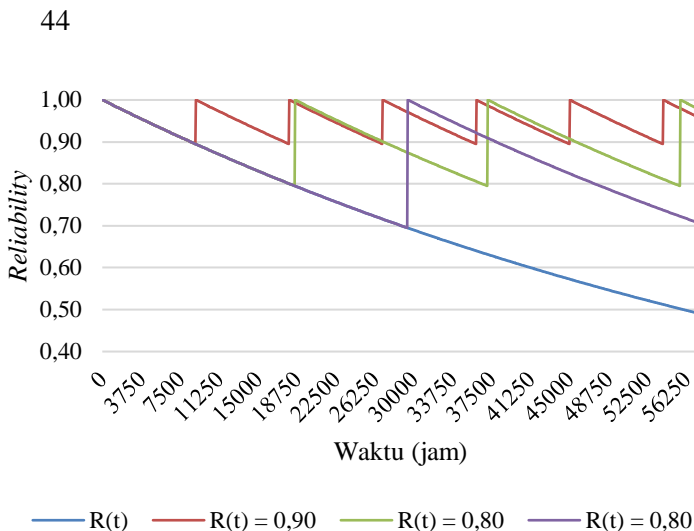
Gambar 4.7 menunjukkan grafik nilai *Reliability*, *Availability*, *Maintainability* terhadap waktu. Seperti halnya pada *turbo expander*, *pressure valve* memiliki karakter distribusi eksponensial. Seperti yang telah dirumuskan pada persamaan tercantum pada Sub-bab 2.4.4 dan 2.6.4 nilai *reliability* atau nilai $R(t)$ yang dimiliki pada komponen *pressure valve* terus menurun terhadap waktu, didapatkan berdasarkan perhitungan persamaan yang tercantum pada Persamaan 2.16. Ketika *time interval* sesuai tercantum pada Tabel 3.2, yaitu 4000 jam, dimana angka tersebut adalah lamanya *pressure valve* beroperasi, didapatkan nilai *reliability* sebesar $R(t) = 0,95$.

Nilai *Availability* (ketersediaan komponen) pada *pressure valve* dapat dihitung dengan Persamaan 2.19, sehingga terlihat pada grafik Gambar 4.7 menggunakan *secondary axis* dikarenakan selisih yang sedikit terhadap perubahan waktunya. Adapun nilai *availability* ketika waktu yang tercantum pada *time interval* sesuai dengan data Tabel 3.2 didapatkan sebesar $A(t) = 0,999$.

Nilai *maintainability* pada *pressure valve* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21, dimana nilai *maintainability* pada waktu yang sama didapatkan nilai sebesar $M(t) = 1,0$.

Dari ketiga nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* didapatkan bahwa *pressure valve*, nilai *reliability* yang menurun seiring komponen beroperasi serta nilai *maintainability* menunjukkan kemungkinan yang dimiliki komponen untuk mengembalikan fungsinya kepada kondisi awal cukup tinggi. Maka dibuatlah upaya tindak pencegahan agar keandalan komponen terjaga, yaitu *preventive maintenance*. Berdasarkan nilai *availability* dari *pressure valve* yang tinggi, sehingga kemungkinannya komponen tidak rusak atau menurunnya performansi ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan. Adapun performansi *pressure valve* ketika diberi tindakan *preventive maintenance* dapat dilihat pada grafik Gambar 4.8.

Pada grafik Gambar 4.8 terlihat bahwa grafik keandalan atau $R(t)$ tampak cenderung linear terhadap waktu, hal tersebut dikarenakan nilai *failure rate* yang cenderung rendah, sehingga terlihat *reliability* tidak memiliki distribusi eksponensial. Namun dapat mengembalikan keandalan komponen seperti kondisi awal.

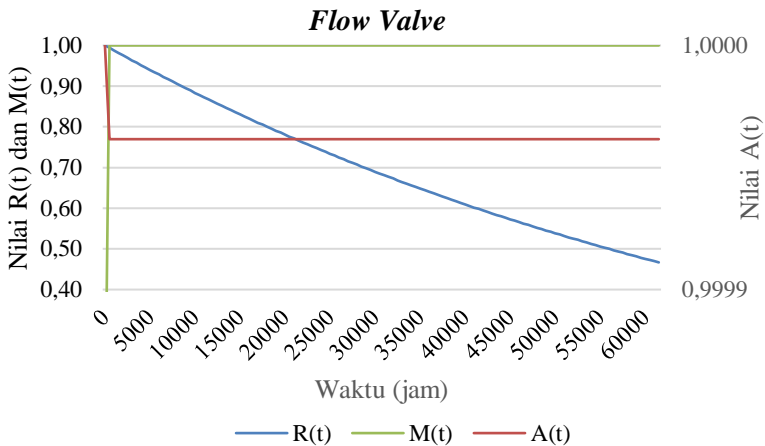


Gambar 4.8 Grafik *Preventive Maintenance Pressure Valve*

Sama halnya seperti *trend* grafik pada komponen sebelumnya. Setelah diberi tindakan *preventive maintenance*, adapun pada maksimum *reliability* 0.90, penjadwalan *maintenance* atau *time interval* yang dibutuhkan agar komponen dapat memiliki nilai keandalan meningkat setelah 8950 jam operasi atau setara dengan 373 hari. Sedangkan jika diberi maksimum penurunan *reliability* pada 0,80 diperlukan *interval maintenance* setelah 18500 jam operasi, setara 770 hari dan *reliability* pada 0,70 diberi tindakan *preventive* setelah 29350 jam operasi atau 1223 hari. Sehingga berdasarkan *trend* pada Grafik 4.8 didapatkan jika komponen *pressure valve* diberi tindakan perawatan berupa *preventive maintenance*, maka performansinya dapat meningkat seperti dalam keadaan awal komponen digunakan.

4.1.5. Analisa Kuantitatif *Flow Valve* (482-FV-339)

Nilai *failure rate flow valve*, tercantum pada Tabel 3.1 adalah konstan sebesar $1,8 \times 10^{-5}/hr$ dimodelkan dalam berdistribusi eksponensial. Sehingga berdasarkan nilai *failure rate* dan *time interval* yang ada, dapat dilihat bahwa *flow valve* memiliki nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* yang telah dibentuk dalam grafik dicantumkan pada Gambar 4.9 berikut

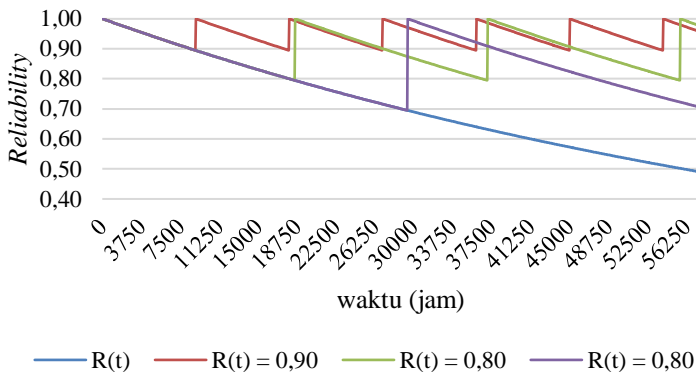


Gambar 4.9 Grafik *Reliability, Availability, Maintainability*
Flow Valve

Gambar 4.9 menunjukkan grafik nilai *Reliability, Availability, Maintainability* terhadap waktu. Seperti halnya pada *turbo expander, flow valve* memiliki karakter distribusi eksponensial. Seperti yang telah dirumuskan pada persamaan tercantum pada Sub-bab 2.4.4 dan 2.6.4 nilai *reliability* atau $R(t)$ yang dimiliki pada komponen *flow valve* terus menurun terhadap waktu didapatkan berdasarkan perhitungan yang tercantum pada Persamaan 2.17. Ketika *time interval* sesuai tercantum pada Tabel 3.2, yaitu 4000 jam, didapatkan nilai *reliability* sebesar $R(t) = 0,95$.

Nilai *availability* (ketersediaan komponen) pada *flow valve* dapat dihitung dengan Persamaan 2.19, yang pada dasarnya selalu menurun terhadap waktu, sehingga terlihat pada grafik Gambar 4.9 menggunakan bantuan *secondary axis* untuk mempermudah dalam melihat selisih nilai yang kecil terhadap perubahan waktunya. Adapun nilai *availability* ketika waktu yang tercantum pada *time interval* sesuai dengan data Tabel 3.2 didapatkan sebesar 0,999. Sedangkan untuk fungsi *maintainability* pada *flow valve* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21, yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.9 dimana nilai *maintainability* pada waktu yang sama didapatkan nilai sebesar $M(t) = 1,0$.

Ketiga nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* menunjukkan bahwa *flow valve* memiliki kemungkinan untuk dikembalikannya fungsi kepada kondisi awal dari nilai *maintainability* yang cukup tinggi. Serta kemungkinannya komponen tidak rusak atau menurunnya performansi ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan, yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.10.

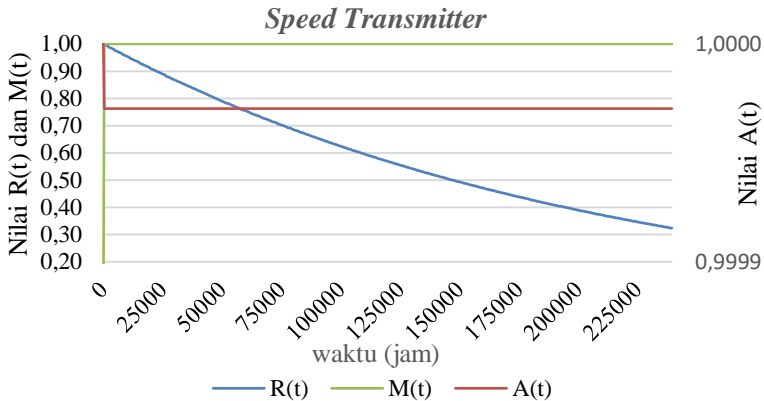


Gambar 4.10 Grafik *Preventive Maintenance Flow Valve*

Trend grafik pada Gambar 4.10 terlihat bahwa grafik keandalan atau $R(t)$ tampak cenderung linear terhadap waktu, hal tersebut dikarenakan nilai *failure rate* yang cenderung rendah, sehingga *trend* dari grafik akan terlihat seperti linear, kurang terlihat *reliability* memiliki distribusi eksponensial. Setelah diberi tindakan *preventive maintenance*, adapun pada maksimum *reliability* 0,90, penjadwalan *maintenance* atau *time interval* yang dibutuhkan agar komponen dapat memiliki nilai keandalan meningkat setelah 8950 jam operasi atau setara dengan 373 hari. Sedangkan jika diberi maksimum penurunan *reliability* pada 0,80 diperlukan *interval maintenance* setelah 18500 jam operasi, setara 770 hari dan *reliability* pada 0,70 diberi tindakan *preventive* setelah 29350 jam operasi atau 1223 hari. Sehingga berdasarkan *trend* pada Grafik 4.10 didapatkan jika komponen *flow valve* diberi tindakan perawatan berupa *preventive maintenance*, maka

performansinya dapat meningkat seperti dalam keadaan awal komponen digunakan.

4.1.6. Analisa Kuantitatif *Speed Transmitter* (482-ST-341)



Gambar 4.11 Grafik *Reliability, Availability, Maintainability Speed Transmitter*

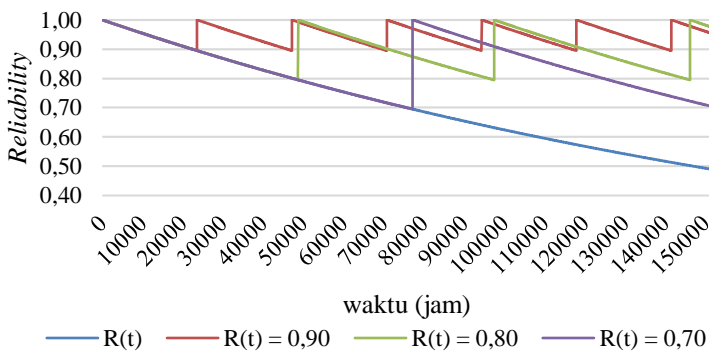
Berdasarkan data pada Tabel 3.1, *speed transmitter* memiliki nilai *failure rate* konstan sebesar $4,71 \times 10^{-6}/hr$ sehingga, dapat dilihat bahwa *speed transmitter* memiliki nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* yang telah dibentuk dalam grafik dicantumkan pada Gambar 4.11.

Gambar 4.11 menunjukkan grafik nilai *Reliability, Availability, Maintainability* terhadap waktu pada *instrument speed transmitter*. Seperti halnya pada *turbo expander*, *speed transmitter* memiliki karakter distribusi eksponensial. Seperti yang telah dirumuskan pada persamaan tercantum pada Sub-bab 2.4.4 dan 2.6.4 nilai *reliability* atau nilai $R(t)$ yang dimiliki pada komponen *speed transmitter* terus menurun terhadap waktu, didapatkan berdasarkan perhitungan persamaan yang tercantum pada Persamaan 2.16. Ketika *time interval* sesuai tercantum pada Tabel 3.2, yaitu 10000 jam, dimana angka tersebut adalah lamanya *speed transmitter* beroperasi, didapatkan nilai *reliability* sebesar $R(t) = 0,95$.

Fungsi *Availability* (ketersediaan komponen) pada *speed transmitter* dapat dihitung dengan Persamaan 2.19, sehingga terlihat pada grafik Gambar 4.11 dengan menggunakan bantuan *secondary axis* agar terlihat perubahan nilai yang kecil terhadap waktu. Adapun nilai *availability* ketika waktu yang tercantum pada *time interval* sesuai dengan data Tabel 3.2 didapatkan sebesar 0.999.

Sedangkan untuk fungsi *maintainability* pada *speed transmitter* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21, yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.11 dimana nilai *maintainability* pada waktu yang sama didapatkan nilai sebesar $M(t) = 1,0$.

Dari ketiga nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* didapatkan bahwa *speed transmitter*, nilai *reliability* yang menurun seiring komponen beroperasi serta nilai *maintainability* menunjukkan kemungkinan yang dimiliki komponen untuk mengembalikan fungsinya kepada kondisi awal cukup tinggi. Maka dibuatlah upaya tindak pencegahan agar keandalan komponen terjaga, yaitu *preventive maintenance*. Berdasarkan nilai *availability* dari *speed transmitter* yang tinggi, sehingga kemungkinannya komponen tidak rusak atau menurunnya performansi ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan. Sehingga didapatkan performansi *speed transmitter* ketika diberi tindakan *preventive maintenance* dapat dilihat pada grafik Gambar 4.12.

