

SKRIPSI

ANALISIS KEPUTUSAN PERENCANAAN PERAWATAN
SISTEM BAHAN BAKAR PADA KAPAL KMP. BONTOHARU
MENGUNAKAN METODE *MARKOVIAN DECISION PROCESS*

Disusun dan diajukan oleh

IZDIHAR NURAFIFAH

D33116506



DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

SKRIPSI

ANALISIS KEPUTUSAN PERENCANAAN PERAWATAN
SISTEM BAHAN BAKAR PADA KAPAL KMP. BONTOHARU
MENGUNAKAN METODE *MARKOVIAN DECISION PROCESS*

Disusun dan diajukan oleh

IZDIHAR NURAFIFAH

D33116506



DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

HALAMAN PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**ANALISIS KEPUTUSAN PERENCANAAN PERAWATAN SISTEM
BAHAN BAKAR PADA KAPAL KMP. BONTOHARU MENGGUNAKAN
METODE *MARKOVIAN DECISION PROCESS***

Disusun dan diajukan oleh

**IZDIHAR NURAFIFAH
D33116506**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 02-02-2021

Dan telah dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Surya Hariyanto, S.T., M.T.
NIP. 19710722000121001

Pembimbing Pendamping,



M. Rusydi Alwi, S.T., M.T.
NIP. 197301232000121001

Ketua Program Studi,




Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M. .Eng
NIP. 198102112005011003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Izdihar Nurafifah
NIM : D33116506
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Keputusan Perencanaan Perawatan Sistem Bahan Bakar Pada Kapal

Kmp. Bontoharu Menggunakan Metode *Markovian Decision Process*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 02 Februari 2021

Yang menyatakan,



Izdihar Nurafifah

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrohim

Alhamdulillah, Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan limpahan nikmat yang sangat luar biasa kepada penulis, dan tidak lupa juga sholawat serta salam kita berikan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah membawa kita semua menuju peradaban manusia yang lebih baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata (S1) Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Terselesainya Proposal Tugas Akhir (TA) ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui ini penulis memberikan ucapan terima kasih setinggi-tingginya kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, motivasi dan dukungan materi demi keberlangsungan selama kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
2. Bapak Surya Hariyanto, S.T. M.T. selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi mulai dari awal penelitian hingga terselesainya skripsi ini.
3. Bapak M. Rusydi Alwi, S.T, M.T selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi mulai dari awal penelitian hingga terselesainya skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Eng selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. Dosen-dosen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, motivasi serta bimbingannya selama proses perkuliahan.
6. Seluruh kawan mahasiswa Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Khususnya angkatan 2016 yang senantiasa memberi banyak motivasi, dukungan serta waktu yang telah dilalui bersama.
7. Magfira Abdillah sebagai teman seperjuangan dalam memberi support, ide dan gagasan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Rahman Ernanto Putera yang selalu memberi semangat dan motivasi dalam mengerjakan tugas akhir ini.
9. Seluruh teman-teman mahasiswa Departemen Teknik Perkapalan dan Teknik Kelautan, tak lupa pula kanda-kanda senior dan dinda-dinda junior atas motivasi dan dukungannya.
10. Staf tata usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran sebagai bahan untuk memenuhi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca dan khususnya penulis.

Gowa, November 2020

Izdihar Nurafifah

DAFTAR ISI

SAMPUL HALAMAN	
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
PERNYATAAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR DAN DIAGRAM	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Batasan Masalah	4
I.4 Tujuan Penelitian	4
I.5 Manfaat Penelitian	4
I.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1 Perawatan Kapal	7

II.1.1 Pengertian	7
II.1.2 Tujuan Perawatan	7
II.1.3 Jenis Perawatan.....	8
II.1.4 Sistem Bahan Bakar.....	9
II.2 Analisa Kualitatif.....	11
II.2.1 <i>Failure Mode an Effect Analysis</i> (FMEA).....	11
II.2.2 Perhitungan Nilai RPN	12
II.2.3 <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	13
II.3 Analisa Kuantitatif.....	15
II.3.1 <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE)	16
II.3.2 <i>Markovian Decision Process</i> (MDP).....	20
II.3.3 Keputusan <i>Markovian Decision Process</i> (MDP)	20
II.3.4 Langkah-langkah <i>Markovian Decision Process</i> (MDP).....	21
II.3.5 Perhitungan Biaya.....	30
II.3.6 Perhitungan Perencanaan Waktu Pemeliharaan	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
III.1. Tempat dan Waktu Penelitian	33
II.1.1 Tempat Penelitian	33
II.1.2 Waktu Pengambilan Data Penelitian	33
III.2. Metode Penelitian.....	33
III.3. Kerangka Alur Penelitian	37

BAB IV ANALISI DAN PEMBAHASAN	38
IV.1. Data Utama Kapal	38
IV.2. Komponen Sistem Bahan Bakar	38
IV.3. Prinsip Kerja Sistem Bahan Bakar	38
IV.4. Analisa Kualitatif	41
IV.4.1. <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA)	41
IV.4.2. <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	45
IV.5. Analisa Kuantitatif	50
IV.5.1. Perhitungan Nilai <i>Overall Effectiveness Equipment</i> (OEE)	50
IV.5.1.1 Perhitungan <i>Availability Ratio</i>	50
IV.5.1.1.1 <i>Feed Pump</i>	50
IV.5.1.1.2 <i>Separator</i>	51
IV.5.1.1.3 <i>Filter</i>	52
IV.5.1.2 Perhitungan <i>Performance Efficiency</i>	53
IV.5.1.2.1 <i>Feed Pump</i>	54
IV.5.1.2.2 <i>Separator</i>	54
IV.5.1.2.3 <i>Filter</i>	55
IV.5.1.3 Perhitungan <i>Quality Efficiency</i>	56
IV.5.1.3.1 <i>Feed Pump</i>	56
IV.5.1.3.2 <i>Separator</i>	57
IV.5.1.3.3 <i>Filter</i>	58

IV.5.1.4 Nilai <i>Overall Effectiveness Equipment</i> (OEE)	59
IV.5.1.4.1 <i>Feed Pump</i>	59
IV.5.1.4.2 <i>Separator</i>	60
IV.5.1.4.3 <i>Filter</i>	61
IV.5.1.5 Penentuan <i>State</i> (Status) Komponen	62
IV.5.1.5.1 <i>Feed Pump</i>	62
IV.5.1.5.2 <i>Separator</i>	63
IV.5.1.5.3 <i>Filter</i>	64
IV.5.2. Perhitungan Matriks <i>Markov</i> dengan Metode <i>Markovian</i>	
<i>Decision Process</i>	65
IV.5.2.1 Penentuan Data Transisi <i>State</i> (Status) Komponen.....	65
IV.5.2.1.1 <i>Feed Pump</i>	65
IV.5.2.1.2 <i>Separator</i>	67
IV.5.2.1.3 <i>Filter</i>	68
IV.5.2.2 Perhitungan Jumlah Transisi <i>State</i> (Status) Berdasarkan	
Kondisi Komponen.....	70
IV.5.2.2.1 <i>Feed Pump</i>	70
IV.5.2.2.2 <i>Separator</i>	72
IV.5.2.2.3 <i>Filter</i>	73
IV.5.2.3 Perhitungan Probabilitas Transisi <i>State</i> (Status)	
Komponen	75

IV.5.2.3.1 <i>Feed Pump</i>	75
IV.5.2.3.2 <i>Separator</i>	77
IV.5.2.3.3 <i>Filter</i>	79
IV.5.2.4 Perhitungan Matriks Probabilitas Transisi	
Usulan I (P_0)	80
IV.5.2.4.1 <i>Feed Pump</i>	81
IV.5.2.4.2 <i>Separator</i>	83
IV.5.2.4.3 <i>Filter</i>	85
IV.5.2.5 Perhitungan Matriks Probabilitas Transisi	
Usulan II (P_1, P_2, P_3, P_4).....	87
IV.5.2.5.1 <i>Feed Pump</i>	87
IV.5.2.5.2 <i>Separator</i>	96
IV.5.2.5.3 <i>Filter</i>	105
IV.5.2.6 Perhitungan Biaya Perawatan Usulan I dan Usulan II	113
IV.5.2.6.1 Perawatan Usulan I (P_0).....	113
IV.5.2.6.1.1. <i>Feed Pump</i>	113
IV.5.2.6.1.2. <i>Separator</i>	114
IV.5.2.6.1.3. <i>Filter</i>	115
IV.5.2.6.2 Perawatan Usulan II.....	116
IV.5.2.6.2.1. <i>Feed Pump</i>	116
IV.5.2.6.2.2. <i>Separator</i>	117

