



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (605502A)

PENJADWALAN PERAWATAN *LEVEL LUFFING CRANE* 40 TON MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM II)

Dena Eka Pujiwisanti Putri
NRP. 0519040079

DOSEN PEMBIMBING :
MEY ROHMA DHANI, S.ST., M.T.
AULIA NADIA RACHMAT, S.ST., M.T.

PROGRAM STUDI TEKNIK KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2023



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

INDONESIA

TUGAS AKHIR (605502A)

**PENJADWALAN PERAWATAN *LEVEL LUFFING CRANE*
40 TON MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE (RCM II)***

Dena Eka Pujiwisanti Putri
NRP. 0519040079

DOSEN PEMBIMBING :
MEY ROHMA DHANI, S.ST., M.T.
AULIA NADIA RACHMAT, S.ST., M.T.

**PROGRAM STUDI TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA JURUSAN TEKNIK PERMESINAN
KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2023**

****halaman ini sengaja dikosongkan****

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PENJADWALAN PERAWATAN *LEVEL LUFFING CRANE* 40 TON
MENGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*
(RCM II)**

**Disusun Oleh:
Dena Eka Pujiwisanti Putri
0519040079**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Jurusan Teknik Permesinan Kapal**

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 24 Juli 2023

Periode Wisuda : September 2023

Menyetujui,


Dosen Penguji	NIDN	Tanda Tangan
1. Mochamad Yusuf Santoso, S.T., M.T.	(0027119001)	(.....)
2. Arief Subekti, S.T., M.MT.	(0015046106)	(.....)
3. Aulia Nadia Rachmat S.ST., M.T.	(0027089101)	(.....)
4. Galih Anindita, S.T., M.T.	(0027078101)	(.....)

Dosen Pembimbing	NIDN	Tanda Tangan
1. Mey Rohma Dhani, S.ST., M.T.	(0002058901)	(.....)
2. Aulia Nadia Rachmat S.ST., M.T.	(0027089101)	(.....)

**Menyetujui
Ketua Jurusan,**




**Mengetahui
Koordinator Program Studi,**



Arief Subekti, S.T., M.MT.
NIP. 196104151988031003

****halaman ini sengaja dikosongkan****

 <p>PPNS</p>	<p>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</p>	<p>No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1</p>
---	--	--

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Dena Eka Pujiwisanti Putri

NRP. : 0519040079

Jurusan/Prodi : Teknik Permesinan Kapal/ D4-Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

PENJADWALAN PERAWATAN *LEVEL LUFFING CRANE* 40 TON
MENGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*
(RCM II)

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut,
maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 10 Juli 2023
Yang membuat pernyataan,



(Dena Eka Pujiwisanti Putri)
NRP.0519040079

****halaman ini sengaja dikosongkan****

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat, hidayah, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Penjadwalan Perawatan *Level Luffing Crane* 40 Ton Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM II)*” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Diploma Empat (D4) Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sehingga memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik.

Perjalanan panjang Tidak terasa penulis telah lalui selama masa studi ini. Dalam proses penulisan tugas akhir ini, banyak pelajaran berharga yang penulis peroleh. Berbagai tantangan, kerja keras, dan dukungan dari berbagai pihak telah menjadi bekal bagi penulis dalam keberhasilan menyelesaikan tugas akhir ini. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini terutama kepada :