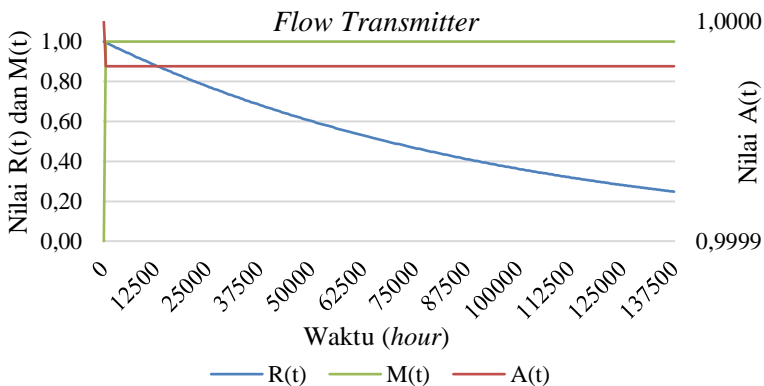


Gambar 4.12 Grafik *Preventive Maintenance Speed Transmitter*

Grafik Gambar 4.12 terlihat bahwa grafik keandalan atau $R(t)$ tampak cenderung linear terhadap waktu, hal tersebut dikarenakan nilai *failure rate* yang cenderung rendah, sehingga *trend* kurang terlihat *reliability* memiliki distribusi eksponensial. Setelah diberi tindakan *preventive maintenance*, adapun pada *reliability* 0,90, penjadwalan *maintenance* atau *time interval* yang dibutuhkan agar komponen dapat memiliki nilai keandalan meningkat setelah 23550 jam operasi atau setara dengan 981 hari. Sedangkan jika diberi maksimum penurunan *reliability* pada 0,80 diperlukan *interval maintenance* setelah 48700 jam operasi, setara 2029 hari dan *reliability* pada 0,70 diberi tindakan *preventive* setelah 77200 jam operasi atau 3217 hari. Sehingga berdasarkan *trend* pada Grafik 4.12 didapatkan performansi dari komponen *speed transmitter* dapat meningkat seperti dalam keadaan awal komponen digunakan ketika diberi *preventive maintenance*.

4.1.7. Analisa Kuantitatif *Flow Transmitter* (482-FT-339)

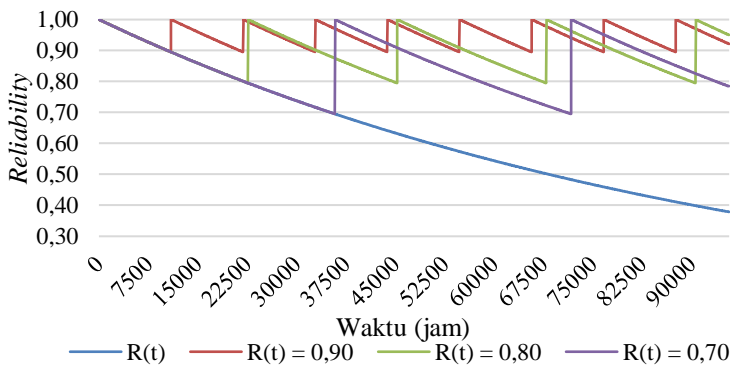
Komponen *flow transmitter* memiliki nilai *failure rate* konstan sebesar $1,02 \times 10^{-5}/hr$ yang konstan, dimana dimodelkan dalam berdistribusi eksponensial, seperti halnya pada *turbo expander*. Sehingga berdasarkan data yang ada, dapat dilihat bahwa *flow transmitter* memiliki nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* pada Gambar 4.13 .



Gambar 4.13 Grafik *Reliability, Availability, Maintainability* *Flow transmitter*

Gambar 4.13 menunjukkan grafik nilai *Reliability*, *Availability*, *Maintainability* terhadap waktu pada *instrument flow transmitter*. Seperti yang telah dirumuskan pada persamaan tercantum pada Sub-bab 2.4.4 dan 2.6.4 nilai *reliability* atau $R(t)$ yang dimiliki pada komponen *flow transmitter* terus menurun terhadap waktu, menggunakan persamaan yang tercantum pada Persamaan 2.16 ketika *time interval* sesuai tercantum pada Tabel 3.2, yaitu 4550 jam, didapatkan nilai *reliability* sebesar $R(t)=0,95$.

Nilai *availability* (ketersediaan komponen) pada *flow transmitter* dapat dihitung dengan Persamaan 2.19, sehingga terlihat pada grafik Gambar 4.13 dengan menggunakan bantuan *secondary axis* agar terlihat perubahan nilai yang kecil terhadap waktu. Didapatkan nilai *availability* $A(t)=0,999$. Sedangkan untuk fungsi *maintainability* pada *flow transmitter* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21, yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.13 dimana nilai *maintainability* pada waktu yang sama didapatkan nilai sebesar $M(t) = 1,0$. Sedangkan nilai *maintainability* menunjukkan kemungkinan yang dimiliki komponen untuk mengembalikan fungsinya kepada kondisi awal cukup tinggi.. Nilai *availability* yang tinggi memungkinkan komponen tidak rusak ketika *maintenance* diberikan. Sehingga pada penelitian ini dibuatlah *preventive maintenance* sebagai tindak perawatan untuk mengembalikan performansi *flow transmitter* yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.14.

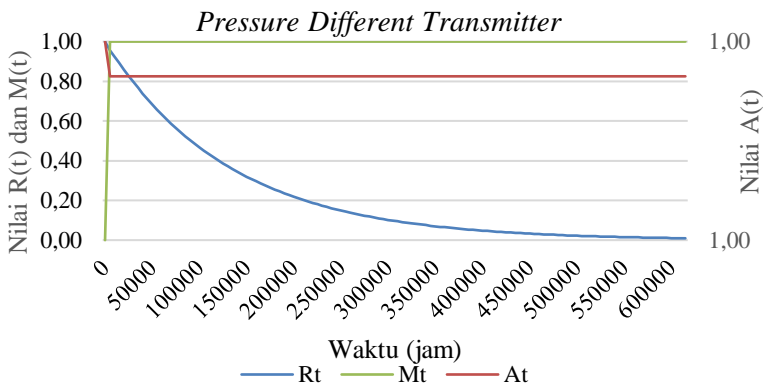


Gambar 4.14 Grafik *Preventive Maintenance Flow Transmitter*

Sama halnya seperti *trend* grafik pada *turbo expander*. Pada grafik Gambar 4.14 terlihat bahwa grafik keandalan tampak kurang terlihat *reliability* memiliki distribusi eksponensial, hal tersebut dikarenakan nilai *failure rate* yang cenderung rendah. Setelah diberi tindakan *preventive maintenance*, pada *reliability* 0,90, penjadwalan *maintenance* yang dibutuhkan agar komponen dapat memiliki nilai keandalan meningkat setelah 10900 jam operasi atau setara dengan 454 hari. Sedangkan jika diberi *reliability* pada 0,80 dan 0,70 berturut-turut diperlukan *interval maintenance* setelah 22600 dan 35800 jam operasi, atau setara dengan 942 dan 1492 hari berturut-turut. Sehingga berdasarkan *trend* pada Grafik 4.14 didapatkan jika komponen *flow transmitter* diberi tindakan perawatan berupa *preventive maintenance*, maka performansinya dapat meningkat seperti dalam keadaan awal komponen digunakan.

4.1.8. Analisa Kuantitatif *Pressure Different Transmitter* (482-PDT-332)

Nilai *failure rate* dari *pressure different transmitter* (PDT), yang tercantum pada Tabel 3.1 memiliki nilai konstan sebesar $7,61 \times 10^{-6}/hr$. Sehingga dapat dilihat bahwa PDT memiliki nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* yang telah dibentuk dalam grafik dicantumkan pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 Grafik *Reliability, Availability, Maintainability Pressure Different Transmitter*

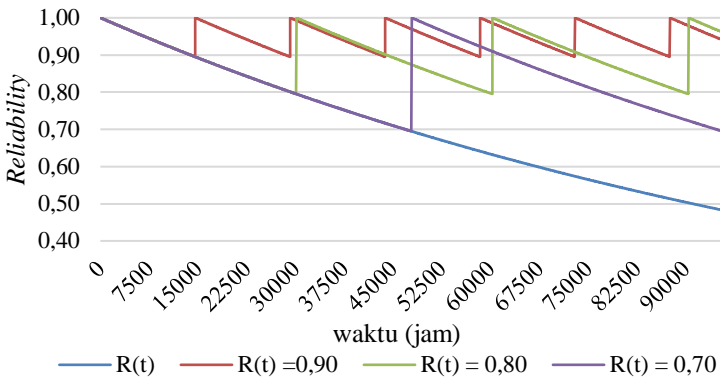
Gambar 4.15 menunjukkan grafik nilai *Reliability*, *Availability*, dan *Maintainability* terhadap waktu pada *instrument pressure different transmitter*. Tercantum pada Sub-bab 2.4.4 dan 2.6.4 persamaan nilai *reliability* atau nilai $R(t)$ yang dimiliki pada komponen *pressure different transmitter* terus menurun terhadap waktu, berdasarkan Gambar 4.15 terlihat keandalan (*reliability*) instrument PDT mengalami penurunan drastis, yang dimana jika dilihat pada waktu ke-90000 jam *reliability* komponen sebesar 0,50 diperlukan maintenance untuk meningkatkan *reliability*.

Didapatkan berdasarkan perhitungan persamaan yang tercantum pada Persamaan 2.16. Ketika *time interval* sesuai tercantum pada Tabel 3.2, yaitu 6100 jam, dimana angka tersebut adalah lamanya *pressure different transmitter* beroperasi, didapatkan nilai *reliability* sebesar 0,95.

Fungsi *Availability* (ketersediaan komponen) pada *pressure different transmitter* dapat dihitung dengan Persamaan 2.19, sehingga terlihat pada grafik Gambar 4.15 dengan menggunakan bantuan *secondary axis* agar terlihat perubahan nilai yang kecil terhadap waktu. Adapun nilai *availability* ketika waktu yang tercantum pada *time interval* sesuai dengan data Tabel 3.2 didapatkan sebesar $A(t) = 0,999$.

Sedangkan untuk fungsi *maintainability* pada *pressure different transmitter* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21, yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.15 dimana nilai *maintainability* pada waktu yang sama didapatkan nilai sebesar $M(t) = 1,0$.

Ketiga nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* berkaitan dalam menentukan apakah komponen perlu diberi tindakan *maintenance* atau tidak. Didapatkan nilai *reliability* yang menurun seiring komponen beroperasi dan nilai *maintainability* yang tinggi menunjukkan memungkinkan untuk komponen mengembalikan fungsinya kepada kondisi awal. Serta nilai *availability* dari *pressure different transmitter* yang tinggi memungkinkan komponen tidak rusak ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan. Adapun performansi *pressure different transmitter* ketika diberi tindakan *preventive maintenance* untuk mengembalikan keandalan komponen dapat dilihat pada grafik Gambar 4.16.

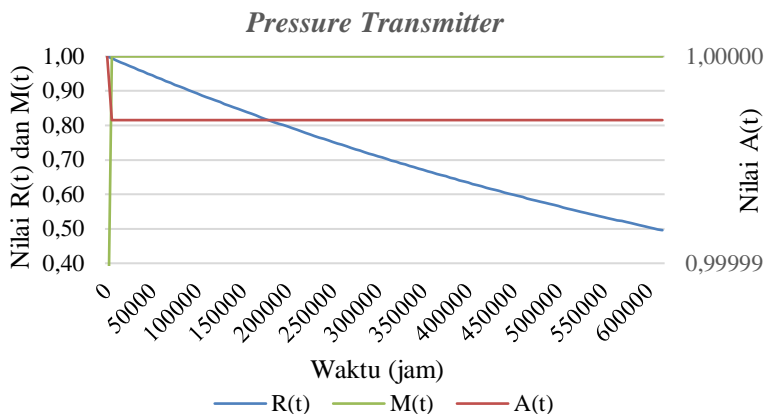


Gambar 4.16 Grafik *Preventive Maintenance* PDT

Grafik pada Gambar 4.16 menunjukkan bahwa grafik keandalan atau $R(t)$ cenderung linear terhadap waktu, hal tersebut dikarenakan nilai *failure rate* yang cenderung rendah, sehingga *trend* kurang terlihat *reliability* memiliki distribusi eksponensial. Setelah diberi tindakan *preventive maintenance*, adapun pada *reliability* 0,90, penjadwalan *maintenance* atau *time interval* yang dibutuhkan komponen adalah 14550 jam operasi atau setara dengan 606 hari. Sedangkan jika diberi maksimum penurunan *reliability* pada 0,80 dan 0,70 berturut-turut diperlukan *interval maintenance* setelah 30100 jam operasi dan 47800 jam. Sehingga berdasarkan *trend* pada Grafik 4.16 didapatkan jika komponen *pressure different transmitter* diberi tindakan perawatan berupa *preventive maintenance*, maka performansinya dapat meningkat seperti dalam keadaan awal komponen digunakan.

4.1.9. Analisa Kuantitatif *Pressure Transmitter* (482-PT-331, 336, 339)

Nilai *failure rate* dari komponen *pressure transmitter* konstan sebesar $1,14 \times 10^{-6}/hr$. Sehingga berdasarkan nilai *failure rate* dan *time interval* yang ada, dapat dilihat bahwa *pressure transmitter* memiliki nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* yang telah dibentuk dalam grafik dicantumkan pada Gambar 4.17 berikut.



Gambar 4.17 Grafik *Reliability, Availability, Maintainability Pressure Transmitter*

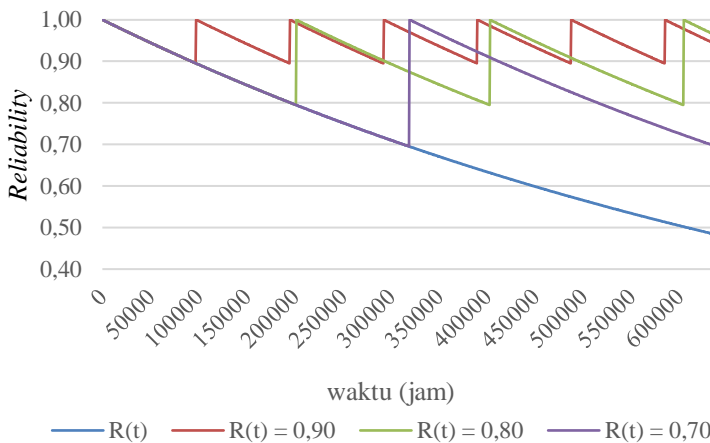
Gambar 4.17 menunjukkan grafik nilai *Reliability, Availability, Maintainability* terhadap waktu pada *instrument pressure transmitter*. Seperti yang telah dirumuskan pada persamaan tercantum pada Sub-bab 2.4.4 dan 2.6.4 nilai *reliability* atau nilai $R(t)$ yang dimiliki pada komponen *pressure transmitter* terus menurun terhadap waktu. Didapatkan berdasarkan perhitungan persamaan yang tercantum pada Persamaan 2.16. Ketika *time interval* sesuai tercantum pada Tabel 3.2, yaitu 40500 jam, dimana angka tersebut adalah lamanya *pressure transmitter* beroperasi, didapatkan nilai *reliability* sebesar $R(t) = 0,95$.

Fungsi *Availability* (ketersediaan komponen) pada *pressure transmitter* dapat dihitung dengan Persamaan 2.19, dimana pada grafik *availability* menggunakan *secondary axis* pada Gambar 4.17 agar terlihat *trend* nya yang cenderung kecil perubahan nilainya, sehingga terlihat pada grafik Gambar 4.17. Adapun nilai *availability* ketika waktu yang tercantum pada *time interval* sesuai dengan data Tabel 3.2 didapatkan sebesar $A(t) = 0.999$.