IV.5.2.6.2.3. <i>Filter</i>	119
IV.6. Analisis Hasil dan Pembahasan	120
IV.6.1. Penghematan Biaya Perawatan	120
IV.6.2. Perencanaan Perawatan Komponen	122
IV.6.2.1. Perencanaan Perawatan Komponen Usulan I.....	122
IV.6.2.1.1. Perencanaan Jadwal Perawatan <i>Feed Pump</i>	122
IV.6.2.1.2. Perencanaan Jadwal Perawatan <i>Separator</i>	123
IV.6.2.1.3. Perencanaan Jadwal Perawatan <i>Filter</i>	123
IV.6.2.2. Perencanaan Perawatan Komponen Usulan II.....	124
IV.6.2.2.1. Perencanaan Jadwal Perawatan <i>Feed Pump</i>	124
IV.6.2.2.2. Perencanaan Jadwal Perawatan <i>Separator</i>	125
IV.6.2.2.3. Perencanaan Jadwal Perawatan <i>Filter</i>	125
BAB V PENUTUP.....	127
V.1. Kesimpulan	127
V.2. Saran	128
DAFTAR PUSTAKA	129
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR DAN DIAGRAM

GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Bahan Bakar KMP. Bontoharu..... 10

Gambar 4.1 Sistem Instalasi Bahan Bakar KMP. Bontoharu 40

DIAGRAM

Diagram 1.1 Jumlah Muatan Kapal Milik PT. ASDP Cab.Selayar 2

Diagram 4.1 Nilai RPN Komponen Komponen Bahan Bakar..... 45

Diagram 4.2 *Fault Tree Analysis* 47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkatan Severity	12
Tabel 2.2 Tingkatan Occurance	13
Tabel 2.3 Tingkatan Severity	13
Tabel 2.4 Simbol-simbol gerbang (<i>gate</i>) FTA.....	14
Tabel 2.5 Simbol-simbol kejadian (<i>event</i>) FTA.....	13
Tabel 2.6 <i>State</i> Mesin.....	18
Tabel 2.7 Keputusan-keputusan pemeliharaan	21
Tabel 2.8 Data Transisi Status Mesin	21
Tabel 2.9 Jumlah Transisi Status Mesin	23
Tabel 2.10 Probabilitas Transisi Status Mesin.....	24
Tabel 2.11 Matriks Probabilitas Awal (Usulan I)	25
Tabel 2.12 Matriks Usulan II (P_1).....	26
Tabel 2.13 Matriks Usulan II (P_2).....	27
Tabel 2.14 Matriks Usulan II (P_3).....	28
Tabel 2.15 Matriks Usulan II (P_4).....	29
Tabel 4.1 FMEA Tangki Utama.....	42
Tabel 4.2 FMEA Tangki Harian	42
Tabel 4.3 FMEA Tangki Pipa Sounding.....	42
Tabel 4.4 FMEA Tangki Pipa Udara	42
Tabel 4.5 FMEA Tangki <i>fuel feed pump</i>	42

Tabel 4.6 FMEA Tangki Pipa Isi	43
Tabel 4.7 FMEA Tangki <i>fuel injection pump</i>	43
Tabel 4.8 FMEA Tangki <i>water separator</i>	43
Tabel 4.9 FMEA Tangki <i>fuel filter</i>	44
Tabel 4.10 FMEA Tangki <i>stop valve</i>	44
Tabel 4.11 FMEA Tangki <i>regulating valve</i>	44
Tabel 4.12 <i>Cut Set</i> dari <i>Fault Tree</i> Sistem Bahan Bakar	47
Tabel 4.13 <i>Availability Ratio Feed Pump</i>	51
Tabel 4.14 <i>Availability Ratio Separator</i>	52
Tabel 4.15 <i>Availability Ratio Filter</i>	53
Tabel 4.16 <i>Performance Efficiency Feed Pump</i>	54
Tabel 4.17 <i>Performance Efficiency Separator</i>	55
Tabel 4.18 <i>Performance Efficiency Filter</i>	56
Tabel 4.19 <i>Quality Efficiency Feed Pump</i>	57
Tabel 4.20 <i>Quality Efficiency Separator</i>	58
Tabel 4.21 <i>Quality Efficiency Filter</i>	58
Tabel 4.22 <i>Overall Effectiveness Equipment Feed Pump</i>	59
Tabel 4.23 <i>Overall Effectiveness Equipment Separator</i>	60
Tabel 4.24 <i>Overall Effectiveness Equipment Filter</i>	61
Tabel 4.25 Klasifikasi Status Komponen <i>Feed Pump</i>	62
Tabel 4.26 Klasifikasi Status Komponen <i>Separator</i>	63

Tabel 4.27 Klasifikasi Status Komponen <i>Filter</i>	64
Tabel 4.28 Data Transisi Status <i>Feed Pump</i>	65
Tabel 4.29 Data Transisi Status <i>Separator</i>	67
Tabel 4.30 Data Transisi Status <i>Filter</i>	68
Tabel 4.31 Jumlah Transisi Status <i>Feed Pump</i> Tahun 2018 Pada Status Baik, Kerusakan Ringan, Kerusakan Sedang, Kerusakan Berat	71
Tabel 4.32 Jumlah Transisi Status <i>Separator</i> Tahun 2018 Pada Status Baik, Kerusakan Ringan, Kerusakan Sedang, Kerusakan Berat	72
Tabel 4.33 Jumlah Transisi Status <i>Filter</i> Tahun 2018 Pada Status Baik, Kerusakan Ringan, Kerusakan Sedang, Kerusakan Berat.....	74
Tabel 4.34 Probabilitas Transisi Status <i>Feed Pump</i>	76
Tabel 4.35 Probabilitas Transisi Status <i>Separator</i>	78
Tabel 4.36 Probabilitas Transisi Status <i>Filter</i>	80
Tabel 4.37 Matriks Probabilitas Usulan I <i>Feed Pump</i> (P_0).....	81
Tabel 4.38 Probabilitas <i>Steady State Feed Pump</i> Usulan I.....	82
Tabel 4.39 Matriks Probabilitas Usulan I <i>Separator</i> (P_0)	83
Tabel 4.40 Probabilitas <i>Steady State Separator</i> Usulan I	84
Tabel 4.41 Matriks Probabilitas Usulan I <i>Filter</i> (P_0).....	85
Tabel 4.42 Probabilitas <i>Steady State Filter</i> Usulan I.....	87
Tabel 4.43 Matriks Probabilitas Usulan II (P_1) <i>Feed Pump</i>	88
Tabel 4.44 Probabilitas <i>Steady State Feed Pump</i> Usulan II (P_1)	89
Tabel 4.45 Matriks Probabilitas Usulan II (P_2) <i>Feed Pump</i>	90

Tabel 4.46 Probabilitas <i>Steady State Feed Pump</i> Usulan II (P ₂)	91
Tabel 4.47 Matriks Probabilitas Usulan II (P ₃) <i>Feed Pump</i>	91
Tabel 4.48 Probabilitas <i>Steady State Feed Pump</i> Usulan II (P ₃)	93
Tabel 4.49 Matriks Probabilitas Usulan II (P ₄) <i>Feed Pump</i>	93
Tabel 4.50 Probabilitas <i>Steady State Feed Pump</i> Usulan II (P ₄)	94
Tabel 4.51 Probabilitas <i>Steady State Feed Pump</i> Usulan II.....	95
Tabel 4.52 Matriks Probabilitas Usulan II (P ₁) <i>Separator</i>	96
Tabel 4.53 Probabilitas <i>Steady State Separator</i> Usulan II (P ₁).....	97
Tabel 4.54 Matriks Probabilitas Usulan II (P ₂) <i>Separator</i>	98
Tabel 4.55 Probabilitas <i>Steady State Separator</i> Usulan II (P ₂).....	99
Tabel 4.56 Matriks Probabilitas Usulan II (P ₃) <i>Separator</i>	100
Tabel 4.57 Probabilitas <i>Steady State Separator</i> Usulan II (P ₃).....	102
Tabel 4.58 Matriks Probabilitas Usulan II (P ₄) <i>Separator</i>	102
Tabel 4.59 Probabilitas <i>Steady State Separator</i> Usulan II (P ₄).....	104
Tabel 4.60 Probabilitas <i>Steady State Separator</i> Usulan II	104
Tabel 4.61 Matriks Probabilitas Usulan II (P ₁) <i>Filter</i>	105
Tabel 4.62 Probabilitas <i>Steady State Filter</i> Usulan II (P ₁).....	106
Tabel 4.63 Matriks Probabilitas Usulan II (P ₂) <i>Filter</i>	107
Tabel 4.64 Probabilitas <i>Steady State Filter</i> Usulan II (P ₂).....	108
Tabel 4.65 Matriks Probabilitas Usulan II (P ₃) <i>Filter</i>	109
Tabel 4.66 Probabilitas <i>Steady State Feed Pump</i> Usulan II (P ₃)	110

Tabel 4.67 Matriks Probabilitas Usulan II (P_4) <i>Filter</i>	111
Tabel 4.68 Probabilitas <i>Steady State Feed Pump</i> Usulan II (P_4)	111
Tabel 4.69 Probabilitas <i>Steady State Filter</i> Usulan II (P_4).....	112
Tabel 4.70 Penghematan Biaya Perawatan Komponen	121
Tabel 4.71 Perencanaan Perawatan Komponen.....	125