1. Allah SWT. yang telah memberikan karunia dan petunjuk-Nya dalam setiap langkah hidup penulis, serta Nabi Muhammad SAW. yang telah memberikan syafaatnya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua saya tercinta, ibu saya Puji Astutik dan bapak Iwan Suwara yang senantiasa mendoakan, memberikan dukungan moral dan materiil. Dengan kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan mereka, penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan mereka dengan kebahagiaan dan kesuksesan. Amiiin.
3. Nenek tercinta saya siti khotijah yang selalu memberikan dukungan, nasehat, mengajarkan untuk tidak pantang menyerah, dan orang pertama memeluk saat sedang terpuruk, serta selalu mendoakan kesuksesan saya dimasa depan. Semoga selalu dalam lindungan Allah SWT.
4. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., MRINA selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Dr. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. Bapak Arief Subekti, S.T., M.MT selaku Ketua Program Studi D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
7. Bapak Mochammad Yusuf Santoso, S.T., M.T selaku Koordinator Tugas Akhir.
8. Ibu Mey Rohma Dhani, S.ST., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan petunjuk, saran, arahan, semangat, dan inspirasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
9. Ibu Aulia Nadia Rachmat S.ST., M.T. selaku dosen pembimbing II meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan petunjuk, saran, arahan, semangat, dan inspirasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
10. Bapak dan Ibu Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
11. Seluruh Tim Pengajar Program Studi D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
12. Bapak Uranio Hario Bimo P., bapak Indhita Eka Putra, bapak Miftachul Arifin yang telah meluangkan waktu tenaga pikiran untuk membantu penulis dalam mengambil data, mendampingi penulis selama penelitian serta membimbing dan memberikan masukan pada Tugas Akhir ini.
13. Bapak Sudi Utomo, bapak Andri C.U, ibu Novita Kurnia Putri, ibu Eka Lia, bapak Handika, mba Anggun Dherty, mba Rike Kusuma Putri, mas Wahyu Doni S., mas Luqman, yang selalu membimbing dengan baik dan sabar, memberikan dukungan ilmu pengetahuan baru selama penulis *On The Job Training* (OJT).
14. Teruntuk NRP 0319040005 yang selalu ada untuk penulis dalam memberikan motivasi, inspirasi dan dukungan semangat. Terimakasih banyak atas pengalaman, perjuangan dalam mendukung penulis selama ini dalam memecahkan permasalahan Tugas Akhir. Engkau pantas untuk mendapatkan yang terbaik.
15. Teruntuk *Dinner Mate* yang sudah seperti saudara sendiri yakni Rieke dan Shinta terimakasih ya atas kebersamaan kita dalam empat tahun, selalu

menjadi pendukung semasa penulis berkuliah, selalu menemani penulis 8/7, memberikan saran dan nasihat kepada penulis.

16. Keluarga besar K3 2019 C terima kasih banyak atas kenangan, doa, kebersamaan dan pengalaman berharga selama empat tahun ini.
17. Teman-teman yang telah menjadi *support system* dalam pengerjaan tugas akhir ini yakni Firly, Diah, Sulfi, Fieke, hasna yang telah saling membantu dan peduli terhadap satu sama lain.
18. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu oleh penulis. Terima kasih atas seluruh bantuan, dukungan serta doa yang telah diberikan.
19. *Last but not least*, Terima kasih, kepada diriku, atas kerja keras dan ketekunan yang telah kau persembahkan dalam mengerjakan tugas akhir ini. Kau telah menaklukkan berbagai rintangan dan tantangan dengan gigih. Kau telah meyakini kemampuanmu dan tidak menyerah meski dihadapkan pada kesulitan. Kau pantas untuk bangga atas pencapaian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih ada kekurangan. Oleh karena itu kritik, komentar, dan saran sangat penulis harapkan demi penyempurnaan tugas akhir ini di masa mendatang. Semoga hasil tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya dan pihak yang membutuhkannya.

Surabaya, 10 Juli 2023

Penulis

****halaman ini sengaja dikosongkan****

PENJADWALAN PERAWATAN *LEVEL LUFFING CRANE* 40 TON MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM II)*

Dena Eka Pujiwisanti Putri

ABSTRAK

Level luffing crane menjadi salah satu peralatan penting dalam proses produksi di perusahaan galangan kapal, yang memiliki fungsi beban angkat sebesar 40 Ton. Berdasarkan hasil rekap data kegagalan selama empat tahun, LLC 40 Ton memiliki angka *downtime* yang tinggi, sehingga berimbas pada terhambatnya proses produksi kapal. Berdasarkan hasil identifikasi kegagalan yang terjadi pada *bearing pulley* menghasilkan kebisingan dan vibrasi disekitar area kerja, sehingga berdampak pada aspek K3. Penelitian ini akan mengidentifikasi kegagalan dan perencanaan kegiatan perawatan. Metode *Failure Mode, Effects, and Critical Analysis* (FMECA) digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan serta menentukan prioritas perbaikan dan perawatan. Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM II) digunakan sebagai perencanaan kegiatan perawatan. Hasil analisis menggunakan metode FMECA didapatkan nilai *criticality ranking* tertinggi pada komponen *motor travelling* yaitu sebesar 0,43121, sehingga komponen tersebut mendapatkan prioritas utama dalam pemberian perawatan. Berdasarkan analisis metode RCM II didapatkan tiga jenis perawatan yaitu *scheduled on-condition task* sebanyak 3 komponen, *scheduled restoration task* sebanyak 7 komponen, dan *scheduled discard task* sebanyak 16 komponen. Interval waktu perawatan tertinggi terjadi pada *suspension device lamp* yang dilakukan setiap 4984,54790 jam sekali dengan jenis perawatan *scheduled discard task*, serta interval waktu perawatan terendah adalah komponen *pulley block* dengan nilai 313,14 jam dengan jenis perawatan *scheduled on-condition task*.