Sedangkan untuk fungsi *maintainability* pada *pressure transmitter* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21, yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.17 dimana nilai *maintainability* pada waktu yang sama didapatkan nilai sebesar $M(t) = 1,0$.

Nilai *maintainability* menunjukkan kemungkinan komponen untuk mengembalikan fungsinya kepada kondisi awal cukup tinggi dan nilai *availability* dari *pressure transmitter* yang tinggi, memungkinkan komponen tidak rusak atau menurunnya performansi ketika perawatan dilakukan, pada penelitian ini *preventive maintenance* diberikan untuk mengembalikan nilai fungsi sistem. Adapun performansi *pressure transmitter* ketika diberi tindakan *preventive maintenance* dapat dilihat pada grafik Gambar 4.18.

Gambar 4.18 terlihat bahwa *trend* grafik pada nilai *reliability pressure transmitter* cenderung linear terhadap waktu. Hal tersebut dikarenakan nilai *failure rate* yang cenderung rendah hingga grafik kurang terlihat memiliki distribusi eksponensial. Namun pada grafik terlihat ketika *pressure transmitter* diberikan tindakan *preventive maintenance*, maka performansi komponen meningkat seperti keadaan awal komponen digunakan.



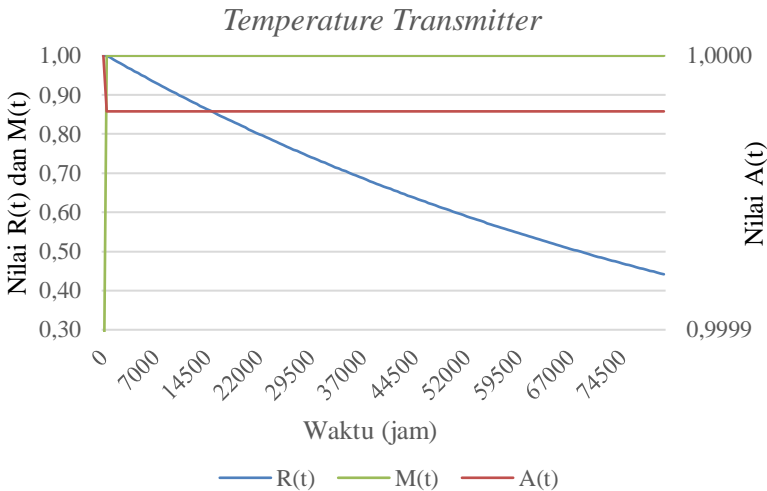
Gambar 4.18 Grafik *Preventive Maintenance Pressure Transmitter*

Setelah diberi tindakan *preventive maintenance*, adapun pada maksimum *reliability* 0.90, penjadwalan *maintenance* atau *time interval* yang dibutuhkan agar komponen dapat memiliki nilai keandalan meningkat setelah 97000 jam operasi atau setara dengan

4042 hari. Sedangkan jika diberi maksimum penurunan *reliability* pada 0,80 diperlukan *interval maintenance* setelah 201000 jam operasi, setara 8375 hari dan *reliability* pada 0,70 diberi tindakan *preventive* setelah 319000 jam operasi.

4.1.10. Analisa Kuantitatif *Temperature Transmitter* (482-TT-334, 356)

Tabel 3.1 memberikan data nilai *failure rate* dari komponen, yang menjelaskan bahwa *temperature transmitter* memiliki nilai *failure rate* sebesar $9,37 \times 10^{-6}/hr$ berartikan komponen memiliki *failure rate* yang konstan, dimana dimodelkan dalam berdistribusi eksponensial, seperti halnya pada *turbo expander*. Sehingga berdasarkan nilai *failure rate* dan *time interval* yang ada, dapat dilihat bahwa *temperature transmitter* memiliki nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* yang telah dibentuk dalam grafik dicantumkan pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Grafik *Reliability, Availability, Maintainability Temperature Transmitter*

Gambar 4.19 menunjukkan grafik nilai *Reliability, Availability, Maintainability* terhadap waktu pada *instrument*

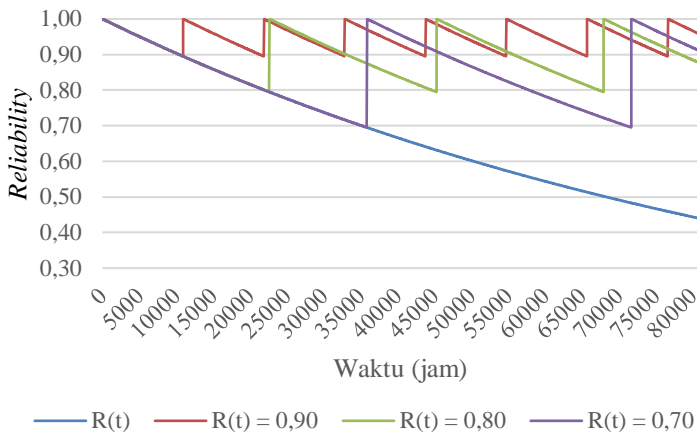
temperature transmitter. Seperti halnya pada *turbo expander*, *temperature transmitter* memiliki karakter distribusi eksponensial. Seperti yang telah dirumuskan pada persamaan tercantum pada Sub-bab 2.4.4 dan 2.6.4 nilai *reliability* atau nilai $R(t)$ yang dimiliki pada komponen *temperature transmitter* terus menurun terhadap waktu, namun *plot* grafik nampak kurang terlihat grafik eksponensial dikarenakan parameter *failure rate* yang dimiliki oleh *temperature transmitter* adalah rendah.

Didapatkan berdasarkan perhitungan persamaan yang tercantum pada Persamaan 2.16. Ketika *time interval* sesuai tercantum pada Tabel 3.2, yaitu 4550 jam, dimana angka tersebut adalah lamanya *temperature transmitter* beroperasi, didapatkan nilai *reliability* sebesar 0,95.

Fungsi *Availability* (ketersediaan komponen) pada *temperature transmitter* dapat dihitung dengan Persamaan 2.19, dimana pada grafik *availability* menggunakan *secondary axis* pada Gambar 4.19 agar terlihat *trend* nya yang cenderung kecil perubahan nilainya, mendekati angka 1,00. Adapun nilai *availability* ketika waktu yang tercantum pada *time interval* sesuai dengan data Tabel 3.2 didapatkan sebesar $A(t) = 0,999$.

Adapun untuk fungsi *maintainability* pada *temperature transmitter* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21, dimana nilai *maintainability* pada waktu yang sama didapatkan nilai sebesar 1,0.

Dari ketiga nilai *reliability*, *availability*, dan *maintainability* didapatkan bahwa *temperature transmitter*, nilai *reliability* yang menurun seiring komponen beroperasi serta nilai *maintainability* menunjukkan kemungkinan yang dimiliki komponen untuk mengembalikan fungsinya kepada kondisi awal cukup tinggi. Maka dibuatlah upaya tindak pencegahan agar keandalan komponen terjaga, yaitu *preventive maintenance*. Berdasarkan nilai *availability* dari *temperature transmitter* yang tinggi, sehingga kemungkinannya komponen tidak rusak atau menurunnya performansi ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan. Adapun uji performansi *temperature transmitter* ketika diberi tindakan *preventive maintenance* sebagai tindakan pencegahan untuk mengembalikan keandalannya dapat dilihat pada grafik Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Grafik *Preventive Maintenance Temperature Transmitter*

Adapun pada grafik Gambar 4.20 terlihat bahwa grafik keandalan atau $R(t)$ tampak cenderung linear terhadap waktu, hal tersebut dikarenakan nilai *failure rate* yang cenderung rendah, sehingga *trend* kurang terlihat *reliability* memiliki distribusi eksponensial. Setelah diberi tindakan *preventive maintenance*, adapun pada maksimum *reliability* 0,90, penjadwalan *maintenance* setelah 10900 jam operasi atau setara dengan 454 hari. Sedangkan jika diberi *reliability* pada 0,80 dan 0,70 berturut-turut diperlukan *interval maintenance* setelah 22600 dan 35800 jam operasi. Sehingga berdasarkan *trend* pada Grafik 4.20 didapatkan jika komponen *temperature transmitter* diberi tindakan perawatan berupa *preventive maintenance*, maka performansinya dapat meningkat seperti dalam keadaan awal komponen digunakan.

4.2. Analisa Data Secara Kualitatif

4.2.1. Analisa Kualitatif *Turbo Expander (482-C-01)*

Pada Unit *Turbo Expander* terdapat komponen *turbo expander* 482-C-01. *Komponen ini* berfungsi untuk mengekspansi tekanan dari umpan keluaran *process gas* yang berasal dari *Cold Separator*. Proses ekspansi ini bertujuan untuk menurunkan

tekanan dari *process gas* dari tekanan sekitar 62barg menjadi 22barg. *Function failure* pada komponen *turbo expander* adalah tidak dapat bekerja secara fungsinya yaitu tidak dapat menurunkan tekanan dari *process gas*. Tabel penyebab kegagalan komponen *turbo expander* 482-C-01 dapat dilihat pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Mode dan Penyebab Kegagalan komponen *Turbo expander*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	<i>Instrument (pressure), Internal power supply, Cabling and Junction Box</i>	<i>Electrical failure, Faulty signal/ indication/ alarm, No signal/ indication/ alarm</i>	<i>output of temperature isn't as expected, reduce performance</i>
<i>Structural Deficiency (STD)</i>	<i>Body/shell Piping</i>	<i>Corrosion, vibration, fatigue</i>	<i>Leakage due to corrosion in body, performance degradation</i>
<i>External Leakage (ELP)</i>	<i>Instrument (pressure), Piping, Valves</i>	<i>Cavitation, Corosion, unsuitable material selection</i>	<i>Risk of accident, Fire, environmental pollution</i>
<i>Chocked/ Plugged (PLU)</i>	<i>Instrument (pressure) Piping Valves</i>	<i>Blockage/ plugged Sticking</i>	<i>Damage to equipment, risk of accident, pipeline explosion</i>
<i>Over heating (OHE)</i>	<i>Instrument (Temperature)</i>	<i>Faulty Signal/Indication/ Alarm Instrument Failure No Signal/Indication/ alarm</i>	<i>high pressure and high temperature, damage to equipment</i>

Ketika terjadi kegagalan pada komponen *turbo expander* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi operasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi, berdasarkan kegagalan yang telah dijelaskan pada Tabel 4.1 *Consequenses evaluation* dan *proposed task* pada komponen *Turbo expander* dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.2 Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Turbo expander*

FM	Consequence Evaluation				Proactive task [H S O N]			Default Action			Proactive Maintenance
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H4	H5	S4	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	<i>On-condition Task</i>
ELP	Y	N	N	Y	N	Y	N	Y	N	N	<i>On-condition task</i>
PLU	Y	Y	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	<i>Restoration task</i>
OHE	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	N	N	<i>On-condition Task</i>
STD	Y	N	N	Y	N	Y	N	Y	N	N	<i>On-condition Task</i>

4.2.2. Analisa Kualitatif *Recompressor* (482-C-02)

Terdapat komponen *recompressor* 482-C-02 pada unit *turbo expander*. *Komponen ini* berfungsi untuk mengambil energi dari *expander* untuk memampatkan gas residu. *Function failure* pada komponen *compressor* adalah tidak dapat bekerja secara fungsinya yaitu tidak dapat memampatkan gas residu yang masuk dari *Inlet Gas Exchanger*. Tabel penyebab kegagalan komponen *recompressor* 482-C-02 dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Mode dan Penyebab Kegagalan komponen *Recompressor*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	<i>Instrument (pressure), Internal power supply, Cabling and Junction Box</i>	<i>output of temperature isn't as expected, reduce performance</i>	<i>Electrical failure, Faulty signal/ indication/ alarm,</i>
<i>Structural Deficiency (STD)</i>	<i>Body/shell Piping</i>	<i>Leakage due to corrosion in body, performance degradation</i>	<i>Corrosion, vibration, fatigue</i>
<i>External Leakage (ELP)</i>	<i>Instrument (pressure), Piping, Valves</i>	<i>Risk of accident, Fire, environmental pollution</i>	<i>Cavitation, Corosion, unsuitable material selection</i>
<i>Chocked/ Plugged (PLU)</i>	<i>Instrument (pressure) Piping Valves</i>	<i>Damage to equipment, risk of accident, pipeline explosion</i>	<i>Blockage/ plugged Sticking</i>

Ketika terjadi kegagalan pada komponen *recompressor* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi operasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi, berdasarkan kegagalan yang telah dijelaskan pada Tabel 4.3. *Consequences evaluation* dan *proposed task* pada komponen *Compressor* dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Recompressor*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>proactive Task</i> [H S O N]			<i>Default Action</i>			<i>Proactive Maintenance</i>
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>On-condition Task</i>
ELP	Y	Y	N	N	N	Y	N	-	-	-	<i>On- condition task</i>
STD	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>On- condition task</i>
PLU	Y	Y	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	<i>Restoration Task</i>

4.2.3. Analisa Kualitatif *Shutdown valve* (482-SDV-350, 351, 352, 354)

Shutdown valve berfungsi sebagai pengaman apabila terjadi kegagalan sistem akibat kelebihan/penyimpangan. *Function failure* dari komponen ini adalah tidak berhasilnya *valve* dalam mengamankan sistem, baik *level*, tekanan maupun temperatur. Terdapat beberapa *failure mode* yang dapat mempengaruhi *function failure* pada komponen ini. *Failure mode* dan *function failure* dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan 4.6 berikut.

Tabel 4.5 Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada *Shutdown Valve*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Leakage in closed position (LCP)</i>	<i>Fail to close On demand</i>	<i>Pilot valve; Stem; Valve body w/internal; Packing</i>	<i>Blockage/plugged, Instrument Failure-General, Mechanical Failure, sticking</i>

Tabel 4.6 Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada *Shutdown Valve* (Lanjutan)

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Leakage in closed position</i>	<i>Cables & Junction Boxes; Instrument General; Instrument Position</i>	<i>Blockage/Plugged; Breakege; Corrosion; Instrument failure; Mechanical failure; Misc.external influence; Open circuit; Open of adjustment; & Short circuiting</i>
<i>Failed to close on demand (FTC)</i>	<i>Delayed operation</i>	<i>Pilot valve</i>	<i>Blockage/plugged, Instrument Failure- General, Mechanical Failure</i>
<i>Delayed operation (DOP)</i>	<i>Leakage in closed position</i>	<i>Air supply</i>	<i>Low air supply</i>
<i>Structural deficiency (STD)</i>	<i>Failed to close on demand</i>	<i>Bonnet</i>	<i>Corrosion; Misc. External influence</i>

Ketika terjadi kegagalan pada komponen SDV maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi operasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi, berdasarkan kegagalan yang telah dijelaskan pada Tabel 4.5 dan 4.6. *Consequenses evaluation* dan *proposed task* pada komponen SDV dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Shutdown valve*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>proactive Task</i> [H S O N]			<i>Default Action</i>			<i>Proactive Maintenance</i>
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>restoration task</i>
LCP	N	N	N	N	N	N	N	Y	-	-	<i>on- condition task</i>
FTC	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>on- condition task</i>
DOP	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>on- condition task</i>
STD	N	N	N	N	N	N	N	Y	-	-	<i>restoration task</i>

4.2.4. Analisa Kualitatif *Control Valve* (482-PV-344 dan 482-FV-339)

Control Valve pada unit *turbo expander* berfungsi sebagai komponen pengaman tambahan untuk membuang gas berlebih, dimana *Control valve* digunakan sebagai *control valve* yang mengatur tekanan dan aliran fluida pada unit *turboexpander*. *Function failure* dari komponen ini adalah tidak berhasilnya *valve* dalam mengamankan *flow* dan *pressure* fluida sistem.

