

**TUGAS AKHIR - TM 184835**

**PERENCANAAN PERAWATAN PADA POMPA SENTRIFUGAL  
DENGAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS*  
(FMEA)**

**ELISA BIDARI  
NRP 021154000051**

**Dosen Pembimbing  
SUWARNO, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**



**TUGAS AKHIR - TM 184835**

**PERENCANAAN PERAWATAN PADA POMPA SENTRIFUGAL  
DENGAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS*  
(FMEA)**

**ELISA BIDARI  
NRP 021154000051**

**Dosen Pembimbing  
SUWARNO, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**



**FINAL PROJECT - TM 184835**

***MAINTENANCE PLANNING ON CENTRIFUGAL PUMPS  
USING FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)  
METHOD***

**ELISA BIDARI  
NRP 021154000051**

**Advisor  
SUWARNO, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**UNDERGRADUATE  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS  
ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SURABAYA  
SURABAYA 2020**

**PERENCANAAN PERAWATAN PADA POMPA  
SENTRIFUGAL DENGAN METODE *FAILURE MODE  
AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ELISA BIDARI**

NRP. 0211154000051

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing)  
NIP. 198005202005011003
2. Dinny Harnany, S.T., M.Sc. (Penguji I)  
NIP. 198905132019032013
3. Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T. (Penguji II)  
NIP. 198604012015041001
4. Latifah Nurahmi, S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji III)  
NIP. 1986201712037



**SURABAYA  
JANUARI, 2020**

# PERENCANAAN PERAWATAN PADA POMPA SENTRIFUGAL DENGAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)*

Nama Mahasiswa : Elisa Bidari  
NRP : 0211154000051  
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : Suwarno, ST, MSc, Ph.D.

## ABSTRAK

PT. Petrokimia Gresik merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi pupuk. Salah satu tahap produksi pupuk adalah produksi ammonia. Dalam proses produksi ammonia sering terjadi kerusakan pada pompa-pompa yang digunakan. Berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan mulai tahun 2015-2018 telah terjadi 26 kali kegagalan pada pompa-pompa milik PT. Petrokimia Gresik. Maka dari itu diperlukan penelitian yang bertujuan untuk menaikkan nilai keandalan, menurunkan downtime dan biaya *maintenance*, serta merekomendasikan strategi perawatan yang optimal pada pompa-pompa milik PT. Petrokimia Gresik.

Penelitian diawali dengan studi pendahuluan pada perusahaan untuk mengetahui kondisi awal perusahaan dan mendapatkan masalah yang harus diidentifikasi, kemudian dilakukan studi lapangan dan pustaka sehingga diketahui data apa yang perlu didapatkan untuk melakukan penelitian. Data yang perlu didapatkan merupakan data *downtime* dan kerusakan pompa serta biaya kerugian akibat *downtime*. Selanjutnya dilakukan analisis akar penyebab kegagalan dengan *fishbone diagram* dan FMEA, kemudian dilakukan proses pengolahan data dengan menggunakan *software* Keandalan. Pada proses ini, data *Time to Failure (TTF)* diinput ke *software* sehingga distribusi yang paling cocok dan parameter-parameternya didapatkan. Kemudian nilai *Mean Time to*

*Failure* (MTTF) dari pompa dapat dihitung. Perhitungan MTTF kemudian dilanjutkan dengan perhitungan nilai keandalan terhadap waktu pada masing-masing pompa. Setelah proses pengolahan data dilakukan, dibuat rekomendasi kegiatan perawatan untuk menghasilkan strategi perawatan yang optimal.

Kegiatan perawatan yang direkomendasikan berupa *preventive maintenance* dimana pada Pompa JA dilakukan setiap 11000 jam, Pompa JB 13000 jam, dan Pompa JC 9000 jam, *predictive maintenance*, dan *corrective maintenance*. Hasil yang diperoleh setelah dilakukan permodelan *maintenance* antara lain: penurunan nilai *downtime* Pompa JA sebesar 48%, Pompa JB sebesar 50%, dan Pompa JC sebesar 71%; dan penurunan biaya pada Pompa JA sebesar 67%, Pompa JB sebesar 74%, dan Pompa JC sebesar 80%.

**Kata Kunci: Biaya, Downtime, Fishbone Diagram, FMEA, Maintenance, Pompa Sentrifugal, software Keandalan**

# **MAINTENANCE PLANNING ON CENTRIFUGAL PUMPS USING FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) METHOD**

**Nama Mahasiswa** : Elisa Bidari  
**NRP** : 0211154000051  
**Departemen** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Suwarno, ST, MSc, Ph.D.

## **ABSTRACT**

*PT. Petrokimia Gresik is a company working on fertilizer production. One of the stages of fertilizer production is ammonia production. On the process of ammonia production, damages often occur on the pumps which are used. Based on data obtained from the field from 2015-2018, damages occurred 26 times on the pumps owned by PT Petrokimia Gresik. Therefore, research which can increase reliability, reduce downtime, reduce maintenance cost, and recommend optimal maintenance strategy for pumps owned by PT. Petrokimia Gresik is needed.*

*The research began with a preliminary study on the company to find out the initial conditions of the company and to get the problem that has to be identified, then field study and literature study had to be done to get to know what kind of data that needed be obtained for the research. The data that needed to be obtained were downtime data and pumps' damages also the cost of losses due to downtime. The next step was analyzing root cause of failures using fishbone diagram and FMEA, then the data was processed using Reliability software. In this process, Time to Failure (TTF) data were entered to the software so the most suitable distribution and its parameters could be obtained. Then, Mean Time to Failure (MTTF) of the pumps could be calculated. The calculation of MTTF then lead to the calculation of the reliability in respect of time on each pump. After the data processing was done,*

*maintenance activities were made so they could be recommended to produce optimal maintenance strategies.*

*The recommended maintenance activities are preventive maintenance where in JA Pump must be carried out every 11000 hours, in JB Pump must be carried every 13000 hours, and in JC Pump must be carried out every 9000 hours, predictive maintenance, and corrective maintenance. The result obtained after the maintenance model has been done are: The downtime reduction of JA Pump by 48%, JB Pump 50%, and JC Pump 71%; and The cost reduction of JA Pump by 67%, JB Pump 51%, and JC Pump 87%.*

***Keywords: Centrifugal Pump, Cost, Downtime, Fishbone Diagram, FMEA, Maintenance, Reliability software***



## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, karena dengan tuntunan-Nya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua tercinta dan tersayang, Hari Subiyakto dan M. Rahayu
2. Kakak tersayang, Anandya Elsa Arira
3. Bapak Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
4. Ibu Dinny Harnany, S.T, M.Sc., Bapak Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T., dan Ibu Latifah Nurahmi, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji
5. Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. Herman Sasongko selaku dosen wali
6. Segenap dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin yang telah membantu penulis
7. Sahabat tersayang, Fidela, Lucynda, Tamara, Fitri, Sla, Vidi, Deasy, Riza, Rida, dan Rozy
8. Sahabat sejak SMP, Nabila, Ken, Dinda, Annisa, Thia, dan Reza
9. Keluarga MAUTS 15
10. Teman-teman Lab Rekayasa Sistem Industri
11. Keluarga Angkatan M58

Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2020

*(halaman sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	4
1.3    Batasan Masalah.....	4
1.4    Tujuan Penelitian.....	5
1.5    Manfaat Penelitian.....	5
2.1    Dasar Teori.....	7
2.1.1    Prinsip Kerja <i>CO<sub>2</sub> Removal</i> .....	7
2.1.2    Pompa Sentrifugal .....	10
2.1.3    Pompa Sentrifugal pada PT. Petrokimia Gresik..	14
2.1.4 <i>Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)</i> .....	16
2.1.5    Kegagalan pada Pompa .....	23
2.1.6    Jenis Perawatan .....	31
2.1.7    Perawatan pada Pompa.....	31
2.1.8    Konsep Keandalan.....	35
2.1.9    Laju Kegagalan ( <i>Failure Rate</i> ).....	36
2.1.10 <i>Mean Time to Failure (MTTF)</i> .....	38
2.1.11    Distribusi Weibull .....	38

2.1.12	Penilaian Keandalan dengan <i>Preventive Maintenance</i> .....	42
2.1.13	<i>Cost</i> .....	43
2.2	Tinjauan Pustaka .....	44
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		47
3.1	Spesifikasi Pompa 107 J.....	47
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	48
3.3	Diagram Alir Pengolahan Data .....	50
3.2	Metodologi Penelitian .....	52
3.2.1	Studi Pendahuluan.....	52
3.2.2	Perumusan Masalah.....	52
3.2.3	Studi Literatur dan Studi Lapangan.....	52
3.2.4	Pengumpulan Data .....	52
3.2.5	Pengolahan Data.....	53
3.2.6	Perancangan Kegiatan Pemeliharaan .....	53
3.2.7	Rekomendasi .....	53
4.1	Kegiatan Perawatan pada PT. Petrokimia Gresik.....	55
4.2	Analisis Data .....	56
4.2.1	<i>Fishbone Diagram</i> .....	56
4.2.2	<i>Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)</i> .....	57
4.2.3	Perhitungan <i>Time to Failure (TTF)</i> dan <i>Time to Repair (TTR)</i> .....	58
4.3	Analisis Keandalan.....	60
4.3.1	Analisis Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JA...60	
4.3.2	Analisis Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JB ...62	
4.3.3	Analisis Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JC...64	

4.4	Rencana Perawatan.....	65
4.5	Keandalan dengan <i>Preventive Maintenance</i> .....	66
4.5.1	Keandalan pada Pompa Sentrifugal 107 JA dengan <i>Preventive Maintenance</i> .....	66
4.5.2	Keandalan pada Pompa Sentrifugal 107 JB dengan <i>Preventive Maintenance</i> .....	67
4.5.3	Keandalan pada Pompa Sentrifugal 107 JC dengan <i>Preventive Maintenance</i> .....	68
4.6	Analisis <i>Downtime</i> dan Biaya .....	69
4.6.1	<i>Downtime</i> dan Biaya Sebelum Dilakukan Permodelan <i>Maintenance</i> .....	70
4.6.2	<i>Downtime</i> dan Biaya Setelah Dilakukan Permodelan <i>Maintenance</i> .....	73
4.6.3	Perbandingan <i>Downtime</i> Sebelum dan Setelah Permodelan <i>Maintenance</i> .....	75
4.6.4	Perbandingan <i>Downtime</i> Sebelum dan Setelah Permodelan <i>Maintenance</i> .....	76
5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran.....	79
LAMPIRAN A	.....	83
LAMPIRAN B	.....	85
LAMPIRAN C	.....	87
LAMPIRAN D	.....	89
LAMPIRAN E	.....	101
LAMPIRAN F	.....	109
DAFTAR PUSTAKA	.....	111

*(halaman sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram <i>Downtime</i> pada Pompa Sentrifugal 107 J... 2	2
Gambar 1.2 Diagram Biaya <i>Maintenance</i> Akibat <i>Downtime</i> yang Terjadi pada Pompa 107 J ..... 3	3
Gambar 2.1 CO <sub>2</sub> <i>removal plant</i> PT. Petrokimia Gresik.....7	7
Gambar 2.2 Pompa Sentrifugal dan Komponen-komponennya.... 8	8
Gambar 2.3 Pompa Sentrifugal dan Komponen-komponennya.. 10	10
Gambar 2.4 Diagram Komponen Pompa Sentrifugal..... 11	11
Gambar 2.5 Cara Kerja Pompa Sentrifugal ..... 13	13
Gambar 2.6 Pompa 107 JA PT. Petrokimia Gresik..... 15	15
Gambar 2.7 Pompa 107 JB PT. Petrokimia Gresik ..... 15	15
Gambar 2.8 Pompa 107 JC PT. Petrokimia Gresik ..... 16	16
Gambar 2.9 <i>Overheating</i> pada <i>Bearing</i> ..... 25	25
Gambar 2.10 Keausan pada <i>Mechanical Seal</i> ..... 26	26
Gambar 2.11 <i>Overload</i> pada <i>Bearing</i> ..... 27	27
Gambar 2.12 <i>Fatigue</i> pada Poros (McKee, 2011)..... 28	28
Gambar 2.13 Tahapan pada <i>Fatigue</i> ..... 29	29
Gambar 2.14 <i>Bathub Curve</i> ..... 37	37
Gambar 2.15 Plot PDF dengan Variasi Nilai Parameter Bentuk. 39	39
Gambar 2.16 Plot PDF dengan Variasi Nilai Parameter Skala ... 40	40
Gambar 2.17 Plot PDF dengan Variasi Nilai Parameter Lokasi . 40	40
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian..... 48	48
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Data..... 51	51
Gambar 4.1 <i>Fishbone Diagram</i> pada Pompa Sentrifugal 107 J..... 57	57
Gambar 4.2 Hasil Pengolahan Data Pompa Sentrifugal 107 JA menggunakan <i>software</i> Keandalan..... 60	60
Gambar 4.3 Grafik Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JA ..... 61	61
Gambar 4.4 Hasil Pengolahan Data Pompa Sentrifugal 107 JB menggunakan <i>software</i> Keandalan..... 62	62
Gambar 4.5 Grafik Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JB..... 63	63
Gambar 4.6 Hasil Pengolahan Data Pompa Sentrifugal 107 JC menggunakan <i>software</i> Keandalan..... 64	64

Gambar 4.7 Grafik Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JC.....	65
Gambar 4.8 Grafik Keandalan Terhadap Waktu Pompa Sentrifugal 107 JA Sebelum dan Setelah Permodelan <i>Maintenance</i> .....	66
Gambar 4.9 Grafik Keandalan Terhadap Waktu Pompa Sentrifugal 107 JB Sebelum dan Setelah Permodelan <i>Maintenance</i> .....	68
Gambar 4.10 Grafik Keandalan Terhadap Waktu Pompa Sentrifugal 107 JC Sebelum dan Setelah Permodelan <i>Maintenance</i> .....	69
Gambar 4.11 <i>Downtime</i> pada Pompa Sentrifugal 107 J Sebelum Permodelan <i>Maintenance</i> .....	70
Gambar 4.12 Diagram Pareto Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J Sebelum Permodelan <i>Maintenance</i> .....	72
Gambar 4.13 <i>Downtime</i> pada Pompa Sentrifugal 107 J Setelah Permodelan <i>Maintenance</i> .....	73
Gambar 4.14 Diagram Pareto Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J Setelah Permodelan <i>Maintenance</i> .....	74
Gambar 4.15 Persentase Penurunan <i>Downtime</i> pada Pompa Sentrifugal 107 J.....	76
Gambar 4.16 Persentase Penurunan Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J.....	78



*(halaman sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Kerusakan Pompa Sentrifugal 107 J Tahun 2015-2018.....	2
Tabel 2.1 <i>Occurrence Ranking</i> .....	18
Tabel 2.2 <i>Severity Ranking</i> .....	19
Tabel 2.3 <i>Detection Ranking</i> .....	21
Tabel 2.4 Nilai-nilai Parameter $\beta$ Distribusi Weibull.....	42
Tabel 3.1 Spesifikasi Pompa Sentrifugal 107 J.....	47
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan <i>Time to Failure</i> (TTF) pada Pompa Sentrifugal 107 JA.....	58
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan <i>Time to Failure</i> (TTF) pada Pompa Sentrifugal 107 JB.....	58
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan <i>Time to Failure</i> (TTF) pada Pompa Sentrifugal 107 JC.....	58
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan <i>Time to Repair</i> (TTR) pada Pompa Sentrifugal 107 JA.....	59
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan <i>Time to Repair</i> (TTR) pada Pompa Sentrifugal 107 JB.....	59
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan <i>Time to Repair</i> (TTR) pada Pompa Sentrifugal 107 JC.....	59
Tabel 4.7 Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 Sebelum Dilakukan Permodelan <i>Maintenance</i> .....	71
Tabel 4.8 Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 Setelah Dilakukan Permodelan <i>Maintenance</i> .....	74
Tabel 4.9 Perbandingan <i>Downtime</i> pada Pompa Sentrifugal 107 J Sebelum dan Setelah Permodelan <i>Maintenance</i> .....	75
Tabel 4.10 Perbandingan Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J Sebelum dan Setelah Permodelan <i>Maintenance</i> .....	77

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada dunia industri, pompa merupakan alat yang banyak digunakan. Pompa berfungsi untuk mengalirkan fluida dari tekanan rendah ke tinggi atau dari satu tempat ke tempat lainnya. Terdapat berbagai macam jenis pompa, salah satu di antaranya adalah Pompa Sentrifugal. PT. Petrokimia Gresik menggunakan Pompa Sentrifugal untuk mengalirkan larutan *benfield* pada Pabrik I.

Pada Pabrik I terdapat proses produksi ammonia, dalam proses tersebut terjadi tahapan *CO<sub>2</sub> Removal* dimana terdapat 3 buah pompa untuk mengalirkan larutan *benfield* menuju *CO<sub>2</sub> Absorber*. Pompa-pompa tersebut disusun secara *redundant* (cadangan) agar terjadinya *shutdown* sistem dapat diminimalisasi. Terdapat 3 buah *Semi-lean solution pump* yang digunakan, yaitu 107 JA, 107 JB, dan 107 JC.

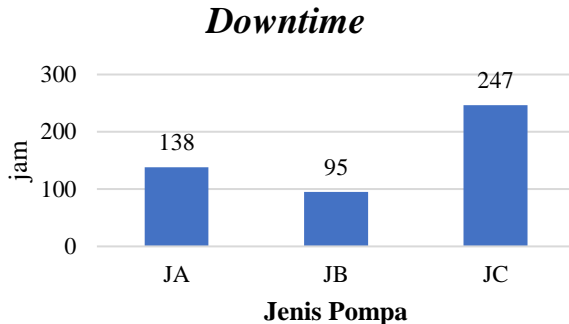
Pada periode 2015-2018, Pompa 107 JA, 107 JB, dan 107 JC mengalami beberapa kegagalan dimana kegagalan pompa yang terjadi disebabkan oleh komponen-komponen di dalamnya misalnya kegagalan pada *bearing*, kegagalan pada *mechanical seal*, kegagalan lubrikasi, vibrasi yang berlebih, *fatigue*, dan lain-lain. Menurut Tabel 1.1 data kerusakan dari tahun 2015-2018, banyak terjadi kerusakan pada ketiga pompa tersebut, diantaranya adalah lepasnya *throttle bushing* dan *wearing ring*, kebocoran pada *mechanical seal*, vibrasi tinggi, dan patahnya poros.

**Tabel 1.1 Data Kerusakan Pompa Sentrifugal 107 J Tahun 2015-2018**

(Database PT. Petrokimia Gresik)

<b>PENYEBAB BREAKDOWN</b>	<b>JA</b>	<b>JB</b>	<b>JC</b>	<b>TOTAL</b>
<i>Mech seal</i> aus	2	2	2	6
<i>Journal bearing</i> rusak	1	0	2	3
<i>Throttle bushing</i> rusak	3	2	3	8
<i>Wearing ring</i> rusak	0	0	1	1
<i>Thrust bearing</i> rusak	0	0	1	1
Poros patah	1	0	3	4
Lain-lain	2	0	1	3
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>26</b>

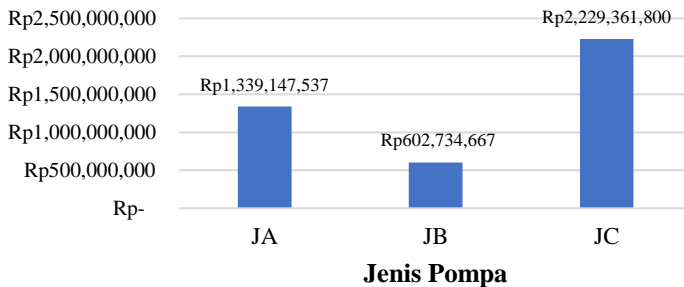
Kerusakan-kerusakan yang terjadi menyebabkan besarnya *downtime* yang berdampak pada kerugian ekonomis sehingga *maintenance* pada Pompa Sentrifugal 107 J perlu dioptimalisasi agar *downtime* akibat kerusakan dapat diminimalisasi dan biaya yang dikeluarkan lebih efisien. Pada tahun 2015-2018, total *downtime* pada Pompa Sentrifugal 107 J digambarkan pada Gambar 1.1 sebagai berikut:



Gambar 1.1 Diagram *Downtime* pada Pompa Sentrifugal 107 J (Database PT. Petrokimia Gresik)

Pada Gambar 1.1 dapat dilihat bahwa *downtime* pada Pompa Sentrifugal 107 J yang tertinggi terdapat pada Pompa 107 JC dengan nilai *downtime* 247 jam, kemudian Pompa 107 JA dengan waktu *downtime* 138 jam, dan Pompa 107 JB dengan waktu *downtime* 95 jam. *Downtime* yang terjadi pada Pompa 107 J mempengaruhi biaya kerugian yang harus dikeluarkan PT. Petrokimia Gresik. Biaya kerugian yang diakibatkan besarnya *downtime* yang terjadi digambarkan pada Gambar 1.2 sebagai berikut:

### **Biaya *Maintenance* Akibat *Downtime***



Gambar 1.2 Diagram Biaya *Maintenance* Akibat *Downtime* yang Terjadi pada Pompa 107 J  
(Database PT. Petrokimia Gresik)

Dengan melihat Gambar 1.2 dapat disimpulkan bahwa biaya tertinggi terdapat pada Pompa 107 JC dengan biaya mencapai 2,2 milyar rupiah, kemudian Pompa 107 JA dengan biaya sebesar 1,3 milyar rupiah, dan Pompa 107 JB dengan biaya sebesar 602,7 juta rupiah. Besarnya biaya ini berbanding lurus dengan tingginya *downtime* yang terjadi.

Selain mempengaruhi biaya, tingginya angka *downtime* juga mempengaruhi *reliability* dan performa pompa. Pompa harus dapat berfungsi dengan andal dalam kondisi operasi yang spesifik agar dapat terus beroperasi pada sebuah industri (J, 2017).

Departemen Pemeliharaan I PT. Petrokimia Gresik melakukan *maintenance* berdasarkan identifikasi masalah kerusakan pada komponen pompa dan melakukan inspeksi pengecekan vibrasi secara rutin tanpa adanya penjadwalan *maintenance* secara teratur. Untuk itu, perlu dilakukan penjadwalan *maintenance* untuk meningkatkan keandalan pompa sehingga *downtime* akibat kerusakan dan biaya *maintenance* akibat kerusakan dapat diminimalisasi.

Untuk mendapatkan performa *maintenance* yang baik, performa, resiko dan biaya *maintenance* harus seimbang. Oleh karena itu perlu dikembangkan taktik untuk memaksimalkan keuntungan strategi *maintenance* yang biasanya dibagi menjadi 2, yaitu *corrective maintenance* dan *preventive maintenance*. *Corrective maintenance* menyebabkan biaya tinggi termasuk kerugian produksi yang disebabkan oleh *downtime*, maka dari itu *preventive maintenance* harus dilakukan untuk mengurangi biaya kerugian serupa. *Preventive maintenance* dapat dilakukan dengan kondisi biaya dari *corrective maintenance* harus lebih besar dari *preventive maintenance* (Vilarinho, 2017).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perlu dilakukan analisis untuk mencari:

1. Bagaimana cara menurunkan *downtime* Pompa Sentrifugal 107 J
2. Bagaimana cara menurunkan biaya *maintenance* Pompa Sentrifugal 107 J
3. Rekomendasi strategi *maintenance* untuk Pompa Sentrifugal 107 J menggunakan metode FMEA

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan terhadap Pompa Sentrifugal 107 J pada PT. Petrokimia Gresik

2. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data *History Maintenance* pada sistem pompa dari tahun 2015-2018
3. Periode waktu permodelan *maintenance* dan perhitungan biaya yang digunakan adalah 3 tahun atau sesuai dengan data waktu operasional di lapangan
4. Semua kegagalan pada sistem pompa diasumsikan sebagai data *independent*
5. Dalam perhitungan *Preventive Maintenance*, keandalan sistem diasumsikan akan kembali baru ( $R=1$ )

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menurunkan *downtime* Pompa Sentrifugal 107 J
2. Menurunkan biaya *maintenance* Pompa Sentrifugal 107 J
3. Memberikan rekomendasi strategi *maintenance* untuk Pompa Sentrifugal 107 J menggunakan metode FMEA

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membantu meningkatkan *reliability*, menurunkan *downtime* dan biaya *maintenance* pada Pompa Sentrifugal 107 J
2. Memberikan strategi *maintenance* yang dapat direkomendasikan kepada pihak Mekanik I Pabrik Ammonia PT. Petrokimia Gresik terkait dengan kegagalan pada Pompa Sentrifugal 107 J

*(halaman sengaja dikosongkan)*



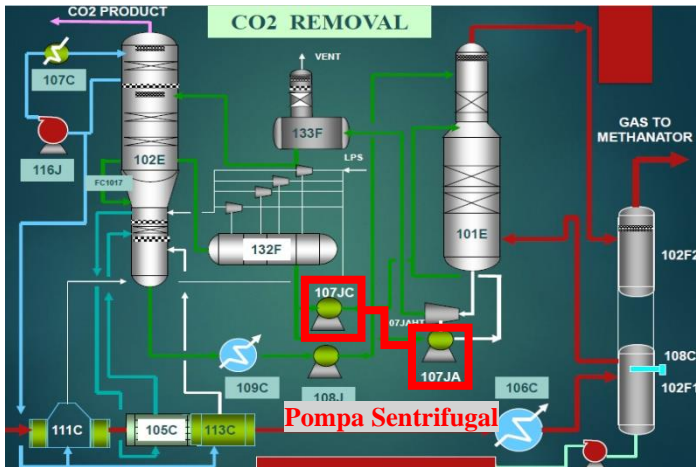
## BAB II

### DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka yang akan digunakan sebagai acuan, prosedur dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian sehingga permasalahan yang diangkat dapat terselesaikan dengan baik.