Kata Kunci : *Criticality ranking, FMECA, Level Luffing Crane , RCM II*

******halaman ini sengaja dikosongkan******

SCHEDULING OF MAINTENANCE LEVEL LUFFING CRANE 40 TON USING THE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM II) METHOD

Dena Eka Pujiwisanti Putri

ABSTRACT

The level luffing crane, an important equipment at shipyard companies with a 40-ton lifting load function, has experienced high downtime rates, causing disruptions in the ship production process. The main failure identified in the bearing pulley has resulted in noise and vibrations in the work area, affecting the K3 aspect. To address these issues, a study was conducted using the Failure Mode, Effects, and Critical Analysis (FMECA) method to identify failures and prioritize repair and maintenance activities. The highest criticality ranking value was assigned to the traveling motor component. Value on the traveling motor component which is 0.43121, indicating it should receive top priority for maintenance. Based on the analysis of the RCM II method, three types of maintenance were obtained, including scheduled on-condition tasks as many as 3 components, scheduled restoration tasks as many as 7 components, and scheduled discard tasks as many as 16 components. The suspension device lamp required maintenance every 4984.54790 hours with the scheduled discard task, while the pulley block component had the shortest maintenance interval of 313.14 hours with the scheduled on-condition task.

Keywords: *Criticality number, FMECA, Level Luffing Crane, RCM II*

****halaman ini sengaja dikosongkan****

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR GRAFIK	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat Tugas Akhir.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Keselamatan dan Kesehatan Kerja	7
2.1.1 Pengertian Keselamatan dan Kesehatan Kerja	7
2.1.2 Tujuan Keselamatan dan Kesehatan Kerja	7
2.2 Manajemen Risiko.....	8
2.2.1 Identifikasi Risiko.....	8
2.2.2 Analisis Risiko	9
2.2.3 Evaluasi Risiko	10
2.3 <i>Level Luffing Crane</i> (LLC).....	10
2.4 Perawatan (<i>Maintenance</i>).....	13
2.5 <i>Functional Block Diagram</i>	16
2.6 <i>Failure Mode Effect and Criticality Analysis</i> (FMECA)	17
2.6.1 <i>Failure Mode Effect Analysis</i> (FMEA).....	19
2.6.2 <i>Criticality Analysis</i>	19
2.6.3 <i>Worksheet FMECA</i>	25
2.7 Konsep Keandalan.....	26
2.7.1 <i>Mean Time to Failure (MTTF)</i> dan <i>Mean Time to Repair (MTTR)</i>	26