DAFTAR SIMBOL

A	= Availability ratio (%)
P	= Performance effectiveness (%)
Q	= Quality efficiency (%)
B/B	= Kondisi baik ke kondisi baik
B/Kr	= Kondisi baik ke kondisi kerusakan ringan
B/Ks	= Kondisi baik ke kondisi kerusakan sedang
B/Kb	= Kondisi baik ke kondisi kerusakan berat
Kr/Kr	= Kondisi kerusakan ringan ke kondisi kerusakan ringan
Kr/Ks	= Kondisi kerusakan ringan ke kondisi kerusakan sedang
Kr/Kb	= Kondisi kerusakan ringan ke kondisi kerusakan berat
Ks/Ks	= Kondisi kerusakan sedang ke kondisi kerusakan sedang
Ks/Kb	= Kondisi kerusakan sedang ke kondisi kerusakan berat
Kb/B	= Kondisi kerusakan berat ke kondisi baik
P_{ij}	= Probabilitas
a_{ij}	= Banyaknya perubahan kondisi mesin dari <i>state-i</i> ke <i>state-j</i>
i	= <i>State</i> kondisi saat ini
j	= <i>State</i> kondisi periode mendatang

- P_1 = Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan preventif pada status 3
- P_2 = Pemeliharaan korektif pada status 3,4 dan pemeliharaan preventif pada status 2
- P_3 = Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan preventif pada status 2,3
- P_4 = Pemeliharaan korektif pada status 3, 4
- C_{1i} = Perawatan preventif
- C_{2i} = Perawatan korektif
- E = Biaya rata-rata ekspektasi perawatan j
- C_j = Biaya perawatan korektif untuk setiap item ke-j
- π_j = Probabilitas status dalam keadaan *steady state*

**Analisis Keputusan Perencanaan Perawatan Sistem Bahan Bakar
Pada Kapal KMP Bontoharu Menggunakan Metode Markovian
Decision Process**

ABSTRAK

PT ASDP cabang Selayar merupakan salah satu BUMN di Indonesia yang bergerak dalam di bidang transportasi laut. Untuk mendukung kelancaran transportasi laut, perlu untuk melakukan perawatan pada kapal. PT ASDP mengalami banyak kerugian secara keseluruhan, baik dari segi muatan, minat penumpang, perawatan kapal, operasional kapal, dan lain-lain. Untuk mengurangi angka kerugian perusahaan, penulis akan mengoptimalkan biaya dari segi perawatan yang dinilai cukup tinggi yakni Rp. 2.466.202.000. penelitian ini difokuskan pada perawatan sistem bahan bakar menggunakan pendekatan keandalan analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Dalam analisis kualitatif metode yang digunakan adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menentukan komponen kritis yang beresiko tinggi terjadi kerusakan. Komponen kritis yang didapatkan berdasarkan analisis kualitatif adalah *feed pump*, *separator* dan *filter*. Kemudian dalam analisis kuantitatif metode yang digunakan adalah *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan *Markovian Decision Process* (MDP) untuk menghitung waktu perencanaan perawatan. Hasil yang didapatkan dengan menggunakan metode OEE untuk transisi status pada *feed pump*, *separator* dan *filter* terdapat empat jenis status komponen, yaitu status baik, kerusakan ringan, kerusakan sedang dan kerusakan berat sedangkan dengan menggunakan metode MDP untuk perencanaan perawatan yang efisien yaitu dengan menggunakan usulan II membutuhkan total biaya perawatan sebesar Rp 59.962.572 dengan tindakan perencanaan perawatan setiap 133 jam untuk *feed pump*, setiap 110 jam untuk *separator*, dan setiap 62 jam untuk *filter*.

Kata kunci : Analisis Perawatan, FMEA, FTA, Biaya Perawatan, OEE, MDP

Analysis of Maintenance Planning Decisions Fuel Oil System on KMP

Bontoharu Ship Using Method Markovian Decision Process

ABSTRACT

PT ASDP in Selayar branch is a state-owned company in Indonesia which is engaged in sea transportation. To support the smooth operation of sea transportation, it is necessary to carry out maintenance on the ship. PT ASDP suffered many losses overall, both in terms of cargo, passenger interest, ship maintenance, ship operations, and others. To reduce the number of company losses, the authors will optimize costs in terms of maintenance which is considered quite high, namely Rp. 2,466,202,000. This research is focused on fuel system maintenance using the reliability approach of qualitative analysis and quantitative analysis. In qualitative analysis, the methods used are Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA) to determine critical components that are at high risk of damage. The critical components obtained based on qualitative analysis are the feed pump, separator and filter. Then in quantitative analysis the methods used are Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Markovian Decision Process (MDP) to calculate the time for planning the treatment. The results obtained by using the OEE method for status transition on the feed pump, separator and filter, there are four types of component status, namely good status, minor damage, moderate damage and heavy damage, while using the MDP method for efficient maintenance planning, namely by using proposal II requires a total maintenance cost of Rp. 59,962,572 with a maintenance planning action every 133 hours for the feed pump, every 110 hours for the separator, and every 62 hours for the filter.

Keywords: Maintenance Decision, FMEA, FTA, Cost Maintenance, OEE, MDP

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) adalah satu diantara perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang ada di Indonesia yang bergerak di bidang transportasi laut. PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) terdapat 30 cabang di seluruh Indonesia. Satu diantaranya PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Selayar. PT. ASDP Cabang Selayar memiliki 4 kapal yang beroperasi, yaitu KMP. Bontoharu, KMP. Kormomolin, KMP. Sangke Palangga dan KMP. Balibo.

PT. ASDP Cabang Selayar relatif mengalami peningkatan pendapatan yang stabil setiap tahunnya sampai pada tahun 2015. Hal ini didukung oleh berkembangnya animo masyarakat untuk melakukan kunjungan ke wilayah Selayar dan objek wisata di sekitarnya. Namun pada tahun berikutnya, sejak diberikannya izin operasi kepada pihak swasta untuk melayani rute Selayar-Selayar, pendapatan PT. ASDP cab. Selayar mulai mengalami penurunan baik yang berasal dari segi muatan kendaraan maupun penumpang, yang tentunya berpengaruh terhadap penghasilan perusahaan.

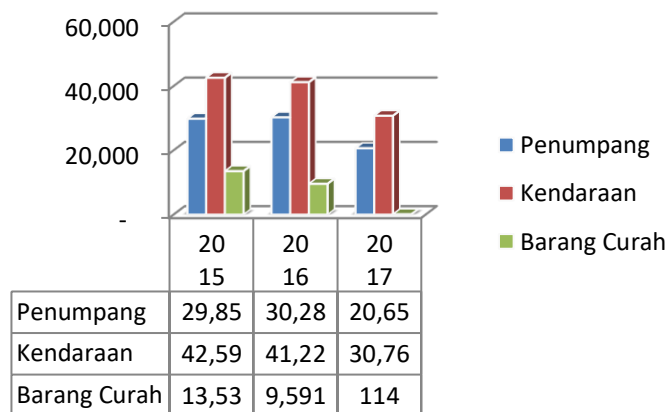


Diagram 1.1 Jumlah Muatan Kapal Milik PT. ASDP Cab.Selayar

Berdasarkan data laba rugi dari perusahaan sejak tahun 2017 mengalami kerugian sebesar Rp. 9.320.773.067, pada tahun 2018 menjadi Rp.

7.998.656.119, dan pada tahun 2019 penurunan pendapatan mencapai Rp. 11.929.950.309. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa perusahaan mengalami banyak kerugian secara keseluruhan, baik dari segi muatan, minat penumpang, perawatan kapal, operasional kapal, dan lain-lain. Untuk mengurangi angka kerugian perusahaan diatas, penulis akan mengoptimalkan biaya dari segi perawatan yang dinilai cukup tinggi yakni Rp. 2.466.202.000.

Perawatan mesin penting dilakukan untuk menjamin agar mesin bisa beroperasi dengan baik dan optimal agar mencapai kualitas perjalanan yang baik, dalam menunjang keselamatan dan keamanan kapal. Tindakan yang diambil PT. ASDP cab. Selayar dalam mengantisipasi hal ini adalah melakukan perawatan dengan metode kombinasi *Corrective Maintenance* dan *Preventive Maintenance* yaitu gabungan perawatan yang dilakukan ketika sudah terjadi kerusakan dan sebelum terjadi kerusakan. Dengan menggunakan metode kombinasi tersebut biaya perawatan sistem permesinan keseluruhan KMP Bontoharu per tahunnya berkisar Rp.551.750.000 sedangkan untuk biaya perawatan sistem bahan bakar hampir setengah dari biaya perawatan sistem permesinan keseluruhan yang berkisar Rp. 251.756.000 oleh karenanya dalam tugas akhir ini penulis memfokuskan pada perawatan sistem bahan bakar dilakukan dengan mengklasifikasi komponen kritis suatu sistem untuk mendapat biaya yang efisien.

Untuk melakukan perawatan berdasarkan klasifikasi komponen kritis tersebut dapat dilakukan dengan cara analisa keandalan dengan cara mengidentifikasi bagaimana komponen kritis tersebut dapat mengalami kegagalan dan konsekuensi dari kejadian tersebut menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *Fault Tree Analysis(FTA)*. Kemudian evaluasi keandalan ini akan dilakukan dengan metode *Morkovian Decision Process (MDP)* untuk menentukan waktu pemeliharaan yang tepat agar biaya perawatan lebih hemat dan terencana.