#### 2.1 Dasar Teori

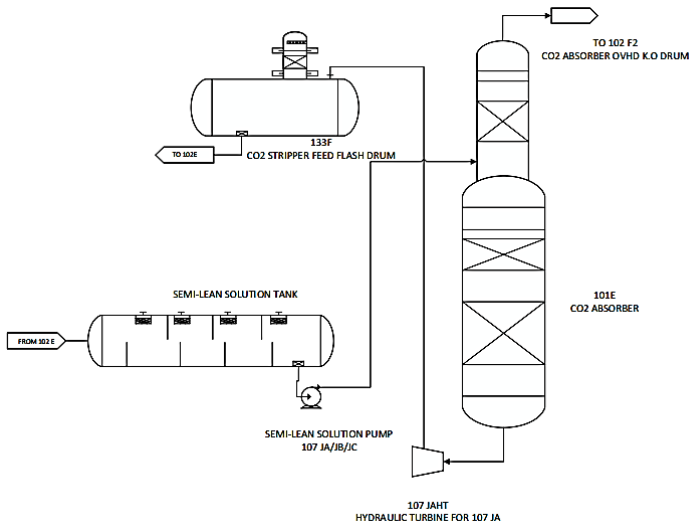
##### 2.1.1 Prinsip Kerja CO<sub>2</sub> Removal



Gambar 2.1 CO<sub>2</sub> removal plant PT. Petrokimia Gresik  
(Database PT. Petrokimia Gresik)

CO<sub>2</sub> removal plant merupakan salah satu plant pada pabrik ammonia di PT. Petrokimia Gresik. CO<sub>2</sub> removal plant berfungsi untuk menghilangkan gas-gas impuritas seperti CO<sub>2</sub> agar tidak mengganggu proses sintesa ammonia. Pada plant tersebut terdapat dua kolom besar yang berfungsi untuk menyerap CO<sub>2</sub> yaitu kolom absorber (101 E) dan memisahkan CO<sub>2</sub> yaitu kolom stripper (102 E). Pada gambar 2.1 menjelaskan bahwa kolom CO<sub>2</sub> absorber (101

E) merupakan suatu tabung atau *vessel* yang bekerja untuk menyerap CO<sub>2</sub> dengan mengkontak gas sintesa dengan larutan *benfield*. Larutan *benfield* menyerap CO<sub>2</sub> dan mengalir ke kolom *stripper* (102 E) dimana kolom *stripper* (102 E) bekerja untuk memisahkan CO<sub>2</sub> dari larutan *benfield*. CO<sub>2</sub> yang terpisah dari larutan *benfield* dibuang dan dijadikan produk atau bahan baku pembuatan pupuk urea. Sedangkan larutan *benfield* yang telah murni dan tidak mengandung CO<sub>2</sub> dikembalikan untuk melakukan proses penyerapan lagi (Database PT. Petrokimia Gresik).



Gambar 2.2 Pompa Sentrifugal dan Komponen-komponennya

Dari Gambar 2.2 terlihat diagram alir proses CO<sub>2</sub> removal dimana terjadi pemisahan gas CO<sub>2</sub> dari gas alam untuk mendapatkan NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>. Pemisahan gas CO<sub>2</sub> dilakukan dengan cara absorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan media *benfield* (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) pada tekanan 28-32 Kg/cm<sup>2</sup>g dan temperatur sebesar 70°C pada tabung 101 E (*absorber*). Selain tabung 101 E terdapat beberapa komponen seperti pompa *semi-lean benfield* 107 JA, 107 JB, 107

JC, turbin hidrolik 107 JAHT, tabung 133 F (*flash drum*), tabung 102 E (*stripper*), dan 132 F (*semi-lean solution tank*).

Pompa 107 JA dan 107 JC berfungsi untuk mengalirkan larutan *semi-lean benfield* ke tabung 101 E. Pompa 107 JB dalam keadaan *standby* apabila ada salah satu pompa rusak. Pada tabung 101 E larutan *semi-lean benfield* akan kontak langsung dengan gas alam untuk mengikat gas CO<sub>2</sub>. Gas alam yang tidak diikat oleh larutan *semi-lean benfield* keluar dari tabung 101 E menuju ke tabung 102 F2 untuk proses lanjutan pembuatan ammonia.

Larutan *semi-lean benfield* yang mengandung CO<sub>2</sub> keluar dari tabung 101 E menuju turbin hidrolik 107 JAHT dengan temperatur 116°C. Fungsi dari turbin hidrolik 107 JAHT adalah sebagai penggerak pompa 107 JA dengan memanfaatkan energi potensial larutan yang keluar dari tabung 101 E. Kemudian larutan *semi-lean benfield* menuju tabung 133 F. Pada tabung 133 F terjadi pelepasan gas alam yang terbawa oleh larutan *semi-lean benfield* ke udara bebas. Untuk kemudian larutan menuju tabung 102 E.

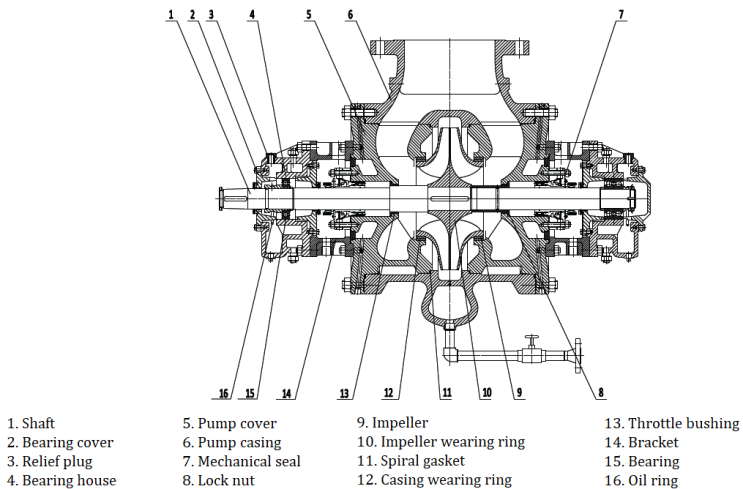
Pada tabung 102 E terjadi pemisahan antara larutan *semi-lean benfield* dengan CO<sub>2</sub>. Proses ini nantinya yang akan menghasilkan produk gas CO<sub>2</sub>. Untuk memisahkan antara larutan dengan CO<sub>2</sub> pada tabung 102 E dilakukan integrasi yaitu mengalirkan uap panas dengan temperatur 100-130°C dan dengan tekanan rendah 0,5-1 Kg/cm<sup>2</sup>g. Integrasi dilakukan dua kali. Integrasi pertama menghasilkan larutan *semi-lean benfield* dan integrasi yang kedua menghasilkan larutan *lean benfield*.

Perbedaan larutan *semi-lean benfield* dengan larutan *lean benfield* adalah kandungan CO<sub>2</sub> yang terdapat pada larutan. Larutan *semi-lean benfield* lebih banyak kandungan CO<sub>2</sub> dibandingkan larutan *lean benfield*. Larutan *semi-lean benfield* dialirkan ke tabung 132 F untuk dilakukan penurunan temperatur sebelum nantinya dialirkan lagi ke tabung 101 E oleh pompa 107 JA dan 107 JC. Sedangkan larutan *lean benfield* dialirkan langsung oleh pompa 108 J dan 108 JA menuju tabung 101 E.

Pompa 107 JA merupakan pompa dengan jenis sentrifugal *single stage* dengan *double suction*, dimana *double suction*

menyatakan bahwa aliran fluida yang masuk melalui dua sisi *impeller* agar *suction* menjadi besar. *Bearing* yang digunakan untuk menahan beban radial adalah *journal bearing* dan *thrust bearing* untuk menahan beban aksial. Sedangkan untuk menghubungkan poros pompa 107 JA dengan poros penggerak turbin hidrolik 107 JAHT digunakan kopling (Sianturi, 2018).

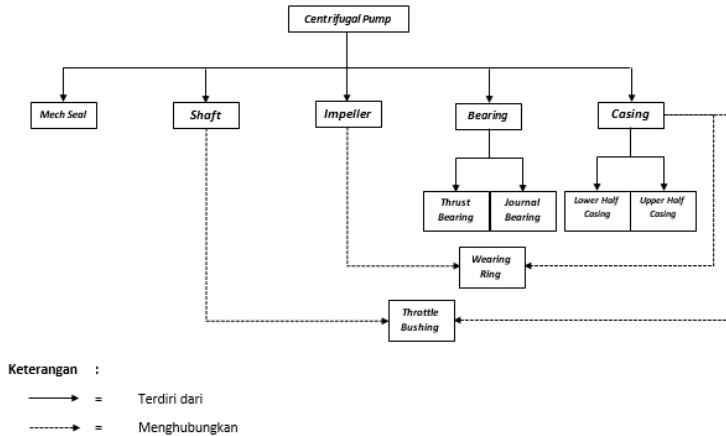
### 2.1.2 Pompa Sentrifugal



Gambar 2.3 Pompa Sentrifugal dan Komponen-komponennya

Pada Gambar 2.3 ditampilkan Pompa Sentrifugal dan komponen-komponennya. Pompa Sentrifugal yaitu pompa untuk memindahkan cairan dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh *impeller*. Pompa sentrifugal adalah termasuk ke dalam jenis pompa tekanan dinamis, dimana pompa jenis ini memiliki *impeller* yang berfungsi untuk mengangkat fluida dari tempat yang rendah ketempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang lebih rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Pompa sentrifugal juga sering disebut sebagai pompa penyangga (*cantilever pumps*).

Ciri khas dari pompa ini adalah tidak adanya *stuffing box* untuk menyegel poros namun menggunakan sebuah *throttle bushing*.



Gambar 2.4 Diagram Komponen Pompa Sentrifugal

Pada Gambar 2.4 ditampilkan diagram komponen-komponen penyusun pompa sentrifugal, berikut merupakan penjelasan dari fungsi komponen-komponen tersebut:

a. *Mechanical Seal*

*Mechanical seal* berfungsi untuk mencegah kebocoran fluida kerja di area pertemuan sisi *casing* pompa dan *casing*.

b. *Shaft*

*Shaft* berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan beberapa komponen.

c. *Impeller*

*Impeller* berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi hisap secara terus menerus akan masuk mengisi

kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.

d. *Bearing*

*Bearing* (bantalan) berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros agar dapat berputar, baik berupa beban radial maupun beban *axial*. *Bearing* juga memungkinkan poros untuk dapat berputar dengan lancar dan tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek menjadi kecil. Terdapat 2 jenis *bearing* yang digunakan pada pompa sentrifugal yaitu sebagai berikut:

- *Journal Bearing*

*Journal bearing* berfungsi untuk menahan beban *radial*.

- *Thrust Bearing*

*Thrust bearing* berfungsi untuk menahan beban *axial*.

e. *Casing*

Merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan *diffusor* (*guide vane*), *inlet* dan *outlet nozzle* serta tempat memberikan arah aliran dari *impeller* dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (*single stage*). *Casing* pada pompa terdiri dari 2 bagian yaitu (Sidiq, 2016):

- *Lower Half Casing*

*Lower half casing* berfungsi sebagai *casing* pompa bagian bawah.

- *Upper Half Casing*

*Upper half casing* berfungsi sebagai *casing* pompa bagian atas.

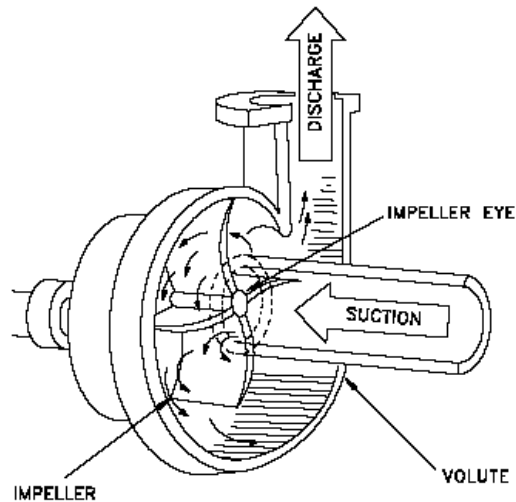
f. *Throttle Bushing*

*Throttle bushing* berfungsi untuk mengurangi tekanan fluida pompa sehingga beban *mechanical seal* berkurang dan untuk mencegah kebocoran pada daerah *shaft* dan *casing*.

g. *Wearing Ring*

*Wearing ring* berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan *impeller* maupun bagian belakang *impeller*, dengan cara memastikan *clearance* antara *casing* dengan *impeller* tetap sesuai.

### 2.1.2.1 Cara Kerja Pompa Sentrifugal



Gambar 2.5 Cara Kerja Pompa Sentrifugal

Cara kerja Pompa Sentrifugal dijelaskan pada Gambar 2.5 dan berikut adalah penjelasan cara kerja Pompa Sentrifugal:

- Fluida memasuki pompa lalu dialirkan dari *suction nozzle* menuju *impeller*. Dalam keadaan awal masuk, fluida masih dalam tekanan atmosfer.
- Kecepatan putar dari *impeller* memberikan gaya sentrifugal pada fluida. Gaya tersebut akan menggerakkan fluida sepanjang *impeller vane* (baling-baling *impeller*) dan keluar menuju sisi sempit dimana fluida memiliki gaya

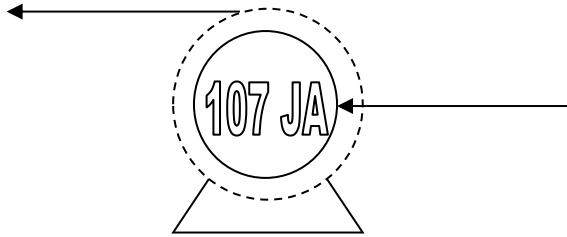
- yang melawan dinding *volute* yang kemudian keluar melalui *discharge nozzle*.
- c. Karena terjadi reduksi tekanan pada saat fluida masuk, maka fluida dialirkan ke pompa harus pada kondisi yang kontinu.
  - d. Bentuk dari *volute* yang semakin melebar ketika menuju *discharge nozzle* dari pada posisi awal fluida memasuki *volute*. Ketika fluida dari *impeller* menabrak sisi *volute* maka kecepatan dari fluida tersebut akan meningkat. Percepatan yang terjadi pada kondisi ini sangat berhubungan dengan energi kinetiknya.
  - e. Kemudian bentuk *volute* yang lebar pada posisi keluar fluida dari *impeller* akan memperlambat gerakan dari fluida. Sesaat ketika fluida mencapai posisi akhir *volute*, energi kinetik akan ditransformasikan menjadi tekanan. Tekanan ini lah yang akan menggerakkan fluida keluar dari pompa melalui *discharge nozzle* yang kemudian mengalir menuju pipa keluaran (Sidiq, 2016).

### **2.1.3 Pompa Sentrifugal pada PT. Petrokimia Gresik**

Pompa sentrifugal merupakan jenis pompa yang digunakan oleh PT. Petrokimia Gresik dalam proses *CO<sub>2</sub> removal* yang terdapat pada proses produksi ammonia. Terdapat tiga jenis pompa sentrifugal yang digunakan berdasarkan penggerakannya, yaitu pompa hidrotubin, pompa *steam turbine* dan pompa motor. Pompa-pompa tersebut berfungsi mengalirkan larutan *benfield* menuju *CO<sub>2</sub> absorber*. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing pompa di atas:



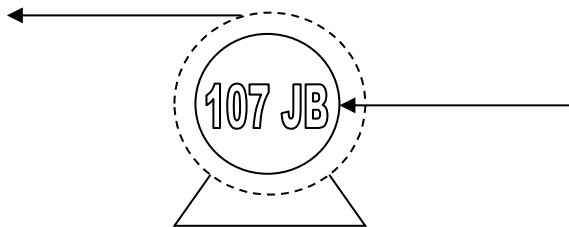
### 2.1.3.1 Pompa *Hydro Turbine* (107 JA)



Gambar 2.6 Pompa 107 JA PT. Petrokimia Gresik

Pompa 107 JA yang digambarkan pada Gambar 2.6 memiliki penggerak berupa *hydro turbine*. Pompa jenis ini memiliki *impeller* yang berfungsi untuk mengangkat fluida dari tempat yang rendah ketempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Pompa tipe 107 JA sendiri memiliki fungsi untuk mengalirkan larutan *benfield* menuju *CO<sub>2</sub> absorber*.

### 2.1.3.2 Pompa *Steam Turbine* (107 JB)

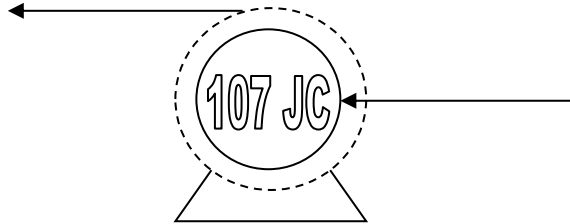


Gambar 2.7 Pompa 107 JB PT. Petrokimia Gresik

Pompa 107 JB yang digambarkan pada Gambar 2.7 merupakan *pompa standby* yang hanya digunakan apabila Pompa 107 JA atau 107 JC tidak dapat bekerja. memiliki penggerak berupa *steam turbine*. Pompa jenis ini memiliki *impeller* yang berfungsi untuk mengangkat fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Pompa tipe 107 JB sendiri memiliki fungsi sebagai pompa

cadangan untuk mengalirkan larutan *benfield* menuju CO<sub>2</sub> *absorber* apabila Pompa 107 JA dan 107 JC *shut down*.

### 2.1.3.3 Pompa Motor (107 JC)



Gambar 2.8 Pompa 107 JC PT. Petrokimia Gresik

Pompa 107 JC yang digambarkan pada Gambar 2.8 memiliki penggerak berupa motor. Pompa jenis ini memiliki *impeller* yang berfungsi untuk mengangkat fluida dari tempat yang rendah ketempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Pompa tipe 107 JC sendiri memiliki fungsi untuk mengalirkan larutan *benfield* menuju CO<sub>2</sub> *absorber* (Database PT. Petrokimia Gresik).

### 2.1.4 Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)

Aplikasi utama dari FMEA bisa menjadi sebuah komponen produk atau proses manufaktur. Ketika diaplikasikan pada produk, FMEA mengarah pada *Design Failure Mode and Effect Analysis* (DFMEA), sedangkan apabila diaplikasikan pada proses, disebut *Process Failure Mode and Effect Analysis* (PFMEA). FMEA untuk analisis kritis disebut FMECA. FMEA dan FMECA dapat dikatakan mirip, karena keduanya mengidentifikasi modus kegagalan, efek, penyebab dan menganalisis *severity*, *occurrence*, dan *detection* pada masing-masing kegagalan. FMEA merupakan teknik kuat yang digunakan oleh teknisi dan penganalisis *reliability* untuk mengidentifikasi kegagalan fungsi dan komponen yang akan menyebabkan hasil yang tidak diinginkan, seperti kerugian produksi, kegagalan, atau bahkan kecelakaan. Tujuan

utama dari FMEA adalah untuk menemukan dan mengetahui kegagalan potensial yang memiliki prioritas dengan menghitung *Risk Priority Number* (RPN). Hasil dari FMEA dapat mengidentifikasi modus kegagalan dan penyebab dan efeknya pada proses produksi (Nuñez, 2017).

Informasi yang didapatkan FMEA adalah sebagai berikut (Singh, 2015):

1. Data modus kegagalan potensial dan penyebab kegagalan dapat membantu memandu pengujian sistem dan teknik inspeksi
2. Kegagalan potensial kritis yang dapat mempengaruhi performa sistem keseluruhan
3. *Detection* dan perhitungan kontrol setiap modus kegagalan
4. Manajemen informasi
5. *Input* untuk analisis yang lebih jauh

#### **2.1.4.1 Modus Kegagalan**

Modus kegagalan adalah suatu keadaan yang menunjukkan bagaimana kegagalan komponen dapat terjadi. Modus kegagalan menentukan penyimpangan aktual dari standar performa komponen dan memberitahukan bagian dari komponen yang mengalami malfungsi.

Untuk setiap level dari komponen atau fungsi yang dianalisis, modus kegagalan harus diidentifikasi dan dianalisis. Karena modus kegagalan mungkin memiliki lebih dari satu penyebab, semua kemungkinan penyebab pada level yang lebih rendah harus dipertimbangkan juga dalam analisis. Setiap modus kegagalan diperlakukan secara independen. Efek dari modus kegagalan pada level yang rendah dapat menjadi penyebab kegagalan pada level yang lebih tinggi.

Beberapa contoh modus kegagalan yang umum adalah sebagai berikut:

- Operasi prematur
- Kegagalan beroperasi pada waktu yang ditentukan
- Kegagalan penghentian operasi pada waktu yang ditentukan

- Kegagalan selama operasi (operasi terputus-putus, kehilangan *output*, atau *output* terdegradasi)

Kategori umum pada modus kegagalan mungkin cakupannya terlalu luas untuk dianalisis definitif; akibatnya, daftar modus kegagalan perlu diperluas untuk menghasilkan FMEA yang lebih spesifik ((IEC), 2006).

#### 2.1.4.2 Penyebab Kegagalan

Penyebab yang paling mungkin terjadi pada setiap modus kegagalan harus diidentifikasi dan dijelaskan. Identifikasi dan deskripsi penyebab kegagalan untuk semua modus kegagalan tidak selalu diperlukan karena bisa memakan waktu yang lama dan hanya memiliki efek yang sangat kecil pada fungsionalitas sistem. Oleh karena itu, menyesuaikan analisis berdasarkan efek kegagalan dan tingkat *severity*-nya lebih direkomendasikan, yaitu semakin parah efek modus kegagalan, semakin akurat identifikasi dan deskripsi penyebab kegagalannya.

##### 2.1.4.2.1 Tingkat Kegagalan (*Occurance*)

Tingkat kegagalan, frekuensi atau probabilitas terjadinya setiap modus kegagalan, harus ditentukan. Hal ini dapat diperkirakan dari data pengujian umur komponen, *database* dari tingkat kegagalan, data kegagalan lapangan, data kegagalan komponen serupa, dll. Pada Tabel 2.1 menunjukkan tingkat kegagalan dari skala 1 hingga 10, dimana tingkat 10 menunjukkan tingkat kejadian tertinggi. ((IEC), 2006)

**Tabel 2.1 Occurrence Ranking** ((IEC), 2006)

<i>Occurrence Modus Kegagalan</i>	<i>Ranking</i>	<i>Frekuensi</i>	<i>Probabilitas</i>
Sangat rendah	1	$\leq 0,010$ per 1000 kali	$\leq 1 \times 10^{-5}$
Rendah: Relatif sedikit kegagalan	2	0,1 per 1000 kali	$1 \times 10^{-4}$
	3	0,5 per 1000 kali	$5 \times 10^{-4}$
Sedang: Kegagalan terjadi sesekali	4	1 per 1000 kali	$1 \times 10^{-3}$
	5	2 per 1000 kali	$2 \times 10^{-3}$

	6	5 per 1000 kali	$5 \times 10^{-3}$
Tinggi: Kegagalan berulang	7	10 per 1000 kali	$1 \times 10^{-2}$
	8	20 per 1000 kali	$2 \times 10^{-2}$
Sangat tinggi: Kegagalan hampir tak terelakkan	9	50 per 1000 kali	$5 \times 10^{-2}$
	10	$\geq 100$ per 1000 kali	$\geq 1 \times 10^{-1}$

### 2.1.4.3 Efek Kegagalan

Efek kegagalan adalah konsekuensi dari modus kegagalan dalam hal operasi, fungsi atau status suatu sistem. Efek kegagalan dapat disebabkan oleh satu atau lebih modus kegagalan dari satu atau lebih komponen.

#### 2.1.4.3.1 *Failure Severity*

*Severity* adalah penilaian efek modus kegagalan pada operasi komponen, atau pada operator komponen di sekitarnya, atau pada operator komponen. Penilaian tersebut mempertimbangkan efek pada sistem keseluruhan, dan bukan hanya satu komponen. Klasifikasi efek *severity* didasarkan pada sifat sistem, efek pada pengguna atau lingkungan, kinerja fungsional, dan keselamatan. Pada Tabel 2.2 ditunjukkan peringkat *severity* yang digunakan dari skala 1 hingga 10, dimana tingkat 10 menunjukkan tingkat *severity* tertinggi ((IEC), 2006).