Terdapat beberapa *failure mode* yang dapat mempengaruhi *function failure* pada komponen ini. *Failure mode* dan *function failure* dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada *Control Valve*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Delayed Operation (DOP)</i>	<i>Leakage in closed position</i>	<i>Air supply</i>	<i>Low air supply</i>
<i>Failed to open on demand (FTO)</i>	<i>tend to explode on the vessel</i>	<i>Spring; Feedback relay</i>	<i>Corrosion; Aging</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Leakage in closed position</i>	<i>Cables & Junction Boxes; Instrument General; Instrument Position</i>	<i>Blockage/Plugged; Breakege; Corrosion; Instrument failure; Mechanical failure; Misc.external influence; Open circuit; Open of adjustment; & Short circuiting</i>
<i>Leakage in closed position (LCP)</i>	<i>Fail to close On demand</i>	<i>Pilot valve; Stem; Valve body w/internal; Packing</i>	<i>Blockage/plugged, Instrument Failure-General, Mechanical Failure, sticking</i>

Ketika terjadi kegagalan pada komponen *Control Valve* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat

mempengaruhi operasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi, berdasarkan kegagalan yang telah dijelaskan pada Tabel 4.8. *Consequences evaluation* dan *proposed task* pada komponen *Control Valve* dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut

Tabel 4.9 Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Control Valve*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>proactive Task</i> [H S O N]			<i>Default Action</i>			<i>Proactive Maintenance</i>
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>restoration task</i>
LCP	N	N	N	N	N	N	N	Y	-	-	<i>on- condition task</i>
FTO	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>on- condition task</i>
DOP	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>on- condition task</i>

4.2.5. Analisa Kualitatif *Temperature Transmitter* (482-TT-334, 356)

Temperature Transmitter pada unit *turbo expander* berfungsi sebagai alat ukur temperatur. *Function failure* dari komponen ini adalah gagal komponen untuk mengukur/mengindikasikan temperature. Terdapat beberapa *failure mode* yang dapat mempengaruhi *function failure* pada komponen ini. *Failure mode* dan *function failure* dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan 4.11

Tabel 4.10 Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada *Temperature Transmitter*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Bimetal temperature sensor</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Instrument drift</i>

Tabel 4.11 Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada *Temperature Transmitter* (Lanjutan)

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Structural deviation (STD)</i>	<i>Thermowell</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Erosion; Corroton and incompability with system condition</i>

Ketika terjadi kegagalan pada komponen *Temperature Transmitter* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi operasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi, berdasarkan kegagalan yang telah dijelaskan pada Tabel 4.10 dan 4.11. *Consequenses evaluation* dan *proposed task* pada komponen *Temperature Transmitter* dapat dilihat pada tabel 4.12

Tabel 4.12 Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Temperature Transmitter*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>proactive Task [H S O N]</i>			<i>Default Action</i>			<i>Proactive Maintenance</i>
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>on- condition task</i>
STD	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>on- condition task</i>

4.2.6. Analisa Kualitatif *Pressure Transmitter* (482-PT-331, 336, 339)

Pressure Transmitter pada unit *turbo expander* berfungsi sebagai alat ukur tekanan. *Function failure* dari komponen ini adalah gagal komponen untuk mengukur/mengindikasikan tekanan. Terdapat beberapa *failure mode* yang dapat mempengaruhi *function failure* pada komponen ini. *Failure mode* dan *function failure* dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada *Pressure Transmitter*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Metal diaphragm</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Instrument drift</i>

Ketika terjadi kegagalan pada komponen *Pressure Transmitter* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi operasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi, berdasarkan kegagalan yang telah dijelaskan pada Tabel 4.13. *Consequences evaluation* dan *proposed task* pada komponen *Pressure Transmitter* dapat dilihat pada tabel 4.14:

Tabel 4.14 Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Pressure Transmitter*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>proactive Task [H S O N]</i>			<i>Default Action</i>			<i>Proactive Maintenance</i>
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>on- condition task</i>

4.2.7. Analisa Kualitatif *Pressure Different Transmitter* (482-PDT 332)

Pressure Different Transmitter pada unit *turbo expander* berfungsi sebagai alat ukur perbedaan tekanan pada *pipe line* yang menuju *compressor*. *Function failure* dari komponen ini adalah gagal komponen untuk mengukur/mengindikasikan perbedaan tekanan pada *node* di *pipe line*. Terdapat beberapa *failure mode* yang dapat mempengaruhi *function failure* pada komponen ini. *Failure mode* dan *function failure* dapat dilihat pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada *Pressure Different Transmitter*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Metal diaphragm</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Instrument drift</i>

Ketika terjadi kegagalan pada komponen *Pressure Transmitter* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi operasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi, berdasarkan kegagalan yang telah dijelaskan pada Tabel 4.15. *Consequenses evaluation* dan *proposed task* pada komponen *Pressure Different Transmitter* dapat dilihat pada tabel 4.16

Tabel 4.16 Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Pressure Different Transmitter*

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [H S O N]			Default Action			Proactive Maintenance
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H4	H5	S4	
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	on- condition task

4.2.8. Analisa Kualitatif *Speed Transmitter* (482-ST 341)

Speed Transmitter pada unit *turbo expander* berfungsi sebagai alat ukur kecepatan rotasi putar *shaft* yang menghubungkan antara *compressor* dan *recompressor*. *Function failure* dari komponen ini adalah gagal komponen untuk mengukur/mengindikasikan kecepatan *shaft*. Terdapat beberapa *failure mode* yang dapat mempengaruhi *function failure* pada komponen ini. *Failure mode* dan *function failure* dapat dilihat pada Tabel 4.17

Tabel 4.17 Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada *Speed Transmitter*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Shaft speed sensor</i>	<i>Reduce operation of the entire transmission</i>	<i>Instrument drift</i>

Ketika terjadi kegagalan pada komponen *Speed Transmitter* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi operasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi, berdasarkan kegagalan yang telah dijelaskan pada Tabel 4.17. *Consequenses evaluation* dan *proposed task* pada komponen *Speed Transmitter* dapat dilihat pada tabel 4.18

Tabel 4.18 Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Speed Transmitter*

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [H S O N]			Default Action			Proactive Maintenance
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	discard task

4.2.9. Analisa Kualitatif *Flow Transmitter* (482-FT 339)

Flow Transmitter pada unit *turbo expander* berfungsi sebagai alat ukur kecepatan rotasi putar *shaft* yang menghubungkan antara *compressor* dan *recompressor*. *Function failure* dari komponen ini adalah gagal komponen untuk mengukur/mengindikasikan kecepatan *shaft*. Terdapat beberapa *failure mode* yang dapat mempengaruhi *function failure* pada komponen ini. *Failure mode* dan *function failure* dapat dilihat pada Tabel 4.19

Tabel 4.19 Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen pada *Flow Transmitter*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Orifice plates</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Instrument drift</i>

Ketika terjadi kegagalan pada komponen *Flow Transmitter* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi operasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan

langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi, berdasarkan kegagalan yang telah dijelaskan pada Tabel 4.19. *Consequenses evaluation* dan *proposed task* pada komponen *Flow Transmitter* dapat dilihat pada tabel 4.20

Tabel 4.20 Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Flow Transmitter*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>proactive Task</i> [H S O N]			<i>Default Action</i>			<i>Proactive Maintenance</i>
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>on- condition task</i>

4.3. Maintenance Cost

Perhitungan *maintenance cost* merupakan perhitungan *operational cost* menggunakan persamaan pada BAB 2 dan 3. Perhitungan ini dilakukan pada tiap instrumen kemudian dijumlahkan menjadi *maintenance cost* keseluruhan sistem. Sesuai lingkup dari penelitian dimana menilai dari segi instrumen komponen, sehingga hasil perhitungan *maintenance cost* tiap instrumen dari unit *turbo expander* dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan 4.22 berikut. Adapun pada perhitungan *preventive cost* yang didapatkan dari data sebelum dioptimisasi yaitu :

$$\begin{aligned} \text{UMR pekerja gresik} &= \text{IDR}3.867.874,40 [17] \\ &= \text{USD } 271,69 \end{aligned}$$

$$\text{Jam kerja selama 1 bulan} = 176 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya pekerja per jam} &= \text{USD } 271,69 \div 176 \text{ jam} \\ &= \text{USD } 1.54 \text{ /jam} \end{aligned}$$

Tabel 4.21 Nilai *Maintenace Cost* sebelum dioptimisasi dalam kurun waktu lima (5) tahun

<i>Instrument</i>	C_{PM}	C_T
482-SDV-350	USD 251,52	USD 0,04800
482-SDV-351	USD 251,52	USD 0,04800
482-SDV-352	USD 251,52	USD 0,04800
482-SDV-354	USD 251,52	USD 0,04800

Tabel 4.22 Nilai *Maintenace Cost* sebelum dioptimisasi dalam kurun waktu lima (5) tahun (Lanjutan)

<i>Instrument</i>	C_{PM}	C_T
482-PV-344	USD 167,34	USD 0,03000
482-FV-339	USD 167,34	USD 0,03000
482-ST-341	USD 127,79	USD 0,00850
482-PDT-332	USD 76,48	USD 0,01393
482-PT-331	USD 13,52	USD 0,00210
482-PT-339	USD 13,52	USD 0,00210
482-PT-336	USD 13,52	USD 0,00210
482-TT-334	USD 89,16	USD 0,01868
482-TT-356	USD 89,16	USD 0,01868
482-FT-339	USD 89,16	USD 0,01868
Total	USD 1.853,10	USD 0,34

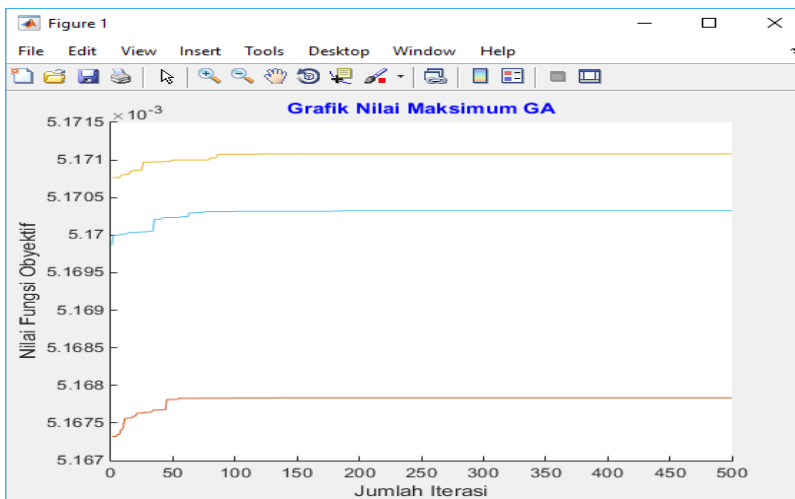
Setelah mendapatkan nilai C_{pm} sesuai dengan parameter persamaan yang telah dicantumkan pada Tabel 3.5, maka perhitungan biaya *preventive maintenance* dapat dihitung. Sebelum menuju optimisasi biaya, terlebih dahulu biaya dihitung berdasarkan data yang didapat serta perhitungan melalui persamaan yang ada. Seperti yang tercantum pada Tabel 4.21 dan 4.22. Adapun total biaya *maintenance* yang dikeluarkan untuk unit *turbo expander*, dihitung berdasarkan persamaan tercantum pada Persamaan 3.1, dan didapatkan nilai sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 C_{OP} &= C_{PM} + C_T \\
 &= \text{USD } (1.853,10 + 0,34) \\
 C_{OP} &= \text{USD } 1.853,44
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat *maintenance cost* pada unit *turbo expander* sebelum dioptimisasi, atau *maintenance cost* aktual berdasarkan data perhitungan, adalah sebesar USD 1.853,44 dalam kurun waktu 5 tahun.

Optimisasi *maintenance cost* direpresentasikan melalui perhitungan nilai *corrective maintenance* (C_{CM}), *preventive maintenance* (C_{PM}) dan *cost test* (C_T) seperti yang tercantum pada Subbab 2.8. Adapun variabel yang dioptimisasi merupakan nilai

time interval (T_1) yang merupakan variabel yang dihitung pada rumus *test cost* (C_T). Seperti yang telah dijelaskan pada Sub-bab 3.3, fungsi objektif pada optimisasi ini adalah mencari nilai terendah pada *maintenance cost*, dimana variabel optimisasi yang optimum merupakan nilai *time interval* (T_1) yang maksimum. Optimisasi *time interval* dapat dilakukan dengan menentukan nilai *reliability target* yang paling optimum, ketika nilai *reliability target* yang paling optimum didapatkan maka nilai *time interval* (T_1) paling tinggi dapat diketahui.



Gambar 4.21. Grafik optimisasi GA

Optimisasi *reliability target* berlaku untuk tiap-tiap instrumen atau komponen, dimana nilai *reliability target* tersebut disepakati untuk mendapat nilai *time interval* (T_1) paling optimum pada tiap instrumen dan komponennya. Optimisasi dilakukan dengan 500 kali iterasi dan batas bawah untuk *reliability target* sebesar 0,95 dan digunakan variasi batas atas untuk *reliability target* sebesar 0,70; 0,80; dan 0,90. Hal tersebut dilakukan karena sampai saat ini belum ada aturan ataupun penelitian yang menyarankan *reliability target* suatu komponen yang tetap. Adapun Gambar 4.21 menunjukkan grafik pencarian nilai optimum *maintenance cost*

pada turbo *expander*. Gambar 4.21 menunjukkan grafik optimisasi GA terdapat 3 grafik yang merupakan nilai optimum dari perlakuan berbeda batas-batas yang diberikan, yaitu variasi minimal *reliability* sebesar 0,70 (grafik paling atas, berwarna kuning); 0,80 (grafik berwarna biru); dan 0,90 (grafik berwarna merah). Dapat dilihat bahwa *maintenance cost* yang dibutuhkan ketika mengoptimumkan *reliability* tinggi berarti juga membutuhkan biaya yang tinggi. Optimisasi *maintenance cost* pada penelitian ini, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bertujuan untuk mendapatkan nilai optimum *time interval* yang dibutuhkan untuk tiap instrumen atau komponen pada unit *turbo expander*. Ditunjukkan pada tabel 4.23 didapatkan *time interval* optimum dari setiap *instrument* pada masing-masing variasi maksimum *reliability target*, dalam satuan jam.