1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas. Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana menentukan komponen kritis yang menyebabkan kegagalan dari sistem bahan bakar KMP. Bontoharu?
2. Bagaimana menentukan waktu perawatan yang terencana pada sistem bahan bakar KMP Bontoharu?

1.3 Batasan Masalah

Sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir, maka penulis memberikan batasan masalah agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu melebar. Batasan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Objek penelitian adalah sistem bahan bakar KMP Bontoharu.
2. Secara kualitatif menggunakan metode FMEA dan FTA
3. Secara kuantitatif menggunakan metode MDP
4. Melakukan perhitungan waktu perawatan berdasarkan data biaya korektif dan biaya preventif.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui komponen kritis apa saja yang menyebabkan kegagalan dari sistem bahan bakar KMP. Bontoharu.
2. Mengoptimalkan waktu perawatan yang terencana pada kapal KMP. Bontoharu.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan memiliki manfaat bagi banyak pihak yang berkepentingan. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui jenis pendekatan keandalan untuk mengurangi biaya perawatan KMP. Bontoharu.
2. Dengan penelitian ini mampu membantu PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Selayar merencanakan penjadwalan perawatan untuk menghemat biaya perawatan.

3. Memberikan informasi tentang penyebab dan dampak terjadinya kegagalan komponen serta pengaruhnya terhadap kondisi operasi sistem bahan bakar.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi dan pembaca memahami uraian dan makna secara sistematis, maka skripsi disusun pada pola berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini konsep dasar penyusunan skripsi yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memberikan penjelasan mengenai teori dasar yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini yaitu teori dasar tentang metode keandalan, penjelasan mengenai metode *Fault Tree Analysis (FTA)* dan *Failure Mode and Effect Analysis*, penentuan kebijakan perawatan, serta menjabarkan langkah-langkah pengerjaan metode *Morkovian Decision Process (MDP)* dan langkah-langkah menentukan jadwal perawatan yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan menjelaskan tahapan-tahapan yang berupa proses yang dimulai dari mengidentifikasi masalah yang ada hingga hasil akhir yang diharapkan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil analisa kualitatif, FMEA dan FTA serta analisa kuantitatif dengan menggunakan metode MDP untuk menganalisa kemungkinan transisi status mesin dari kondisi baik, rusak ringan, rusak sedang, sampai dengan rusak berat di masa mendatang. Selanjutnya,

mengitung waktu perawatan berdasarkan perbandingan biaya korektif dan biaya preventif.

BAB V : PENUTUP

Bab ini akan menyajikan secara singkat kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan dan juga memuat saran-saran bagi pihak yang berkepentingan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Perawatan Kapal

II. 1. 1 Pengertian

Perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan.

II. 1. 2 Tujuan Perawatan

Tujuan dari kegiatan perawatan adalah:

1. Untuk memperpanjang usia kegunaan aset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan, dan isinya). Hal ini paling penting di negara berkembang karena kurangnya sumber daya modal untuk pergantian.
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi (atau jasa) dan mendapatkan laba investasi (*return on investment*) maksimum yang mungkin.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan penyelamat, dan sebagainya.
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

[1]

II. 1. 3 Jenis Perawatan

Menurut R. Panjaitan (2017) Jenis-jenis perawatan pada dasarnya dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu *planned* dan *unplanned maintenance*.

1. *Planned Maintenance*, suatu tindakan atau kegiatan perawatan yang pelaksanaannya telah direncanakan terlebih dahulu. *Planned maintenance* terbagi dua, yaitu *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*.
 - a) *Preventive Maintenance*, suatu sistem perawatan yang terjadwal dari suatu peralatan/komponen yang didesain untuk meningkatkan keandalan

suatu mesin serta untuk mengantisipasi segala kegiatan perawatan yang tidak direncanakan sebelumnya. Ada empat faktor dasar dalam memutuskan penerapan *preventive maintenance*, yaitu mencegah terjadinya kegagalan, mendeteksi kegagalan, mengungkap kegagalan tersembunyi (*hidden failure*) dan tidak melakukan apapun karena lebih efektif daripada dilakukan pergantian. Dengan mengidentifikasi keempat faktor dalam melaksanakan *preventive maintenance*, terdapat empat kategori dalam *preventive maintenance*. Keempat ketegori tersebut adalah sebagai berikut:

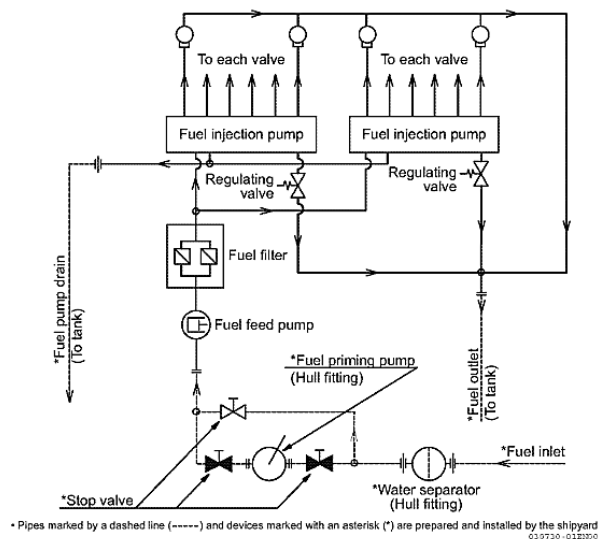
- 1) *Time-Directed* (TD) adalah perawatan yang diarahkan secara langsung pada pencegahan kegagalan atau kerusakan.
 - 2) *Condition-Directed* (CD) adalah perawatan yang diarahkan pada deteksi kegagalan atau gejala-gejala kerusakan.
 - 3) *Failure-Finding* (FF) adalah perawatan yang diarahkan pada penemuan kegagalan tersembunyi.
 - 4) *Run-to-Failure* (RTF) adalah perawatan yang didasarkan pada pertimbangan untuk menjalankan komponen hingga rusak karena pilihan lain tidak memungkinkan atau tidak menguntungkan dari segi ekonomi.
- b) *Predictive maintenance* didefinisikan sebagai pengukuran yang dapat mendeteksi degradasi sistem, sehingga penyebabnya dapat dieliminasi atau dikendalikan tergantung pada kondisi fisik komponen. Hasilnya menjadi indikasi kapabilitas fungsi sekarang dan masa depan.
2. *Unplanned Maintenance*, suatu tindakan atau kegiatan perawatan yang pelaksanaannya tidak direncanakan. *Unplanned maintenance* terbagi dua, yaitu *corrective maintenance* dan *breakdown maintenace*:
- a. *Corrective Maintenance*, suatu kegiatan perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kondisi mesin sehingga mencapai standar yang telah ditetapkan pada mesin tersebut.

- b. *Breakdown Maintenance*, yaitu suatu kegiatan perawatan yang pelaksanaannya menunggu sampai dengan peralatan tersebut rusak lalu dilakukan perbaikan. [1]

II. 1.4 Sistem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar adalah suatu sistem pelayanan untuk motor induk yang sangat vital. Sistem bahan bakar secara umum terdiri dari *fuel oil supply*, *fuel oil purifying*, *fuel oil transfer* dan *fuel oil drain piping system*. Sistem bahan bakar adalah suatu sistem yang digunakan untuk mensuplai bahan bakar dari *bunker* ke *service tank* dan juga *daily tank* dan kemudian ke mesin induk atau mesin bantu. Adapun jenis bahan bakar yang digunakan diatas kapal bisa berupa *Heavy Fuel Oil* (HFO), *Marine Diesel Oil* (MDO) , ataupun solar biasa tergantung jenis mesin dan ukuran mesin. Untuk system yang menggunakan bahan bakar HFO untuk opsionalnya, sebelum masuk ke *main engine* (Mesin utama) HFO harus *ditreatment* dahulu untuk penyesuaian viskositas, temperatur dan tekanan.

Sistem bahan bakar memegang peranan yang penting untuk menyuplai bahan bakar ke dalam ruang bakar pada motor diesel sebagai penggerak utama di kapal. Kegagalan pada komponen sistem bahan bakar dalam beroperasi diakibatkan dari gagalnya salah satu komponen yang ada pada sistem bahan bakar tersebut. Untuk itu diperlukan sebuah evaluasi keandalan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada komponen tersebut. [2]



Gambar 2.1 Sistem Bahan Bakar KMP Bontoharu

II. 2 Analisa Kualitatif

Analisa kualitatif adalah suatu analisa yang digunakan untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem berdasarkan analisa kegagalan, sehingga kita dapat melakukan penilaian keandalan berdasarkan data kualitatif serta pengalaman yang sudah ada. Dalam analisa kualitatif untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem sering digunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *Fault Tree Analysis (FTA)*.