2.7.2 Laju Kegagalan (λ).....	27
2.8 Distribusi Keandalan Sistem.....	28
2.8.1 Distribusi Normal.....	28
2.8.2 Distribusi Lognormal	29
2.8.3 Distribusi <i>Weibull</i>	30
2.8.4 Distribusi Eksponensial.....	32
2.9 <i>Reliability Centered Maintenance</i>	33
2.9.1 <i>Reliability Centered Maintenance II (RCM II)</i>	34
2.9.2 RCM II Decision Worksheet.....	36
2.10 Perhitungan Interval Perawatan	42
2.10.1 <i>Scheduled On-Condition Task</i>	42
2.10.2 <i>Scheduled Restoration Task</i>	43
2.10.3 <i>Scheduled Discard Task</i>	44
2.10.3 <i>Failure Finding Task</i>	45
2.10.4 <i>Redesign dan No Scheduled Maintenance</i>	46
2.11 <i>Expert Judgment</i>	46
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	49
3.1 Tahap Identifikasi Awal.....	50
3.1.1 Studi Literatur	50
3.1.2 Studi Lapangan.....	51
3.1.3 Identifikasi Masalah	51
3.1.4 Perumusan Masalah, Tujuan, Manfaat dan <i>Batasan Masalah</i>	51
3.2 Tahap Pengumpulan Data	51
3.2.1 Pengumpulan Data Primer	51
3.2.2 Pengumpulan Data Sekunder	52
3.3 Tahap Pengolahan Data	52
3.3.1 <i>Functional Block Diagram (FBD)</i>	52
3.3.2 Pembuatan Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA) ...	52
3.3.4 RCM II <i>Decision Worksheet</i>	52
3.3.5 Interval Perawatan.....	53
3.4 Analisis Data.....	53
3.5 Kesimpulan dan Saran	54
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Gambaran Umum LLC 40 Ton.....	55
4.2 Fungsi Komponen LLC 40 Ton.....	56

4.3 <i>Functional Block Diagram</i> (FBD) LLC 40 Ton	58
4.4 <i>Failure Mode Effect Analysis and Criticality analysis</i> (FMECA)	61
4.5 RCM II <i>Decision Worksheet</i>	75
4.6 Penentuan Distribusi Data	80
4.7 Perhitungan MTTF dan MTTR	82
4.8 Perhitungan Biaya Perawatan	85
4.8.1 Biaya <i>Maintenance</i> (CM)	85
4.8.2 Biaya Perbaikan (CR)	87
4.9 Penentuan Interval Perawatan Optimal	91
4.9.1 Perhitungan Interval Perawatan Optimal pada Komponen <i>Scheduled Restoration Task</i>	92
4.9.2 Perhitungan Interval Perawatan Optimal pada Komponen <i>Scheduled Discard Task</i>	94
4.9.3 Perhitungan Interval Perawatan Optimal pada Komponen <i>Scheduled On-Condition Task</i>	95
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	99
5.1 Kesimpulan	99
5.2 Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN 1 LEMBAR <i>EXPERT JUDGMENT</i>	105
LAMPIRAN 2 DATA TTF, TTR, & KOMPONEN MESIN	109
LAMPIRAN 3 TABEL GAMMA	115
LAMPIRAN 4 <i>FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM</i> LLC 40 TON	117
LAMPIRAN 5 TABEL FMEA & NILAI <i>SEVERTY</i>	119
LAMPIRAN 6 TABEL FMECA	129
LAMPIRAN 7 TABEL RCM II <i>DECISION WORKSHEET</i>	139
LAMPIRAN 8 REKAP DISTRIBUSI PARAMETER	151
LAMPIRAN 9 REKAP BIAYA PERBAIKAN	155
BIOGRAFI PENULIS	159

****halaman ini sengaja dikosongkan****

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komponen <i>Level Luffing Crane</i> 40 Ton	11
Tabel 2. 2 <i>Severity Ranking</i>	21
Tabel 2. 3 Nilai Beta (β).....	22
Tabel 2. 4 Worksheet FMECA	25
Tabel 2. 5 Penentuan Kriteria Dampak/ Konsekuensi dalam RCM II.....	36
Tabel 2. 6 Penentuan Persyaratan Kondisi Proactive Task RCM II	37
Tabel 2. 7 RCM II <i>Decision Worksheet</i>	40
Tabel 4. 1 Spesifikasi Level Luffing Crane 40 Ton.....	55
Tabel 4. 2 Daftar fungsi komponen LLC 40 ton.....	57
Tabel 4. 3 Failure Mode Effect Analysis LLC 40 Ton	62
Tabel 4. 4 Criticality Analysis LLC 40 Ton	72
Tabel 4. 5 Criticality Ranking LLC 40 Ton.....	73
Tabel 4. 6 RCM II <i>Decision Worksheet Diagram</i> LLC 40 Ton.....	76
Tabel 4. 7 Rekap Hasil Uji Pengujian Distribusi Komponen LLC 40 Ton	81
Tabel 4. 8 Hasil Rekap Perhitungan MTTF & MTTR.....	83
Tabel 4. 9 Perhitungan Gaji Kegiatan <i>Maintenance</i>	86
Tabel 4. 10 Daftar Material untuk Kegiatan <i>Maintenance</i>	86
Tabel 4. 11 Alokasi Biaya <i>Maintenance</i> (CM)	87
Tabel 4. 12 Daftar Biaya Pergantian Komponen LLC 40 Ton	87
Tabel 4. 13 Perhitungan Gaji untuk Kegiatan Perbaikan.....	89
Tabel 4. 14 Rekap Biaya Perbaikan (CR)	91
Tabel 4. 15 Hasil Rekap Perhitungan Perawatan Optimal <i>Scheduled Restoration Task</i>	93
Tabel 4. 16 Hasil Rekap Perhitungan Perawatan Optimal <i>Scheduled Discard Task</i>	94
Tabel 4. 17 Hasil Rekap Perhitungan Perawatan Optimal <i>Scheduled On-Condition Task</i>	97