Tabel 4.23 Nilai *Time Interval* yang telah dioptimisasi

<i>Instrument</i>	R=0.7	R=0.8	R=0.9
	<i>T_I (hours)</i>		
<i>Shutdown Valve (482-SDV-350)</i>	15.665	9.060	4.432
<i>Shutdown Valve (482-SDV-351)</i>	15.665	9.060	4.432
<i>Shutdown Valve (482-SDV-352)</i>	15.665	9.060	4.432
<i>Shutdown Valve (482-SDV-354)</i>	15.665	9.060	4.432
<i>Pressure Control Valve (482-PV-344)</i>	14.972	16.999	4.977
<i>Flow Control Valve (482-FV-339)</i>	18.784	8.631	8.183
<i>Speed Transmitter (482-ST-341)</i>	70.451	40.411	22.235
<i>Pressure Different Transmitter (482-PDT-332)</i>	41.457	17.662	10.631
<i>Pressure Transmitter(482-PT-331)</i>	171.395	157.036	89.822
<i>Pressure Transmitter(482-PT-339)</i>	171.395	157.036	89.822
<i>Pressure Transmitter(482-PT-336)</i>	171.395	157.036	89.822
<i>Temperature Transmitter (482-TT-334)</i>	31.430	19.308	8.795
<i>Temperature Transmitter (482-TT-356)</i>	31.430	19.308	8.795
<i>Flow Transmitter (482-FT-339)</i>	34.002	21.094	8.919

Dari nilai *time interval* yang telah dioptimisasi pada Tabel 4.23, maka dapat diketahui *maintenance cost* (C_{OP}) yang paling optimum untuk unit *turbo expander*, dengan perhitungan persamaan sesuai pada Persamaan 2.27 dan 2.28. Tabel 4.24 menunjukkan nilai *maintenance cost* (C_{OP}) yang telah dioptimisasi pada kurun lima tahun.

Tabel 4.24 Biaya Maintenance Sesudah Optimisasi

Instrumen	C_{OP} (R=0.7) (USD/year)	C_{OP} (R=0.8) (USD/year)	C_{OP} R=0.9) (USD/year)
482-SDV-350	42,03	69,42	141,89
482-SDV-351	42,03	69,42	141,89
482-SDV-352	42,03	69,42	141,89
482-SDV-354	42,03	69,42	141,89
482-PV-344	24,19	39,38	134,51
482-FV-339	23,76	77,57	81,82
482-ST-341	27,48	31,62	57,48
482-PDT-332	11,15	26,42	43,89
482-PT-331	5,30	3,49	6,10
482-PT-339	5,30	3,49	6,10
482-PT-336	5,30	3,49	6,10
482-TT-334	22,16	21,02	46,14
482-TT-356	22,16	21,02	46,14
482-FT-339	26,04	19,24	45,50
Total	340,95	524,40	1.041,35

Dari Tabel 4.24 Nilai Total Optimisasi *Maintenance Cost* yang didapatkan perusahaan selama lima tahun adalah sebesar USD 340,95 pada implementasi variasi *Reliability* 0,70 dengan perhitungan yang tercantum pada Persamaan 3.1. Adapun pada implementasi variasi *Reliability* 0,80 dan 0,90 didapatkan hasil nilai *maintenance cost* yang telah optimum sebesar USD 524,40 dan USD 1.041,35 berturut-turut.

Setelah didapatkan harga yang telah dioptimisasikan, maka nilai harga dibandingkan antara yang telah dioptimisasi dan

sebelum dioptimisasi. Perbandingan biaya perawatan dapat dilihat pada Tabel 4.25 berikut. Dimana pada Tabel 4.25 terlihat bahwa *saving* yang akan didapatkan perusahaan akan berbeda dengan adanya variasi *reliability* yang digunakan.

Tabel 4.25 Perbandingan *maintenance cost* sebelum dan setelah di optimisasi

<i>Maintenance Cost</i> (USD)	Aktual	Setelah optimum R=0,7	Setelah optimum R=0,8	Setelah optimum R=0,9
C_{PM}	1,853.10	340,89	524,30	1.041,16
C_T	0,34	0,06	0,10	0,19
C_{OP} Total	1.853,44	340,95	524,40	1.041,35
<i>Saving</i>		82%	72%	44%

4.4. Pembahasan

Berdasarkan hasil optimisasi yang didapatkan pada unit *turbo expander*, dibutuhkan tiga komponen sebagai syarat optimisasi, yaitu perumusan masalah, model yang akan dioptimisasi, dan teknik optimisasi yang digunakan. Model optimisasi adalah *maintenance cost* yang dijabarkan pada Persamaan 2.26 hingga 2.29 dengan parameter-parameter yang telah terlampir pada Tabel 3.5. Perumusan masalah pada optimisasi *maintenance cost* terdiri dari penetapan fungsi objektif, batasan, dan variabel yang akan dioptimisasi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa penelitian ini menggunakan nilai *time interval* T_1 sebagai variabel yang dioptimisasi dengan nilai minimal *reliability* sebesar 0,70; 0,80; dan 0,90 yang dapat diturunkan dari Persamaan 2.1, serta digunakan Persamaan 4.1 sebagai fungsi objektif pada optimisasi biaya perawatan pada penelitian ini. Dari hasil optimisasi, didapatkan bahwa ketika *reliability* minimal berada pada 0,70 atau 70%, *saving* atau penghematan yang akan didapatkan oleh perusahaan sebesar 82%. Sedangkan pada *reliability* minimal berada pada 80% dan 90%, *saving* yang akan didapatkan oleh perusahaan sebesar 72% dan 44% berturut-turut.

Penurunan nilai *saving* ini diperoleh dari semakin tingginya kebutuhan instrumen untuk dirawat seperti halnya yang terlampir pada Tabel 4.27, dimana *time interval* perawatan komponen semakin rendah ketika dibutuhkan minimal *reliability* yang tinggi. Untuk mengoptimisasi nilai C_{CM} agar mendapatkan nilai optimum sesuai dengan Persamaan 2.26 harus diikuti optimisasi *failure rate*, dikarenakan C_{CM} dipengaruhi nilai *failure rate*. Pengoptimisasi nilai *failure rate* berarti merancang sistem baru, sedangkan pada penelitian ini tidak bertujuan untuk merancang ulang sistem.

Nilai *time interval* digunakan untuk menentukan penjadwalan *maintenance*, dimana hal tersebut bertujuan untuk mencegah adanya risiko kemungkinan kegagalan komponen menjalankan fungsinya, tindak pencegahan ini disebut *preventive maintenance*. Diperlukan identifikasi sistem berupa analisa RCM secara kualitatif sebelum menentukan komponen membutuhkan tindakan *preventive maintenance*. Pada analisa RCM secara kualitatif pada unit *turbo expander* bertujuan untuk mendapatkan perawatan yang tepat sesuai dengan kebutuhan dan fungsi dari komponen tersebut, serta mendapatkan hasil bahwa peralatan perlu dirawat atau dibiarkan hingga rusak dan diganti dengan komponen lain. *Preventive maintenance* juga dibutuhkan melihat nilai *availability* dan *maintainability* dari komponen.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Melalui penelitian yang dilakukan pada *turbo expander*, didapatkan kesimpulan sebagai berikut

- a. Berdasarkan data *maintenance* yang didapatkan dari perusahaan, didapatkan nilai *failure rate* setiap komponen yang terdapat pada unit *turbo expander*. Melalui analisa RCM secara kuantitatif, didapatkan nilai keandalan (*reliability*) yang mengalami penurunan terhadap waktu operasi. Adapun *reliability* suatu komponen atau alat dapat meningkat sesuai dengan dilakukan *maintenance* terhadap peralatan
- b. Menentukan perawatan yang tepat sesuai dengan kebutuhan dari komponen dapat dilakukan dengan menganalisa komponen dari segi fungsi hingga mendapat konsekuensi dari kegagalannya. Dimana *Scheduled Discard Task* dilakukan hanya untuk komponen *speed transmitter* yang berada pada *shaft turbo expander*. Sedangkan *Scheduled Restoration Task* dilakukan pada komponen *control valve* dan *turbo expander*, serta komponen lainnya yang berada pada unit *turbo expander* memiliki metode *Scheduled On-condition Task* sebagai strategi perawatannya.
- c. Pengaturan penjadwalan dapat ditentukan dari Analisa kuantitatif yang telah dilakukan terhadap komponen *turbo expander* yaitu pencarian nilai T_1 atau *time interval*. Pada penelitian ini didapatkan nilai *time interval* yang optimal menggunakan optimisasi GA. Adapun nilai optimum *time interval* pada komponen *Shutdown valve* (SDV) yaitu selama 653 hari, *Pressure Valve* (PV) selama 1.153 hari, *Flow Valve* (FV) selama 1.174 hari, *Speed Transmitter* (ST) selama 1.937 hari, *Pressure Different Transmitter* (PDT) selama 1.744 hari, *Pressure Transmitter* (PT) selama 4.306 hari, *Temperature Transmitter* (TT) selama 763 hari, dan *Flow Transmitter* (FT) selama 649 hari pada minimal *reliability*

0,70 pada setiap instrumen yang terdapat pada unit *turbo expander*.

- d. *Maintenance cost* yang optimal merupakan *maintenance cost* terendah yang dapat diperoleh dengan menentukan nilai *failure rate* (λ) serendah mungkin dan *time interval* selama mungkin. Didapatkan bahwa perusahaan akan mendapatkan *saving* sebesar 82% pada implementasi optimisasi minimal *reliability* 0,70. Sedangkan pada implementasi *reliability* 0,80 dan 0,90 didapatkan penghematan sebesar 72% dan 44% berturut-turut dalam kurun waktu 5 tahun.

5.2. Saran

Penulis menyarankan pada penelitian selanjutnya menggunakan validasi data menggunakan bantuan *software* RCM, sehingga dapat dipastikan *proposed task* yang didapatkan dari analisa fungsi serta kegagalan fungsi merupakan hasil yang terbaik dan juga sesuai dengan kemampuan alat tersebut. Dan penulis menyarankan pada penelitian selanjutnya menjadikan variabel *failure rate* dan *time interval* sebagai variabel yang dioptimisasikan sehingga selain penelitian selanjutnya bertujuan untuk mendapatkan *interval* perawatan yang optimum dan sesuai dengan kebutuhan alat, juga bertujuan untuk merancang komponen atau sistem untuk ditingkatkan nilai *failure rate* melalui desain ulang atau modifikasi. Dimana hal tersebut bertujuan meningkatkan keandalan suatu sistem serta dapat mengurangi biaya perawatan (*maintenance cost*) dari sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. A. P. a. J. Y. M. S. Mokhatab, "Natural Gas Transmission and Processing, Third," Oxford, UK, 2015.
- [2] "Industry Facts & Figures," Ministry of Industry Republic of Indonesia, 2016.
- [3] A. B. I. Ahmad, "Kecelakaan Industri," Kementerian Pendidikan Nasional Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, 2010.
- [4] J. Moubray, Reliability-Centered Maintenance Second Edition, New York: Industrial Press Inc., 1997.
- [5] R. Dekker, "Applications of maintenance optimization models: a review and analysis," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 51, no. 3, pp. 229-240, 1996.
- [6] J. Simms, "Fundamentals of Turboexpanders “Basic Theory And Design”," Simms Machinery International, Inc., Santa Maria, California, 2009.
- [7] A. Torres-Echeverria, "Modelling and Optimization of Safety Instrumented System based on Dependability and Cost Measure," *Modelling and Optimization of Safety Instrumented System based on Dependability and Cost Measure*, 2009.
- [8] Lim, Seng Poh & Haron, Habibollah, "Performance comparison of Genetic Algorithm, Differential Evolution and Particle Swarm Optimization towards benchmark functions," *2013 IEEE Conference on Open Systems, ICOS 2013*, vol. 10.1109/ICOS.2013.6735045. , pp. 41-46, 2013.

- [9] M. Rausand, "Reliability Centered Maintenance," *Reliability Centered Maintenance*, 1998.
- [10] C. E. Ebeling, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, Singapore: The McGraw-Hill Companies, 1997.
- [11] "Genetic Algorithm," [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/discovery/genetic-algorithm.html>. [Accessed 19 November 2017].
- [12] T. R. Biyanto, H. Fibrianto and M. Ramasamy, "Thermal and Hydraulic Impacts Consideration in Refinery Crude Preheat Train Cleaning Scheduling Using Recent Stochastic Optimization Methods," *Thermal and Hydraulic Impacts Consideration in Refinery Crude Preheat Train Cleaning Scheduling Using Recent Stochastic Optimization Methods*, 2016.
- [13] C. D. W and S. A, "Reliability Optimization of Series-Parallel System Using Genetic Algorithm," 1996.
- [14] S. M, C. Simon and J. Aubry, "Optimal Design of Safety Instrumented System," *Optimal Design of Safety Instrumented System*, 2006.
- [15] T.-E. A.C, M. S and T. H.A, *Design Optimization of a safety-instrumented system based on RAMS+C addressing IEC 61508 requirements and diverse redundancy*, 2009.
- [16] J.Duarte, C.Soares, "Optimisation of the *preventive maintenance* plan of a series components," *RTA # 3-4*, 2007, December - Special Issue.