II. 2.1 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

a) Pengertian

Secara umum, FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*) didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu:

- Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklus hidupnya.
- Efek dari kegagalan tersebut.
- Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

b) Tujuan FMEA

Dengan menggunakan metode FMEA, dapat dilakukan pencegahan terjadinya kegagalan dalam produk atau proses, sejak dari tahap awal. FMEA merupakan salah satu langkah *quality management* sekaligus *risiko management*. Hasilnya tidak hanya menurunkan risiko kegagalan, melainkan juga meningkatkan kualitas dari produk/proses. [3]

II. 2.2 Perhitungan Nilai RPN

Risk Priority Number (RPN) adalah sebuah pengukuran dari resiko yang bersifat relatif. RPN diperoleh melalui hasil perkalian antara rating *Severity*, *Occurrence* dan *Detection*. RPN ditentukan sebelum mengimplementasikan rekomendasi dari tindakan perbaikan, dan ini digunakan untuk mengetahui bagian manakah yang menjadi prioritas utama berdasarkan nilai RPN tertinggi.

$$\text{RPN} = \text{Severity} \times \text{Occurance} \times \text{Detection}$$

$$\text{RPN} = S \times O \times D \quad \dots (2.1)$$

Tabel 2.1 Tingkatan *Severity*

Efek	Ranking	Keterangan
Berbahaya tanpa ada peringatan	10	Tingkat keseriusan operator <i>maintenance</i> dan keselamatan tidak sesuai dengan peraturan pemerintah yang tidak disertai peringatan.
Berbahaya dan ada peringatan	9	Tingkat operator <i>maintenance</i> dan keselamatan tidak sesuai dengan peraturan pemerintah yang disertai peringatan.
Sangat Tinggi	8	<i>Downtime</i> lebih dari 8 jam
Tinggi	7	<i>Downtime</i> diantara 4 – 8 jam
Sedang	6	<i>Downtime</i> diantara 1 - 4 jam.
Rendah	5	<i>Downtime</i> diantara 0,5 – 1 jam
Sangat Rendah	4	<i>Downtime</i> diantara 10 - 30 menit
Kecil	3	<i>Downtime</i> terjadi hingga 10 menit
Sangat Kecil	2	Variasi parameter proses tidak didalam batas spesifikasi. Pengaturan atau pengendalian proses lainnya dibutuhkan selama produksi. Tidak terdapat <i>downtime</i> .
Tidak Ada	1	Variasi parameter proses didalam batas spesifikasi. Pengaturan atau pengendalian proses dapat

Tabel 2.2 Tingkatan *Occurance*

Rating	Probability of Occurance
10	Lebih besar dari 50 per 7200 jam penggunaan
9	35-50 per 7200 jam penggunaan
8	31-35 per 7200 jam penggunaan
7	26-30 per 7200 jam penggunaan
6	21-25 per 7200 jam penggunaan
5	15-20 per 7200 jam penggunaan
4	11-14 per 7200 jam penggunaan
3	5-10 per 7200 jam penggunaan
2	Lebih kecil dari 5 per 7200 jam penggunaan
1	Tidak pernah sama sekali

(Sumber: Harpco Systems)

Tabel 2.3 Tingkatan *Detection*

Rating	Detection Design Control
10	Tidak mampu terdeteksi
9	Kesempatan yang sangat rendah dan sangat sulit untuk terdeteksi
8	Kesempatan yang sangat rendah dan sulit untuk terdeteksi
7	Kesempatan yang sangat rendah untuk terdeteksi
6	Kesempatan yang rendah untuk terdeteksi
5	Kesempatan yang sedang untuk terdeteksi
4	Kesempatan yang cukup tinggi untuk terdeteksi
3	Kesempatan yang tinggi untuk terdeteksi
2	Kesempatan yang sangat tinggi untuk terdeteksi
1	Pasti terdeteksi

(Sumber: Harpco Systems)

Hasil RPN menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi, sebagai penunjuk ke arah tindakan perbaikan. Ada tiga komponen yang membentuk nilai *RPN* [4]. Ketiga komponen tersebut adalah severity (tingkat keparahan), occurrence (frekuensi kejadian) dan detection (deteksi).

II. 2.3 Fault Tree Analysis (FTA)

a) Pengertian

FTA merupakan teknik untuk mengidentifikasi kegagalan (*failure*) dari suatu system. FTA berorientasi pada fungsi atau yang lebih dikenal dengan ‘*top down approach*’ karena analisa ini berawal dari *system level (top)* dan meneruskannya ke bawah (Priyanta, 2000 dalam Gusti, 2019)

(Dalam Pasaribu 2017), FTA bersifat *top-down*, artinya analisa yang dilakukan dimulai dari kejadian umum (kerusakan secara umum) selanjutnya penyebabnya (khusus) dapat ditelusuri kebawahnya. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponen-komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. Simbol diagram yang dipakai untuk menyatakan hubungan tersebut disebut gerbang logika (*logic gate*). *Output* dari sebuah gerbang logika ditentukan oleh *event* yang masuk ke gerbang tersebut.

Simbol-simbol *Fault Tree Analysis* (FTA)

Simbol-simbol dalam FTA dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:



1. Simbol-simbol gerbang (*gate*)

simbol *gate* digunakan untuk menunjukkan hubungan antar kejadian dalam sistem. Setiap kejadian dalam sistem dapat secara pribadi atau bersama-sama menyebabkan kejadian lain muncul. Adapun simbol-simbol hubungan yang digunakan dalam FTA dapat dilihat pada tabel.1.



2. Simbol-simbol kejadian (*event*)

Simbol kejadian digunakan untuk menunjukkan sifat dari setiap kejadian dalam sistem. Simbol-simbol kejadian ini akan lebih memudahkan dalam mengidentifikasi kejadian yang terjadi. Adapun simbol -simbol kejadian yang digunakan dalam FTA seperti yang dicantumkan pada tabel.2

Tabel. 2.4 simbol-simbol gerbang (*gate*) FTA

No	Simbol <i>gate</i>	Nama dan keterangan
1		<i>And gate. Output event</i> terjadi jika semua <i>input event</i> terjadi secara bersamaan.
2		<i>Or gate. Output event</i> terjadi jika paling tidak satu <i>input event</i> terjadi.

Tabel. 2.5 Simbol-simbol kejadian (*event*) FTA

No	Simbol <i>event</i>	Nama dan keterangan
1		<i>Elipse</i> Gambar <i>elipse</i> menunjukkan kejadian pada level paling atas (<i>top level event</i>) dalam pohon kesalahan
2		<i>Rectangle</i> Gambar <i>rectangle</i> menunjukkan kejadian pada level menengah (<i>intermediate fault event</i>) dalam pohon kesalahan

b) Tujuan FTA

Tujuan dari FTA adalah untuk menunjukkan kejadian yang berhubungan. Suatu model *fault tree analysis* disusun dan digambarkan dengan pendekatan dari atas ke bawah. Peristiwa yang utama merupakan *top event* ditempatkan paling atas. *Basic event* adalah kejadian yang paling bawah dari kejadian-kejadian tersebut. [5]

II. 3 Analisa Kuantitatif

Dalam melakukan analisa keandalan suatu sistem tidak terlepas akan tersedianya data yang akan diolah. Nilai keandalan suatu komponen akan bergantung terhadap waktu. Untuk itu analisa keandalan akan berhubungan dengan distribusi probabilitas dengan waktu sebagai *variable random*. *Variable random* adalah suatu nilai atau parameter yang akan diukur di dalam pengolahan data. Agar teori probabilitas dapat diterapkan maka kejadian atau nilai - nilai tersebut haruslah *random* terhadap waktu. Parameter kejadian yang akan diukur yaitu misalnya laju kegagalan komponen, lama waktu untuk mereparasi, kekuatan mekanis komponen, adalah variabel yang bervariasi secara *random* terhadap waktu dan atau ruang. *Variable random* ini dapat didefinisikan secara diskrit maupun secara kontinue. (Billinton, 1992 dalam Sasmito-2008) [6].

Dalam analisa kuantitatif penulis menggunakan metode *Morkovian Decision Process/Morkov Chain*. Dalam manajemen perawatan mesin, *Markovian Decision Process* dapat digunakan sebagai suatu metode untuk menganalisa kemungkinan transisi status mesin dari kondisi baik, rusak ringan, rusak sedang, sampai dengan rusak berat di masa mendatang. Dimana kebijakan pemeliharaan diambil berdasarkan sistem stokastik selama proses produksi dalam manajemen perawatan perusahaan. *Markovian Decision Process* memiliki kelebihan

dibandingkan dengan metode pemeliharaan mesin lain yaitu akan didapatkannya biaya pemeliharaan yang lebih optimal dan sistem penjadwalan teratur pemeliharaan mesin dapat diketahui. Akan tetapi penentuan kebijakan keputusan level atau *state* pada perawatan mesin dengan metode *Markovian Decision Process* masih didasarkan pada perspektif individual, maka dari itu agar data yang dihasilkan tidak bias maka dilakukan perhitungan untuk *state* pada perawatan mesin menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Sehingga akan lebih objektif karena didasarkan atas kondisi dan kinerja dari mesin. [7]

II. 3. 1 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Overall equipment effectiveness (OEE) merupakan alat ukur performa dari suatu sistem *maintenance*. Dengan menggunakan metode ini maka dapat diketahui ketersediaan mesin/ peralatan, efisiensi produksi dan produktivitas mesin/ peralatan.