****halaman ini sengaja dikosongkan****

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Manajemen Resiko	8
Gambar 2. 2 LLC 40 Ton.....	11
Gambar 2. 3 Bentuk Kegiatan Perawatan	14
Gambar 2. 4 Alur metode FMECA.....	18
Gambar 2. 5 Bath tub Curve	28
Gambar 2. 6 Kurva Pola Distribusi Normal.....	29
Gambar 2. 7 Kurva Pola Distribusi Lognormal	30
Gambar 2. 8 Kurva Pola Distribusi <i>Weibull</i>	31
Gambar 2. 9 Kurva Pola Distribusi Eksponensial.....	32
Gambar 2. 10 RCM II Decision Diagram	41
Gambar 2. 11 P-F Interval.....	42
Gambar 2. 12 Kurva P-F	43
Gambar 4. 1 <i>Functional Block Diagram</i> LLC 40 ton	59

****halaman ini sengaja dikosongkan****

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1. 1 Total <i>Downtime</i> Mesin Divisi Produksi	2
---	---

******halaman ini sengaja dikosongkan******

BAB 1

PENDAHULUAN

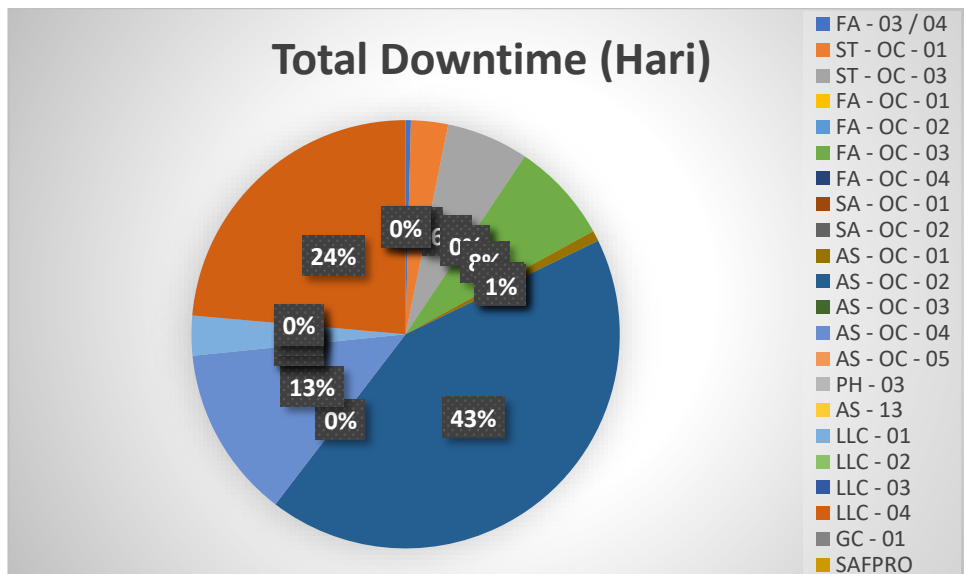
1.1 Latar Belakang

Perusahaan galangan kapal merupakan industri penting dan strategis yang memproduksi alat utama sistem pertahanan Indonesia dalam mendukung pengembangan industri maritim nasional. Perusahaan galangan kapal pada era industri 4.0 menjadi salah satu bagian industri manufaktur yang berperan penting, dimana dapat berkontribusi terhadap perekonomian nasional. Perusahaan galangan kapal menjadi salah satu sektor yang perkembangannya diprioritaskan oleh pemerintah (Utomo & Setiastuti, 2019). Perusahaan galangan kapal memiliki kegiatan bisnis utama meliputi produksi kapal, pemberian jasa perbaikan dan pemeliharaan kapal, serta rekayasa umum dengan spesifikasi tertentu berdasarkan kebutuhan klien.