**Tabel 2.2 *Severity Ranking* ((IEC), 2006)**

<i>Severity</i>	<b>Kriteria</b>	<i>Ranking</i>
Tidak ada	Tidak ada efek yang terlihat.	1
Sangat minor	Produk memiliki bagian yang tidak sesuai. Cacat diperhatikan oleh sebagian kecil konsumen (kurang dari 25% konsumen).	2
Minor	Produk memiliki bagian yang tidak sesuai. Cacat diperhatikan oleh sebagian konsumen (kurang dari 50% konsumen).	3
Sangat rendah	Produk memiliki bagian yang tidak sesuai. Cacat diperhatikan oleh sebagian besar (lebih dari 75% konsumen).	4

Rendah	Sistem/item dapat dioperasikan tetapi kenyamanan item dapat dioperasikan pada level performa yang lebih rendah. Pelanggan sedikit tidak puas.	5
Sedang	Sistem/item dapat dioperasikan tetapi kenyamanan item tidak dapat dioperasikan. Pelanggan tidak puas.	6
Tinggi	Sistem/item dapat dioperasikan tetapi pada level performa yang lebih rendah. Pelanggan sangat tidak puas.	7
Sangat tinggi	Sistem/item tidak dapat dioperasikan (kehilangan fungsi utama)	8
Berbahaya dengan peringatan	Level <i>severity</i> sangat tinggi ketika modus kegagalan yang potensial mempengaruhi operasi sistem yang aman dan/ melibatkan pelanggaran peraturan pemerintah dengan peringatan.	9
Berbahaya tanpa peringatan	Level <i>severity</i> sangat tinggi ketika modus kegagalan yang potensial mempengaruhi operasi sistem yang aman dan/ melibatkan pelanggaran peraturan pemerintah tanpa peringatan.	10

#### **2.1.4.4 Failure Detection**

Beberapa modus kegagalan terlihat dan yang lain tidak (contoh: kegagalan *start* pada *mode standby*). Cara pendeteksian modus kegagalan merupakan hal yang penting untuk diketahui. Oleh karena itu, analisis FMEA dilakukan karena dalam analisis tersebut terdapat langkah pendeteksi kegagalan.

Dalam desain FMEA, *detection* mempertimbangkan seberapa besar kemungkinan dan dimana defisiensi terjadi dalam suatu proses.

##### **2.1.4.4.1 Detection Probability**

Probabilitas deteksi adalah estimasi peluang untuk mengidentifikasi dan mengatasi kegagalan sebelum mempengaruhi sistem atau pelanggan. Semakin tinggi nilai deteksi, semakin kecil kemungkinan kegagalan terdeteksi. Probabilitas deteksi yang rendah akan berakibat pada modus kegagalan yang tinggi. Pada

Tabel 2.3 ditunjukkan peringkat *detection* yang digunakan dari skala 1 hingga 10, dimana tingkat 10 menunjukkan tingkat *severity* terendah ((IEC), 2006).

**Tabel 2.3 *Detection Ranking* ((IEC), 2006)**

<i>Detection</i>	<b>Kriteria: Kemungkinan Deteksi oleh Desain Kontrol</b>	<i>Ranking</i>
Hampir pasti	Kontrol desain hampir pasti akan mendeteksi kemungkinan penyebab/mekanisme dan modus kegagalan berikutnya.	1
Sangat tinggi	Peluang yang sangat tinggi kontrol desain akan mendeteksi kemungkinan penyebab/mekanisme dan kegagalan selanjutnya.	2
Tinggi	Peluang yang tinggi kontrol desain akan mendeteksi kemungkinan penyebab/mekanisme dan kegagalan selanjutnya.	3
Cukup tinggi	Peluang yang cukup tinggi kontrol desain akan mendeteksi kemungkinan penyebab/mekanisme dan kegagalan selanjutnya.	4
Cukup	Peluang yang cukup kontrol desain akan mendeteksi kemungkinan penyebab/mekanisme dan kegagalan selanjutnya.	5
Cukup rendah	Peluang yang cukup rendah kontrol desain akan mendeteksi kemungkinan penyebab/mekanisme dan kegagalan selanjutnya.	6
Rendah	Peluang yang rendah kontrol desain akan mendeteksi kemungkinan penyebab/mekanisme dan kegagalan selanjutnya.	7
Sangat rendah	Peluang yang sangat rendah kontrol desain akan mendeteksi kemungkinan	8

	penyebab/mekanisme dan kegagalan selanjutnya.	
Benar-benar rendah	Peluang yang benar-benar rendah kontrol desain akan mendeteksi kemungkinan penyebab/mekanisme dan kegagalan selanjutnya.	9
Sama sekali tidak pasti	Tidak terdapat peluang kontrol desain akan mendeteksi kemungkinan penyebab/mekanisme dan kegagalan selanjutnya; atau tidak ada kontrol desain.	10

#### 2.1.4.5 Risks and Risk Priority Numbers

Dalam analisis untuk membedakan tingkat deteksi kegagalan, resiko dari berbagai modus kegagalan ditentukan dengan *Risk Priority Number* (RPN). Tiga faktor utama yang mempengaruhi perhitungan RPN adalah *severity*, *occurrence*, dan *detection*. *Severity* mengarah kepada *severity* potensial dari kegagalan komponen pompa dan efeknya pada performa pompa. Nilai dari *severity* berkisar antara 1-10. Apabila tidak adak efek terhadap sistem yang diakibatkan kegagalan komponen maka nilainya adalah 1. Sedangkan kegagalan yang parah dan terjadi tanpa peringatan akan diberikan nilai 10. *Occurrence* mengarah pada tingkat keseringan terjadinya kegagalan pada pompa. Nilai 1 diberikan ketika kegagalan sangat jarang terjadi sedangkan apabila kegagalan sangat sering terjadi akan diberikan nilai 10. *Detection* mengindikasikan probabilitas untuk mendeteksi kegagalan komponen. Apabila kegagalan hampir selalu terdeteksi akan diberikan nilai 1, sebaliknya jika pendeteksian terhadap kegagalan komponen tidak jelas akan diberikan nilai 10 (J, 2017).

Resiko prioritas, R, dari berbagai modus kegagalan diukur sebagai berikut:

$$R = S \times P \quad 2.1$$

dimana P menunjukkan probabilitas terjadinya kegagalan dan S



adalah tingkat *severity* dari mode kegagalan.

$$RPN = S \times O \times D \quad 2.2$$

di mana O adalah tingkat frekuensi terjadinya modus kegagalan dan D adalah tingkat kemungkinan kegagalan terdeteksi (Trojan, 2017).

#### **2.1.4.6 Langkah Pembuatan FMEA**

Langkah-langkah utama dalam melakukan analisis kegagalan dengan menggunakan metode FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*) adalah sebagai berikut:

- Pengumpulan data terkait permasalahan awal secara global pada peralatan yang mengalami kegagalan.
- Pemahaman proses dan prinsip kerja peralatan yang dianalisis.
- Pembuatan daftar komponen peralatan yang dianalisis pada tabel FMEA.
- Pembuatan daftar modus kegagalan peralatan yang dianalisis.
- Pembuatan daftar penyebab kegagalan peralatan yang dianalisis.
- Pembuatan daftar efek dari masing masing modus kegagalan.
- Pemberian nilai *Severity*, *Occurance*, dan *Detection* pada masing masing kegagalan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
- Perhitungan RPN pada masing masing kegagalan.
- Pengembangan pemecahan masalah untuk masing masing kegagalan.

#### **2.1.5 Kegagalan pada Pompa**

Terdapat beberapa kegagalan yang umum terjadi pada pompa, yaitu:

##### **2.1.5.1 Kegagalan Mekanikal**

###### **2.1.5.1.1 Bearing**

Kegagalan pada *bearing* umumnya terjadi karena kontaminasi lubrikasi *bearing* oleh air, cairan lain, ataupun partikel padat.

Faktor lain yang dapat menyebabkan kegagalan pada *bearing* adalah temperatur tinggi yang dapat menyebabkan beban berlebih pada bantalan. Selain itu, pelumasan berlebihan juga dapat menyebabkan kegagalan pada *bearing*. Kegagalan-kegagalan tersebut dapat memiliki beberapa akar permasalahan.

Kontaminasi kelembaban pada *bearing* dapat disebabkan oleh berbagai hal, yaitu: kebocoran pada *packing* mengalir kembali ke *bearing* dan merembes ke *bearing housing*; menggunakan selang air untuk membersihkan kebocoran yang dapat menyebabkan air masuk ke dalam selubung *bearing* dan ke *bearing housing*.

Ketika pompa beroperasi di BEP (*Best Efficiency Point*), satu-satunya beban *bearing* adalah berat dari *rotating component*, tekanan yang disebabkan oleh gangguan suaian pada poros, dan *preload bearing* yang telah dispesifikasi oleh pabrik. Namun, sebagian besar pompa tidak berfungsi terus menerus pada di BEP mereka sehingga kelebihan beban dapat terjadi. Kelebihan beban pada *bearing* dapat terjadi karena: komponen berputar yang tidak *balance*, *rotating shaft* yang bengkok, dorongan aksial yang berlebihan, dan lain-lain.

Pada Gambar 2.9 ditampilkan *overheating* pada *bearing*. *Overheating* yang terjadi kemungkinan terjadi karena masalah pelumasan di *bearing*. Masalah-masalah tersebut antara lain: level oli terlalu rendah atau terlalu tinggi, kelas oli yang salah, kelembaban oli kurang atau terlalu banyak, dan lain lain.

Kontaminasi kelembaban pada bantalan juga dapat menyebabkan kegagalan yang terjadi karena masalah seperti *pitting* dan korosi pada *bearing* yang dapat meningkatkan *fatigue* pada komponen metal, *hydrogen embrittlement* karena hidrogen atom bebas pada air yang mempercepat *fatigue* pada metal *bearing* dan kurangnya pelumasan yang baik dikarenakan air dan oli tidak tercampur dengan baik (McKee, 2011).

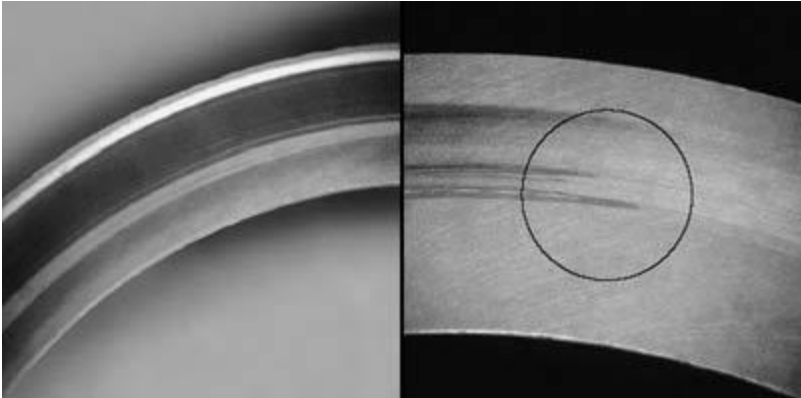


Gambar 2.9 *Overheating* pada *Bearing*  
(McKee, 2011)

#### **2.1.5.1.2 *Mechanical Seal***

*Mechanical seal* secara umum mengalami kegagalan karena dua alasan: lapisan permukaan *seal* terbuka atau salah satu komponen *seal* rusak. Ketika permukaan *seal* terbuka, hal ini memungkinkan padatan menembus di antara permukaan yang tersusun. Padatan melekat ke karbon yang lembut/permukaan grafit yang menyebabkan keausan yang parah pada permukaan yang keras. Jenis kegagalan ini terjadi pada sebagian besar *mechanical seal* (McKee, 2011).

Pada Gambar 2.10 ditampilkan gambar keausan pada *mechanical seal*.



Gambar 2.10 Keausan pada *Mechanical Seal*  
(McKee, 2011)

#### 2.1.5.1.3 Kegagalan Lubrikasi

Tujuan lubrikasi adalah untuk mengurangi gesekan antara dua bagian yang bergerak, sehingga mengurangi keausan, dan memperpanjang umur alat. Oli yang tidak terkontaminasi tidak akan mengalami keausan dan memiliki umur kurang lebih 30 tahun pada temperatur 30°C. Umur ini berkurang setengah setiap kenaikan 10°C pada temperatur oli.

*Bearing* yang mengalami *overload* dapat menyebabkan panas berlebih yang dihasilkan dalam bantalan. Kenaikan temperatur akan menghasilkan penurunan viskositas pada lubrikan, yang akan menghasilkan lebih banyak panas karena kehilangan kemampuan untuk menopang beban. Residu oli kemudian terbentuk yang kemudian menjadi arang pada suhu tinggi. Arang ini dapat menghancurkan kemampuan oli atau *grease* untuk melubrikasi *bearing* (McKee, 2011).

Pada Gambar 2.11 ditampilkan gambar *overload* pada *bearing*.



Gambar 2.11 *Overload* pada *Bearing*  
(McKee, 2011)

#### **2.1.5.1.4 Vibrasi yang Berlebih**

Vibrasi yang berlebih, atau getaran yang tidak dapat diterima, diklasifikasikan, menurut ISO 10816, memiliki amplitudo lebih besar dari 2,80 mm/s untuk mesin kecil, 4,50 mm/s untuk mesin sedang, 7,10 mm/s untuk mesin besar dengan pondasi *rigid*, dan 11,2 mm/s untuk mesin besar dengan pondasi lunak. Getaran disebabkan oleh komponen bergerak pada pompa yang tidak seimbang, interaksi fluida dan partikelnya dengan pompa dan pipa penghubung, dan pergerakan dari pipa tersebut sendiri. Terdapat banyak alasan yang dapat menyebabkan vibrasi yang tidak diinginkan dalam pompa; seperti ketidakseimbangan *impeller*, ketidakseimbangan hidrolis, masalah pada *bearing*, pergerakan pada plat dasar, komponen yang bergerak keluar, kavitasi, dan lain-lain (McKee, 2011).

### 2.1.5.1.5 *Fatigue*

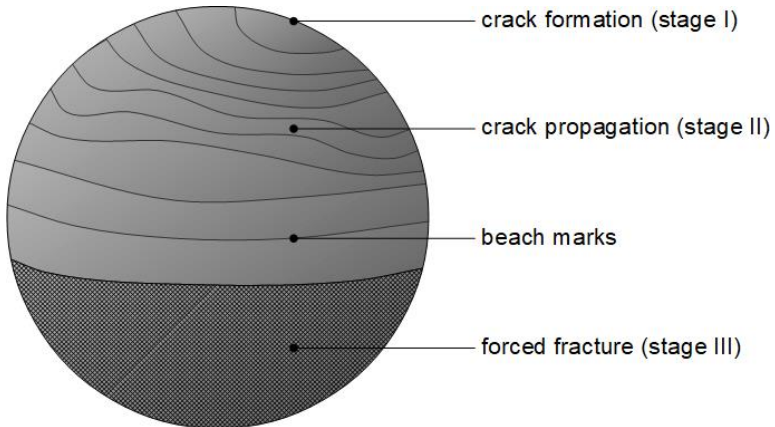
*Fatigue*, pada intinya dapat dikelompokkan sebagai berikut: beban siklik, kelelahan material, atau kelelahan material yang didukung faktor lingkungan. Pompa pada dasarnya adalah mesin yang memiliki fluida, dengan atau tanpa padatan, menginduksi beban siklik pada komponennya. Meskipun pompa sentrifugal adalah *equipment* rotasional yang bersifat *steady state*, pulsa atau tekanan banyak ditemukan. Sumber dari tekanan siklik ini disebabkan oleh interaksi fluida di antara *exit vanes* pada *impeller* dan *diffuser vanes*, atau dalam kasus pompa *volute*, *vanes* pada *impeller* dan *casing* pada *cutwater*. Gaya yang diinduksi secara mekanis dihasilkan dari momen *bending* yang bekerja pada poros pompa atau ketidakseimbangan komponen dalam *assembly rotor* (McKee, 2011).



Gambar 2.12 *Fatigue* pada Poros (McKee, 2011)

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13, *Fatigue* terjadi dengan tiga tahapan, mulai dari (1) *crack initiation*,

yang kadang kadang dikaitkan oleh *defect* yang telah ada sebelumnya, (2) perambatan retak, dan (3) *final failure*. Level tegangan, geometri, ukuran cacat, dan sifat mekanis menentukan keberadaan dan tingkat *fatigue* pada tahap-tahap ini. Tiga tahapan pada *fatigue* ini dapat diobservasi pada permukaan *fracture* (McKee, 2011).



Gambar 2.13 Tahapan pada *Fatigue*

## 2.1.5.2 Kegagalan *Hydraulic*

### 2.1.5.2.1 Kavitasasi

Kavitasasi adalah keadaan terbentuknya gelembung uap pada fluida dimana tekanan dalam fluida jatuh di bawah tekanan uap. Kavitasasi merupakan hasil dari reduksi pada tekanan *suction*, peningkatan tekanan pada temperatur *suction*, atau peningkatan laju tekanan di atas desain pompa (McKee, 2011).

Banyak hal yang menjadi sebab dari kavitasasi sistem pompa dan pipa, seperti: aliran volumetrik yang tinggi, penurunan fluida pada sistem tinggi sehingga menyebabkan peningkatan abnormal pada temperatur dari fluida; pengurangan pada tekanan *suction* dikarenakan perubahan kondisi pada sisi *suction* pada pompa; pemanasan fluida pada sistem *suction*, yang menyebabkan

tingginya tekanan fluida gas pada *inlet* pompa, dan lain-lain (McKee, 2011).

#### **2.1.5.2.2 Pressure Pulsations**

*Pressure pulsations* hanya terjadi pada pompa bertekanan tinggi, dimana *head* dari fluida lebih dari 300 m. *Pressure pulsations* ditemukan pada kedua *suction* dan *discharge* pada pompa sentrifugal. Kegagalan ini dapat disebabkan oleh aliran *wake* pada *outlet impeller* (McKee, 2011).

#### **2.1.5.2.3 Radial Thrust**

*Radial thrust* adalah penurunan *thrust* pada rotor pompa yang terarah pada pusat dari rotasi. Kegagalan ini terjadi ketika pompa beroperasi pada laju aliran yang rendah. Beban radial dapat berkurang dengan berkurangnya pompa yang beroperasi pada kapasitas tinggi atau pemasangan *bypass* dari *discharge* pompa ke *suction* (McKee, 2011).

#### **2.1.5.2.4 Axial Thrust**

*Axial thrust* adalah penurunan pada *axis* dari poros, pada arah dalam atau luar. *Axial thrust* ini biasanya disebabkan oleh komponen siklik dinamik yang mengalami penurunan yang besar pada beban *steady state* kedua arah. *Axial thrust* disebabkan oleh beban siklik yang tinggi pada *shaft* ketika pompa mensirkulasi ulang *outputnya* secara parsial (McKee, 2011).

#### **2.1.5.2.5 Sirkulasi Ulang Suction dan Discharge**

Sirkulasi ulang biasanya terjadi pada aliran yang berkurang, dan merupakan aliran pada fluida di sekeliling *impeller* ke sisi *suction*. Apabila ditemukan pada *inlet* dari *impeller*, maka disebut sirkulasi ulang *suction*. Kegagalan ini dapat ditentukan melalui pemeriksaan *pressure pulsations* yang terdapat pada *suction* dan *discharge* pada pompa. Untuk mengatasi sirkulasi ulang dilakukan langkah sebagai berikut: menaikkan *output* aliran pada pompa, pemasangan *bypass* dari *discharge* pompa ke *suction*, penggantian material yang telah dikembangkan untuk *impeller* yang tahan terhadap kerusakan kavitasi, dan modifikasi desain *impeller* (McKee, 2011).



### 2.1.6 Jenis Perawatan

Asosiasi Pemeliharaan (Abraman, 2005) mengatakan bahwa pemeliharaan dapat diklasifikasikan menjadi tiga cabang utama yaitu: *Corrective Maintenance*, *Preventive Maintenance*, dan *Predictive Maintenance*. Berikut adalah penjelasan dari masing masing cabang pemeliharaan menurut Abraman:

- ***Corrective maintenance***

Jenis pemeliharaan ini dilakukan setelah kegagalan atau penurunan performa terjadi. Dengan segala kekurangannya, pemeliharaan ini masih sering digunakan.

- ***Preventive maintenance***

Jenis pemeliharaan ini dilakukan pada alat yang belum mengalami kegagalan atau masih berfungsi dengan kondisi minimum.

- ***Predictive maintenance***

Pada jenis pemeliharaan ini, dapat dilakukan *monitoring* alat ketika alat tersebut sedang berfungsi maksimal dengan *availability* tinggi. Pemeliharaan prediktif dapat memprediksi kegagalan alat dan dapat membantu menentukan kapan perbaikan alat harus dilakukan (Trojan, 2017).

### 2.1.7 Perawatan pada Pompa

Hasil perawatan pada pompa sentrifugal antara lain:

#### 2.1.7.1 Inspeksi

Jadwal observasi mingguan harus dibuat untuk mencegah kegagalan pada pompa. Operasi pada *mechanical seal* dan temperatur *bearing* harus dicek dengan jangka waktu tertentu. Perubahan temperatur *bearing* yang ekstrim dapat meningkatkan kemungkinan kegagalan dibandingkan temperatur tinggi yang konstan.

Setiap 6 bulan sekali, harus dilakukan pengecekan pompa dan *alignment*, perbaiki jika perlu. Penguraan sistem oli lubrikasi atau lubrikasi *bearing* dan isi dengan oli baru. Pengecekan *mechanical seal* dan penggantian permukaan *seal* perlu dilakukan. Selain itu,

perhatikan juga keadaan *bearing* dan ganti apabila diperlukan (Database PT. Petrokimia Gresik).

- Vibrasi

Salah satu masalah yang paling sering ditemukan pada pemasangan pompa adalah vibrasi. Seringkali masalah vibrasi dijumpai pada pompa yang dipasang secara vertikal, apabila pompa bekerja pada kecepatan variabel, atau jika pompa secara seimbang bekerja pada aliran di bawah batas desain. Pengujian vibrasi yang paling umum digunakan dapat dibagi menjadi dua kategori:

- *Natural-Excitation Signature Analysis Tests*

Jalankan pompa dalam kondisi operasi seimbang, dan ambil data melalui sepasang transduser pada lokasi yang penting untuk menentukan amplitudo vibrasi versus frekuensi *spectrum plot* “signature” dan komponen “orbits” (posisi vs waktu pada bidang yang tegak lurus dengan sumbu *shaft*) yang disebabkan gaya yang terjadi di dalam sistem pompa.

- *Shutdown and Startup Transients*

Pengujian ini menggunakan *plotting* “peak average”. Sebisa mungkin jalankan kecepatan pompa naik dan turun secara perlahan, selagi mendokumentasikan perubahan spektrum frekuensi yang diakibatkan oleh respon yang dipaksa dan ketidakstabilan yang terjadi pada sistem perpipaan melalui transien. Hal ini mirip dengan *cascade plotting*, tapi didapatkan dengan spektrum tunggal dengan bantuan dari teknik yang bisa dilakukan oleh penganalisis biasa disebut “*peak averaging*”. *Peak averaging* menahan nilai amplitudo maksimum yang didapat pada frekuensi tertentu selama periode per ketika “*averaging*” telah selesai dilakukan (Marscher, 2017).

- Analisis *Monitoring Oli*

Hal ini melibatkan *monitoring* kondisi dari pelumas *bearing*, untuk menentukan apakah pelumas perlu diganti, dan

apakah perlu digunakan pelumas “*telltale*” ketika terdapat masalah dalam pompa. Metode yang digunakan adalah analisis kimia dan pengamatan partikel pada aliran. Analisis kimia dapat terdiri dari penentuan *Total Acid Number* (TAN) pada oli atau *Total Base Number* (TBN) (menentukan apakah kemampuan antioksidan dari oli telah menurun, menghitung temperatur pada *bearing*), menjalankan analisis *spectroscopic* yang mana *atomic spectra* dari partikel kecil dan unsur lain dalam oli ditentukan.

Analisis oli lebih baik dari vibrasi untuk menentukan permasalahan pada tahap awal dalam *bearing* atau roda gigi atau untuk mendeteksi *misalignment* dimana masing masing rotor dipin pada *bearing housing* menggunakan gaya *misalignment* (Marscher, 2017).

- *Thermography*

*Thermography* melibatkan pemetaan temperatur permukaan pada komponen mesin atau sistem, mencari celah simetris dimana simetris harus ada, contoh: di sekeliling batas luar dari *bearing housing*. *Thermography* adalah *monitoring* yang paling mudah diimplementasikan menggunakan peralatan video yang sensitif terhadap panas. Namun harga *monitoring* ini masih sangat mahal (Marscher, 2017).

- *Electric Current Spectrum Monitoring*

*Electric current spectrum monitoring* memiliki *oscilloscope* atau *FFT analyzer* pada *output* dari induktif “*clamp-on*” *probe* arus elektrik, yang diapit di sekitar motor fase. Penerjemahan *electric current spectrum monitoring* mirip dengan penerjemahan spektrum vibrasi, seperti ketika frekuensi muncul dengan kuat pada arus diterjemahkan sebagai apakah mereka terlalu tinggi dalam arus, dan apabila iya apa penyebabnya (Marscher, 2017).

### **2.1.7.2 Overhauls**

Frekuensi *overhaul* pompa dilakukan tergantung oleh jam operasi dari pompa, *severity* kondisi dari *service*, material yang digunakan pada konstruksi pompa, dan perawatan pada pompa.

Jangan buka pompa untuk inspeksi kecuali terdapat bukti yang jelas jika kapasitas pompa turun drastis atau kecuali terdapat indikasi permasalahan di dalam pompa atau *bearing* (McKee, 2011).