Rumus OEE (Asgara & Hartono, 2014):

$$OEE \% = A \times P \times Q \times 100\% \quad \dots (2.2)$$

Dimana:

- A* : *Availability Ratio*
- P* : *Performance Effectiveness*
- Q* : *Quality Efficiency* [7]

II. 3. 1. 1 Availability Ratio (A)

Availability ratio merupakan suatu *ratio* yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi peralatan atau mesin.

Rumus *Availability ratio* (Asgara & Hartono, 2014):

$$\begin{aligned} \text{Availability ratio} &= \frac{\text{operation time}}{\text{loading time}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{loading time} - \text{downtime}}{\text{loading time}} \times 100\% \quad \dots (2.3) \end{aligned}$$

Dimana:

- Loading time : waktu yang tersedia (*total availability time*) per hari atau per bulan yang dikurangi dengan *downtime* mesin / peralatan yang direncanakan (*planned downtime*).

Operation time : hasil pengurangan *loading time* dengan waktu *downtime* mesin (*unplanned downtime*). [7]

II. 3. 1. 2 *Performance Efficiency (P)*

Performance efficiency adalah suatu rasio yang menggambarkan tolak ukur dari efisiensi suatu kinerja mesin menjalankan proses produksi.

Rumus *Performance efficiency* (Petrus, Effendi, & Effendi, 2014):

$$Performance\ efficiency = \frac{processed\ amount\ x\ ideal\ cycle\ time}{operation\ time} \times 100\% \dots(2.4)$$

Dimana:

Processed amount : jumlah produk yang di proses/target produk (unit).

Ideal cycle time : waktu siklus ideal/waktu standar (jam/unit).

Operation time : waktu proses mesin (jam). [7]

II. 3. 1. 3 *Quality Efficiency (Q)*

Quality efficiency adalah suatu rasio yang menggambarkan kemampuan peralatan atau mesin dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan standar.

Rumus *Quality efficiency* (Asgara & Hartono, 2014):

$$Quality\ efficiency = \frac{processed\ amount - defect\ amount}{processed\ amount} \times 100\% \dots(2.5)$$

Dimana:

Processed amount : jumlah produk yang di proses/ target produk (unit).

Defect amount : jumlah produk cacat/ jumlah produk yang tidak sesuai target (unit). [7]

II. 3. 1. 4 *Penentuan State (Status) Mesin*

State digunakan untuk mengidentifikasi seluruh kondisi yang mungkin dari suatu proses atau sistem (Petrus, Effendi, & Effendi, 2014). Penentuan *state* (status) mesin dalam perhitungan *Markovian Decision Process* yang dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 2.6 Tabel *State* Mesin

Status	Nilai <i>OEE</i> (%)	Kondisi
1	85,01 s/d 100	Sempurna (Baik)
2	60,01 s/d 85	Kelas Dunia (kerusakan ringan)
3	40,01 s/d 60	Wajar (kerusakan sedang)
4	0 s/d 40	Rendah (kerusakan berat)

Sumber: (Malik & Hamsal, 2013)

1) Kondisi Baik

Nilai rasio *OEE* mencapai 85,01% sampai dengan 100% merupakan proses operasional sempurna. Dimana pada kondisi ini proses operasinal berjalan sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang telah disetujui, target operasional dapat terpenuhi, kecepatan operasional yang tinggi sesuai dengan waktu siklus dan tidak ada *downtime*.

2) Kondisi Kerusakan Ringan

Nilai rasio *OEE* mencapai 60,01% sampai dengan 85% merupakan proses operasional kelas dunia. Dimana pada kondisi ini proses operasional perusahaan merupakan perusahaan tingkat global karena pada rasio kondisi ini menjadi target jangka panjang untuk banyak perusahaan.

3) Kondisi Kerusakan Sedang

Nilai rasio *OEE* mencapai 40,01% sampai dengan 60% merupakan proses operasional wajar. Dimana pada kondisi ini proses operasional terindikasi banyak ruang perbaikan yang harus dilakukan untuk mencapai tingkat perusahaan kelas dunia.

4) Kondisi Kerusakan Berat

Nilai rasio *OEE* mencapai 0% sampai dengan 40% merupakan proses operasional rendah. Dimana pada kondisi ini proses operasional terhenti, waktu perbaikan (*downtime*) relatif lama dengan biaya perbaikan relatif. [7]

II. 3. 2 *Markovian Decision Process (MDP)*

Markovian decision process (MDP) adalah suatu teknik matematika yang biasa digunakan untuk melakukan pembuatan model (*modelling*) bermacam-macam sistem dan proses bisnis. Teknik ini dapat digunakan untuk memperkirakan perubahan-perubahan di waktu yang akan datang atas dasar perubahan-perubahan di waktu yang lalu. Teknik ini dapat juga digunakan untuk mengalisa kejadian-kejadian di waktu-waktu mendatang secara matematis. Model *markov* dikembangkan oleh seorang ahli Rusia bernama A.A. Markov pada tahun 1906 (Hamdy, 2002 dalam rochmoeljati-2016) [8].

Markovian Decision Process (MDP) memberikan kerangka matematika untuk pemodelan pengambilan keputusan dalam situasi dimana hasil yang sebagian acak dan sebagian dibawah kendali pembuat keputusan. Dalam metode ini digunakan untuk menentukan keputusan kebijakan perawatan yang optimal dari beberapa alternative kebijakan perawatan pada mesin produksi (Petrus, Effendi, & Effendi, 2014 dalam sintia,2019) [7].

II. 3. 3 *Keputusan Markovian Decision Process (MDP)*

Dalam proses operasinya suatu item akan mengalami beberapa kemungkinan transisi status yang berubah dari satu status ke status yang lainnya. Bila dikatakan bahwa dalam selang yang cukup pendek terdapat 4 kemungkinan status, maka untuk mengubah kondisi status yang dialami dilakukan beberapa tindakan yang sesuai dengan kondisi status (Rochmoeljati, 2012). Keputusan – keputusan yang diambil dalam menentukan pemeliharaan dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 2.7 Keputusan-keputusan pemeliharaan

<i>Policy</i>	<i>Keterangan</i>
P ₀	Pemeliharaan korektif pada status 4
P ₁	Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 3
P ₂	Pemeliharaan korektif pada status 3,4 dan pemeliharaan pencegahan status 3
P ₃	Pemeliharaan korektif pada status 3 dan pemeliharaan

pengecahan pada status 2,4

P₄ Pemeliharaan korektif pada status 3,4

Sumber: (Priambodo, 2008)

II. 3. 4 Langkah-langkah Metode *Markovian Decision Process* (MDP)

Dalam sintia, 2019 berikut langkah-langkah dalam penyelesaian masalah menggunakan metode *Markovian Decision Process* [7]:

II. 3. 4. 1 Penentuan Data Transisi Status Mesin

Transisi status adalah perubahan status mesin dari suatu kondisi status yang lain (Petrus, Effendi, & Effendi, 2014). Tabel 4.3 merupakan penentuan data transisi status yang mungkin terjadi pada mesin yaitu (Priambodo, 2018);

Tabel 2.8 Tabel Data Transisi Status Mesin

Bulan	Status										
	B/B	B/Kr	B/Ks	B/Kb	Kr/Kr	Kr/Ks	Kr/Kb	Ks/Ks	Ks/Kb	Kb/B	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											

Sumber: (Priambodo, 2008)

Keterangan:

B/B = Kondisi baik pada akhir bulan lalu ke kondisi baik pada akhir bulan sekarang.

B/Kr = Kondisi baik pada akhir bulan lalu ke kondisi kerusakan ringan pada akhir bulan sekarang.

B/Kb = Kondisi baik pada akhir bulan lalu ke kondisi kerusakan

sedang akhir bulan sekarang.

- B/Kb = Kondisi baik pada akhir bulan lalu ke kondisi kerusakan berat akhir bulan sekarang.
- Kr/Kr = Kondisi kerusakan ringan pada akhir bulan lalu ke kondisi kerusakan ringan akhir bulan sekarang.
- Kr/Ks = Kondisi kerusakan ringan pada akhir bulan lalu ke kondisi kerusakan sedang akhir bulan sekarang.
- Kr/Kb = Kondisi kerusakan ringan pada akhir bulan lalu ke kondisi kerusakan berat akhir bulan sekarang.
- Ks/Ks = Kondisi kerusakan sedang pada akhir bulan lalu ke kondisi kerusakan sedang akhir bulan sekarang.
- Ks/Kb = Kondisi kerusakan sedang pada akhir bulan lalu ke kondisi kerusakan berat akhir bulan sekarang.
- Kb/B = Kondisi kerusakan berat pada akhir bulan lalu ke kondisi baik akhir bulan sekarang.

II. 3. 4. 2 Perhitungan Jumlah Transisi Status Mesin Berdasarkan Kondisi Mesin

Tabel 4.4 merupakan perhitungan jumlah transisi status digunakan untuk menentukan jumlah transisi status mesin yang berada pada status baik, kerusakan ringan, kerusakan sedang dan kerusakan berat (Petrus, Effendi, & Effendi, 2014).