- [17] A. Faizal, "UMK Jatim 2019 Ditetapkan, Tertinggi Rp 3,8 Juta, Terendah Rp 1,7 Juta," Kompas.com, Surabaya, 2018.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LAMPIRAN A DATA PERHITUNGAN KUANTITATIF
UNIT *TURBO EXPANDER***

a. Perhitungan pada Turbo *Expander* (482-C-01)

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
0	1.00	1.00	4.0392E-33	0	1.00
50	0.99	1.00	0.301196318	50	0.99
100	0.98	1.00	0.583185995	100	0.98
150	0.97	0.99	0.738154574	150	0.97
200	0.96	0.99	0.826664099	200	0.96
250	0.95	0.99	0.880282135	250	0.95
300	0.94	0.99	0.914450354	300	0.94
350	0.93	0.99	0.937146439	350	0.93
400	0.92	0.99	0.952745548	400	0.92
450	0.91	0.99	0.963776249	450	0.91
500	0.90	0.99	0.971766374	500	0.90
550	0.90	0.99	0.977674582	550	0.90
600	0.89	0.99	0.982122107	600	1.00
650	0.88	0.99	0.985522888	650	0.99
700	0.87	0.99	0.988159504	700	0.98
750	0.86	0.99	0.990229012	750	0.97
800	0.85	0.99	0.991871449	800	0.96
850	0.84	0.99	0.993188023	850	0.95
900	0.84	0.99	0.99425299	900	0.94
950	0.83	0.99	0.995121585	950	0.93
1000	0.82	0.99	0.995835403	1000	0.92
1050	0.81	0.99	0.996426128	1050	0.91
1100	0.80	0.99	0.996918144	1100	0.90
1150	0.79	0.99	0.997330398	0	0.90
1200	0.79	0.99	0.997677741	50	1.00
1250	0.78	0.99	0.997971912	100	0.99

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
1300	0.77	0.99	0.998222258	150	0.98
1350	0.76	0.99	0.998436275	200	0.97
1400	0.76	0.99	0.998620015	250	0.96
1450	0.75	0.99	0.998778396	300	0.95
1500	0.74	0.99	0.998915433	350	0.94
1550	0.73	0.99	0.999034428	400	0.93
1600	0.73	0.99	0.999138106	450	0.92
1650	0.72	0.99	0.999228728	500	0.91
1700	0.71	0.99	0.99930818	550	0.90
1750	0.70	0.99	0.99937804	600	0.90
1800	0.70	0.99	0.999439636	650	1.00
1850	0.69	0.99	0.999494089	700	0.99
1900	0.68	0.99	0.999542348	750	0.98
1950	0.68	0.99	0.99958522	800	0.97
2000	0.67	0.99	0.999623394	850	0.96
2050	0.66	0.99	0.999657459	900	0.95
2100	0.66	0.99	0.999687923	950	0.94
2150	0.65	0.99	0.99971522	1000	0.93
2200	0.64	0.99	0.999739729	1050	0.92
2250	0.64	0.99	0.999761774	1100	0.91
2300	0.63	0.99	0.999781639	0	0.90

b. Perhitungan pada *Recompressor* (482-C-02)

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
0	1.00	1.00	0.00	0	1.00
50	1.00	1.00	0.96	50	0.99
100	0.99	1.00	1.00	100	0.98
150	0.99	1.00	1.00	150	0.97
200	0.98	1.00	1.00	200	0.96
250	0.98	1.00	1.00	250	0.95
300	0.97	1.00	1.00	300	0.94
350	0.97	1.00	1.00	350	0.93
400	0.96	1.00	1.00	400	0.92
450	0.96	1.00	1.00	450	0.91
500	0.95	1.00	1.00	500	0.90
550	0.95	1.00	1.00	550	0.90
600	0.94	1.00	1.00	600	1.00
650	0.94	1.00	1.00	650	0.99
700	0.93	1.00	1.00	700	0.98
750	0.93	1.00	1.00	750	0.97
800	0.92	1.00	1.00	800	0.96
850	0.92	1.00	1.00	850	0.95
900	0.91	1.00	1.00	900	0.94
950	0.91	1.00	1.00	950	0.93
1000	0.90	1.00	1.00	1000	0.92
1050	0.90	1.00	1.00	1050	0.91
1100	0.90	1.00	1.00	1100	0.90
1150	0.89	1.00	1.00	0	0.90
1200	0.89	1.00	1.00	50	1.00
1250	0.88	1.00	1.00	100	0.99
1300	0.88	1.00	1.00	150	0.98
1350	0.87	1.00	1.00	200	0.97

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
1400	0.87	1.00	1.00	250	0.96
1450	0.87	1.00	1.00	300	0.95
1500	0.86	1.00	1.00	350	0.94
1550	0.86	1.00	1.00	400	0.93
1600	0.85	1.00	1.00	450	0.92
1650	0.85	1.00	1.00	500	0.91
1700	0.84	1.00	1.00	550	0.90
1750	0.84	1.00	1.00	600	0.90
1800	0.84	1.00	1.00	650	1.00
1850	0.83	1.00	1.00	700	0.99
1900	0.83	1.00	1.00	750	0.98
1950	0.82	1.00	1.00	800	0.97
2000	0.82	1.00	1.00	850	0.96
2050	0.81	1.00	1.00	900	0.95
2100	0.81	1.00	1.00	950	0.94
2150	0.81	1.00	1.00	1000	0.93
2200	0.80	1.00	1.00	1050	0.92
2250	0.80	1.00	1.00	1100	0.91
2300	0.79	1.00	1.00	0	0.90

- c. Perhitungan pada *Control Valve* (482-PV-344 dan 482-FV-339)

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
0	1.00	1.00	0.00	0	1.00
500	0.99	1.00	1.00	500	0.99
1000	0.99	1.00	1.00	1000	0.99
1500	0.98	1.00	1.00	1500	0.98
2000	0.98	1.00	1.00	2000	0.98
2500	0.97	1.00	1.00	2500	0.97
3000	0.96	1.00	1.00	3000	0.96
3500	0.96	1.00	1.00	3500	0.96
4000	0.95	1.00	1.00	4000	0.95
4500	0.95	1.00	1.00	4500	0.95
5000	0.94	1.00	1.00	5000	0.94
5500	0.93	1.00	1.00	5500	0.93
6000	0.93	1.00	1.00	6000	0.93
6500	0.92	1.00	1.00	6500	0.92
7000	0.92	1.00	1.00	7000	0.92
7500	0.91	1.00	1.00	7500	0.91
8000	0.91	1.00	1.00	8000	0.91
8500	0.90	1.00	1.00	8500	0.90
9000	0.89	1.00	1.00	0	1.00
9500	0.89	1.00	1.00	500	0.99
10000	0.88	1.00	1.00	1000	0.99
10500	0.88	1.00	1.00	1500	0.98
11000	0.87	1.00	1.00	2000	0.98
11500	0.87	1.00	1.00	2500	0.97
12000	0.86	1.00	1.00	3000	0.96
12500	0.86	1.00	1.00	3500	0.96
13000	0.85	1.00	1.00	4000	0.95

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
13500	0.85	1.00	1.00	4500	0.95
14000	0.84	1.00	1.00	5000	0.94
14500	0.84	1.00	1.00	5500	0.93
15000	0.83	1.00	1.00	6000	0.93
15500	0.83	1.00	1.00	6500	0.92
16000	0.82	1.00	1.00	7000	0.92
16500	0.82	1.00	1.00	7500	0.91
17000	0.81	1.00	1.00	8000	0.91
17500	0.81	1.00	1.00	8500	0.90
18000	0.80	1.00	1.00	0	1.00
18500	0.80	1.00	1.00	500	0.99
19000	0.79	1.00	1.00	1000	0.99
19500	0.79	1.00	1.00	1500	0.98
20000	0.78	1.00	1.00	2000	0.98
20500	0.78	1.00	1.00	2500	0.97
21000	0.77	1.00	1.00	3000	0.96
21500	0.77	1.00	1.00	3500	0.96
22000	0.76	1.00	1.00	4000	0.95
22500	0.76	1.00	1.00	4500	0.95
23000	0.75	1.00	1.00	5000	0.94

d. Perhitungan pada *Flow Transmitter* (482-FT-339)

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
0	1.00	1.00	0.00	0	1.00
500	0.99	1.00	1.00	500	0.99
1000	0.99	1.00	1.00	1000	0.99
1500	0.98	1.00	1.00	1500	0.98
2000	0.98	1.00	1.00	2000	0.98
2500	0.97	1.00	1.00	2500	0.97
3000	0.97	1.00	1.00	3000	0.97
3500	0.97	1.00	1.00	3500	0.97
4000	0.96	1.00	1.00	4000	0.96
4500	0.96	1.00	1.00	4500	0.96
5000	0.95	1.00	1.00	5000	0.95
5500	0.95	1.00	1.00	5500	0.95
6000	0.94	1.00	1.00	6000	0.94
6500	0.94	1.00	1.00	0	1.00
7000	0.93	1.00	1.00	500	0.99
7500	0.93	1.00	1.00	1000	0.99
8000	0.92	1.00	1.00	1500	0.98
8500	0.92	1.00	1.00	2000	0.98
9000	0.91	1.00	1.00	2500	0.97
9500	0.91	1.00	1.00	3000	0.97
10000	0.90	1.00	1.00	3500	0.97
10500	0.90	1.00	1.00	4000	0.96
11000	0.89	1.00	1.00	4500	0.96
11500	0.89	1.00	1.00	5000	0.95
12000	0.89	1.00	1.00	5500	0.95
12500	0.88	1.00	1.00	6000	0.94
13000	0.88	1.00	1.00	0	1.00
13500	0.87	1.00	1.00	500	0.99

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
14000	0.87	1.00	1.00	1000	0.99
14500	0.86	1.00	1.00	1500	0.98
15000	0.86	1.00	1.00	2000	0.98
15500	0.85	1.00	1.00	2500	0.97
16000	0.85	1.00	1.00	3000	0.97
16500	0.85	1.00	1.00	3500	0.97
17000	0.84	1.00	1.00	4000	0.96
17500	0.84	1.00	1.00	4500	0.96
18000	0.83	1.00	1.00	5000	0.95
18500	0.83	1.00	1.00	5500	0.95
19000	0.82	1.00	1.00	6000	0.94
19500	0.82	1.00	1.00	0	1.00
20000	0.82	1.00	1.00	500	0.99
20500	0.81	1.00	1.00	1000	0.99
21000	0.81	1.00	1.00	1500	0.98
21500	0.80	1.00	1.00	2000	0.98
22000	0.80	1.00	1.00	2500	0.97
22500	0.80	1.00	1.00	3000	0.97
23000	0.79	1.00	1.00	3500	0.97

- e. Perhitungan pada *Pressure Different Transmitter* (482-PDT 332)

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
0	1.00	1.00	0.00	0	1.00
500	1.00	1.00	1.00	500	1.00
1000	0.99	1.00	1.00	1000	0.99
1500	0.99	1.00	1.00	1500	0.99
2000	0.98	1.00	1.00	2000	0.98
2500	0.98	1.00	1.00	2500	0.98
3000	0.98	1.00	1.00	3000	0.98
3500	0.97	1.00	1.00	3500	0.97
4000	0.97	1.00	1.00	4000	0.97
4500	0.97	1.00	1.00	4500	0.97
5000	0.96	1.00	1.00	5000	0.96
5500	0.96	1.00	1.00	5500	0.96
6000	0.96	1.00	1.00	6000	0.96
6500	0.95	1.00	1.00	0	1.00
7000	0.95	1.00	1.00	500	1.00
7500	0.94	1.00	1.00	1000	0.99
8000	0.94	1.00	1.00	1500	0.99
8500	0.94	1.00	1.00	2000	0.98
9000	0.93	1.00	1.00	2500	0.98
9500	0.93	1.00	1.00	3000	0.98
10000	0.93	1.00	1.00	3500	0.97
10500	0.92	1.00	1.00	4000	0.97
11000	0.92	1.00	1.00	4500	0.97
11500	0.92	1.00	1.00	5000	0.96
12000	0.91	1.00	1.00	5500	0.96
12500	0.91	1.00	1.00	6000	0.96
13000	0.91	1.00	1.00	0	1.00

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
13500	0.90	1.00	1.00	500	1.00
14000	0.90	1.00	1.00	1000	0.99
14500	0.90	1.00	1.00	1500	0.99
15000	0.89	1.00	1.00	2000	0.98
15500	0.89	1.00	1.00	2500	0.98
16000	0.89	1.00	1.00	3000	0.98
16500	0.88	1.00	1.00	3500	0.97
17000	0.88	1.00	1.00	4000	0.97
17500	0.88	1.00	1.00	4500	0.97
18000	0.87	1.00	1.00	5000	0.96
18500	0.87	1.00	1.00	5500	0.96
19000	0.87	1.00	1.00	6000	0.96
19500	0.86	1.00	1.00	0	1.00
20000	0.86	1.00	1.00	500	1.00
20500	0.86	1.00	1.00	1000	0.99
21000	0.85	1.00	1.00	1500	0.99
21500	0.85	1.00	1.00	2000	0.98
22000	0.85	1.00	1.00	2500	0.98
22500	0.84	1.00	1.00	3000	0.98
23000	0.84	1.00	1.00	3500	0.97

- f. Perhitungan pada *Pressure Transmitter* (482-PT-331, 336, 339)

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
0	1.00	1.00	0.00	0	1.00
5000	0.99	1.00	1.00	5000	0.99
10000	0.99	1.00	1.00	10000	0.99
15000	0.98	1.00	1.00	15000	0.98
20000	0.98	1.00	1.00	20000	0.98
25000	0.97	1.00	1.00	25000	0.97
30000	0.97	1.00	1.00	30000	0.97
35000	0.96	1.00	1.00	35000	0.96
40000	0.96	1.00	1.00	40000	0.96
45000	0.95	1.00	1.00	45000	0.95
50000	0.94	1.00	1.00	50000	0.94
55000	0.94	1.00	1.00	55000	0.94
60000	0.93	1.00	1.00	60000	0.93
65000	0.93	1.00	1.00	65000	0.93
70000	0.92	1.00	1.00	70000	0.92
75000	0.92	1.00	1.00	75000	0.92
80000	0.91	1.00	1.00	80000	0.91
85000	0.91	1.00	1.00	85000	0.91
90000	0.90	1.00	1.00	90000	0.90
95000	0.90	1.00	1.00	0	1.00
100000	0.89	1.00	1.00	5000	0.99
105000	0.89	1.00	1.00	10000	0.99
110000	0.88	1.00	1.00	15000	0.98
115000	0.88	1.00	1.00	20000	0.98
120000	0.87	1.00	1.00	25000	0.97
125000	0.87	1.00	1.00	30000	0.97
130000	0.86	1.00	1.00	35000	0.96

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
135000	0.86	1.00	1.00	40000	0.96
140000	0.85	1.00	1.00	45000	0.95
145000	0.85	1.00	1.00	50000	0.94
150000	0.84	1.00	1.00	55000	0.94
155000	0.84	1.00	1.00	60000	0.93
160000	0.83	1.00	1.00	65000	0.93
165000	0.83	1.00	1.00	70000	0.92
170000	0.82	1.00	1.00	75000	0.92
175000	0.82	1.00	1.00	80000	0.91
180000	0.81	1.00	1.00	85000	0.91
185000	0.81	1.00	1.00	90000	0.90
190000	0.81	1.00	1.00	0	1.00
195000	0.80	1.00	1.00	5000	0.99
200000	0.80	1.00	1.00	10000	0.99
205000	0.79	1.00	1.00	15000	0.98
210000	0.79	1.00	1.00	20000	0.98
215000	0.78	1.00	1.00	25000	0.97
220000	0.78	1.00	1.00	30000	0.97
225000	0.77	1.00	1.00	35000	0.96
230000	0.77	1.00	1.00	40000	0.96

- g. Perhitungan pada *Shutdown valve* (482-SDV-350, 351, 352, 354)

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
0	1.00	1.00	0.00	0	1.00
500	0.99	1.00	1.00	500	0.99
1000	0.98	1.00	1.00	1000	0.98
1500	0.97	1.00	1.00	1500	0.97
2000	0.96	1.00	1.00	2000	0.96
2500	0.95	1.00	1.00	2500	0.95
3000	0.94	1.00	1.00	3000	0.94
3500	0.93	1.00	1.00	3500	0.93
4000	0.91	1.00	1.00	4000	0.91
4500	0.90	1.00	1.00	4500	0.90
5000	0.89	1.00	1.00	0	1.00
5500	0.88	1.00	1.00	500	0.99
6000	0.87	1.00	1.00	1000	0.98
6500	0.87	1.00	1.00	1500	0.97
7000	0.86	1.00	1.00	2000	0.96
7500	0.85	1.00	1.00	2500	0.95
8000	0.84	1.00	1.00	3000	0.94
8500	0.83	1.00	1.00	3500	0.93
9000	0.82	1.00	1.00	4000	0.91
9500	0.81	1.00	1.00	4500	0.90
10000	0.80	1.00	1.00	0	1.00
10500	0.79	1.00	1.00	500	0.99
11000	0.78	1.00	1.00	1000	0.98
11500	0.77	1.00	1.00	1500	0.97
12000	0.77	1.00	1.00	2000	0.96
12500	0.76	1.00	1.00	2500	0.95
13000	0.75	1.00	1.00	3000	0.94