### **2.1.7.3 Instalasi Casing Gasket**

*Casing* gasket yang baru harus dipasang pada pompa setelah pompa dibongkar. Material dan ketebalan gasket baru harus sama dengan gasket lama. Material gasket harus dipotong menjadi satu bagian dan sesuai dengan bentuk luasan dari potongan atas *casing*. Kemudian gasket diberi lem di tempat. Potongan bagian dalam gasket harus dilakukan dengan pisau yang sangat tajam atau dengan *razor blade* untuk memastikan gasket menempel dengan *casing* pompa secara presisi agar tidak terjadi kebocoran selama operasi (McKee, 2011).

### **2.1.7.4 Poros**

Ketika pompa dibongkar, poros harus diperiksa secara hati-hati. Poros dapat rusak dikarenakan *rusting* dan *pitting* yang disebabkan oleh kebocoran di sekeliling poros pada *impeller* dan *sleeves* (McKee, 2011).

Distorsi alur poros harus dicek. Kelebihan tegangan termal atau korosi dapat melonggarkan *impeller* dari *shaft* dan menyebabkan alur mengalami *shock* yang berlebih. Poros yang bengkok atau menyimpang harus diganti. Setelah poros diperbaiki, dilakukan pengecekan *clearance* (maksimum 0,050 mm) (McKee, 2011).

### **2.1.7.5 Bearing**

Semua bagian harus diambil dan dibersihkan sebelum *assembly*. Hilangkan lapisan anti karat dengan *solvent* atau bensin menggunakan kain. Periksa semua bagian *bearing* setelah pembersihan. Hilangkan kotoran yang menempel pada permukaan *babbitt* dengan menggunakan *scraper*. Hilangkan luka kecil atau karat pada permukaan *collar* dengan *oil stone*. Perlu dilakukan

*refinishing* pada korosi yang dalam. Jangan pernah gunakan *scraper* pada permukaan *collar*. Bentuk *collar thrust bearing* harus sama persis dengan bentuk poros. Hilangkan kotoran yang menempel pada poros sebelum *diassembly* (McKee, 2011).

### **2.1.8 Konsep Keandalan**

Perawatan fasilitas produksi tidak dapat lepas dari pembahasan mengenai keandalan karena keandalan merupakan salah satu ukuran keberhasilan fasilitas produksi. Keandalan dapat didefinisikan sebagai peluang sebuah komponen atau sistem dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya untuk suatu periode waktu tertentu ketika digunakan dibawah kondisi operasi yang telah ditetapkan.

Berdasarkan definisinya, ada empat elemen dasar dalam konsep keandalan, diantaranya sebagai berikut:

1. *Probability* (Peluang)  
Probabilitas atau peluang dalam konsep keandalan merupakan masukan numerik bagi pengkajian keandalan suatu sistem, dimana nilai keandalan akan berada diantara 0 (nol) sampai dengan 1 (satu).
2. *Performance* (Kinerja)  
Keandalan suatu fasilitas produksi memberikan karakteristik kinerja yang dapat menunjukkan kinerja yang memuaskan saat dioperasikan.
3. *Time* (Waktu)  
Waktu merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan keberhasilan suatu sistem. Faktor waktu berkaitan dengan kondisi tertentu, seperti jangka waktu mesin selesai diperbaiki sampai mesin rusak kembali (*Mean Time to Failure*) dan jangka waktu mesin mulai rusak sampai selesai diperbaiki (*Mean Time to Repair*).
4. *Operating Condition* (Kondisi Pengoperasian)  
Kondisi pengoperasian mempengaruhi suatu sistem dalam menjalankan fungsinya. Contohnya suhu, kelembaban, getaran, lokasi geografis dimana sistem dioperasikan.

Dalam konsep keandalan terdapat fungsi yang digunakan dalam pengukuran tingkat keandalan suatu sistem, yaitu (Ebeling, 1997):

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad 2.3$$

dimana:

$R(t)$	= Keandalan ( <i>reliability</i> ) pada waktu $t$
$t$	= Waktu
$\eta$	= Parameter skala
$\beta$	= Parameter bentuk

### 2.1.9 Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Dalam masa pengoperasiannya, suatu fasilitas produksi memiliki kemungkinan terjadi berbagai kegagalan. Kegagalan-kegagalan tersebut akan berdampak pada performa kerja dan efisiensi fasilitas produksi. Apabila dilihat secara temporer, kegagalan-kegagalan yang terjadi memiliki suatu laju yang berubah-ubah. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi fasilitas produksi. Laju Kegagalan dinyatakan sebagai berikut:

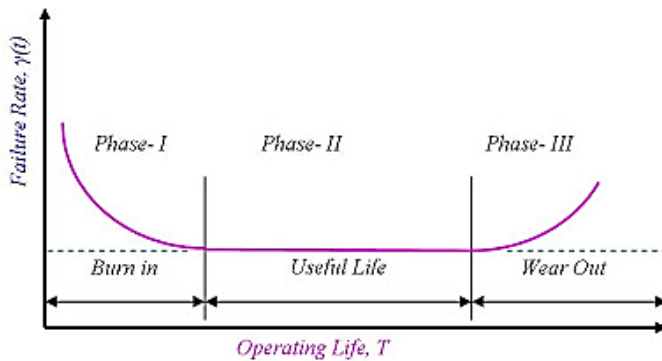
$$\lambda = \frac{f}{T}, \text{ atau}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{T(t)} \quad 2.4$$

dimana:

$f(t)$	= Banyaknya kegagalan selama waktu operasi.
$T(t)$	= Total waktu antar kegagalan.

Laju kegagalan (*failure rate*) merupakan obyek dinamis yang memiliki performa berubah-ubah setiap waktu (Ebeling, 1997).



Gambar 2.14 *Bathub Curve*  
(Wicaksono, 2018)

Dari Gambar 2.14 diperoleh kurva yang menggambarkan hubungan antara keandalan dan laju kerusakan. Hubungan antara kedua hal tersebut ditunjukkan apabila saat  $t = 0$  dioperasikan sebuah komponen kemudian diamati banyaknya kerusakan pada komponen maka akan diperoleh kurva seperti gambar tersebut. Kurva di atas disebut *Bathub Curve*, terbagi menjadi tiga daerah kerusakan, yaitu:

1. *Burn – in Zone (Early Life)*

Daerah ini adalah periode permulaan beroperasinya suatu komponen atau sistem yang masih baru (sehingga *reliability*-nya masih 100%), dengan periode waktu yang pendek. Pada kurva ditunjukkan bahwa laju kerusakan yang awalnya tinggi kemudian menurun seiring bertambahnya waktu, atau diistilahkan sebagai *Decreasing Failure Rate* (DFR). Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan proses *manufacturing* atau fabrikasi yang kurang sempurna.

2. *Useful Life Time Zone*

Periode ini memiliki laju kerusakan yang paling rendah dan hampir konstan, yang disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Kerusakan yang terjadi bersifat random dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Periode ini adalah

dimana sebagian besar umur pakai komponen atau sistem berada. Dalam analisis, tingkat keandalan sistem diasumsikan berada pada periode *useful life time*, dimana laju kegagalannya konstan terhadap waktu. Asumsi ini digunakan karena pada periode *early life time* tidak dapat ditentukan apakah sistem tersebut sudah bekerja sesuai dengan standar yang ditentukan atau belum. Sedangkan pada periode *wear out time*, tidak dapat diprediksi kapan akan terjadi *failure*.

### 3. *Wear Out Zone*

Periode ini adalah periode akhir masa pakai komponen atau sistem. Pada periode ini, laju kerusakan naik dengan cepat seiring bertambahnya waktu, disebut dengan istilah *Increasing Failure Rate* (IFR). Periode ini berakhir saat *reliability* komponen atau sistem mendekati nol, artinya kerusakan yang terjadi sudah sangat parah dan tidak dapat diperbaiki kembali (Ebeling, 1997).

#### 2.1.10 *Mean Time to Failure (MTTF)*

MTTF adalah istilah dalam perhitungan *reliability* yang artinya waktu rata-rata antar kegagalan atau waktu rata-rata suatu fasilitas produksi beroperasi tanpa mengalami kegagalan.

MTTF didapatkan dari persamaan 2.5 dan 2.6 (Munyensanga, 2018).

$$MTTF = \frac{\text{Waktu Operasi}}{\text{Jumlah Kegagalan}} \quad 2.5$$

$$MTTF = \int_0^t tf(t)dt = \int_0^t R(t)dt \quad 2.6$$

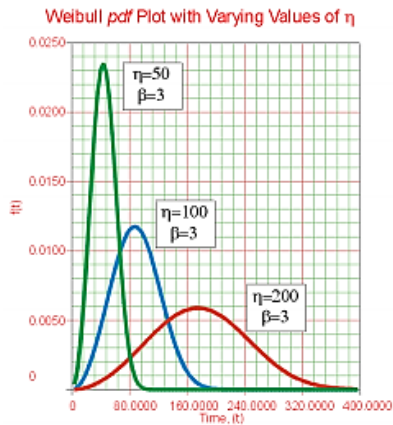
#### 2.1.11 *Distribusi Weibull*

Analisis Weibull merupakan teknik yang digunakan untuk analisis data statistik. Pada kasus ini, analisis dilakukan untuk menentukan sifat kegagalan dari komponen (*early life, random life or wear out*). Distribusi Weibull banyak digunakan karena memiliki banyak parameter bentuk yang dapat cocok dengan banyak jenis data, khususnya data yang berhubungan dengan umur produk. Pada distribusi Weibull, parameter  $\beta$  disebut dengan

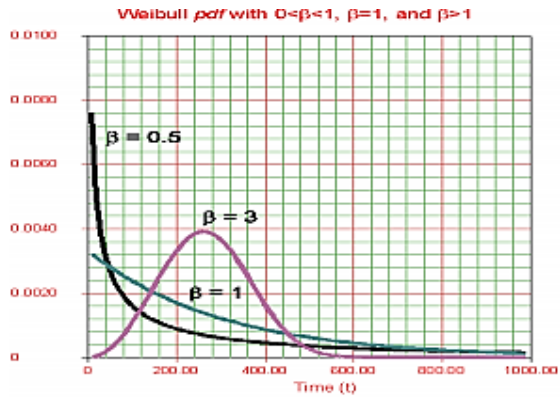


parameter bentuk (*shape parameter*). Parameter ini digunakan untuk menentukan laju kerusakan dari pola data yang terbentuk, apabila  $\beta < 1$  maka kegagalan terjadi pada *early life*, apabila  $\beta = 1$  maka laju kegagalan konstan dan kegagalan terjadi pada *useful life* dari *bathub curve*, dan apabila  $\beta > 1$  maka kegagalan terjadi pada *wear-out*. Parameter  $\eta$  disebut dengan parameter skala (*scale parameter*). Parameter ini digunakan untuk menentukan nilai tengah dari pola data. Dan parameter  $\gamma$  disebut dengan parameter lokasi (*location parameter*). Parameter ini menunjukkan lokasi waktu (Vicente, 2017).

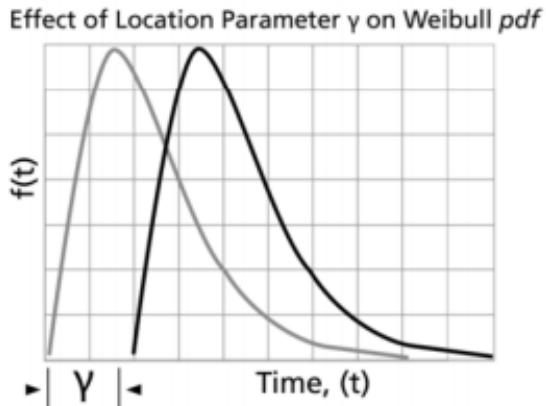
Pada Gambar 2.15 ditampilkan Plot PDF dengan variasi nilai parameter bentuk, pada Gambar 2.16 ditampilkan Plot PDF dengan variasi nilai parameter skala, dan pada Gambar 2.17 ditampilkan Fungsi PDF dengan variasi nilai parameter lokasi.



Gambar 2.15 Plot PDF dengan Variasi Nilai Parameter Bentuk (Wicaksono, 2018)



Gambar 2.16 Plot PDF dengan Variasi Nilai Parameter Skala  
(Wicaksono, 2018)



Gambar 2.17 Plot PDF dengan Variasi Nilai Parameter Lokasi  
(Wicaksono, 2018)

Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi Weibull, yaitu (Ebeling, 1997):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \frac{t-\gamma}{\eta}^{\beta-1} \exp \frac{t-\gamma}{\eta}^{\beta} \quad 2.7$$

dimana:

- $\eta$  = Parameter skala (*scale parameter*),  $\eta > 0$
- $\beta$  = Parameter bentuk (*shape parameter*),  $\beta > 0$
- $\gamma$  = Parameter lokasi (*location parameter*)

### 1. Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad 2.8$$

dimana:

- $f(t)$  = Fungsi padat peluang (pdf) pada waktu  $t$
- $R(t)$  = Keandalan (*reliability*) pada waktu  $t$
- $F(t)$  = Peluang kegagalan pada waktu  $t$

### 2. Laju Kegagalan

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

dimana:

- $f(t)$  = Banyaknya kegagalan dalam kurun waktu tertentu
- $T(t)$  = Total waktu antar kegagalan

### 3. Mean Time to Failure (MTTF)

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma \frac{1}{\beta} + 1 \quad 2.10$$

dimana:

- $\eta$  = Parameter skala (*scale parameter*),  $\eta > 0$
- $\beta$  = Parameter bentuk (*shape parameter*),  $\beta > 0$
- $\gamma$  = Parameter lokasi (*location parameter*)

$\Gamma$  = Fungsi Gamma, dapat diperoleh melalui tabel fungsi gamma.

Dalam distribusi Weibull, yang menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk adalah parameter  $\beta$ . Nilai-nilai  $\beta$  yang menunjukkan laju kerusakan terdapat dalam tabel berikut (Ebeling, 1997):

### 2.1.11.1 Nilai-nilai Parameter $\beta$ Distribusi Weibull

Pada Tabel 2.4 berikut disebutkan nilai-nilai parameter  $\beta$  dan laju kerusakannya

**Tabel 2.4 Nilai-nilai Parameter  $\beta$  Distribusi Weibull (Ebeling, 1997)**

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Laju kerusakan menurun atau <i>Decreasing Failure Rate (DFR)</i>
$\beta = 1$	Laju kerusakan konstan atau <i>Constant Failure Rate (CFR)</i>
$1 < \beta < 2$	Laju kerusakan meningkat atau <i>Increasing Failure Rate (IFR)</i> , kurva berbentuk konkaf ( <i>concave</i> )
$\beta = 2$	Laju kerusakan linier atau <i>Linier Failure Rate (LFR)</i>
$\beta > 2$	Laju kerusakan meningkat atau <i>Increasing Failure Rate (IFR)</i> , kurva berbentuk konveks ( <i>convex</i> )
$3 \leq \beta \leq 4$	Laju kerusakan meningkat atau <i>Increasing Failure Rate (IFR)</i> , kurva berbentuk simetris

### 2.1.12 Penilaian Keandalan dengan *Preventive Maintenance*

*Preventive maintenance* dapat dideskripsikan sebagai perawatan berkala yang dilakukan oleh individu yang terlibat dengan perawatan untuk menjaga suatu peralatan agar tetap dalam kondisi yang baik saat dioperasikan dengan menyediakan pemeriksaan, deteksi dan koreksi yang sistematis terhadap kegagalan yang belum maupun akan terjadi (Ebeling, 1997).

Tujuan utama dilakukannya *preventive maintenance* adalah:

1. Meningkatkan *useful life* peralatan.
2. Mengurangi kerusakan pada komponen penting.
3. Memungkinkan adanya perencanaan dan penjadwalan yang baik untuk kegiatan *maintenance*.
4. Meminimalkan kerugian produksi akibat kegagalan alat.

Kegiatan *preventive maintenance* dapat meningkatkan keandalan suatu sistem atau komponen. Perumusan dari keandalan dengan *preventive maintenance* dapat dijabarkan sebagai berikut (Ebeling, 1997):

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

dimana:

$R(t-nT)$	= Probabilitas ketahanan selama jangka waktu $t-nT$ yang telah ditentukan sebelumnya pada kondisi awal
$t$	= Waktu
$n$	= Jumlah perawatan
$T$	= Interval waktu penggantian kerusakan
$\eta$	= Parameter skala
$\beta$	= Parameter bentuk

### 2.1.13 Cost

Untuk menghasilkan umur *preventive maintenance* yang optimal, biaya dari *preventive maintenance* dan harga *spare part* komponen harus diperhitungkan. dari prespektif ekonomi, operasi *maintenance* melibatkan biaya langsung (biaya *manpower*, biaya *spare part*) dan biaya tak langsung (biaya non-produksi, biaya *idle operator*, biaya kualitas) yang akan susah untuk dievaluasi. Secara praktek, biaya *preventive maintenance* akan didapatkan dari akumulasi biaya komponen dan biaya *manpower*. Biaya *manpower* didapatkan dari hasil perkalian durasi *preventive maintenance* (dalam jam) dengan biaya *manpower* (Rp per jam). Durasi *preventive maintenance*

didapatkan dari data. Sedangkan biaya *corrective maintenance* didapatkan dari akumulasi biaya komponen, *manpower* dan non-produksi. *Manpower* pada *corrective maintenance* merupakan hasil perkalian durasi rata-rata *corrective maintenance* (dalam jam) dengan biaya *manpower* (Rp per jam) (Vilarinho, 2017).

Biaya dari *Total Maintenance* dapat dirumuskan menjadi sebagai berikut (Asrori, 2016):

$$CTM = Cc + Cd + (TTR \times Cm) \quad 2.12$$

dimana:

- CTM = Biaya total *maintenance*
- Cc = Harga komponen pengganti
- Cd = Biaya *downtime*
- Cm = Biaya tenaga pelaksana
- TTR = *Time to repair*

## 2.2 Tinjauan Pustaka

Sebelumnya telah terdapat beberapa penelitian yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Pada tinjauan pustaka yang pertama, Metode FMECA digunakan untuk mengetahui komponen kritis pada pompa berdasarkan pada frekuensi kegagalan sehingga rekomendasi perawatan yang dapat menurunkan biaya dapat diusulkan.

Langkah awal penelitian ini dilakukan dengan mempelajari semua penyebab kegagalan pada pompa sentrifugal yang kemudian penyebab-penyebab tersebut dikaitkan dengan data kegagalan pada pompa sentrifugal yang didapatkan dari *database*. Data kegagalan yang didapatkan diamati frekuensi kegagalannya untuk dapat mengevaluasi bagian kritisnya. Setelah bagian kritis berhasil dievaluasi, indeks kritis dikembangkan berdasarkan frekuensi. Kemudian FMECA dapat dilakukan dan rekomendasi strategi perawatan dapat diusulkan setelah komponen kritis berhasil diidentifikasi.

Langkah selanjutnya adalah mengevaluasi usulan strategi perawatan yang diajukan dari segi biaya. Setelah dibandingkan

antara sebelum dan setelah dilakukannya strategi perawatan yang diajukan adalah dari segi tenaga kerja, setelah strategi perawatan diaplikasikan terjadi penurunan biaya dari ₹7,95,000/tahun menjadi ₹5,15,000/tahun atau sebesar 35.22%. Sedangkan dari segi biaya *downtime* turun dari ₹4,59,000/tahun menjadi ₹2,89,000/tahun atau sebesar 37.04%. Dan untuk biaya *sparepart* turun dari ₹1,15,000/tahun menjadi ₹62,000/tahun atau sebesar 46.32%. Sehingga total keuntungan bersih menjadi ₹4,53,000/tahun (Singh, 2015).

Pada tinjauan pustaka yang kedua, hasil studi dilakukan untuk memberikan *technical proposal* yang akan mengurangi biaya yang dikeluarkan.

Langkah awal penelitian ini adalah analisis akar masalah dengan menggunakan *Root Cause Failure Analysis* (RCFA), hasil dari analisis ini adalah ditemukan akar masalah berupa ketidakstabilan tekanan dan temperatur yang mempengaruhi lubrikasi dari *mechanical seal* sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut berupa analisis Weibull.

Analisis Weibull sebagai analisis data statistis, dalam kasus ini analisis Weibull dilakukan untuk mengetahui karakter kegagalan dari *mechanical seal* (*early life, random life or wear-out*). Hasil yang didapatkan adalah kegagalan pada Pompa A terjadi secara *random* (dapat terjadi akibat variasi dari parameter proses) dan kegagalan pada Pompa B terjadi pada *early life* pada *bath curve* (dapat terjadi karena kombinasi variabel kondisi proses seperti tekanan dan temperatur, kurangnya prosedur perawatan dan buruknya kondisi mekanikal dari *shaft seal*).

Selanjutnya dihitung MTTF dari *mechanical seal* dan dilakukan analisis *reliability* agar biaya dapat dihitung. Perhitungan biaya dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu biaya *spare parts*, biaya tenaga kerja, dan biaya kerugian produksi. Setelah dihitung total biaya mencapai \$590.450 dimana *mechanical seal* dari pompa sentrifugal merupakan alasan utama dari tingginya biaya.

Tingginya biaya yang dikeluarkan menjadi alasan perlunya dibuat *technical proposal*, dimana biaya untuk *technical proposal* adalah sebesar \$317.000 (Vicente, 2017).



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

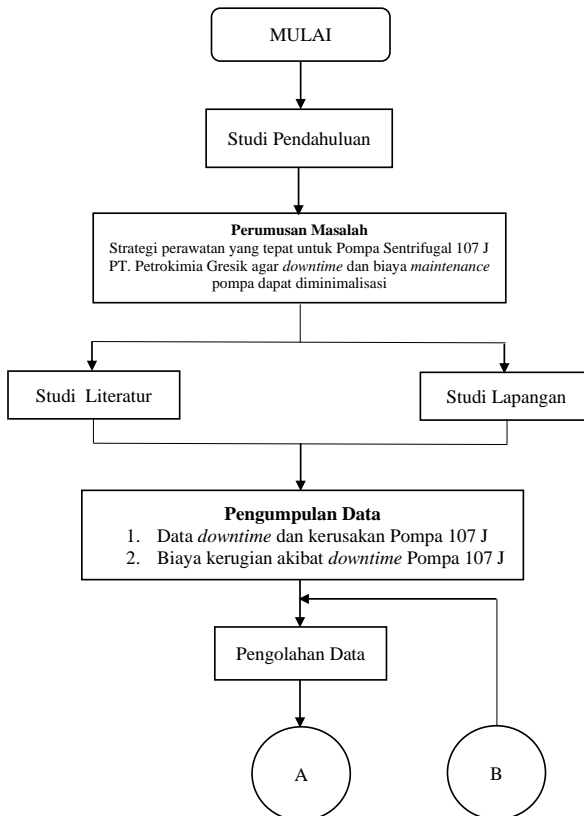
### 3.1 Spesifikasi Pompa 107 J

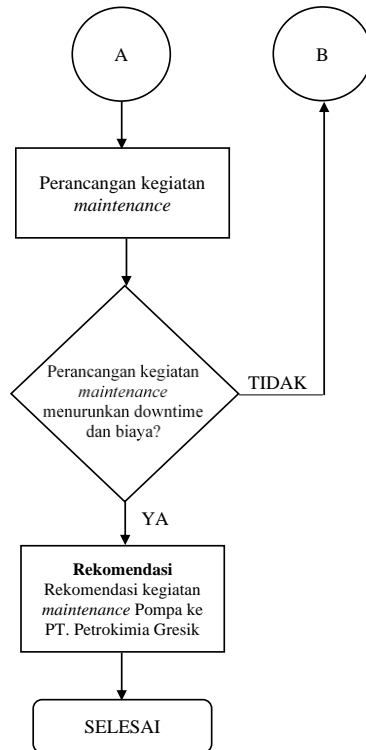
**Tabel 3.1 Spesifikasi Pompa Sentrifugal 107 J**  
(Database PT. Petrokimia Gresik)

Manufaktur	Woorthington-Dresser
Tipe Pompa	<i>Centrifugal Pump Double Suction</i>
Fungsi	<i>Pompa Semi-lean Benfield</i>
<i>Liquid</i>	<i>Semi-lean Benfield Solution (Sg. Gr 1.249 Kg/m<sup>3</sup>)</i>
Kapasitas	582,3 m <sup>3</sup> /jam
<i>Pressure Inlet</i>	1,9 kg/cm <sup>2</sup> g (max)
<i>Discharge Pressure</i>	36,3 kg/cm <sup>2</sup> g (max)
<i>Head</i>	272,8 m
Putaran	2950 rpm
Effisiensi	80%
Model	10/12 LPLD-18
<i>Seal</i>	<i>Dura PTO (mechanical seal)</i>
Berat	2300 Kg Poros : 650 Kg <i>Impeller</i> : 40 Kg
<i>Radial Bearing</i>	<i>Sleeve</i>
NPSHA	11,45 m
NPSHR	5,9 m
Daya	715 kW
<i>Tipe Impeller</i>	<i>Closed Double Volute (double admission)</i>
Material	API 610 class A-B

	Poros: 17-4 PH Casing: SS316 Impeller: 17-4 PH
Temperatur <i>inlet</i>	111 °C

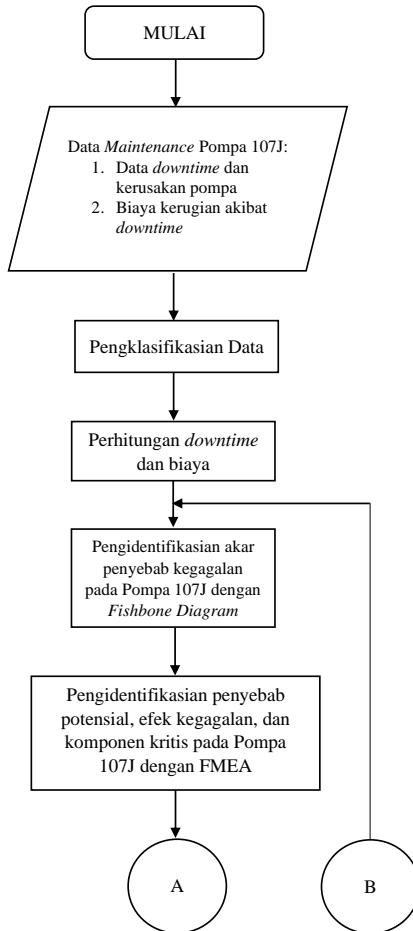
### 3.2 Diagram Alir Penelitian

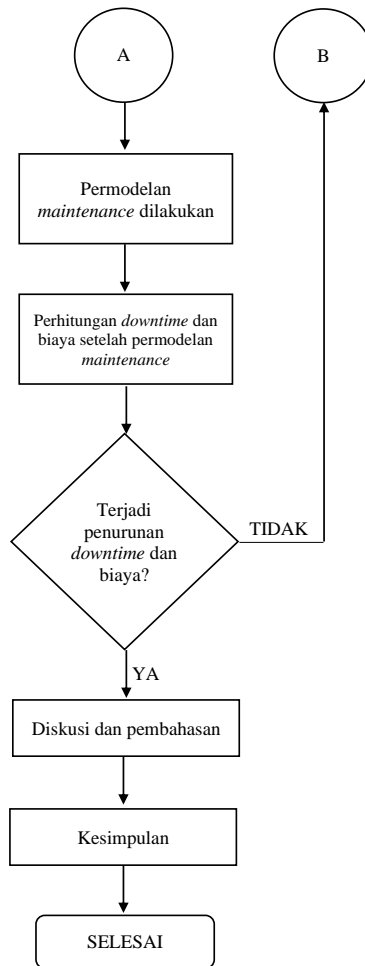




Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data





Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Data

## **3.2 Metodologi Penelitian**

Tahap-tahap dalam mengerjakan penelitian ini dirangkum dalam metodologi penelitian untuk membuat penelitian lebih terstruktur dan sistematis. Berikut dijelaskan metodologi penelitian ini.