Tabel 2.9 Tabel Jumlah Transisi Status Mesin

Bulan	Jumlah Transisi Status			
	Kondisi Baik (1)	Kondisi Kerusakan Ringan (2)	Kondisi Kerusakan Sedang (3)	Kondisi Kerusakan Berat (4)
1	B/B + B/Kr + B/Ks + B/Kb	Kr/Kr + Kr/Ks + Kr/Kb	Ks/Ks + Ks/Kb	Kb/B
2
3
4
5

6	...	...	...	...
7	...	...	...	...
8	...	...	...	...
9	...	...	...	...
10	...	...	...	...
11	...	...	...	...
12	B/B + B/Kr + B/Ks + B/Kb	Kr/Kr + Kr/Ks + Kr/Kb	Ks/Ks + Ks/Kb	Kb/B
Σ	Σ 1	Σ 2	Σ 3	Σ 4

Sumber: (Petrus, Effendi, & Effendi, 2014)

Keterangan:

Σ 1 adalah jumlah transisi status mesin pada status baik.

Σ 2 adalah jumlah transisi status mesin pada status kerusakan ringan.

Σ 3 adalah jumlah transisi status mesin pada status kerusakan sedang.

Σ 4 adalah jumlah transisi status mesin pada status kerusakan berat.

II. 3. 4. 3 Perhitungan Probabilitas Transisi Status Mesin

Perhitungan probabilitas menggunakan persamaan sebagai berikut (Priambodo, 2018):

$$P_{ij} = \frac{(a_{ij})}{(\sum a_{ij})} \quad \dots (2.6)$$

Dimana:

a_{ij} : banyaknya perubahan kondisi mesin dari *state-i* ke *state-j*

i : *state* kondisi saat ini

j : *state* kondisi periode mendatang

Sebelum menentukan probabilitas transisi status pada suatu mesin, ditentukan terlebih dahulu besar data transisi status yang dapat dihitung dari proporsi *state* yang terjadi dari hari ke hari atau bulan ke bulan. Lalu, dilakukan perhitungan jumlah transisi status yang masuk dalam klasifikasi transisi status baik, kerusakan ringan, kerusakan sedang dan kerusakan berat (Petrus, Effendi, & Effendi, 2014). Tabel 2.10 merupakan cara perhitungan probabilitas transisi pada setiap mesin.

Tabel 2.10 Tabel Probabilitas Transisi Status Mesin

Bula n	Status									
	B/B	B/Kr	B/Ks	B/Kb	Kr/Kr	Kr/Ks	Kr/Kb	Ks/Ks	Ks/Kb	Kb/B
1	$\frac{B/B}{\Sigma 1}$	$\frac{B/Kr}{\Sigma 1}$	$\frac{B/Ks}{\Sigma 1}$	$\frac{B/Kb}{\Sigma 1}$	$\frac{Kr/Kr}{\Sigma 2}$	$\frac{Kr/Ks}{\Sigma 2}$	$\frac{Kr/Kb}{\Sigma 2}$	$\frac{Ks/Ks}{\Sigma 3}$	$\frac{Ks/Kb}{\Sigma 3}$	$\frac{Kb/B}{\Sigma 3}$
2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
11	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
12	$\frac{B/B}{\Sigma 1}$	$\frac{B/Kr}{\Sigma 1}$	$\frac{B/Ks}{\Sigma 1}$	$\frac{B/Kb}{\Sigma 1}$	$\frac{Kr/Kr}{\Sigma 2}$	$\frac{Kr/Ks}{\Sigma 2}$	$\frac{Kr/Kb}{\Sigma 2}$	$\frac{Ks/Ks}{\Sigma 3}$	$\frac{Ks/Kb}{\Sigma 3}$	$\frac{Kb/B}{\Sigma 3}$
Σ	$\Sigma B/B$	$\Sigma B/Kr$	$\Sigma B/Ks$	$\Sigma B/Kb$	$\Sigma Kr/Kr$	$\Sigma Kr/Ks$	$\Sigma Kr/Kb$	$\Sigma Ks/Ks$	$\Sigma Ks/Kb$	$\Sigma Kb/B$

Sumber: (Priambodo, 2008)

II. 3. 4. 4 Perhitungan Matriks Probabilitas Transisi Usulan I (P₀) Pada Item I

Matriks probabilitas transisi memungkinkan untuk melakukan perhitungan probabilitas *state* di masa mendatang berdasarkan pada *state* saat ini (Petrus, Effendi, & Effendi, 2014). Bentuk matriks probabilitas transisi usulan I (P₀) yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 2.11 Tabel Matriks Probabilitas Awal (Usulan I)

	1	2	3	4
1	$\Sigma B/B$	$\Sigma B/Kr$	$\Sigma B/Ks$	$\Sigma B/Kb$
2	0	$\Sigma Kr/Kr$	$\Sigma Kr/Ks$	$\Sigma Kr/Kb$
3	0	0	$\Sigma Ks/Ks$	$\Sigma Ks/Kb$
4	$\Sigma Kb/B$	0	0	0

Sumber: (Priambodo, 2008)

Dengan menggunakan persamaan serta hasil untuk matriks transisi tersebut, dalam jangka panjang probabilitas terjadi kerusakan dan dalam keadaan mapan (*steady state*) dapat dituliskan sebagai berikut (Petrus, Effendi, & Effendi, 2014):

$$\begin{bmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \end{bmatrix} = [\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4] \begin{bmatrix} \sum B/B & \sum B/Kr & \sum B/Ks & \sum B/Kb \\ 0 & \sum Kr/Kr & \sum Kr/Ks & \sum Kr/Kb \\ 0 & 0 & \sum Ks/Ks & \sum Ks/Kb \\ \sum Kb/B & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots (2.7)$$

Catatan: $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$

Maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \pi_1 \sum B/B + \pi_4 \sum Kb/B &= \pi_1 \\ \pi_1 \sum B/Kr + \pi_2 \sum Kr/Kr &= \pi_2 \\ \pi_1 \sum B/Ks + \pi_2 \sum Kr/Ks + \pi_3 \sum Ks/Ks &= \pi_3 \\ \pi_1 \sum B/Kb + \pi_2 \sum Kr/Kb + \pi_3 \sum Ks/Kb &= \pi_4 \end{aligned}$$

Dari hasil $\pi_1, \pi_2, \pi_3,$ dan π_4 masukkan ke syarat batas:

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$$

II. 3. 4. 5 Perhitungan Matriks Probabilitas Transisi Usulan II

Perhitungan untuk mendapatkan pemeliharaan yang lebih baik sehingga bisa mengurangi biaya pemeliharaan, maka diusulkan kebijakan pemeliharaan dari mesin yang didapat dari perubahan matriks transisi awal sesuai dengan tindakan yang dilakukan. Dengan dilakukannya usulan kebijakan pemeliharaan, maka diusulkan empat perencanaan pemeliharaan mesin yang dilakukan yaitu (Rochmoeljati, 2012):

- a) **Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan preventif pada status 3 (P₁).**

Tabel 2.12 Tabel Matriks Usulan II (P₁)

	1	2	3	4
1	$\sum B/B$	$\sum B/Kr$	$\sum B/Ks$	$\sum B/Kb$
2	0	$\sum Kr/Kr$	$\sum Kr/Ks$	$\sum Kr/Kb$

3	0	1	0	0
4	1	0	0	0

Sumber: (Rochmoeljati, 2012)

Dengan menggunakan persamaan serta hasil untuk matriks transisi tersebut, dalam jangka panjang probabilitas terjadi kerusakan dan dalam keadaan mapan (*steady state*) dapat dituliskan sebagai berikut (Rochmoeljati, 2012):

$$\begin{bmatrix} \pi 1 \\ \pi 2 \\ \pi 3 \\ \pi 4 \end{bmatrix} = [\pi 1 \ \pi 2 \ \pi 3 \ \pi 4] \begin{bmatrix} \sum B/B & \sum B/Kr & \sum B/Ks & \sum B/Kb \\ 0 & \sum Kr/Kr & \sum Kr/Ks & \sum Ks/Kb \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots(2.8)$$

Catatan: $\pi 1 + \pi 2 + \pi 3 + \pi 4 = 1$

Maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \pi 1 \sum B/B + \pi 4 &= \pi 1 \\ \pi 1 \sum B/Kr + \pi 2 \sum Kr/Kr + \pi 3 &= \pi 2 \\ \pi 1 \sum B/Ks + \pi 2 \sum Kr/Ks &= \pi 3 \\ \pi 1 \sum B/Kb + \pi 2 \sum Ks/Kb &= \pi 4 \end{aligned}$$

Dari hasil $\pi 1, \pi 2, \pi 3,$ dan $\pi 4$ masukkan ke syarat batas:

$$\pi 1 + \pi 2 + \pi 3 + \pi 4 = 1$$

b) Pemeliharaan korektif pada status 3,4 dan pemeliharaan preventif pada status 2 (P₂).