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
13500	0.74	1.00	1.00	3500	0.93
14000	0.73	1.00	1.00	4000	0.91
14500	0.72	1.00	1.00	4500	0.90
15000	0.72	1.00	1.00	0	1.00
15500	0.71	1.00	1.00	500	0.99
16000	0.70	1.00	1.00	1000	0.98
16500	0.69	1.00	1.00	1500	0.97
17000	0.68	1.00	1.00	2000	0.96
17500	0.68	1.00	1.00	2500	0.95
18000	0.67	1.00	1.00	3000	0.94
18500	0.66	1.00	1.00	3500	0.93
19000	0.65	1.00	1.00	4000	0.91
19500	0.65	1.00	1.00	4500	0.90
20000	0.64	1.00	1.00	0	1.00
20500	0.63	1.00	1.00	500	0.99
21000	0.63	1.00	1.00	1000	0.98
21500	0.62	1.00	1.00	1500	0.97
22000	0.61	1.00	1.00	2000	0.96
22500	0.61	1.00	1.00	2500	0.95
23000	0.60	1.00	1.00	3000	0.94

h. Perhitungan pada *Speed Transmitter* (482-ST-341)

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
0	1.00	1.00	0.00	0	1.00
500	1.00	1.00	1.00	500	1.00
1000	1.00	1.00	1.00	1000	1.00
1500	0.99	1.00	1.00	1500	0.99
2000	0.99	1.00	1.00	2000	0.99
2500	0.99	1.00	1.00	2500	0.99
3000	0.99	1.00	1.00	3000	0.99
3500	0.98	1.00	1.00	3500	0.98
4000	0.98	1.00	1.00	4000	0.98
4500	0.98	1.00	1.00	4500	0.98
5000	0.98	1.00	1.00	5000	0.98
5500	0.97	1.00	1.00	5500	0.97
6000	0.97	1.00	1.00	6000	0.97
6500	0.97	1.00	1.00	0	1.00
7000	0.97	1.00	1.00	500	1.00
7500	0.97	1.00	1.00	1000	1.00
8000	0.96	1.00	1.00	1500	0.99
8500	0.96	1.00	1.00	2000	0.99
9000	0.96	1.00	1.00	2500	0.99
9500	0.96	1.00	1.00	3000	0.99
10000	0.95	1.00	1.00	3500	0.98
10500	0.95	1.00	1.00	4000	0.98
11000	0.95	1.00	1.00	4500	0.98
11500	0.95	1.00	1.00	5000	0.98
12000	0.95	1.00	1.00	5500	0.97
12500	0.94	1.00	1.00	6000	0.97
13000	0.94	1.00	1.00	0	1.00
13500	0.94	1.00	1.00	500	1.00

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
14000	0.94	1.00	1.00	1000	1.00
14500	0.93	1.00	1.00	1500	0.99
15000	0.93	1.00	1.00	2000	0.99
15500	0.93	1.00	1.00	2500	0.99
16000	0.93	1.00	1.00	3000	0.99
16500	0.93	1.00	1.00	3500	0.98
17000	0.92	1.00	1.00	4000	0.98
17500	0.92	1.00	1.00	4500	0.98
18000	0.92	1.00	1.00	5000	0.98
18500	0.92	1.00	1.00	5500	0.97
19000	0.91	1.00	1.00	6000	0.97
19500	0.91	1.00	1.00	0	1.00
20000	0.91	1.00	1.00	500	1.00
20500	0.91	1.00	1.00	1000	1.00
21000	0.91	1.00	1.00	1500	0.99
21500	0.90	1.00	1.00	2000	0.99
22000	0.90	1.00	1.00	2500	0.99
22500	0.90	1.00	1.00	3000	0.99
23000	0.90	1.00	1.00	3500	0.98

- i. Perhitungan pada *Temperature Transmitter* (482-TT-334, 356)

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
0	1.00	1.00	0.00	0	1.00
500	0.99	1.00	1.00	500	0.99
1000	0.99	1.00	1.00	1000	0.99
1500	0.98	1.00	1.00	1500	0.98
2000	0.98	1.00	1.00	2000	0.98
2500	0.97	1.00	1.00	2500	0.97
3000	0.97	1.00	1.00	3000	0.97
3500	0.97	1.00	1.00	3500	0.97
4000	0.96	1.00	1.00	4000	0.96
4500	0.96	1.00	1.00	4500	0.96
5000	0.95	1.00	1.00	5000	0.95
5500	0.95	1.00	1.00	5500	0.95
6000	0.94	1.00	1.00	6000	0.94
6500	0.94	1.00	1.00	0	1.00
7000	0.93	1.00	1.00	500	0.99
7500	0.93	1.00	1.00	1000	0.99
8000	0.92	1.00	1.00	1500	0.98
8500	0.92	1.00	1.00	2000	0.98
9000	0.91	1.00	1.00	2500	0.97
9500	0.91	1.00	1.00	3000	0.97
10000	0.90	1.00	1.00	3500	0.97
10500	0.90	1.00	1.00	4000	0.96
11000	0.89	1.00	1.00	4500	0.96
11500	0.89	1.00	1.00	5000	0.95
12000	0.89	1.00	1.00	5500	0.95
12500	0.88	1.00	1.00	6000	0.94
13000	0.88	1.00	1.00	0	1.00

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	(t-nT)	R(t-nT)
13500	0.87	1.00	1.00	500	0.99
14000	0.87	1.00	1.00	1000	0.99
14500	0.86	1.00	1.00	1500	0.98
15000	0.86	1.00	1.00	2000	0.98
15500	0.85	1.00	1.00	2500	0.97
16000	0.85	1.00	1.00	3000	0.97
16500	0.85	1.00	1.00	3500	0.97
17000	0.84	1.00	1.00	4000	0.96
17500	0.84	1.00	1.00	4500	0.96
18000	0.83	1.00	1.00	5000	0.95
18500	0.83	1.00	1.00	5500	0.95
19000	0.82	1.00	1.00	6000	0.94
19500	0.82	1.00	1.00	0	1.00
20000	0.82	1.00	1.00	500	0.99
20500	0.81	1.00	1.00	1000	0.99
21000	0.81	1.00	1.00	1500	0.98
21500	0.80	1.00	1.00	2000	0.98
22000	0.80	1.00	1.00	2500	0.97
22500	0.80	1.00	1.00	3000	0.97
23000	0.79	1.00	1.00	3500	0.97

**LAMPIRAN B DATA PERHITUNGAN MAINTENANCE
COST**

a. *Maintenance Cost* Aktual dalam kurun lima tahun

Komponen	$\lambda T/5$ tahun	C_{pm} (USD)	C_{cm} (USD)	C_t (USD)
482-SDV-350	9.75E-01	14.3563466	1,766.13	120
482-SDV-351	0.975426	14.3563466	1,766.13	120
482-SDV-352	0.975426	14.3563466	1,766.13	120
482-SDV-354	0.975426	14.3563466	1,766.13	120
482-PV-344	0.542682	15.2825625	1,765.15	120
482-FV-339	0.542682	15.2825625	1,765.15	120
482-ST-341	0.206298	29.1758011	2,507.94	85
482-PDT-332	0.333318	10.651483	2,521.74	85
482-PT-331	0.049932	12.5039148	2,518.52	85
482-PT-339	0.049932	12.5039148	2,518.52	85
482-PT-336	0.049932	12.5039148	2,518.52	85
482-TT-334	0.410406	9.26215909	2,525.00	85
482-TT-356	0.410406	9.26215909	2,525.00	85
482-FT-339	0.44457	9.26215909	2,525.00	85

b. *Maintenance Cost* Setelah Dioptimisasi (variasi *reliability* 0,70)

Komponen	λ	Ti		M	
		Data	Optim- um	Da- ta	Optim- um
482-SDV-350	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-SDV-351	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-SDV-352	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-SDV-354	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-PV-344	1.24E-05	4.000	14.972	11	3
482-FV-339	1.24E-05	4.000	18.784	11	2
482-ST-341	4.71E-06	10.00 0	70.451	4	1
482-PDT-332	7.61E-06	6.100	41.457	7	1
482-PT-331	1.14E-06	40.50 0	171.395	1	0
482-PT-339	1.14E-06	40.50 0	171.395	1	0
482-PT-336	1.14E-06	40.50 0	171.395	1	0
482-TT-334	9.37E-06	4.550	31.430	10	1
482-TT-356	9.37E-06	4.550	31.430	10	1
482-FT-339	1.02E-05	4.550	34.002	10	1

c. *Maintenance Cost* Setelah Dioptimisasi (variasi *reliability* 0,80)

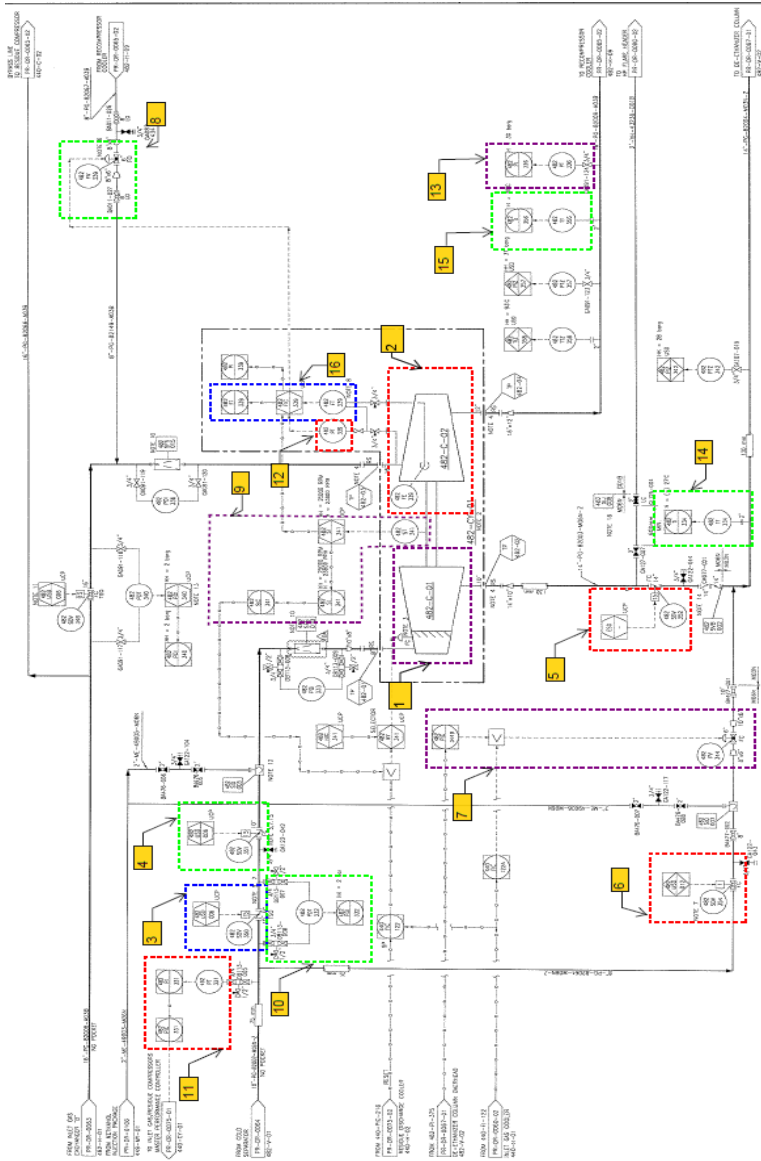
Komponen	λ	Ti		M	
		Data	Optim- um	Da- ta	Optim- um
482-SDV-350	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-SDV-351	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-SDV-352	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-SDV-354	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-PV-344	1.24E-05	4.000	14.972	11	3
482-FV-339	1.24E-05	4.000	18.784	11	2
482-ST-341	4.71E-06	10.000	70.451	4	1
482-PDT-332	7.61E-06	6.100	41.457	7	1
482-PT-331	1.14E-06	40.500	171.395	1	0
482-PT-339	1.14E-06	40.500	171.395	1	0
482-PT-336	1.14E-06	40.500	171.395	1	0
482-TT-334	9.37E-06	4.550	31.430	10	1
482-TT-356	9.37E-06	4.550	31.430	10	1
482-FT-339	1.02E-05	4.550	34.002	10	1

d. *Maintenance Cost* Setelah Dioptimisasi (variasi *reliability* 0,90)

Komponen	λ	Ti		M	
		Data	Optim-um	Da-ta	Optim-um
482-SDV-350	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-SDV-351	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-SDV-352	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-SDV-354	2.23E-05	2.500	15.665	18	3
482-PV-344	1.24E-05	4.000	14.972	11	3
482-FV-339	1.24E-05	4.000	18.784	11	2
482-ST-341	4.71E-06	10.000	70.451	4	1
482-PDT-332	7.61E-06	6.100	41.457	7	1
482-PT-331	1.14E-06	40.500	171.395	1	0
482-PT-339	1.14E-06	40.500	171.395	1	0
482-PT-336	1.14E-06	40.500	171.395	1	0
482-TT-334	9.37E-06	4.550	31.430	10	1
482-TT-356	9.37E-06	4.550	31.430	10	1
482-FT-339	1.02E-05	4.550	34.002	10	1

LAMPIRAN C PFD DAN P&ID

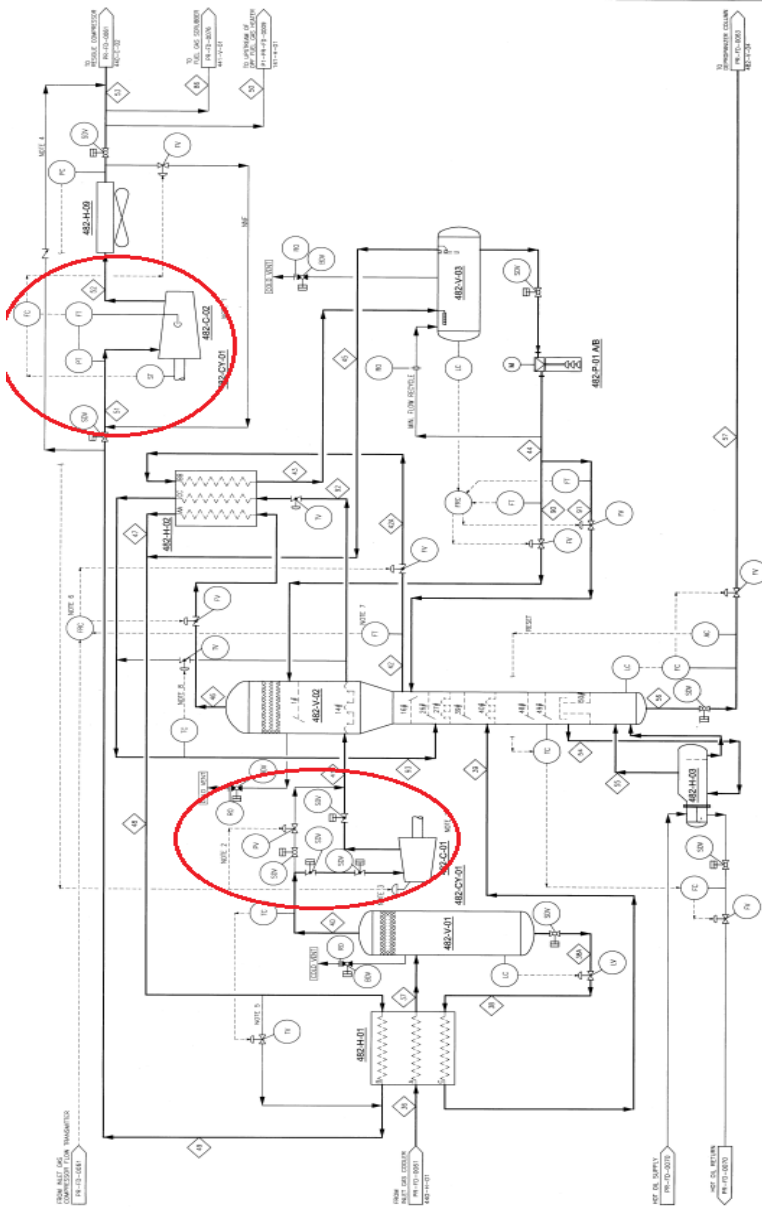
a. Gambar P&ID unit Turbo Expander



Keterangan angka pada P&ID :