### **3.2.1 Studi Pendahuluan**

Tahap awal dalam penyusunan tugas akhir ini adalah studi pendahuluan yang dimulai dari proses observasi pendahuluan dengan tujuan mengetahui kondisi awal perusahaan untuk dapat memberikan pengenalan perusahaan kepada peneliti. Setelah mengetahui kondisi perusahaan, langkah selanjutnya yaitu mengidentifikasi permasalahan serta penetapan tujuan penelitian.

### **3.2.2 Perumusan Masalah**

Tahap selanjutnya yang dilakukan adalah perumusan masalah yang telah teridentifikasi melalui proses sebelumnya. Rumusan masalah yang diangkat pada Tugas Akhir ini adalah tingginya *downtime* Pompa Sentrifugal 107 J, tingginya biaya *maintenancenya*, dan strategi *maintenance* yang tepat untuk Pompa Sentrifugal 107 J.

### **3.2.3 Studi Literatur dan Studi Lapangan**

Studi literatur dilakukan untuk menambah wawasan peneliti dalam menangani masalah yang ada. Adapun studi literatur yang perlu diperhatikan adalah mengenai FMEA, *Reliability*, *Maintenance* dan penelitian-penelitian terdahulu.

Studi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual pompa seperti permasalahan pada komponen pompa dan metode perawatannya.

### **3.2.4 Pengumpulan Data**

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data pemeliharaan pompa yang telah dicatat oleh perusahaan. Data yang digunakan adalah data periode 2015-2018, yang meliputi:

1. Data *downtime* dan kerusakan Pompa 107 J
2. Biaya kerugian akibat *downtime* Pompa 107 J

### 3.2.5 Pengolahan Data

Berdasarkan diagram alir pengolahan data pada gambar 3.2, selanjutnya akan dilakukan proses analisis data untuk menentukan strategi perawatan yang optimal. Proses analisis akan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mengklasifikasikan data perawatan berdasarkan jenis kerusakan dan waktu kerusakan peralatan.
2. Memasukkan *Time to Failure* (TTF) peralatan pada *software* Keandalan.
3. Menentukan distribusi probabilitas dengan menggunakan *software* Keandalan. Selanjutnya, diperoleh distribusi probabilitas yang paling sesuai untuk data waktu antar kegagalan tersebut.
4. Didapatkan parameter  $\beta$  (parameter bentuk) dan  $\eta$  (parameter lokasi) yang digunakan untuk menghitung fungsi padat peluang untuk kegagalan, laju kegagalan, keandalan perawatan, dan MTTF peralatan.
5. Menentukan fungsi padat peluang untuk kegagalan, laju kegagalan, keandalan perawatan, dan MTTF peralatan. Dengan demikian keandalan masing-masing komponen dan sistem secara keseluruhan dapat dihitung.

### 3.2.6 Perancangan Kegiatan Pemeliharaan

Berdasarkan hasil analisis yang telah diperoleh, tahap selanjutnya adalah menentukan metode perawatan yang tepat pada komponen yang telah dianalisis dimana komponen tersebut berpengaruh besar terhadap kegiatan operasional perusahaan.

### 3.2.7 Rekomendasi

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari proses pengolahan data. Hasil yang diperoleh sesuai metode perawatan yang optimal akan diuraikan setelah melalui proses analisis dan dijadikan sebagai kesimpulan. Selanjutnya akan diberikan rekomendasi berupa daftar kegiatan perbaikan yang harus dilakukan untuk perawatan komponen pada sistem pompa.

*(halaman sengaja dikosongkan)*



## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan mengenai permasalahan yang terjadi pada Pompa Sentrifugal 107 J milik PT. Petrokimia Gresik sehingga dapat dilakukan perancangan kegiatan perawatan yang tepat. Analisis diawali dengan pengumpulan data dan wawancara dengan mekanik Pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik terkait dengan kondisi pabrik, sistem pompa, serta kegiatan perawatan yang diterapkan pada Pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik. Selanjutnya, pengolahan data dilakukan dengan mengidentifikasi kondisi dan kegagalan yang terjadi pada pompa. Dari data kegagalan selanjutnya diolah menjadi data statistik menggunakan *software* Keandalan untuk melihat kondisi pompa. Data statistik akan menunjukkan penilaian keandalan pompa sebelum dilakukan perancangan perawatan. Nilai keandalan tersebut akan ditingkatkan melalui kegiatan perawatan yang telah dirancang guna menunjang kelancaran produksi pada PT. Petrokimia Gresik.

#### **4.1 Kegiatan Perawatan pada PT. Petrokimia Gresik**

PT. Petrokimia Gresik merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi pupuk. Untuk dapat memproduksi pupuk, diperlukan standar perawatan yang bertujuan untuk memberikan petunjuk umum tentang pelaksanaan perawatan agar peralatan-peralatan produksi pupuk yang digunakan dapat beroperasi dengan keandalan yang tinggi sehingga kualitas pupuk yang dihasilkan terjaga dengan baik.

Kegiatan perawatan yang diterapkan pada PT. Petrokimia Gresik, meliputi *Predictive Maintenance*, *Preventive Maintenance*, dan *Corrective Maintenance*. Namun pada aplikasinya kegiatan perawatan yang dilakukan kurang maksimal sehingga tetap terjadi banyak kegagalan pada Pompa Sentrifugal 107 JA, JB, dan JC.

Kegiatan perawatan pada PT. Petrokimia Gresik yang paling banyak digunakan adalah *Corrective Maintenance* sehingga dapat disimpulkan kegiatan perawatan yang dilakukan masih kurang

maksimal karena *Corrective Maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan dimana yang dilakukan adalah perbaikan ketika peralatan sudah mengalami kerusakan, hal ini tentu saja menurunkan keandalan, menaikkan *downtime* dan biaya *maintenance* akibat kerusakan peralatan tersebut. Pada kasus PT. Petrokimia Gresik, *Corrective Maintenance* sering dilakukan karena kurang terstrukturnya kegiatan *Preventive Maintenance* dan *Predictive Maintenance*. *Preventive Maintenance* yang dilakukan hanya berupa penggantian oli dan pembersihan larutan *Benfield* yang mengkristal. Sedangkan pada *Predictive Maintenance*, kegiatan yang dilakukan adalah analisis vibrasi setiap 2 minggu sekali, dan apabila hasil vibrasinya kurang baik maka frekuensi pengecekan vibrasi akan ditingkatkan menjadi 1 minggu sekali, dan apabila hasilnya bertambah buruk maka pengecekan vibrasi akan dilakukan tiap 3 hari sekali dan seterusnya. Banyaknya kegagalan yang terjadi mayoritas terjadi karena komponen telah rusak tanpa belum sempat dilakukan perbaikan, beberapa komponen yang mengalami kerusakan bahkan juga dapat mempengaruhi komponen lainnya, sebagai contoh *throttle bushing* yang patah dapat mengakibatkan *clearance* antara poros dan *casing* menjadi kecil sehingga dapat terjadi keausan sehingga memperberat kinerja *bearing*, dan apabila *bearing* juga mengalami keausan maka akan memperberat kinerja *mechanical seal* sehingga akan semakin besar kerugian yang terjadi.

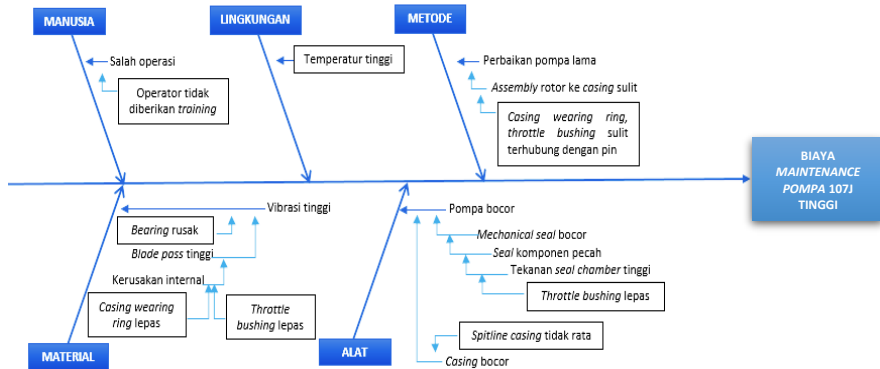
## **4.2 Analisis Data**

Setelah dibahas kegiatan perawatan pada PT. Petrokimia Gresik, akan dilakukan analisis data guna dapat menghasilkan rekomendasi kegiatan perawatan yang dapat meningkatkan keandalan, mengurangi *downtime* dan biaya *maintenance* akibat kerusakan.

### **4.2.1 Fishbone Diagram**

*Fishbone diagram* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menunjukkan hubungan sebab dan akibat agar dapat menemukan akar penyebab dari suatu

permasalahan. Pada Gambar 4.1 dimuat *fishbone diagram* dari kegagalan pada Pompa Sentrifugal 107 J.



Gambar 4.1 *Fishbone Diagram* pada Pompa Sentrifugal 107 J

Setelah didapatkan akar penyebab permasalahan pada Pompa Sentrifugal 107 J, akan dilakukan analisis dan penetapan akar penyebab dengan mengaitkan masing-masing akar penyebab permasalahan dengan frekuensi kejadian pada Pompa Sentrifugal 107 J sehingga dapat disimpulkan terdapat 5 penyebab persoalan yaitu:

1. *Throttle bushing* lepas
2. *Casing wearing ring*, *throttle bushing* sulit terhubung dengan pin
3. *Bearing* rusak
4. *Spiltine casing* tidak rata
5. *Casing wearing ring* lepas

#### 4.2.2 *Failure Mode Effect and Analysis (FMEA)*

Dari 5 penyebab persoalan yang telah didapatkan, maka dibuat FMEA dengan penyebab-penyebab persoalan tersebut sebagai modus kegagalan. FMEA dilakukan untuk mendapatkan nilai *Risk Priority Number (RPN)* yang didapatkan dari perkalian *Occurrence*, *Severity*, dan *Detection*. Tingginya nilai RPN

menunjukkan bahwa komponen tersebut merupakan komponen kritis sehingga komponen tersebut harus segera mendapatkan penanganan. Dari hasil FMEA yang telah dibuat, komponen dengan nilai tertinggi adalah *throttle bushing*. FMEA yang telah dibuat dilampirkan pada Lampiran C.

#### 4.2.3 Perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Pada tahap ini akan dihitung nilai TTF dan TTR pada masing-masing Pompa Sentrifugal 107 JA, JB, dan JC. TTF akan digunakan untuk menghitung keandalan sedangkan TTR akan digunakan untuk perhitungan biaya. Contoh perhitungan TTF dan TTR terdapat pada lembar Lampiran D. Berikut adalah hasil perhitungan TTF dan TTR pada Pompa Sentrifugal 107 JA, JB, dan JC:

**Tabel 4.1 Hasil Perhitungan *Time to Failure* (TTF) pada Pompa Sentrifugal 107 JA**

Jenis Komponen	TTF (Jam)
<i>Mechanical Seal</i>	14192,38
<i>Throttle Bushing</i>	9188,72

**Tabel 4.2 Hasil Perhitungan *Time to Failure* (TTF) pada Pompa Sentrifugal 107 JB**

Jenis Komponen	TTF (Jam)
<i>Mechanical Seal</i>	17642,27
<i>Throttle Bushing</i>	9329,52

**Tabel 4.3 Hasil Perhitungan *Time to Failure* (TTF) pada Pompa Sentrifugal 107 JC**

Jenis Komponen	TTF (Jam)
<i>Journal Bearing</i>	17133,12
<i>Mechanical Seal</i>	13798,02
<i>Throttle Bushing</i>	12283,78
<i>Shaft</i>	12270,08
<i>Shaft</i>	10020,78

**Tabel 4.4 Hasil Perhitungan *Time to Repair* (TTR) pada Pompa Sentrifugal 107 JA**

<b>Jenis Komponen</b>	<b>TTR (Jam)</b>
<i>Mechanical Seal</i>	24,15
<i>Journal Bearing</i>	5,90
<i>Throttle Bushing</i>	23,93
<i>Mechanical Seal</i>	23,90
<i>Throttle Bushing</i>	24,01
<i>Shaft</i>	35,98

**Tabel 4.5 Hasil Perhitungan *Time to Repair* (TTR) pada Pompa Sentrifugal 107 JB**

<b>Jenis Komponen</b>	<b>TTR (Jam)</b>
<i>Mechanical Seal</i>	25,13
<i>Throttle Bushing</i>	24,03
<i>Mechanical Seal</i>	22,02
<i>Throttle Bushing</i>	24,08

**Tabel 4.6 Hasil Perhitungan *Time to Repair* (TTR) pada Pompa Sentrifugal 107 JC**

<b>Jenis Komponen</b>	<b>TTR (Jam)</b>
<i>Journal Bearing</i>	6,03
<i>Mechanical Seal</i>	24,13
<i>Throttle Bushing</i>	24,12
<i>Shaft</i>	36,05
<i>Mechanical Seal</i>	23,95
<i>Throttle Bushing</i>	23,98
<i>Shaft</i>	36,06
<i>Journal Bearing</i>	6,06
<i>Wearing Ring</i>	24,10
<i>Thrust Bearing</i>	6,10
<i>Shaft</i>	35,95

### 4.3 Analisis Keandalan

#### 4.3.1 Analisis Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JA

##### 4.3.1.1 Distribusi Waktu antar Kegagalan

Berdasarkan tabel data waktu antar kegagalan Pompa Sentrifugal 107 JA yang telah *diinput* pada *software* Keandalan, didapatkan hasil distribusi yang paling sesuai ditunjukkan oleh gambar berikut ini:

DISTRIBUTION	AVGOF	AVPLOT	LKV	DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	5.0357E-02	12.8110787	-20.739268	Exponential 1	6
Exponential 2	9.9997E-11	1.1102E-14	-18.862919	Exponential 2	2
Normal	9.9997E-11	1.3324E-02	-18.999522	Normal	5
Lognormal	9.9997E-11	1.3324E-02	-18.983797	Lognormal	4
Weibull 2	9.9997E-11	3.8857E-14	-18.978813	Weibull 2	1
Weibull 3	9.9997E-11	2.4980E-13	-18.978329	Weibull 3	3

Gambar 4.2 Hasil Pengolahan Data Pompa Sentrifugal 107 JA menggunakan *software* Keandalan

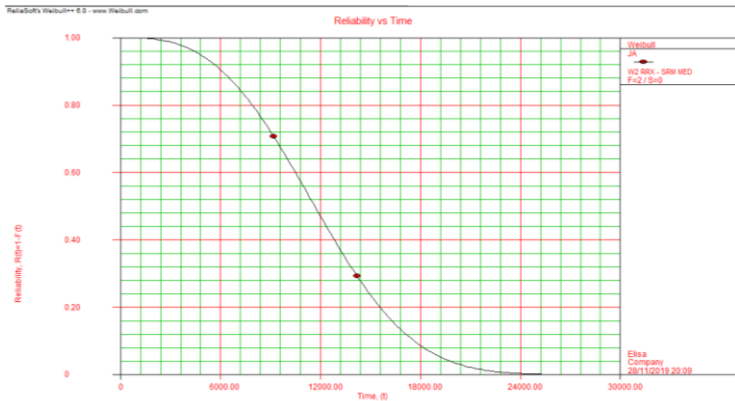
Dari Gambar 4.2 dapat disimpulkan bahwa dengan *software* Keandalan, distribusi yang paling sesuai adalah distribusi Weibull2, dengan parameter sebagai berikut:

- Parameter Bentuk ( $\beta$ ) = 2,910
- Parameter Skala ( $\eta$ ) = 13225

##### 4.3.1.2 Keandalan Sistem

Dengan menggunakan distribusi Weibull2 maka didapatkan keandalan Pompa Sentrifugal 107 JA yang sesuai dengan persamaan:

$$R(t) = \exp - (t/13225)^{2,910}$$



Gambar 4.3 Grafik Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JA

Dari Gambar 4.3, diketahui bahwa nilai keandalan Pompa Sentrifugal JA akan terus turun perlahan-lahan atau berkurang seiring dengan waktu operasional yang semakin bertambah.

#### 4.3.1.3 Mean Time to Failure (MTTF)

Pada penelitian kali ini, MTTF digunakan sebagai patokan interval waktu dilakukannya perawatan sehingga kegiatan perawatan harus dilakukan sebelum waktu MTTFnya agar kemungkinan terjadinya kegagalan dapat diminimalisasi. Berikut merupakan nilai MTTF pada Pompa Sentrifugal 107 JA:

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= 13225r(1/2,910 + 1) \\
 &= 13225 \times 0,892 \\
 &= 11794,26 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

### 4.3.2 Analisis Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JB

#### 4.3.2.1 Distribusi Waktu antar Kegagalan

Berdasarkan tabel data waktu antar kegagalan Pompa Sentrifugal 107 JB yang telah *diinput* pada *software* Keandalan, didapatkan hasil distribusi yang paling sesuai ditunjukkan oleh gambar berikut ini:

DISTRIBUTION	AVGOF	AVPLOT	LKV	DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	1.9523E-05	9.31926459	-21.033975	Exponential 1	6
Exponential 2	9.9997E-11	5.5511E-15	-19.975760	Exponential 2	2
Normal	9.9997E-11	1.3324E-02	-20.014761	Normal	5
Lognormal	9.9997E-11	1.3324E-02	-19.981048	Lognormal	4
Weibull 2	9.9997E-11	2.2204E-14	-19.878158	Weibull 2	1
Weibull 3	9.9997E-11	5.5511E-14	-19.976064	Weibull 3	3

Gambar 4.4 Hasil Pengolahan Data Pompa Sentrifugal 107 JB menggunakan *software* Keandalan

Dari Gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa dengan *software* Keandalan, distribusi yang paling sesuai adalah distribusi Weibull2, dengan parameter sebagai berikut:

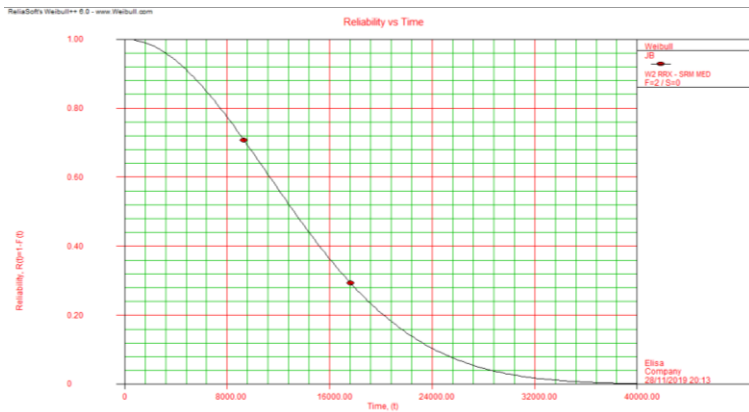
- Parameter Bentuk ( $\beta$ ) = 1,986
- Parameter Skala ( $\eta$ ) = 15909

#### 4.3.2.2 Keandalan Sistem

Dengan menggunakan distribusi Weibull2 maka didapatkan keandalan Pompa Sentrifugal 107 JB yang sesuai dengan persamaan:

$$R(t) = \exp - (t/15909)^{1,986}$$





Gambar 4.5 Grafik Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JB

Dari Gambar 4.5, diketahui bahwa nilai keandalan Pompa Sentrifugal JB akan terus turun perlahan-lahan atau berkurang seiring dengan waktu operasional yang semakin bertambah.

#### 4.3.2.3 Mean Time to Failure (MTTF)

Pada penelitian kali ini, MTTF digunakan sebagai patokan interval waktu dilakukannya perawatan sehingga kegiatan perawatan harus dilakukan sebelum waktu MTTFnya agar kemungkinan terjadinya kegagalan dapat diminimalisasi. Berikut merupakan nilai MTTF pada Pompa Sentrifugal 107 JB:

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= 15909r (1/1,986 + 1) \\
 &= 15909 \times 0,886 \\
 &= 14100,95 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

### 4.3.3 Analisis Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JC

#### 4.3.3.1 Distribusi Waktu antar Kegagalan

Berdasarkan tabel data waktu antar kegagalan Pompa Sentrifugal 107 JC yang telah *diinput* pada *software* Keandalan, didapatkan hasil distribusi yang paling sesuai ditunjukkan oleh gambar berikut ini:

DISTRIBUTION	AVGOF	AVPLOT	LKV	DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	86.2330763	22.9513971	-52.519261	Exponential 1	6
Exponential 2	0.23123162	6.73744121	-45.196654	Exponential 2	4
Normal	2.6824E-05	6.75371533	-46.100200	Normal	3
Lognormal	1.5237E-03	7.38897884	-46.139650	Lognormal	5
Weibull 2	1.0937E-07	5.71752598	-45.931914	Weibull 2	1
Weibull 3	5.6683E-04	5.13155720	-45.905433	Weibull 3	2

Gambar 4.6 Hasil Pengolahan Data Pompa Sentrifugal 107 JC menggunakan *software* Keandalan

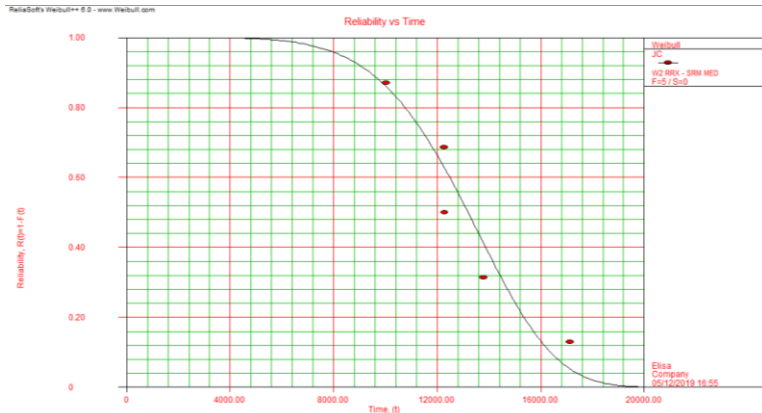
Dari Gambar 4.6 dapat disimpulkan bahwa dengan *software* Keandalan, distribusi yang paling sesuai adalah distribusi Weibull2, dengan parameter sebagai berikut:

- Parameter Bentuk ( $\beta$ ) = 5,548
- Parameter Skala ( $\eta$ ) = 10893

#### 4.3.3.2 Keandalan Sistem

Dengan menggunakan distribusi Weibull2 maka didapatkan keandalan Pompa Sentrifugal 107 JC yang sesuai dengan persamaan:

$$R(t) = \exp - (t/10893)^{5,548}$$



Gambar 4.7 Grafik Keandalan Pompa Sentrifugal 107 JC

Dari Gambar 4.7, diketahui bahwa nilai keandalan Pompa Sentrifugal JC akan terus turun perlahan-lahan atau berkurang seiring dengan waktu operasional yang semakin bertambah.