Penelitian ini dilakukan pada Divisi Produksi perusahaan galangan kapal. Divisi Produksi merupakan pusat produksi kapal pada perusahaan, sehingga pada Divisi Produksi memiliki jumlah peralatan mesin paling banyak yaitu berjumlah keseluruhan 22 mesin, dibandingkan dengan Divisi lain yang berada di Perusahaan Galangan Kapal. Maka dari itu terdapat berbagai macam proses produksi kapal yang begitu panjang dan melibatkan peralatan berat serta banyak material digunakan dengan dimensi besar. Peralatan berat tersebut tidak menutup kemungkinan memiliki tingkat risiko kegagalan yang tinggi.

Proses produksi pada Divisi Produksi didukung oleh peralatan yang memiliki risiko tinggi. LLC 40 Ton merupakan salah satu pesawat angkat-angkut yang memiliki risiko tinggi dengan fungsi untuk melakukan pengangkatan dan pemindahan material-material dengan dimensi besar saat penyatuan antar *dock* kapal, dimana hal tersebut tidak bisa dilakukan dengan tenaga manusia. Menurut Ramli, Muhammad, Abdullahi, Jafar, & Lazim (2017) *crane* adalah mesin yang digunakan untuk mengangkat beban berat atau bahan berbahaya dari satu tempat ke tempat lain. Tindakan ini biasanya terjadi di industri seperti pabrik, konstruksi, industri kelautan. Peran *crane* dalam proses produksi dan reparasi kapal ini sangat penting, tanpa adanya mesin

crane proses produksi tidak akan berjalan. LLC 40 Ton menjadi salah satu alat bantu proses produksi yang digunakan untuk proses penyatuan *block* kapal dengan kapasitas angkat mencapai 40 Ton. Intensitas penggunaan LLC 40 Ton digunakan setiap hari kecuali pada saat jam istirahat, sehingga dapat dikatakan mesin tersebut beroperasi secara terus-menerus untuk membantu proses reparasi dan produksi kapal. Hal tersebut dapat mengakibatkan kerusakan atau kegagalan pada komponen LLC 40 Ton.



Grafik 1. 1 Total *Downtime* Mesin Divisi Produksi
(Perusahaan Galangan Kapal, 2021)

Bedasarkan observasi data kegagalan tahun 2021 di Divisi Produksi memperlihatkan mesin LLC 40 Ton paling sering mengalami kegagalan setiap bulannya dengan frekuensi kerusakan yang tinggi. Data durasi *downtime* mencapai 314,083 jam kerja dan presentase 24% dari kegagalan seluruh mesin, untuk melihat daftar keseluruhan mesin divisi produksi berada pada lampiran 2. Beberapa kasus kejadian yang dialami pada perusahaan galangan kapal ini berdampak pada keselamatan kerja disekitar area kerja dengan terjadinya kegagalan pada *bearing pulley* sehingga menghasilkan kebisingan dan vibrasi disekitar area dimana hal tersebut termasuk bahaya fisik, sehingga membahayakan keselamatan pekerja yang berada di area produksi. Apabila kerusakan LLC 40 Ton tidak segera dilakukan tindakan pencegahan, maka akan berimbas pada terganggunya waktu proses pembuatan kapal, sehingga

pembuatan kapal tidak sesuai dengan waktu yang disepakati oleh kedua belah pihak. Kerugian-kerugian ini akan menyebabkan kerugian yang lebih besar dan signifikan bagi perusahaan. Selain itu, perawatan yang kurang maksimal pada LLC 40 Ton juga dapat berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja.