No.	P&ID Tag Number	<i>Instrument</i>
1	482-C-01	Turbo <i>Expander</i>
2	482-C-02	Recompressor
3	482-SDV-350	Shutdown valve
4	482-SDV-351	Shutdown valve
5	482-SDV-352	Shutdown valve
6	482-SDV-354	Shutdown valve
7	482-PV-344	Pressure Valve
8	482-FV-339	Flow Valve
9	482-ST-341	Speed Transmitter
10	482-PDT-332	Pressure Different Transmitter
11	482-PT-331	Pressure Transmitter
12	482-PT-339	Pressure Transmitter
13	482-PT-336	Pressure Transmitter
14	482-TT-334	Temperature Transmitter
15	482-TT-356	Temperature Transmitter
16	482-FT-339	Flow Transmitter

b. Gambar PFD unit Turbo Expander pada plant Cryogenic



**LAMPIRAN D DATA MAINTENANCE PADA UNIT
TURBO EXPANDER**

a. Data Maintenance pada Turbo *Expander* 482-C-01

No.	Bas. start date	Basic fin. date	TTF(hour)	TTR(hour)
1	9-Mar-09	9-Mar-09	0	12
2	24-Mar-09	24-Mar-09	360	8
3	20-Jun-09	20-Jun-09	2112	12
4	3-Dec-09	3-Dec-09	3984	8
5	22-Feb-10	24-Feb-10	1944	48
6	23-Mar-10	23-Mar-10	648	8
7	5-Nov-10	5-Nov-10	5448	8
8	10-Mar-11	10-Mar-11	3000	12
9	27-May-11	27-May-11	1872	8
10	8-Nov-11	9-Nov-11	3960	24
11	22-Nov-11	22-Nov-11	312	8
12	29-Mar-12	30-Mar-12	3072	24
13	5-Sep-12	5-Sep-12	3816	8
14	24-Apr-13	24-Apr-13	5544	8
15	8-May-13	9-May-13	336	24
16	21-Nov-13	22-Nov-13	4704	24
17	11-Mar-14	11-Mar-14	2616	8
18	13-Jun-14	16-Jun-14	2256	72
19	23-Feb-15	23-Feb-15	6048	8
20	22-May-18	23-May-18	28416	24
21	4-Jun-18	4-Jun-18	288	8
22	15-Apr-19	17-Apr-19	7560	48
23	29-Apr-19	29-Apr-19	288	8

b. Data Maintenance pada *Speed Transmitter* 482-ST-341

No.	Bas. start date	Basic fin. date	TTF(hour)	TTR(hour)
1	23-Mar-09	23-Mar-09	0	3
2	15-Mar-11	15-Mar-11	17328	4
3	26-Nov-12	27-Nov-12	14928	10

c. Data Maintenance pada Recompressor 482-C-02

No.	Bas. start date	Basic fin. date	TTF(hour)	TTR(hour)
1	23-Mar-09	23-Mar-09	0	1
2	15-Mar-11	15-Mar-11	17328	3
3	26-Nov-12	27-Nov-12	14928	5
4	12-Feb-13	12-Feb-13	1848	1
5	26-Apr-13	29-Apr-13	1752	8
6	17-Feb-14	18-Feb-14	7056	19
7	9-Nov-15	9-Nov-15	15096	1

d. Data Maintenance pada 482-PV-344

No.	Bas. start date	Basic fin. date	TTF(hour)	TTR(hour)
1	24-Nov-09	24-11-2009	0	1
2	11-Jun-10	14-06-2010	4776	8
3	5-Jul-13	08-07-2013	26808	8
4	17-Feb-14	18-02-2014	5376	3
5	21-Jul-14	21-07-2014	3672	1
6	27-Mar-15	27-03-2015	5976	1
7	13-Nov-15	13-11-2015	5544	1
8	23-Sep-16	23-09-2016	7560	1
9	6-Jun-17	06-06-2017	6144	1
10	27-Dec-17	27-12-2017	4896	1
11	11-Jul-18	11-07-2018	4704	1
12	8-Feb-19	08-02-2019	5088	1

- e. Data Maintenance pada *Shutdown valve* (tag number 350, 351, 352, dan 354)

No.	Bas. start date	Basic fin. date	TTF(hour)	TTR(hour)
1	24-Mar-09	24-03-2009	0	3
2	22-Feb-10	24-02-2010	8040	3
3	23-Mar-10	23-03-2010	648	3
4	5-Nov-10	05-11-2010	5448	3
5	27-May-11	27-05-2011	4872	3
6	27-May-11	27-05-2011	0	3
7	22-Nov-11	22-11-2011	4296	3
8	29-Mar-12	30-03-2012	3072	3
9	5-Sep-12	05-09-2012	3816	3
10	8-May-13	09-05-2013	5880	3
11	21-Nov-13	22-11-2013	4704	3
12	13-Jun-14	16-06-2014	4872	5
13	16-Jun-14	17-06-2014	0	3
14	13-Nov-14	13-11-2014	3576	3
15	29-Oct-15	29-10-2015	8400	3
16	3-Aug-16	03-08-2016	6696	3
17	17-Mar-17	17-03-2017	5424	3
18	8-Aug-17	08-08-2017	3456	3
19	27-Feb-18	27-02-2018	4872	3
20	1-Oct-18	01-10-2018	5184	3
21	13-May-19	13-05-2019	5376	3

f. Data Maintenance pada 482-FV-339

No	Bas. start date	Basic fin. date	TTF(hour)	TTR (hour)
1	5-Jul-13	08-07-2013	0	12
2	17-Feb-14	18-02-2014	5376	8
3	28-May-14	28-05-2014	2376	2
4	16-Jun-14	16-06-2014	456	1
5	17-Nov-14	17-11-2014	3696	3
6	6-Oct-15	06-10-2015	7752	1
7	4-Aug-16	04-08-2016	7272	3
8	20-Mar-17	20-03-2017	5472	2
9	8-Aug-17	08-08-2017	3384	1
10	27-Feb-18	27-02-2018	4872	3
11	27-Sep-18	27-09-2018	5088	1
12	14-May-19	14-05-2019	5496	3

g. Data Maintenance pada 482-FT-339

No	Bas. start date	Basic fin. date	TTF(hour)	TTR (hour)
1	23-Mar-09	23-03-2009	0	2
2	11-Jun-10	14-06-2010	10680	6
3	27-May-11	27-05-2011	8328	1
4	27-May-11	30-05-2011	0	2
5	15-Jul-13	15-07-2013	18648	1
6	11-Jun-14	11-06-2014	7944	1
7	16-Mar-17	16-03-2017	24216	1
8	14-May-19	14-05-2019	18936	1

h. Data Maintenance pada *Temperature Transmitter* (334, 356)

No	Bas. start date	Basic fin. date	TTF(hour)	TTR (hour)
1	9-Mar-09	09-03-2009	0	1
2	10-Mar-11	10-03-2011	17544	2
3	27-May-11	30-05-2011	1872	1
4	23-Apr-13	23-04-2013	16656	2
5	9-Jun-14	09-06-2014	9888	3
6	24-Mar-17	27-03-2017	24456	1
7	13-May-19	14-05-2019	18648	3

i. Data Maintenance pada *Pressure Transmitter* (tag number 331, 336, dan 339)

No	Bas. start date	Basic fin. date	TTF(hour)	TTR (hour)
1	9-Mar-09	09-03-2009	0	3
2	10-Mar-11	10-03-2011	17544	3
3	27-May-11	30-05-2011	1872	72
4	24-Apr-13	24-04-2013	16680	3
5	11-Jun-14	12-06-2014	9912	24
6	24-Mar-17	29-03-2017	24384	120
7	13-May-19	15-05-2019	18600	48

j. Data Maintenance pada *Pressure Different Transmitter* (482-PDT-332)

No	Bas. start date	Basic fin. date	TTF(hour)	TTR (hour)
1	9-Mar-09	10-03-2009	0	1
2	10-Mar-11	10-03-2011	17520	2
3	27-May-11	30-05-2011	1872	4
4	24-Apr-13	24-04-2013	16680	2
5	11-Jun-14	12-06-2014	9912	3
6	24-Mar-17	29-03-2017	24384	2
7	13-May-19	15-05-2019	18600	2

LAMPIRAN E KODINGAN MATLAB GENETIC ALGORITHM VARIASI *RELIABILITY* 0,90

```

clear all
%Pembangkitan Populasi dan Parameter
Npop    = 100;                %populasi
Maxit   = 500;                %iterasi atau generasi
el      = 0.05;               %elatism
Pc      = 0.8;                %probabilitas crossover
Pm      = 0.01;               %probabilitas mutasi
Nvar    = 8;                  %jumlah variabel desain yang
dioptimasi
Nbit    = 10;                 %jumlah bit
%Constrain

rb      = [2500 4000 4000 10000 6100 40500 4550
4550];      % R = 0.95 = lambda * TI
ra      = [4500 8500 8500 23500 14500 95000
10500 10500];    % dan 0.9

eBangkit    = [];
Individu    = [];
eIndividu   = [];
david       = [];
Dadatfit    = [];
Datfit      = [];
summary     = [];
eDadatfit   = [];
efitnessmax = [];
eIndividuMax = [];

Bangkit = round(rand(Npop,Nbit*Nvar));
popsize = size(Bangkit,1);

for i = 1:Nvar
    batas(i) = ra(i)-rb(i);
end
for i =1:Npop
    for j = 1:Nvar

```

```

        Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i, ((j*Nbit)-(Nbit-
1)): (j*Nbit)), 'left-msb');
        Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
        end
end

Datfit = [];
variabel = [];
for i = 1:size(Individu,1)
    fitness = maintenance_cost(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax]=max(Datfit);
end

Dadatfit = [];
for generasi=1:Maxit
    disp('GA processing')
    clear command windows
    clear command history
    clear memory

    if generasi > 1
        sort_fit = sortrows(sort,Nbit*Nvar+1);
        Individu1 = sort_fit(round((1-
e1)*Npop+1):Npop,:);
        remain =
sort_fit(round(e1*Npop)+1:Npop,:);

        X = Individu1;
        M = size(X,1);

        sumfitness = sum(Datfit);
        for i=1:M
            Prob(i) = Datfit(i)/sumfitness;
        end
        for i=2:M
            Prob(i) = Prob(i)+Prob(i-1);
        end
    end
end

```

```

end
for i=1:M
    n=rand;
    k=1;
    for j=1:M-1
        if (n>Prob(j))
            k=j+1;
        end
    end
    Xparents(i,:) = X(k,:);
end

%Crossover
[M,d] = size(Xparents);
Xcrossed = Xparents;
for i=1:2:M-1
    c=rand;
    if (c<=Pc)
        p=ceil((d-1)*rand);
        Xcrossed(i,:) = [Xparents(i,1:p)
Xparents(i+1,p+1:d)];
        Xcrossed(i+1,:) =
[Xparents(i+1,1:p) Xparents(i,p+1:d)];
    end
end
if (M/2~=floor(M/2))
    c=rand;
    if (c<=Pc)
        p=ceil((d-1)*rand);
        str=ceil((M-1)*rand);
        Xcrossed(M,:) = [Xparents(M,1:p)
Xparents(str,p+1:d)]; %the first child is chosen
    end
end

%Mutasi
[M,d] = size(Xcrossed);
Xnew=Xcrossed;
for i=1:M
    for j=1:d
        p=rand;

```

```

        if (p<=Pm)
            Xnew(i,j)=1-Xcrossed(i,j);
        end
    end
end

disp('New fitness calculation');

Bangkit =
[Xnew(:,1:Nbit*Nvar);remain(:,1:Nbit*Nvar)];
end
eBangkit = [eBangkit; Bangkit];

for i =1:Npop
    for j = 1:Nvar;
        Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i, ((j*Nbit)-(Nbit-
1)): (j*Nbit)), 'left-msb');
        Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit = [];
for i = 1:Npop
    fitness =
maintenance_cost(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax] = max(Datfit);
end

Dadatfit = Datfit;
eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
eIndividu = [eIndividu;Individu];
[fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);
efitnessmax = [efitnessmax;fitnessmax];
BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];

```

```
BangkitMaxlast = BangkitMax;
schedmax = BangkitMax;
sort = [Bangkit Dadatfit];
summary = [summary; sort];
david = [david; Dadatfit];
clc
max_variable_design=eIndividuMax(1,:)
max_objective_function=fitness(1,:)
figure(gcf)
title('Grafik Nilai Maksimum GA','color','b')
xlabel('Jumlah Iterasi')
ylabel('Nilai Fungsi Obyektif')
hold on
plot(efitnessmax, 'DisplayName', 'efitnessmax',
'YDataSource', 'efitnessmax');
hold on
end
```

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Annisaa Auliyaa Septianthy yang akrab disapa Icha. Penulis merupakan anak pertama, terlahir di kota Bandung pada tanggal 27 September 1997. Penulis menempuh pendidikannya dari SD hingga SMA di Kota Serang, Banten. Pendidikan sarjana ditempuh di Jurusan Teknik Fisika ITS melalui jalur SBMPTN 2015. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi kemahasiswaan BEM FTI-ITS selama periode 2016-2017 sebagai staff Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) dan 2017-2018 sebagai Kepala Biro PSDM. Pengalaman. *Internship program* selama 1 (satu) bulan di PT. Indonesia Power Suralaya pada periode Bulan September 2018. Bidang minat penulis dalam mengerjakan tugas akhir adalah instrumentasi.

Pada bulan Juni 2019 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Optimisasi Biaya Perawatan Menggunakan Genetic Algorithm (GA) pada Turbo Expander Berbasis Reliability Centered Maintenance (RCM) di PT. SIPL**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi melalui email: annisaauliya97@gmail.com.