#### 4.3.3.3 Mean Time to Failure (MTTF)

Pada penelitian kali ini, MTTF digunakan sebagai patokan interval waktu dilakukannya perawatan sehingga kegiatan perawatan harus dilakukan sebelum waktu MTTFnya agar kemungkinan terjadinya kegagalan dapat diminimalisasi. Berikut merupakan nilai MTTF pada Pompa Sentrifugal 107 JC:

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= 10893r (1/5,548 + 1) \\
 &= 10893 \times 0,924 \\
 &= 10061,39 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

#### 4.4 Rencana Perawatan

Berdasarkan *fishbone diagram* dan nilai RPN dari FMEA yang telah dibuat maka dapat dibuat rekomendasi rencana perawatan seperti yang tertera pada Lampiran F.

#### 4.5 Keandalan dengan *Preventive Maintenance*

Perhitungan nilai keandalan tanpa *preventive maintenance* dan dengan *preventive maintenance* dapat dihitung dengan menggunakan masing-masing persamaan 2.3 dan 2.11.

##### 4.5.1 Keandalan pada Pompa Sentrifugal 107 JA dengan *Preventive Maintenance*

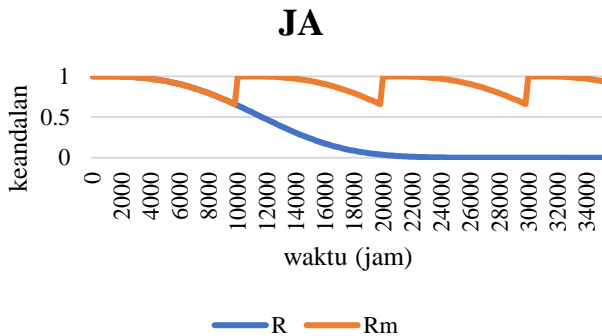
*Reliability* tanpa *preventive maintenance* berdasarkan persamaan:

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{13225} \right)^{2,910} \right]$$

*Reliability* dengan *preventive maintenance* berdasarkan persamaan:

$$R(t - nT) = \exp \left[ - \left( \frac{t - n11000}{13225} \right)^{2,910} \right]$$

Melalui persamaan *reliability* dengan *preventive maintenance*, maka didapatkan data perbandingan antara R (*reliability* tanpa *preventive maintenance*) dengan Rm (*reliability* dengan *preventive maintenance*).



Gambar 4.8 Grafik Keandalan Terhadap Waktu Pompa Sentrifugal 107 JA Sebelum dan Setelah Permodelan *Maintenance*

Dari Gambar 4.8 dapat disimpulkan nilai keandalan Pompa JA akan mengalami kenaikan dari 0,62 menjadi 1 setelah dilakukan permodelan *maintenance*. Dalam permodelan, *maintenance* pada Pompa JA dilakukan 3 kali setiap 11000 jam dalam kurun waktu 35200 jam atau sesuai dengan data waktu operasional pompa. *Maintenance* dalam permodelan harus dilakukan sebelum mencapai waktu MTTF Pompa JA yaitu 11794,257 jam.

#### 4.5.2 Keandalan pada Pompa Sentrifugal 107 JB dengan *Preventive Maintenance*

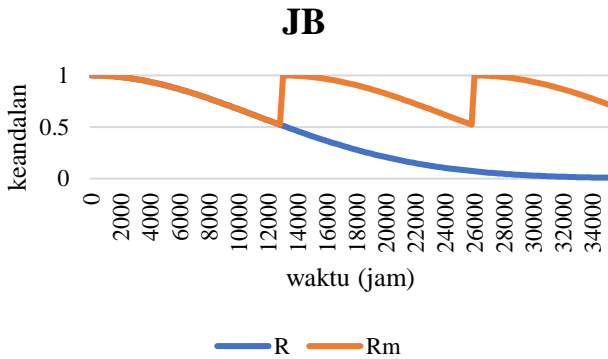
*Reliability* tanpa *preventive maintenance* berdasarkan persamaan:

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{15909} \right)^{1,986} \right]$$

*Reliability* dengan *preventive maintenance* berdasarkan persamaan:

$$R(t - nT) = \exp \left[ - \left( \frac{t - n13000}{15909} \right)^{1,986} \right]$$

Melalui persamaan *reliability* dengan *preventive*, maka didapatkan data perbandingan antara R (*reliability* tanpa *preventive maintenance*) dengan Rm (*reliability* dengan *preventive maintenance*).



Gambar 4.9 Grafik Keandalan Terhadap Waktu Pompa Sentrifugal 107 JB Sebelum dan Setelah Permodelan *Maintenance*

Dari Gambar 4.9 dapat disimpulkan nilai keandalan Pompa JB akan mengalami kenaikan dari 0,52 menjadi 1 setelah dilakukan permodelan *maintenance*. Dalam permodelan, *maintenance* pada Pompa JB dilakukan 2 kali setiap 13000 jam dalam kurun waktu 35200 jam atau sesuai dengan data waktu operasional pompa. *Maintenance* dalam permodelan harus dilakukan sebelum mencapai waktu MTTF Pompa JB yaitu 14100,951 jam.

#### 4.5.3 Keandalan pada Pompa Sentrifugal 107 JC dengan *Preventive Maintenance*

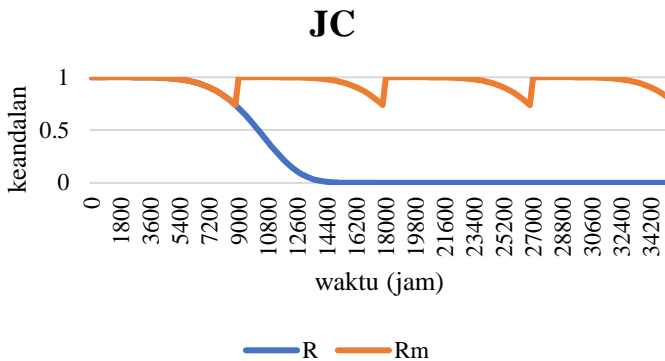
*Reliability* tanpa *preventive maintenance* berdasarkan persamaan:

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{10893} \right)^{5,548} \right]$$

*Reliability* dengan *preventive maintenance* berdasarkan persamaan:

$$R(t - nT) = \exp \left[ - \left( \frac{t - n9000}{10893} \right)^{5,548} \right]$$

Melalui persamaan *reliability* dengan *preventive maintenance*, maka didapatkan data perbandingan antara R (*reliability* tanpa *preventive maintenance*) dengan Rm (*reliability* dengan *preventive maintenance*).



Gambar 4.10 Grafik Keandalan Terhadap Waktu Pompa Sentrifugal 107 JC Sebelum dan Setelah Permodelan *Maintenance*

Dari Gambar 4.10 dapat disimpulkan nilai keandalan Pompa JC akan mengalami kenaikan dari 0,71 menjadi 1 setelah dilakukan permodelan *maintenance*. Dalam permodelan, *maintenance* pada Pompa JC dilakukan 3 kali setiap 9000 jam dalam kurun waktu 35200 jam atau sesuai dengan data waktu operasional pompa. *Maintenance* dalam permodelan harus dilakukan sebelum mencapai waktu MTTF Pompa JC yaitu 10061,39 jam.

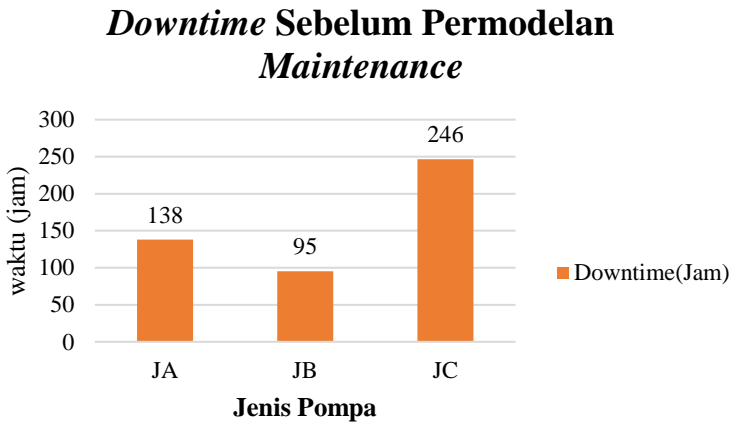
#### 4.6 Analisis *Downtime* dan Biaya

Setelah dilakukan analisis data dan analisis keandalan, maka didapatkan pula jenis komponen kritis yang harus segera mendapatkan tindakan dan waktu kapan harus dilakukan tindakan tersebut. Pada bagian analisis *downtime* dan biaya, akan dilakukan perbandingan *downtime* dan biaya sebelum dan setelah dilakukannya permodelan *maintenance*.

#### 4.6.1 *Downtime* dan Biaya Sebelum Dilakukan Permodelan *Maintenance*

##### 4.6.1.1 *Downtime* Sebelum Dilakukan Permodelan *Maintenance*

Pada Gambar 4.11 ditunjukkan nilai *downtime* Pompa Sentrifugal 107 J sebelum dilakukannya permodelan *maintenance*, untuk perhitungan detail nilai *downtime* dapat dilihat pada Lampiran D. Berikut merupakan grafik *downtime* pada masing-masing pompa:



Gambar 4.11 *Downtime* pada Pompa Sentrifugal 107 J Sebelum Permodelan *Maintenance*

Dapat disimpulkan bahwa nilai *downtime* tertinggi terdapat pada Pompa JC dengan nilai *downtime* mencapai 247 jam, kemudian diikuti Pompa JA dengan nilai *downtime* sebesar 138 jam, dan *downtime* terendah dari ketiga pompa tersebut adalah *downtime* Pompa JB dengan nilai sebesar 95 jam. Total nilai *downtime* dari Pompa Sentrifugal 107 J sebelum dilakukan permodelan *maintenance* mencapai 479 jam.

##### 4.6.1.2 *Biaya* Sebelum Dilakukan Permodelan *Maintenance*

Berikut merupakan tabel biaya Pompa Sentrifugal 107 J sebelum dilakukannya permodelan *maintenance* pada masing-



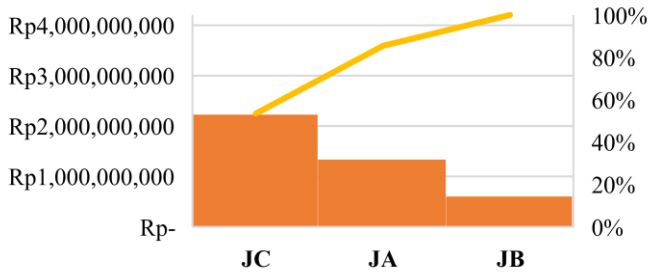
masing Pompa Sentrifugal 107 J dan diagram pareto biaya masing-masing Pompa 107 J sebelum permodelan *maintenance*.

**Tabel 4.7 Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 Sebelum Dilakukan Permodelan *Maintenance***

<b>Jenis Pompa</b>	<b>Total</b>	
<b>JA</b>	Rp	1.339.147.537
<b>JB</b>	Rp	602.734.667
<b>JC</b>	Rp	2.229.361.800
<b>TOTAL</b>	<b>Rp</b>	<b>4.171.244.004</b>

Dari Tabel 4.7 dapat disimpulkan bahwa Pompa JC memiliki biaya tertinggi di antara ketiga pompa yang ada dengan total biaya mencapai 2,2 milyar rupiah, kemudian diikuti oleh Pompa JA dengan biaya sebesar 1,3 milyar rupiah, dan biaya terendah dari ketiga pompa tersebut adalah biaya Pompa JB dengan biaya sebesar 602,7 juta rupiah. Total biaya dari Pompa Sentrifugal 107 J sebelum dilakukan permodelan *maintenance* mencapai 4,2 milyar rupiah.

### Diagram Pareto Biaya Sebelum Permodelan *Maintenance*



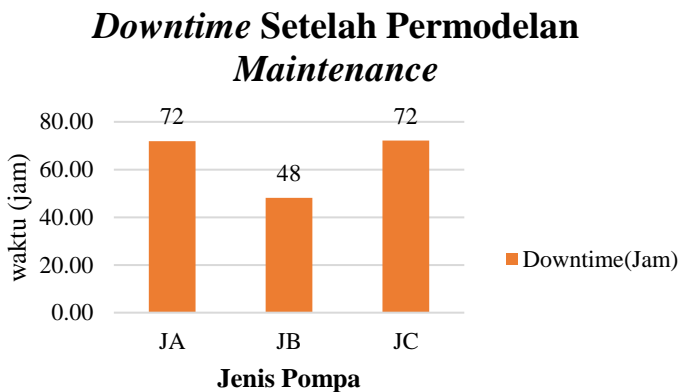
Gambar 4.12 Diagram Pareto Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J Sebelum Permodelan *Maintenance*

Berdasarkan diagram pareto pada Gambar 4.12, biaya tertinggi dari ketiga Pompa Sentrifugal 107 J sebelum dilakukan permodelan *maintenance* adalah Pompa JC kemudian Pompa JA dan yang terakhir Pompa JB.

## 4.6.2 Downtime dan Biaya Setelah Dilakukan Permodelan Maintenance

### 4.6.2.1 Downtime Setelah Dilakukan Permodelan Maintenance

Pada Gambar 4.13 ditunjukkan nilai *downtime* Pompa Sentrifugal 107 J setelah dilakukannya permodelan *maintenance*, untuk perhitungan detail nilai *downtime* dapat dilihat pada Lampiran D. Berikut merupakan grafik *downtime* pada masing-masing pompa:



Gambar 4.13 *Downtime* pada Pompa Sentrifugal 107 J Setelah Permodelan Maintenance

Dapat disimpulkan bahwa setelah dilakukannya permodelan *maintenance* Pompa JA memiliki nilai *downtime* sebesar 72 jam, Pompa JB memiliki *downtime* sebesar 48 jam, dan Pompa JC memiliki *downtime* sebesar 72 jam. Total nilai *downtime* dari Pompa Sentrifugal 107 J setelah dilakukan permodelan *maintenance* adalah 192 jam.

### 4.6.2.2 Biaya Setelah Dilakukan Permodelan Maintenance

Berikut merupakan tabel biaya Pompa Sentrifugal 107 J setelah permodelan *maintenance* pada masing-masing Pompa Sentrifugal

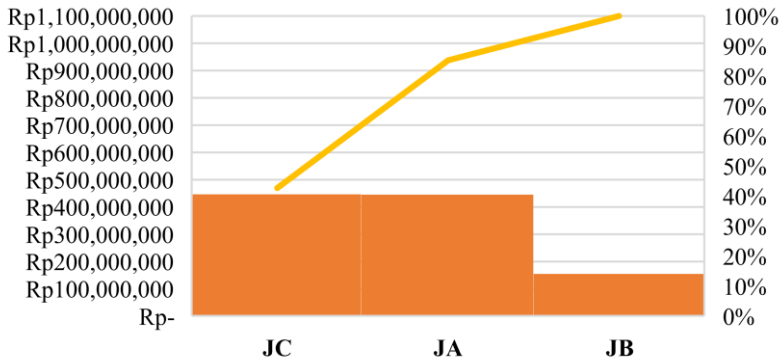
107 J dan diagram pareto biaya masing-masing Pompa 107 J setelah permodelan *maintenance*.

**Tabel 4.8 Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 Setelah Dilakukan Permodelan *Maintenance***

Jenis Pompa	Total
<b>JA</b>	Rp 445.903.935
<b>JB</b>	Rp 115.111.979
<b>JC</b>	Rp 447.141.176
<b>TOTAL</b>	<b>Rp 1.048.157.089</b>

Dari Tabel 4.8 dapat disimpulkan bahwa setelah dilakukannya permodelan *maintenance* Pompa JA memiliki biaya sebesar 445,9 juta rupiah, Pompa JB memiliki biaya sebesar 115,1 juta rupiah, dan Pompa JC memiliki biaya sebesar 447,2 juta rupiah. Total biaya setelah permodelan *maintenance* dari Pompa Sentrifugal 107 J adalah sebesar 1,1 milyar rupiah.

**Diagram Pareto Biaya Setelah Permodelan *Maintenance***



**Gambar 4.14 Diagram Pareto Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J Setelah Permodelan *Maintenance***

Berdasarkan diagram pareto pada Gambar 4.14, biaya tertinggi dari ketiga Pompa Sentrifugal 107 J setelah dilakukan permodelan *maintenance* adalah Pompa JC kemudian Pompa JA dan yang terakhir Pompa JB.

#### 4.6.3 Perbandingan *Downtime* Sebelum dan Setelah Permodelan *Maintenance*

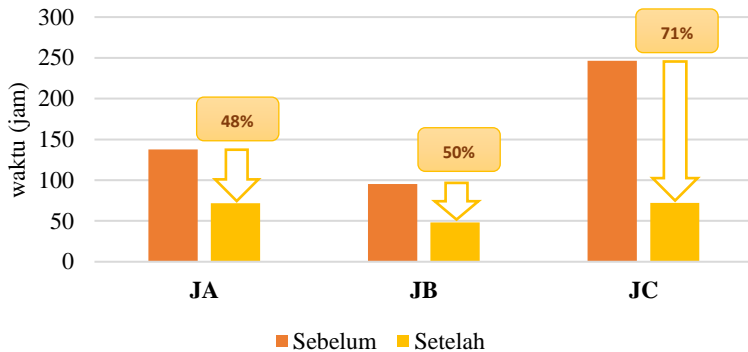
Setelah diketahui nilai *downtime* pada masing-masing pompa saat sebelum dan setelah dilakukannya permodelan *maintenance* maka dapat dibandingkan nilai *downtime* masing-masing pompa sebelum dan setelah dilakukannya permodelan *maintenance*. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada tabel berikut ini:

**Tabel 4.9 Perbandingan *Downtime* pada Pompa Sentrifugal 107 J Sebelum dan Setelah Permodelan *Maintenance***

<b>Jenis Pompa</b>	<b>Sebelum (jam)</b>	<b>Setelah (jam)</b>
JA	138	72
JB	95	48
JC	246	72
<b>TOTAL</b>	<b>479</b>	<b>192</b>

Dari Tabel 4.9 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan nilai *downtime* pada masing-masing pompa setelah dilakukannya permodelan *maintenance*. Pada Pompa JA, nilai *downtime* turun dari sebesar 66 jam. Pada Pompa JB, nilai *downtime* turun sebesar 47 jam. Dan pada Pompa JC, nilai *downtime* turun sebesar 174 jam. Secara total, nilai *downtime* pada Pompa Sentrifugal 107 J mengalami penurunan sebesar 287 jam.

### *Downtime* Sebelum vs Sesudah Permodelan *Maintenance*



Gambar 4.15 Persentase Penurunan *Downtime* pada Pompa Sentrifugal 107 J

Dari Gambar 4.15 dapat disimpulkan bahwa penurunan *downtime* setelah dilakukannya permodelan *maintenance* pada Pompa JA mencapai 48%, pada Pompa JB mencapai 50%, dan pada Pompa JC mencapai 71%.

Penurunan *downtime* tertinggi dicapai oleh Pompa JC karena sebelum dilakukan permodelan *maintenance*, Pompa JC memiliki nilai *downtime* tertinggi. Tingginya nilai *downtime* pada Pompa JC kemungkinan dikarenakan penggerak pompa ini adalah motor dimana penggerak motor memiliki kekurangan yaitu kecepatan *inputnya* tidak dapat diatur, akibatnya tekanan *output* pompa tidak sama dengan tekanan *inputnya* sehingga kemungkinan akan terjadi *pressure pulsations* dan kavitasi akibat tekanan aktual pompa lebih tinggi daripada desain pompa. Kegagalan-kegagalan *hydraulic* ini dapat memicu kegagalan mekanikal seperti vibrasi yang berlebih pada *bearing* dan *fatigue* pada *shaft*. Hal ini dapat dibuktikan dengan terjadinya 3 kali patah *shaft* akibat *fatigue* dan terjadinya 3 kali kerusakan *bearing* akibat vibrasi berlebih dalam periode

2015-2018 dimana frekuensi kegagalan pada komponen-komponen tersebut merupakan yang tertinggi di antara pompa-pompa lainnya.

Penurunan *downtime* tertinggi selanjutnya dicapai oleh Pompa JB, hal ini dikarenakan setelah dilakukan permodelan dengan *software* Keandalan, didapatkan *Mean Time to Failure* (MTTF) pada Pompa JB mencapai 11794,26 jam, lebih kecil jika dibandingkan Pompa JA yang memiliki nilai MTTF sebesar 14100,95 jam, sehingga kegiatan *maintenance* pada Pompa JB akan lebih jarang dilakukan daripada Pompa JA akibatnya Pompa JA akan memiliki *downtime* lebih tinggi daripada Pompa JB sehingga persentase penurunan *downtime* Pompa JB menjadi lebih tinggi daripada Pompa JA.

#### 4.6.4 Perbandingan *Downtime* Sebelum dan Setelah Permodelan *Maintenance*

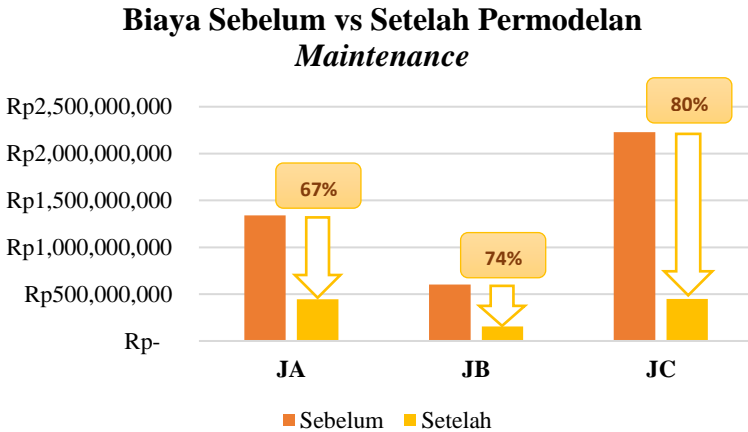
Setelah diketahui biaya pada masing-masing pompa saat sebelum dan setelah dilakukannya permodelan *maintenance* maka dapat dibandingkan biaya masing-masing pompa sebelum dan setelah dilakukannya permodelan *maintenance*. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada tabel berikut ini:

**Tabel 4.10 Perbandingan Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J Sebelum dan Setelah Permodelan *Maintenance***

Jenis Pompa	Sebelum	Setelah
JA	Rp 1.339.147.537	Rp 445.903.935
JB	Rp 602.734.667	Rp 115.111.979
JC	Rp 2.229.361.800	Rp 447.141.176
<b>TOTAL</b>	<b>Rp 4.171.244.004</b>	<b>Rp 1.048.157.089</b>

Dari Tabel 4.10 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan biaya pada masing-masing pompa setelah dilakukannya permodelan *maintenance*. Pada Pompa JA, biaya turun sebesar 893,3 juta rupiah. Pada Pompa JB, biaya turun sebesar 487,6 juta rupiah. Dan pada Pompa JC, biaya turun sebesar 1,8 milyar rupiah.

Secara total, biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J mengalami penurunan sebesar 3,2 milyar rupiah.



Gambar 4.16 Persentase Penurunan Biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J

Dari gambar 4.16 dapat disimpulkan bahwa penurunan biaya setelah dilakukannya permodelan *maintenance* pada Pompa JA mencapai 67%, pada Pompa JB mencapai 74%, dan pada Pompa JC mencapai 80%.

Tingginya biaya pada masing-masing pompa berbanding lurus dengan tingginya *downtime*, hal ini dikarenakan dalam perhitungan biaya dipengaruhi oleh nilai *downtime* dimana biaya *man power* dan biaya kerugian gas akan naik seiring dengan naiknya *downtime*. Oleh karena itu, tingginya persentase penurunan biaya pada Pompa JC dipengaruhi oleh *downtime* pada pompa tersebut, hal tersebut juga berlaku untuk Pompa JA dan JB.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan dan pengolahan data kondisi Pompa Sentrifugal 107 J milik PT. Petrokimia Gresik yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk menurunkan *downtime* pada Pompa Sentrifugal 107 J dilakukan permodelan *maintenance* dengan *software* Keandalan untuk memperoleh interval waktu dilakukannya *maintenance* pada komponen kritis yang didapatkan melalui FMEA. Setelah dilakukan permodelan *maintenance*, masing-masing Pompa Sentrifugal 107 J mengalami penurunan *downtime*, yaitu sebagai berikut: Pompa JA sebesar 66 jam atau 48%, pompa JB sebesar 47 jam atau 50%, dan Pompa JC sebesar 174 jam atau 71%. Secara total, nilai *downtime* pada Pompa Sentrifugal 107 J mengalami penurunan sebesar 287 jam.
2. Untuk menurunkan biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J dilakukan permodelan *maintenance* dengan *software* Keandalan untuk memperoleh interval waktu dilakukannya *maintenance* pada komponen kritis yang didapatkan melalui FMEA. Setelah dilakukan permodelan *maintenance*, masing-masing Pompa Sentrifugal 107 J mengalami penurunan biaya, yaitu sebagai berikut: Pompa JA sebesar 893,3 juta rupiah atau 67%, pompa JB sebesar 487,6 juta rupiah atau 74%, dan Pompa JC sebesar 1,8 milyar rupiah atau 80%. Secara total, biaya pada Pompa Sentrifugal 107 J mengalami penurunan sebesar 3,2 milyar rupiah.
3. Setelah dilakukan permodelan *maintenance* dengan metode FMEA, maka rencana perawatan yang direkomendasikan adalah sebagai berikut: *Preventive maintenance* dimana pada Pompa JA dilakukan setiap 11000 jam, Pompa JB 13000 jam, dan Pompa JC 9000 jam; *predictive maintenance*; dan *corrective maintenance*.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk mempelajari *software* Keandalan secara mendalam.
2. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk melampirkan gambar-gambar kegagalan yang terjadi di lapangan.