Tabel 2.13 Tabel Matriks Usulan II (P₂)

	1	2	3	4
1	$\sum B/B$	$\sum B/Kr$	$\sum B/Ks$	$\sum B/Kb$
2	1	0	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0	0	0

Sumber: (Rochmoeljati, 2012)

Dengan menggunakan persamaan serta hasil untuk matriks transisi tersebut, dalam jangka panjang probabilitas terjadi kerusakan dan dalam keadaan mapan (*steady state*) dapat dituliskan sebagai berikut (Rochmoeljati, 2012):

$$\begin{bmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \end{bmatrix} = [\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4] \begin{bmatrix} \sum B/B & \sum B/Kr & \sum B/Ks & \sum B/Kb \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots(2.9)$$

Catatan: $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$

Maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \pi_1 \sum B/B + \pi_2 &+ \pi_3 + \pi_4 &= \pi_1 \\ \pi_1 \sum B/Kr + & &= \pi_2 \\ \pi_1 \sum B/Ks + & &= \pi_3 \\ \pi_1 \sum B/Kb + & &= \pi_4 \end{aligned}$$

Dari hasil π_1, π_2, π_3 , dan π_4 masukkan ke syarat batas:

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$$

c) Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan preventif pada status 2,3 (P₃).

Tabel 2.14 Tabel Matriks Usulan II (P₃)

	1	2	3	4
1	$\sum B/B$	$\sum B/Kr$	$\sum B/Ks$	$\sum B/Kb$
2	1	0	0	0
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0

Sumber: (Rochmoeljati, 2012)

Dengan menggunakan persamaan serta hasil untuk matriks transisi tersebut, dalam jangka panjang probabilitas terjadi kerusakan dan dalam keadaan mapan (*steady state*) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \end{bmatrix} = [\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4] \begin{bmatrix} \sum B/B & \sum B/Kr & \sum B/Ks & \sum B/Kb \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots(2.10)$$

Catatan: $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$

Maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \pi_1 \sum B/B + \pi_2 &+ \pi_4 &= \pi_1 \\ \pi_1 \sum B/Kr &+ \pi_3 &= \pi_2 \end{aligned}$$

$$\pi_1 \sum B/K_S = \pi_3$$

$$\pi_1 \sum B/K_b = \pi_4$$

Dari hasil π_1, π_2, π_3 , dan π_4 masukkan ke syarat batas:

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$$

d) Pemeliharaan korektif pada status 3, 4 (P₄).

Tabel 2.15 Tabel Matriks Usulan II (P₄)

	1	2	3	4
1	$\sum B/B$	$\sum B/K_r$	$\sum B/K_s$	$\sum B/K_b$
2	0	$\sum K_r/K_r$	$\sum K_r/K_s$	$\sum K_r/K_b$
3	0	0	0	0
4	1	0	0	0

Sumber: (Rochmoeljati, 2012)

Dengan menggunakan persamaan serta hasil untuk matriks transisi tersebut, dalam jangka panjang probabilitas terjadi kerusakan dan dalam keadaan mapan (*steady state*) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \end{bmatrix} = [\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4] \begin{bmatrix} \sum B/B & \sum B/K_r & \sum B/K_s & \sum B/K_b \\ 0 & \sum K_r/K_r & \sum K_r/K_s & \sum K_r/K_b \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots(2.11)$$

Catatan: $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$

Maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\pi_1 \sum B/B + \pi_3 + \pi_4 = \pi_1$$

$$\pi_1 \sum B/K_r + \pi_2 \sum K_r/K_r = \pi_2$$

$$\pi_1 \sum B/K_s + \pi_2 \sum K_r/K_s = \pi_3$$

$$\pi_1 \sum B/K_b + \pi_2 \sum K_r/K_b = \pi_4$$

Dari hasil π_1, π_2, π_3 , dan π_4 masukkan ke syarat batas:

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$$

II. 3. 5 Perhitungan Biaya

Menurut Reksohadiprodjo (1995), kebijaksanaan pemeliharaan pencegahan didasarkan pada model probabilitas. Model ini memerlukan data

biaya pemeliharaan pencegahan, biaya perbaikan dan probabilitas kerusakan. Probabilitas kerusakan mencerminkan bahwa kerusakan akan terjadi walaupun sudah dilakukan pemeliharaan pencegahan [9].

Biaya pemeliharaan pencegahan merupakan biaya yang bersifat variable, misalnya untuk kegiatan pencatatan, inspeksi, pelatihan personel, pelumasan dan lain sebagainya yang sifatnya rutin. Biaya perbaikan merupakan biaya yang bersifat tetap. Penentuan biaya perawatan meliputi biaya perawatan preventif dan perawatan korektif yang dilakukan pada saat mesin berhenti dan menitik beratkan pada biaya *downtime* yang terjadi. Apabila dikalikan dengan probabilitas status dalam keadaan *steady state* untuk masing - masing perawatan. Akan dipilih oleh perusahaan perencanaan perawatan dan yang mempunyai biaya rata – rata ekspektasi yang terkecil/ terendah [7].

a) Biaya Downtime

Suatu sistem yang tidak produktif selama sistem dalam perawatan atau perbaikan akan mengakibatkan hilangnya keuntungan. Biaya tersebut dinamakan biaya *downtime*. Elemen biaya – biaya yang menentukan biaya *downtime* adalah biaya operator mesin, hilangnya sebagian *output* produksi.

➤ Biaya perawatan preventif

Biaya perawatan preventif dilambangkan C_{1i}

Rumus perawatan preventif (Rochmoeljati,2012)

$$C_{1i} = \text{waktu rata-rata perawatan preventif} \times \text{biaya downtime} \quad ..(2.12)$$

➤ Biaya perawatan korektif

Biaya perawatan preventif dilambangkan C_{2i}

Rumus perawatan korektif (Rochmoeljati,2012)

$$C_{2i} = \text{waktu rata-rata perawatan korektif} \times \text{biaya downtime} \quad ..(2.13)$$

b) Biaya Rata-Rata Ekspektasi

Berdasarkan pada biaya *downtime* dan waktu perawatan maka akan didapatkan biaya perawatan untuk masing-masing item. Apabila dikaitkan dengan probabilitas status dalam keadaan *steady state* pada jangka panjang, maka akan didapatkan biaya rata-rata ekspektasi untuk masing-masing perawatan dan dapat dinyatakan dengan rumus (Petrus, Effendi, & Effendi, 2014)

$$E = \sum_{j=0}^M C_j \pi_j$$

$$= \pi_1 (...) + \pi_2 (...) + \dots (...) + \pi_M (...)$$

..(2.14)

Dimana:

E = biaya rata-rata ekspektasi perawatan j

C_j = biaya perawatan korektif untuk setiap item ke- j

π_j = probabilitas status dalam keadaan *steady state*

II. 3. 6 Perhitungan Perencanaan Waktu Pemeliharaan

Perencanaan pemeliharaan adalah suatu kombinasi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk menjaga sistrtem dalam proses perawatan sampai dengan kondisi dapat diterima dengan rumus (Pudji & Ilma, 2012):

Waktu pemeliharaan

$$\text{usulan} = \frac{\sum \text{biaya pemeliharaan usulan}}{\sum \text{biaya pemeliharaan perusahaan}} \times \sum t \text{ pemeliharaan} \quad ..(2.15)$$

Dengan penjadwalan sebagai berikut:

$$\text{Penjadwalan} = \frac{\sum \text{biaya pemeliharaan usulan}}{\sum \text{waktu downtime}} \times \sum 12 \text{ bulan} \quad ..(2.16)$$

II.4 Penelitian Terdahulu

Berikut beberapa referensi jurnal sebagai acuan penulisan penelitian ini, antara lain:

Tabel 2.16 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1	Risna, Muhammad Lutfi (2019)	Analisa Perawatan Berbasis Keandalan Pada Sistem Bahan Bakar Mesin Utama KMP. Bontoharu	FTA dan FMEA	Setelah dilakukan analisa kualitatif didapatkan Filter dan separator memiliki tingkat resiko paling tinggi, sedangkan tangki induk,

				tangka harian, pompa transfer, feed pompa, pompa injeksi dan injector service tank memiliki tingkat resiko menengah.
2	Eko Sasmito H, Untung. B (2008)	Analisa Keandalan Sistem Bahan Bakar Motor Induk Pada Km. Leuser	FTA dan FMEA	Sistem bahan bakar memiliki komponen kritis yaitu filter, separator, transfer pump, dan booster pump. Level
3	Rr. Rochmoeljati (2013)	Perencanaan Perawatan Mesin Menggunakan Metode Markov Chain Untuk Meminimumkan Biaya Perawatan	Markov Chain	Setelah dilakukan perhitungan preventif dan korektif didapatkan penghematan biaya perawatan mesin potong sebesar 55%, mesin tekuk sebesar 36%, dan mesin plong sebesar 29,5%.
4	Sintia Novilia Putri (2019)	Analisis Keputusan Perencanaan Pemeliharaan	<i>Markovian Decision Proses dan Overall</i>	Setelah dilakukan perhitungan pemeliharaan didapatkan

		<p>Mesin <i>Repair</i> Kapal Dengan Metode <i>Markovian</i> <i>Decision Proses</i> dan <i>Overall</i> <i>Equipment</i> <i>Effectiveness</i> (Studi Kasus Pada Pt. Tambanganraya Permai)</p>	<p><i>Equipment</i> <i>Effectiveness</i></p>	<p>penghematan biaya perawatan mesin repair sebesar 50,1%, dimana lebih hemat dari biaya pemeliharaan perusahaan sebesar Rp. 1.121.546.447.</p>
--	--	---	--	---