## **LAMPIRAN**

LAMPIRAN A Data Kerusakan pada Pompa Sentrifugal 107 J

LAMPIRAN B Analisis dan Penetapan Akar Penyebab

LAMPIRAN C *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA)

LAMPIRAN D Pengolahan Data

LAMPIRAN E Analisis Biaya

LAMPIRAN F Rekomendasi Strategi Perawatan

*(halaman sengaja dikosongkan)*



**LAMPIRAN A**  
**DATA KERUSAKAN PADA POMPA SENTRIFUGAL**  
**107 J**

<b>Jenis Pompa</b>	<b>Tanggal dan Waktu Awal Kegagalan</b>	<b>Tanggal dan Waktu Akhir Kegagalan</b>	<b>Komponen</b>	<b>Failure</b>	<b>Duration</b>
JA	08/12/2015 17.31	09/12/2015 17.40	<i>Mechanical Seal</i>	Bocor	24:09:00
	14/01/2016 19.23	14/01/2016 01.16	<i>Journal Bearing</i>	Aus	05:54
	26/10/2016 14.23	27/10/2016 14.19	<i>Throttle Bushing</i>	Lepas	23:56
	23/07/2017 02.03	24/07/2017 01.57	<i>Mechanical Seal</i>	Bocor	23:54
	14/11/2017 11.02	15/11/2017 11.03	<i>Throttle Bushing</i>	Lepas	24:01:00
	12/06/2018 14.29	14/06/2018 02.28	<i>Shaft</i>	Patah	35:59:00
JB	04/08/2015 09.12	05/08/2015 10.20	<i>Mechanical Seal</i>	Bocor	25:08:00
	19/11/2016 16.38	20/11/2016 16.40	<i>Throttle Bushing</i>	Lepas	24:02:00
	09/08/2017 12.36	10/08/2017 10.35	<i>Mechanical Seal</i>	Bocor	22:01:00
	14/12/2017 10.11	15/12/2017 10.16	<i>Throttle Bushing</i>	Lepas	24:05:00
JC	03/10/2015 06.25	03/10/2015 12.25	<i>Journal Bearing</i>	Aus	06:02
	02/03/2016 18.23	03/03/2016 18.31	<i>Mechanical Seal</i>	Bocor	24:08:00
	20/04/2016 04.29	21/04/2016 04.36	<i>Throttle Bushing</i>	Lepas	24:07:00
	21/04/2016 15.24	23/04/2016 03.27	<i>Shaft</i>	Patah	36:03:00
	29/09/2017 16.32	30/09/2017 16.29	<i>Mechanical Seal</i>	Bocor	23:57
	15/09/2017 00.23	16/09/2017 00.22	<i>Throttle Bushing</i>	Lepas	23:59
	16/09/2017 09.32	18/09/2017 21.36	<i>Shaft</i>	Patah	36:04:00
	16/09/2017 09.32	16/09/2017 15.16	<i>Journal Bearing</i>	Aus	06:04
	16/09/2017 09.32	17/09/2017 09.38	<i>Wearing Ring</i>	Lepas	24:06:00
	10/11/2018 10.23	10/11/2018 16.29	<i>Thrust Bearing</i>	Aus	06:06
	10/11/2018 10.23	12/11/2018 22.20	<i>Shaft</i>	Patah	35:57:00

*(halaman sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN B

### ANALISIS DAN PENETAPAN AKAR PENYEBAB

No	Dugaan Penyebab Persoalan	Uji Hipotesis	Frekuensi Kejadian	Kesimpulan
1	<i>Throttle bushing</i> lepas	Berdasarkan <i>history data overhaul</i> mekanik NH <sub>3</sub> dari tahun 2015-2018, lepasnya <i>throttle bushing</i> menyebabkan 71% dari kebocoran <i>mechanical seal</i> pompa 107J.	5	Dinyatakan sebagai <b>faktor yang berpengaruh</b>
2	<i>Splitline casing</i> tidak rata	Karena sifat fluida larutan <i>benfield</i> yang korosif dan abrasif, <i>splitline casing</i> terkorosi dan tererosi sehingga menyebabkan ketidakrataan permukaan. Larutan <i>benfield</i> dapat bocor mengalir keluar pompa melalui celah yang disebabkan oleh ketidakrataan pompa. Penanganan saat ini hanyalah dengan mempolish <i>splitline</i> menggunakan <i>limestone</i> dan mengganti gasket. 	1	Dinyatakan sebagai <b>faktor yang berpengaruh</b>
3	<i>Wearing ring</i> lepas	Lepasnya <i>casing wearing ring</i> pada pompa 107J menyebabkan kenaikan nilai vibrasi (terlihat tingginya <i>blade pass</i> pada spektrum vibrasi). Selain itu, hal tersebut dapat menyebabkan gesekan yang berlebih sehingga efisiensi pompa menurun.	3	Dinyatakan sebagai <b>faktor yang berpengaruh</b>
4	<i>Bearing</i> rusak	Ditemukan beberapa kejadian kerusakan pada <i>bearing</i> sehingga mematikan pompa.	4	Dinyatakan sebagai <b>faktor yang berpengaruh</b>
5	<i>Casing wearing ring</i> dan <i>throttle bushing</i> sulit terhubung dengan pin	Desain <i>casing wearing ring</i> dan <i>throttle bushing</i> pada pompa 107J seperti pada gambar di bawah. 	4	Dinyatakan sebagai <b>faktor yang berpengaruh</b>

		<p>Pada gambar tersebut, <i>casing wearing ring</i> dan <i>throttle bushing</i> hanya bertumpu pada pin kecil pada <i>lower casing</i> pompa. Ini menyebabkan mudah terlepasnya <i>casing wearing ring</i> maupun <i>throttle bushing</i> saat beroperasi. Selain itu, pada proses <i>assembly</i> pompa, sangat sulit untuk melakukan <i>centering casing wearing ring</i> dan <i>throttle bushing</i> karena pin dan lubang pin sangat kecil. Ini merupakan proses terlama dalam <i>assembly</i> pompa 107J sehingga <i>downtime</i> pompa semakin tinggi.</p> <p>Detail proses pengerjaan dan waktu penggantian <i>casing wearing ring</i> dan <i>throttle bushing</i> 107J adalah sebagai berikut :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Pekerjaan</th> <th>Waktu (jam)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bor pin lama</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Gerinda dan lepas stopper <i>wearing ring</i> lama</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Buat stopper <i>wearing ring</i> baru</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Las dan gerinda stopper <i>wearing ring</i> baru</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Buat pin baru</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Pasang pin baru</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Gerinda pin baru</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td><i>Centering wearing - pin - casing</i> (angkat tutup <i>casing</i>)</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td><b>Total</b></td> <td><b>17</b></td> </tr> </tbody> </table>	Pekerjaan	Waktu (jam)	Bor pin lama	1	Gerinda dan lepas stopper <i>wearing ring</i> lama	2	Buat stopper <i>wearing ring</i> baru	7	Las dan gerinda stopper <i>wearing ring</i> baru	2	Buat pin baru	1	Pasang pin baru	0.5	Gerinda pin baru	0.5	<i>Centering wearing - pin - casing</i> (angkat tutup <i>casing</i> )	3	<b>Total</b>	<b>17</b>		
Pekerjaan	Waktu (jam)																							
Bor pin lama	1																							
Gerinda dan lepas stopper <i>wearing ring</i> lama	2																							
Buat stopper <i>wearing ring</i> baru	7																							
Las dan gerinda stopper <i>wearing ring</i> baru	2																							
Buat pin baru	1																							
Pasang pin baru	0.5																							
Gerinda pin baru	0.5																							
<i>Centering wearing - pin - casing</i> (angkat tutup <i>casing</i> )	3																							
<b>Total</b>	<b>17</b>																							
6	Temperatur tinggi	Dari history <i>overhaul</i> pompa 107J belum pernah terjadi kerusakan yang disebabkan oleh tingginya temperatur larutan <i>benfield</i> .	0	Dinyatakan sebagai faktor yang tidak berpengaruh																				
7	Operator tidak diberikan <i>training</i>	Operator lapangan sudah diberikan <i>training</i> oleh senior operator sehingga seharusnya kerusakan yang disebabkan oleh kurang terlatihnya operator tidak pernah terjadi.	0	Dinyatakan sebagai faktor yang tidak berpengaruh																				



## LAMPIRAN C

### FAILURE MODE EFFECT AND ANALYSIS (FMEA)

#### Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada Pompa Sentrifugal 107 J

No	Komponen	Fungsi	Possible Failure Causes	Failure Mode	Effect of Failure	Occ	Sev	Det	Tindakan	RPN
1	Throttle Bushing	Menjaga <i>clearance</i> pada daerah poros dan casing	Throttle bushing dan casing pompa kurang dapat tersambung dengan baik	Throttle bushing lepas	Mechanical seal bocor	5	8	7	Melakukan <i>preventive maintenance/corrective maintenance</i>	280
			Dimensi pin pada casing pompa dan throttle bushing terlalu kecil	Throttle bushing sulit terhubung dengan pin	Proses <i>assembly</i> pompa lama	5	2	2	Melakukan <i>corrective maintenance</i>	20
2	Bearing	Sebagai tumpuan rotor pompa dan mengurangi gesekan antar komponon	Pemilihan material pada bearing kurang tepat	Bearing mengalami keausan	Vibrasi tinggi	3	7	7	Melakukan <i>predictive maintenance/corrective maintenance</i>	147
3	Spitline Casing	Sebagai tempat <i>upper casing</i> dan <i>lower casing</i> saling bertumpu	Tergerusnya <i>spitline</i> oleh larutan <i>benfield</i> yang bocor	Spitline casing tidak rata	Casing pompa bocor	1	3	2	Melakukan <i>corrective maintenance</i>	6
4	Wearing Ring	Menjaga <i>clearance</i> pada daerah impeller dan casing	Wearing ring dan casing pompa kurang dapat tersambung dengan baik	Wearing ring lepas	Performa pompa menurun	2	7	7	Melakukan <i>corrective maintenance</i>	98

			Dimensi pin pada <i>casing</i> pompa dan <i>wearing ring</i> terlalu kecil	<i>Wearing ring</i> sulit terhubung dengan pin	Proses <i>assembly</i> pompa lama	3	2	2	Melakukan <i>corrective maintenance</i>	12
--	--	--	--	--	-----------------------------------	---	---	---	---	----

## LAMPIRAN D PENGOLAHAN DATA

- **Perhitungan *Downtime* Komponen**

Perhitungan *downtime* komponen pompa dihitung dengan menggunakan rumus:

*Downtime* = waktu selesai kegagalan – waktu mulai kegagalan

Contoh perhitungan *downtime* pada *Mechanical Seal* Pompa 107 JA:

*Downtime* = waktu selesai kegagalan – waktu mulai kegagalan

= 09 Desember 2015 17.40 – 08 Desember 2015 17.31

= 24,15 Jam

### Hasil Perhitungan *Downtime* Pompa Sentrifugal 107 JA

Tanggal dan Waktu Awal Kegagalan	Tanggal dan Waktu Akhir Kegagalan	Komponen	<i>Downtime</i> (Jam)
08/12/2015 17.31	09/12/2015 17.40	<i>Mechanical Seal</i>	24,15
14/01/2016 19.23	14/01/2016 01.16	<i>Journal Bearing</i>	5,9
26/10/2016 14.23	27/10/2016 14.19	<i>Throttle Bushing</i>	23,93333
23/07/2017 02.03	24/07/2017 01.57	<i>Mechanical Seal</i>	23,9
14/11/2017 11.02	15/11/2017 11.03	<i>Throttle Bushing</i>	24,01667
12/06/2018 14.29	14/06/2018 02.28	<i>Shaft</i>	35,98333

### Hasil Perhitungan *Downtime* Pompa Sentrifugal 107 JB

Tanggal dan Waktu Awal Kegagalan	Tanggal dan Waktu Akhir Kegagalan	Komponen	<i>Downtime</i> (Jam)
04/08/2015 09.12	05/08/2015 10.20	<i>Mechanical Seal</i>	25,13333
19/11/2016 16.38	20/11/2016 16.40	<i>Throttle Bushing</i>	24,03333
09/08/2017 12.36	10/08/2017 10.35	<i>Mechanical Seal</i>	22,01667
14/12/2017 10.11	15/12/2017 10.16	<i>Throttle Bushing</i>	24,08333

### Hasil Perhitungan *Downtime* Pompa Sentrifugal 107 JC

Tanggal dan Waktu Awal Kegagalan	Tanggal dan Waktu Akhir Kegagalan	Komponen	<i>Downtime</i> (Jam)
03/10/2015 06.25	03/10/2015 12.25	<i>Journal Bearing</i>	6,033333
02/03/2016 18.23	03/03/2016 18.31	<i>Mechanical Seal</i>	24,13333
20/04/2016 04.29	21/04/2016 04.36	<i>Throttle Bushing</i>	24,11667
21/04/2016 15.24	23/04/2016 03.27	<i>Shaft</i>	36,05
29/09/2017 16.32	30/09/2017 16.29	<i>Mechanical Seal</i>	23,95
15/09/2017 00.23	16/09/2017 00.22	<i>Throttle Bushing</i>	23,98333
16/09/2017 09.32	18/09/2017 21.36	<i>Shaft</i>	36,06667
16/09/2017 09.32	16/09/2017 15.16	<i>Journal Bearing</i>	6,066667
16/09/2017 09.32	17/09/2017 09.38	<i>Wearing Ring</i>	24,1
10/11/2018 10.23	10/11/2018 16.29	<i>Thrust Bearing</i>	6,1
10/11/2018 10.23	12/11/2018 22.20	<i>Shaft</i>	35,95

### Total *Downtime* Pompa Sentrifugal 107 J

Jenis Pompa	<i>Downtime</i> (Jam)
JA	137,883
JB	95,266
JC	246,550

- **Perhitungan *Time to Failure* (TTF)**

TTF = Waktu mulai kegagalan ke  $i+1$  – Waktu selesai perbaikan ke  $i$

Contoh perhitungan TTF pada *Mechanical Seal* Pompa 107 JA adalah sebagai berikut:

Waktu mulai kegagalan ke 2 = 23 Juli 2017 02.03

Waktu selesai kegagalan ke 1 = 09 Desember 2017 17.40

TTF = Waktu mulai kegagalan ke  $i+1$  – Waktu selesai perbaikan ke  $i$

= (23 Juli 2017 02.03) – (09 Desember 2017 17.40)

= 14192,4 Jam

- **Perhitungan *Time To Repair* (TTR)**

TTR = Waktu selesai perbaikan ke i - Waktu mulai kegagalan ke i

Contoh perhitungan TTR pada *Mechanical Seal* Pompa 107 JA adalah sebagai berikut:

Waktu mulai rusak ke 1 = 08 Desember 2015 17.31

Waktu selesai perbaikan ke 1 = 09 Desember 2015 17.40

TTR = Waktu selesai perbaikan ke i - Waktu mulai kegagalan ke i

TTR = 09 Desember 2015 17.40 – 08 Desember 2015 17.31  
= 24,15 Jam

- **Perhitungan Keandalan Sebelum vs Setelah Permodelan *Maintenance* pada Pompa Sentrifugal 107 JA**

n	t	R	Rm
0	0	1	1
0	200	0.999995	0.999995
0	400	0.999962	0.999962
0	600	0.999877	0.999877
0	800	0.999715	0.999715
0	1000	0.999455	0.999455
0	1200	0.999073	0.999073
0	1400	0.998549	0.998549
0	1600	0.997861	0.997861
0	1800	0.996988	0.996988
0	2000	0.995909	0.995909
0	2200	0.994605	0.994605
0	2400	0.993056	0.993056
0	2600	0.991242	0.991242

0	2800	0.989146	0.989146
0	3000	0.986748	0.986748
0	3200	0.984033	0.984033
0	3400	0.980981	0.980981
0	3600	0.977579	0.977579
0	3800	0.973809	0.973809
0	4000	0.969657	0.969657
0	4200	0.96511	0.96511
0	4400	0.960154	0.960154
0	4600	0.954778	0.954778
0	4800	0.94897	0.94897
0	5000	0.942721	0.942721
0	5200	0.936022	0.936022
0	5400	0.928866	0.928866
0	5600	0.921246	0.921246

0	5800	0.913157	0.913157
0	6000	0.904596	0.904596
0	6200	0.89556	0.89556
0	6400	0.88605	0.88605
0	6600	0.876064	0.876064
0	6800	0.865607	0.865607
0	7000	0.854681	0.854681
0	7200	0.843292	0.843292
0	7400	0.831447	0.831447
0	7600	0.819154	0.819154
0	7800	0.806423	0.806423
0	8000	0.793267	0.793267
0	8200	0.779697	0.779697
0	8400	0.76573	0.76573
0	8600	0.75138	0.75138
0	8800	0.736666	0.736666
0	9000	0.721606	0.721606
0	9200	0.706222	0.706222
0	9400	0.690535	0.690535
0	9600	0.674567	0.674567
0	9800	0.658343	0.658343
0	10000	0.641888	0.641888
0	10200	0.625227	0.625227
0	10400	0.608388	0.608388
0	10600	0.591398	0.591398
0	10800	0.574286	0.574286
1	11000	0.557079	1
1	11200	0.539808	0.999995
1	11400	0.5225	0.999962

1	11600	0.505186	0.999877
1	11800	0.487895	0.999715
1	12000	0.470657	0.999455
1	12200	0.453499	0.999073
1	12400	0.436451	0.998549
1	12600	0.419541	0.997861
1	12800	0.402796	0.996988
1	13000	0.386242	0.995909
1	13200	0.369905	0.994605
1	13400	0.35381	0.993056
1	13600	0.33798	0.991242
1	13800	0.322438	0.989146
1	14000	0.307204	0.986748
1	14200	0.292299	0.984033
1	14400	0.27774	0.980981
1	14600	0.263543	0.977579
1	14800	0.249725	0.973809
1	15000	0.236298	0.969657
1	15200	0.223275	0.96511
1	15400	0.210665	0.960154
1	15600	0.198478	0.954778
1	15800	0.186719	0.94897
1	16000	0.175395	0.942721
1	16200	0.164509	0.936022
1	16400	0.154062	0.928866
1	16600	0.144056	0.921246
1	16800	0.13449	0.913157
1	17000	0.12536	0.904596
1	17200	0.116664	0.89556

1	17400	0.108396	0.88605
1	17600	0.10055	0.876064
1	17800	0.093118	0.865607
1	18000	0.086091	0.854681
1	18200	0.079462	0.843292
1	18400	0.073218	0.831447
1	18600	0.067349	0.819154
1	18800	0.061843	0.806423
1	19000	0.056688	0.793267
1	19200	0.051871	0.779697
1	19400	0.047378	0.76573
1	19600	0.043197	0.75138
1	19800	0.039313	0.736666
1	20000	0.035713	0.721606
1	20200	0.032383	0.706222
1	20400	0.029308	0.690535
1	20600	0.026475	0.674567
1	20800	0.023871	0.658343
1	21000	0.021481	0.641888
1	21200	0.019293	0.625227
1	21400	0.017295	0.608388
1	21600	0.015473	0.591398
1	21800	0.013815	0.574286
2	22000	0.01231	1
2	22200	0.010947	0.999995
2	22400	0.009715	0.999962
2	22600	0.008604	0.999877
2	22800	0.007605	0.999715
2	23000	0.006707	0.999455

2	23200	0.005903	0.999073
2	23400	0.005185	0.998549
2	23600	0.004544	0.997861
2	23800	0.003973	0.996988
2	24000	0.003467	0.995909
2	24200	0.003019	0.994605
2	24400	0.002623	0.993056
2	24600	0.002274	0.991242
2	24800	0.001966	0.989146
2	25000	0.001697	0.986748
2	25200	0.001461	0.984033
2	25400	0.001255	0.980981
2	25600	0.001076	0.977579
2	25800	0.00092	0.973809
2	26000	0.000785	0.969657
2	26200	0.000668	0.96511
2	26400	0.000567	0.960154
2	26600	0.00048	0.954778
2	26800	0.000406	0.94897
2	27000	0.000342	0.942721
2	27200	0.000288	0.936022
2	27400	0.000241	0.928866
2	27600	0.000202	0.921246
2	27800	0.000169	0.913157
2	28000	0.00014	0.904596
2	28200	0.000117	0.89556
2	28400	9.66E-05	0.88605
2	28600	7.98E-05	0.876064
2	28800	6.58E-05	0.865607

2	29000	5.41E-05	0.854681
2	29200	4.44E-05	0.843292
2	29400	3.63E-05	0.831447
2	29600	2.96E-05	0.819154
2	29800	2.41E-05	0.806423
2	30000	1.95E-05	0.793267
2	30200	1.58E-05	0.779697
2	30400	1.28E-05	0.76573
2	30600	1.03E-05	0.75138
2	30800	8.24E-06	0.736666
2	31000	6.6E-06	0.721606
2	31200	5.27E-06	0.706222
2	31400	4.19E-06	0.690535
2	31600	3.33E-06	0.674567
2	31800	2.63E-06	0.658343
2	32000	2.08E-06	0.641888

2	32200	1.64E-06	0.625227
2	32400	1.28E-06	0.608388
2	32600	1.01E-06	0.591398
2	32800	7.84E-07	0.574286
3	33000	6.1E-07	1
3	33200	4.74E-07	0.999995
3	33400	3.66E-07	0.999962
3	33600	2.83E-07	0.999877
3	33800	2.17E-07	0.999715
3	34000	1.67E-07	0.999455
3	34200	1.27E-07	0.999073
3	34400	9.7E-08	0.998549
3	34600	7.37E-08	0.997861
3	34800	5.58E-08	0.996988
3	35000	4.22E-08	0.995909
3	35200	3.17E-08	0.994605

- **Perhitungan Keandalan Sebelum vs Setelah Permodelan *Maintenance* pada Pompa Sentrifugal 107 JB**

n	t	R	Rm
0	0	1	1
0	200	0.999831	0.999831
0	400	0.999332	0.999332
0	600	0.998506	0.998506
0	800	0.997357	0.997357
0	1000	0.995886	0.995886
0	1200	0.994097	0.994097
0	1400	0.991992	0.991992

0	1600	0.989574	0.989574
0	1800	0.986845	0.986845
0	2000	0.983809	0.983809
0	2200	0.980469	0.980469
0	2400	0.976829	0.976829
0	2600	0.972892	0.972892
0	2800	0.968663	0.968663
0	3000	0.964146	0.964146
0	3200	0.959346	0.959346



0	3400	0.954266	0.954266
0	3600	0.948912	0.948912
0	3800	0.94329	0.94329
0	4000	0.937404	0.937404
0	4200	0.931261	0.931261
0	4400	0.924866	0.924866
0	4600	0.918224	0.918224
0	4800	0.911343	0.911343
0	5000	0.904227	0.904227
0	5200	0.896885	0.896885
0	5400	0.889322	0.889322
0	5600	0.881546	0.881546
0	5800	0.873562	0.873562
0	6000	0.865378	0.865378
0	6200	0.857002	0.857002
0	6400	0.84844	0.84844
0	6600	0.8397	0.8397
0	6800	0.830789	0.830789
0	7000	0.821715	0.821715
0	7200	0.812485	0.812485
0	7400	0.803107	0.803107
0	7600	0.793588	0.793588
0	7800	0.783937	0.783937
0	8000	0.77416	0.77416
0	8200	0.764267	0.764267
0	8400	0.754263	0.754263
0	8600	0.744158	0.744158
0	8800	0.733958	0.733958
0	9000	0.723672	0.723672

0	9200	0.713307	0.713307
0	9400	0.702871	0.702871
0	9600	0.692372	0.692372
0	9800	0.681816	0.681816
0	10000	0.671212	0.671212
0	10200	0.660566	0.660566
0	10400	0.649887	0.649887
0	10600	0.639181	0.639181
0	10800	0.628455	0.628455
0	11000	0.617717	0.617717
0	11200	0.606973	0.606973
0	11400	0.59623	0.59623
0	11600	0.585495	0.585495
0	11800	0.574774	0.574774
0	12000	0.564074	0.564074
0	12200	0.553401	0.553401
0	12400	0.542761	0.542761
0	12600	0.53216	0.53216
0	12800	0.521603	0.521603
1	13000	0.511097	1
1	13200	0.500648	0.999831
1	13400	0.490259	0.999332
1	13600	0.479937	0.998506
1	13800	0.469686	0.997357
1	14000	0.459511	0.995886
1	14200	0.449418	0.994097
1	14400	0.439409	0.991992
1	14600	0.42949	0.989574
1	14800	0.419665	0.986845

1	15000	0.409937	0.983809
1	15200	0.400311	0.980469
1	15400	0.39079	0.976829
1	15600	0.381376	0.972892
1	15800	0.372074	0.968663
1	16000	0.362887	0.964146
1	16200	0.353816	0.959346
1	16400	0.344866	0.954266
1	16600	0.336037	0.948912
1	16800	0.327334	0.94329
1	17000	0.318757	0.937404
1	17200	0.310308	0.931261
1	17400	0.30199	0.924866
1	17600	0.293804	0.918224
1	17800	0.285752	0.911343
1	18000	0.277834	0.904227
1	18200	0.270052	0.896885
1	18400	0.262407	0.889322
1	18600	0.2549	0.881546
1	18800	0.24753	0.873562
1	19000	0.2403	0.865378
1	19200	0.233208	0.857002
1	19400	0.226256	0.84844
1	19600	0.219443	0.8397
1	19800	0.21277	0.830789
1	20000	0.206236	0.821715
1	20200	0.199841	0.812485
1	20400	0.193584	0.803107
1	20600	0.187465	0.793588

1	20800	0.181484	0.783937
1	21000	0.175639	0.77416
1	21200	0.16993	0.764267
1	21400	0.164356	0.754263
1	21600	0.159095	0.744158
1	21800	0.153608	0.733958
1	22000	0.148432	0.723672
1	22200	0.143386	0.713307
1	22400	0.138468	0.702871
1	22600	0.133678	0.692372
1	22800	0.129015	0.681816
1	23000	0.124475	0.671212
1	23200	0.120058	0.660566
1	23400	0.115762	0.649887
1	23600	0.111586	0.639181
1	23800	0.107527	0.628455
1	24000	0.103584	0.617717
1	24200	0.099754	0.606973
1	24400	0.096037	0.59623
1	24600	0.092429	0.585495
1	24800	0.08893	0.574774
1	25000	0.085537	0.564074
1	25200	0.082248	0.553401
1	25400	0.079061	0.542761
1	25600	0.075974	0.53216
1	25800	0.072986	0.521603
2	26000	0.070093	1
2	26200	0.067294	0.999831
2	26400	0.064587	0.999332

2	26600	0.06197	0.998506
2	26800	0.059441	0.997357
2	27000	0.056997	0.995886
2	27200	0.054637	0.994097
2	27400	0.052359	0.991992
2	27600	0.05016	0.989574
2	27800	0.048039	0.986845
2	28000	0.045993	0.983809
2	28200	0.044021	0.980469
2	28400	0.042121	0.976829
2	28600	0.04029	0.972892
2	28800	0.038527	0.968663
2	29000	0.03683	0.964146
2	29200	0.035196	0.959346
2	29400	0.033625	0.954266
2	29600	0.032114	0.948912
2	29800	0.030662	0.94329
2	30000	0.029266	0.937404
2	30200	0.027925	0.931261
2	30400	0.026638	0.924866
2	30600	0.025402	0.918224
2	30800	0.024216	0.911343

2	31000	0.023078	0.904227
2	31200	0.021987	0.896885
2	31400	0.020941	0.889322
2	31600	0.019939	0.881546
2	31800	0.018978	0.873562
2	32000	0.018059	0.865378
2	32200	0.017179	0.857002
2	32400	0.016337	0.84844
2	32600	0.015531	0.8397
2	32800	0.01476	0.830789
2	33000	0.014024	0.821715
2	33200	0.01332	0.812485
2	33400	0.012647	0.803107
2	33600	0.012005	0.793588
2	33800	0.011392	0.783937
2	34000	0.010807	0.77416
2	34200	0.010249	0.764267
2	34400	0.009716	0.754263
2	34600	0.009209	0.744158
2	34800	0.008725	0.733958
2	35000	0.008264	0.723672
2	35200	0.007825	0.713307

- **Perhitungan Keandalan Sebelum vs Setelah Permodelan *Maintenance* pada Pompa Sentrifugal 107 JC**

n	t	R	Rm
0	0	1	1
0	200	1	1

0	400	1	1
0	600	1	1
0	800	0.999999	0.999999

0	1000	0.999998	0.999998
0	1200	0.999995	0.999995
0	1400	0.999989	0.999989
0	1600	0.999976	0.999976
0	1800	0.999954	0.999954
0	2000	0.999918	0.999918
0	2200	0.99986	0.99986
0	2400	0.999773	0.999773
0	2600	0.999647	0.999647
0	2800	0.999467	0.999467
0	3000	0.999219	0.999219
0	3200	0.998883	0.998883
0	3400	0.998436	0.998436
0	3600	0.997853	0.997853
0	3800	0.997103	0.997103
0	4000	0.996151	0.996151
0	4200	0.994958	0.994958
0	4400	0.993478	0.993478
0	4600	0.991662	0.991662
0	4800	0.989453	0.989453
0	5000	0.98679	0.98679
0	5200	0.983605	0.983605
0	5400	0.979825	0.979825
0	5600	0.975371	0.975371
0	5800	0.970157	0.970157
0	6000	0.964094	0.964094
0	6200	0.957085	0.957085
0	6400	0.949034	0.949034
0	6600	0.939837	0.939837

0	6800	0.929391	0.929391
0	7000	0.917592	0.917592
0	7200	0.904339	0.904339
0	7400	0.889533	0.889533
0	7600	0.873083	0.873083
0	7800	0.854906	0.854906
0	8000	0.834932	0.834932
0	8200	0.813107	0.813107
0	8400	0.789396	0.789396
0	8600	0.763788	0.763788
0	8800	0.736296	0.736296
1	9000	0.706967	1
1	9200	0.675878	1
1	9400	0.643144	1
1	9600	0.608917	1
1	9800	0.573386	0.999999
1	10000	0.536781	0.999998
1	10200	0.499366	0.999995
1	10400	0.461439	0.999989
1	10600	0.423326	0.999976
1	10800	0.385373	0.999954
1	11000	0.347939	0.999918
1	11200	0.311386	0.99986
1	11400	0.276069	0.999773
1	11600	0.242323	0.999647
1	11800	0.210451	0.999467
1	12000	0.180718	0.999219
1	12200	0.153336	0.998883
1	12400	0.128458	0.998436

1	12600	0.106177	0.997853
1	12800	0.086517	0.997103
1	13000	0.069443	0.996151
1	13200	0.054857	0.994958
1	13400	0.042612	0.993478
1	13600	0.032519	0.991662
1	13800	0.024356	0.989453
1	14000	0.017887	0.98679
1	14200	0.012867	0.983605
1	14400	0.009056	0.979825
1	14600	0.006229	0.975371
1	14800	0.004183	0.970157
1	15000	0.002739	0.964094
1	15200	0.001747	0.957085
1	15400	0.001083	0.949034
1	15600	0.000653	0.939837
1	15800	0.000381	0.929391
1	16000	0.000216	0.917592
1	16200	0.000118	0.904339
1	16400	6.25E-05	0.889533
1	16600	3.19E-05	0.873083
1	16800	1.57E-05	0.854906
1	17000	7.39E-06	0.834932
1	17200	3.35E-06	0.813107
1	17400	1.45E-06	0.789396
1	17600	6.02E-07	0.763788
1	17800	2.39E-07	0.736296
2	18000	9E-08	1
2	18200	3.23E-08	1

2	18400	1.1E-08	1
2	18600	3.53E-09	1
2	18800	1.08E-09	0.999999
2	19000	3.08E-10	0.999998
2	19200	8.32E-11	0.999995
2	19400	2.11E-11	0.999989
2	19600	5E-12	0.999976
2	19800	1.11E-12	0.999954
2	20000	2.28E-13	0.999918
2	20200	4.37E-14	0.99986
2	20400	7.77E-15	0.999773
2	20600	1.28E-15	0.999647
2	20800	1.93E-16	0.999467
2	21000	2.68E-17	0.999219
2	21200	3.42E-18	0.998883
2	21400	3.98E-19	0.998436
2	21600	4.22E-20	0.997853
2	21800	4.06E-21	0.997103
2	22000	3.54E-22	0.996151
2	22200	2.78E-23	0.994958
2	22400	1.97E-24	0.993478
2	22600	1.25E-25	0.991662
2	22800	7.04E-27	0.989453
2	23000	3.54E-28	0.98679
2	23200	1.58E-29	0.983605
2	23400	6.22E-31	0.979825
2	23600	2.15E-32	0.975371
2	23800	6.53E-34	0.970157
2	24000	1.73E-35	0.964094

2	24200	3.98E-37	0.957085
2	24400	7.94E-39	0.949034
2	24600	1.36E-40	0.939837
2	24800	2.01E-42	0.929391
2	25000	2.53E-44	0.917592
2	25200	2.7E-46	0.904339
2	25400	2.45E-48	0.889533
2	25600	1.87E-50	0.873083
2	25800	1.2E-52	0.854906
2	26000	6.38E-55	0.834932
2	26200	2.82E-57	0.813107
2	26400	1.03E-59	0.789396
2	26600	3.1E-62	0.763788
2	26800	7.62E-65	0.736296
3	27000	1.52E-67	1
3	27200	2.45E-70	1
3	27400	3.17E-73	1
3	27600	3.28E-76	1
3	27800	2.7E-79	0.999999
3	28000	1.75E-82	0.999998
3	28200	8.92E-86	0.999995
3	28400	3.54E-89	0.999989
3	28600	1.09E-92	0.999976
3	28800	2.59E-96	0.999954
3	29000	4.7E-100	0.999918
3	29200	6.5E-104	0.99986
3	29400	6.7E-108	0.999773
3	29600	5.3E-112	0.999647
3	29800	3E-116	0.999467

3	30000	1.3E-120	0.999219
3	30200	4.1E-125	0.998883
3	30400	9.4E-130	0.998436
3	30600	1.6E-134	0.997853
3	30800	1.9E-139	0.997103
3	31000	1.6E-144	0.996151
3	31200	9.4E-150	0.994958
3	31400	4E-155	0.993478
3	31600	1.2E-160	0.991662
3	31800	2.3E-166	0.989453
3	32000	3.2E-172	0.98679
3	32200	2.9E-178	0.983605
3	32400	1.8E-184	0.979825
3	32600	7.6E-191	0.975371
3	32800	2.1E-197	0.970157
3	33000	3.8E-204	0.964094
3	33200	4.4E-211	0.957085
3	33400	3.3E-218	0.949034
3	33600	1.5E-225	0.939837
3	33800	4.6E-233	0.929391
3	34000	8.5E-241	0.917592
3	34200	9.8E-249	0.904339
3	34400	6.9E-257	0.889533
3	34600	2.9E-265	0.873083
3	34800	7.4E-274	0.854906
3	35000	1.1E-282	0.834932
3	35200	9.8E-292	0.813107

## LAMPIRAN E ANALISIS BIAYA

- **Daftar Harga Sparepart Pompa 107 J**

<i>Sparepart</i>	<b>Harga</b>
<i>Mechanical Seal</i>	Rp 185.000.000
<i>Journal Bearing</i>	Rp 80.000.000
<i>Throttle Bushing</i>	Rp 3.000.000
<i>Wearing Ring</i>	Rp 6.000.000
<i>Shaft</i>	Rp 23.000.000
<i>Thrust Bearing</i>	Rp 7.500.000

- **Data Biaya Kerugian Akibat Kegagalan pada Pompa 107 J**

Jenis Pompa	Tanggal dan Waktu Awal Kegagalan	Tanggal dan Waktu Akhir Kegagalan	Komponen	Duration	TTR			Total Biaya Sparepart	Total Biaya Gas Penggunaan JBT	Total Biaya Kerugian
					Hari	Jam	Menit			
JA	08/12/2015 17.31	09/12/2015 17.40	<i>Mechanical Seal</i>	24:09:00	1,00625	24,15	1449	Rp 185.000.000	Rp 71.888.219	Rp 892.442.537
	14/01/2016 19.23	14/01/2016 01.16	<i>Journal Bearing</i>	05:54	0,245833	5,9	354	Rp 80.000.000	Rp 17.562.753	

	26/10/2016 14.23	27/10/2016 14.19	<i>Throttle Bushing</i>	23:56	0,997222	23,93333	1436	Rp 6.000.000	Rp 71.243.259	
	23/07/2017 02.03	24/07/2017 01.57	<i>Mechanical Seal</i>	23:54	0,995833	23,9	1434	Rp 185.000.000	Rp 71.144.035	
	14/11/2017 11.02	15/11/2017 11.03	<i>Throttle Bushing</i>	24:01:00	1,000694	24,01667	1441	Rp 3.000.000	Rp 71.491.321	
	12/06/2018 14.29	14/06/2018 02.28	<i>Shaft</i>	35:59:00	1,499306	35,98333	2159	Rp 23.000.000	Rp 107.112.950	
JB	04/08/2015 09.12	05/08/2015 10.20	<i>Mechanical Seal</i>	25:08:00	1,047222	25,13333	1508	Rp 185.000.000	Rp -	Rp 376.000.000
	19/11/2016 16.38	20/11/2016 16.40	<i>Throttle Bushing</i>	24:02:00	1,001389	24,03333	1442	Rp 3.000.000	Rp -	
	09/08/2017 12.36	10/08/2017 10.35	<i>Mechanical Seal</i>	22:01:00	0,917361	22,01667	1321	Rp 185.000.000	Rp -	
	14/12/2017 10.11	15/12/2017 10.16	<i>Throttle Bushing</i>	24:05:00	1,003472	24,08333	1445	Rp 3.000.000	Rp -	



JC	03/10/2015 06.25	03/10/2015 12.25	<i>Journal Bearing</i>	06:02	0,251389	6,033333	362	Rp 80.000.000	Rp 17.959.652	Rp 1.355.414.717
	02/03/2016 18.23	03/03/2016 18.31	<i>Mechanical Seal</i>	24:08:00	1,005556	24,13333	1448	Rp 185.000.000	Rp 71.838.607	
	20/04/2016 04.29	21/04/2016 04.36	<i>Throttle Bushing</i>	24:07:00	1,004861	24,11667	1447	Rp 3.000.000	Rp 71.788.994	
	21/04/2016 15.24	23/04/2016 03.27	<i>Shaft</i>	36:03:00	1,502083	36,05	2163	Rp 23.000.000	Rp 107.311.399	
	29/09/2017 16.32	30/09/2017 16.29	<i>Mechanical Seal</i>	23:57	0,997917	23,95	1437	Rp 185.000.000	Rp 71.292.872	
	15/09/2017 00.23	16/09/2017 00.22	<i>Throttle Bushing</i>	23:59	0,999306	23,98333	1439	Rp 6.000.000	Rp 71.392.096	
	16/09/2017 09.32	18/09/2017 21.36	<i>Shaft</i>	36:04:00	1,502778	36,06667	2164	Rp 23.000.000	Rp 107.361.012	
	16/09/2017 09.32	16/09/2017 15.16	<i>Journal Bearing</i>	06:04	0,252778	6,066667	364	Rp 80.000.000	Rp 18.058.876	
	16/09/2017 09.32	17/09/2017 09.38	<i>Wearing Ring</i>	24:06:00	1,004167	24,1	1446	Rp 6.000.000	Rp 71.739.382	
	10/11/2018 10.23	10/11/2018 16.29	<i>Thrust Bearing</i>	06:06	0,254167	6,1	366	Rp 7.500.000	Rp 18.158.101	
	10/11/2018 10.23	12/11/2018 22.20	<i>Shaft</i>	35:57:00	1,497917	35,95	2157	Rp 23.000.000	Rp 107.013.726	
<b>TOTAL</b>									<b>Rp 2.623.857.254</b>	

<b>Konsumsi gas/jam</b>	30,33	per jam
<b>Harga gas/mmbtu</b>	Rp 98.145,00	per mmbtu

<b>Waktu Operasional Komponen</b>		<b>Hari</b>	<b>Jam</b>	<b>Menit</b>
01/01/2015	31/12/2018	1460	35040	2102400

- **Total Biaya Sebelum Permodelan *Maintenance***

$$\text{CTM} = Cc + Cd + (\text{TTR} \times Cm)$$

CTM : Biaya total *maintenance*

Cc : Harga komponen pengganti

Cd : Biaya *downtime*

Cm : Biaya tenaga pelaksana (Rp 35.000,00/jam)

TTR : *Time to Repair*

Jenis Pompa	Cc	Cd	Cm	TTR	CTM
JA	Rp 185.000.000	Rp 71.888.219	Rp 2.380.000	24,15	Rp 314.365.219
	Rp 80.000.000	Rp 17.562.753	Rp 420.000	5,9	Rp 100.040.753
	Rp 6.000.000	Rp 71.243.259	Rp 2.975.000	23,93333333	Rp 148.444.925
	Rp 185.000.000	Rp 71.144.035	Rp 2.380.000	23,9	Rp 313.026.034
	Rp 3.000.000	Rp 71.491.321	Rp 2.380.000	24,01666667	Rp 131.650.987
	Rp 23.000.000	Rp 107.112.950	Rp 5.600.000	35,98333333	Rp 331.619.616
JB	Rp 185.000.000	Rp -	Rp 2.380.000	25,13333333	Rp 244.817.333

	Rp 3.000.000	Rp -	Rp 2.380.000	24,03333333	Rp 60.199.333
	Rp 185.000.000	Rp -	Rp 2.380.000	22,01666667	Rp 237.399.666
	Rp 3.000.000	Rp -	Rp 2.380.000	24,08333333	Rp 60.318.333
JC	Rp 80.000.000	Rp 17.959.652	Rp 420.000	6,033333333	Rp 100.493.651
	Rp 185.000.000	Rp 71.838.607	Rp 2.380.000	24,13333333	Rp 314.275.940
	Rp 3.000.000	Rp 71.788.994	Rp 2.380.000	24,11666667	Rp 132.186.661
	Rp 23.000.000	Rp 107.311.399	Rp 5.600.000	36,05	Rp 332.191.399
	Rp 185.000.000	Rp 71.292.872	Rp 2.380.000	23,95	Rp 313.293.871
	Rp 6.000.000	Rp 71.392.096	Rp 2.975.000	23,98333333	Rp 148.742.512
	Rp 23.000.000	Rp 107.361.012	Rp 5.600.000	36,06666667	Rp 332.334.345
	Rp 80.000.000	Rp 18.058.876	Rp 560.000	6,066666667	Rp 101.456.209
	Rp 6.000.000	Rp 71.739.382	Rp 2.380.000	24,1	Rp 135.097.382
	Rp 7.500.000	Rp 18.158.101	Rp 420.000	6,1	Rp 28.220.100
	Rp 23.000.000	Rp 107.013.726	Rp 4.480.000	35,95	Rp 291.069.725
	<b>TOTAL</b>				

- **Total Biaya Setelah Permodelan *Maintenance***

**CTM** =  $Cc + Cd + (TTR \times Cm)$   
**CTM** : Biaya total *maintenance*  
**Cc** : Harga komponen pengganti  
**Cd** : Biaya *downtime*  
**Cm** : Biaya tenaga pelaksana (Rp 35.000,00/jam)  
**TTR** : *Time to Repair*

Jenis Pompa	Waktu ke-(jam)	Cc	Cd	Cm	TTR	CTM
JA	11000	Rp 6.000.000	Rp 71.338.146	Rp 2.975.000	23,97	Rp 148.634.645
	22000	Rp 6.000.000	Rp 71.338.146	Rp 2.975.000	23,97	Rp 148.634.645
	33000	Rp 6.000.000	Rp 71.338.146	Rp 2.975.000	23,97	Rp 148.634.645
JB	13000	Rp 6.000.000	Rp -	Rp 2.975.000	24,05	Rp 77.555.989
	26000	Rp 6.000.000	Rp -	Rp 2.975.000	24,05	Rp 77.555.989
JC	9000	Rp 6.000.000	Rp 71.544.413	Rp 2.975.000	24,03	Rp 149.047.059

	18000	Rp 6.000.000	Rp 71.544.413	Rp 2.975.000	24,03	Rp 149.047.059
	27000					
<b>TOTAL</b>						<b>Rp 1.048.157.089</b>

## LAMPIRAN F

### REKOMENDASI STRATEGI PERAWATAN

<i>Predictive Maintenance</i>		
<b>Jenis Maintenance</b>	<b>Why</b>	<b>How</b>
Pengecekan vibrasi pada <i>bearing</i>	Dilakukan untuk mengetahui kondisi vibrasi pada <i>bearing</i>	Vibrasi pada <i>bearing</i> diukur menggunakan <i>accelerometer</i>
<i>Preventive Maintenance</i>		
<b>Jenis Maintenance</b>	<b>Why</b>	<b>How</b>
Pembersihan larutan <i>benfield</i> yang mengkristal	Ditemukan adanya pengkristalan larutan <i>benfield</i> pada <i>casing</i> pompa	Apabila terdapat pengkristalan larutan, dilakukan pembersihan dengan menyiramkan air
Penggantian oli	Dilakukan untuk mencegah keausan pada <i>bearing</i>	Oli lama dikuras kemudian diganti dengan oli yang baru
Penggantian <i>throttle bushing</i>	Dilakukan karena penurunan keandalan dan performa pompa	Dilakukan pembongkaran pada pompa mulai dari <i>casing</i> kemudian susunan poros dibongkar, <i>throttle bushing</i> lama dilepas kemudian <i>throttle bushing</i> baru dipasang
<i>Corrective Maintenance</i>		
<b>Jenis Maintenance</b>	<b>Why</b>	<b>How</b>
Modifikasi pada <i>throttle bushing</i>	Dilakukan agar tidak terjadi kebocoran pada <i>mechanical seal</i> dan tidak terjadi vibrasi tinggi	Memperbesar pin pada <i>throttle bushing</i>
Modifikasi pada <i>wearing ring</i>	Dilakukan agar tidak terjadi penurunan performa pompa	Memperbesar pin pada <i>wearing ring</i>
Modifikasi desain <i>wearing ring</i> , <i>throttle bushing</i> dan	Dilakukan agar proses <i>overhaul</i> pompa menjadi lebih cepat	Mendesain ulang <i>wearing ring</i> dan <i>throttle bushing</i> dengan menambahkan <i>groove</i> dan

<i>casing</i> pompa yang mudah di-assembly		mendesain ulang <i>casing</i> dengan membuat <i>railway</i>
Modifikasi material <i>babbit journal bearing</i>	Dilakukan agar umur <i>bearing</i> lebih lama	Mengganti material <i>babbit journal bearing</i> dengan material baru sehingga vibrasi dapat dikurangi
Modifikasi pemerataan pada <i>spitline casing</i> pompa	Dilakukan agar tidak terjadi kebocoran pada <i>casing</i> pompa	Melakukan <i>build up</i> pada <i>spitline casing</i> kemudian menggerinda hingga dimensi yang diinginkan



## DAFTAR PUSTAKA

- (IEC), I. E. (2006). *Analysis Technique for System Reliability for Failure Mode Effects Analysis (FMEA) 60812:2006*. America: American National Standards Institute (ANSI).
- Asrori, A. (2016). *Optimasi Preventive Maintenance pada Shipping Pump dengan Genetic Algorithm di Joint Operating Body Pertamina–Petrochina East Java (JOB P-PEJ) Soko–Tuban*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Database PT. Petrokimia Gresik*. (n.d.). Jawa Timur.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- J, S. (2017). *Reliability Analysis of Centrifugal Pump through FMECA and FEM*. India: SNS College of Technology.
- Kristoffer, M. K. (2011). *A Review of Major Centrifugal Pump Failure Modes with Application to The Water Supply and Sewerage Industries*. Western Australia: Curtin University.
- Marscher, W. (2017). *Avoiding Failures in Centrifugal Pumps*. India: Mechanical Solutions, Inc.
- Munyensanga, P. (2018). *Information Management to Improve The Effectiveness of Preventive Maintenance Activities with Computerized Maintenance Management System at The Intake System of Circulating Water Pump*. Indonesia: Diponegoro University.
- Nuñez, D. L. (2017). *An Ontology-Based Model for Prognostics and Health Management of Machines*. Brazil: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

- Sianturi, R. J. (2018). *Analisis Kegagalan pada Poros Pompa Sentrifugal Semi-Lean Benfield 107 JA dengan Menggunakan Finite Elemet Analysis*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sidiq, A. D. (2016). *Pompa Sentrifugal*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Singh, D. (2015). *Study of Centrifugal Pump Using Failure Mode Effect and Critical Analysis Based on Fuzzy Cost Estimation: A Case Study*. India: Maulana Azad National Institute of Technology.
- Trojan, F. (2017). *Proposal of Maintenance-types Classification to Clarify Maintenance Concepts in Production and Operations Management*. Brazil: Federal University of Technology-Parana.
- Vicente, F. (2017). *Reliability Analysis of Centrifugal Pumps System Justifies Improvements in Gas Plant*. Argentina: ABB Service.
- Vilarinho, S. (2017). *Preventive Maintenance Decisions through Maintenance Optimization Models: A Case Study*. Portugal: University of Minho.
- Wicaksono, A. (2018). *Optimalisasi Penggantian Komponen Travelling Water Screen (TWS) di Sistem Cooling Water (Studi Kasus Pada PLTU Mauara Tawar Blok 1)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

## BIODATA PENULIS



**Elisa Bidari** lahir di Kediri, 24 Juni 1998. Anak perempuan dari pasangan Hari Subiyakto dan M. Rahayu, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari TK Kemala Bhayangkari 41, SDN Sukorame 2 Kediri, SMPN 1 Kediri, SMAN 2 Kediri. Pada tahun 2015 penulis meneruskan jenjang pendidikan lebih tinggi di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur undangan.

Penulis mengambil bidang studi Rekayasa Sistem Industri dengan tugas akhir spesifik ke arah *maintenance*. Semasa kuliah, penulis aktif dalam bidang akademik maupun organisasi. Dalam organisasi kemahasiswaan intrakampus, penulis aktif menjadi Anggota Divisi *Racing* Mesin ITS Autosport (MAUTS) periode 2016-2017 dan Sekretaris Mesin ITS Autosport (MAUTS) pada periode 2017-2018. Penulis dapat dihubungi melalui email [elisabidari@gmail.com](mailto:elisabidari@gmail.com)