Perusahaan galangan kapal melakukan proses perawatan yang tidak sebanding dengan penggunaan LLC 40 ton secara rutin. Adapun beberapa upaya yang dilakukan untuk mengurangi kerusakan atau kegagalan pada mesin LLC 40 ton yaitu dengan melakukan perawatan *corrective*. Perawatan *corrective* dilakukan ketika terjadi kerusakan dengan mengembalikan atau mengganti benda tersebut ke kondisi yang disyaratkan sesuai fungsinya, dimana proses perawatan hanya akan dilakukan apabila salah satu komponen sudah mengalami kegagalan fungsi atau kerusakan dan dilakukan perbaikan berdasarkan kebijakan perusahaan.

Bedasarkan permasalahan di atas perlu dilakukan kajian khusus yang bertujuan untuk menurunkan angka *downtime* pada mesin LLC 40 Ton. Dalam proses pengerjaannya dilakukan dengan menganalisis kegagalan menggunakan *Failure Mode Effects and Criticality Analysis* (FMECA). FMECA adalah sebuah metode identifikasi bahaya yang berhubungan dengan keandalan suatu peralatan. Metode ini digunakan untuk mencegah adanya kecelakaan yang diakibatkan oleh kegagalan suatu peralatan dalam menjalankan fungsinya serta perankingan berdasarkan kegagalan yang sering dialami oleh suatu alat (Department of the US Army, 2006). Perankingan ini digunakan untuk memudahkan perusahaan dalam memilih komponen yang butuh perawatan lebih (Rahmawati, Sandora, & Khairansyah, 2017). Kegagalan mesin dapat diminimalisir dengan penentuan jadwal perawatan dan penentuan komponen kritis, salah satu metodenya adalah *Reliability Centered Asset Maintenance II* (RCM II), yaitu dengan menentukan strategi pemeliharaan yang optimal untuk diketahui kondisi LLC 40 Ton (Wibowo & Kurniati, 2019). Menurut Moubray (1997) RCM II merupakan suatu metode atau proses yang digunakan untuk menentukan langkah apa yang harus dilakukan untuk menjamin bahwa suatu *asset* fisik terus dapat bekerja untuk memenuhi fungsi yang diharapkan sesuai konteks pengoperasiannya saat ini.

Rahman, et al (2022) menjelaskan tentang pemilihan komponen kritis menggunakan FMECA melalui perhitungan *Criticality number* pada *Gantry crane* dan *Overhead crane*. Penelitian yang dilakukan oleh Zarkasyi, et al (2021) melakukan identifikasi kegagalan menggunakan metode FMEA dan menentukan perankingan dari kegagalan komponen menggunakan metode TOPSIS. Pada hasil metode TOPSIS yang memiliki kriteria *most critical* dan *critical* selanjutnya akan digunakan untuk penentuan prioritas perbaikan menggunakan metode RCM II sebagai kebijakan perawatan usulan *preventive maintenance* dari subsistem kritis. Sedangkan penelitian ini berfokus pada satu peralatan yaitu LLC 40 Ton yang mempunyai empat mekanisme gerakan, dengan menerapkan metode RCM II, serta FMECA untuk menentukan prioritas perawatan komponen yang selanjutnya akan ditentukan interval perawatan yang tepat.

Ditinjau berdasarkan aspek Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), pada peralatan LLC 40 Ton diketahui terdapat berbagai permasalahan yang terjadi dengan didukung data kegagalan, dimana hal tersebut membahayakan pekerja saat pengoperasian serta menyebabkan kerugian pada perusahaan. Metode RCM II didalamnya terdapat analisis identifikasi bahaya dan penilaian risiko menggunakan metode FMECA. Analisis tersebut bertujuan untuk membantu peneliti dalam melakukan *breakdown* mengenai jenis komponen, fungsi komponen, kegagalan fungsi komponen, dan mode kegagalan komponen (Kirana, Alhilman, & Sutrisno, 2016). Penelitian ini di harapkan dapat memberikan rekomendasi mengenai penjadwalan perawatan menggunakan metode RCM II sebagai bentuk pencegahan kecelakaan.

1.2 Rumusan Masalah

Bedasarkan penjelasan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil identifikasi kegagalan dan penentuan komponen kritis pada LLC 40 Ton menggunakan FMECA.
2. Bagaimana hasil penentuan jenis perawatan komponen dan interval perawatan pada LLC 40 Ton dengan menggunakan metode RCM II.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui hasil identifikasi kegagalan dan menentukan komponen kritis pada LLC 40 Ton menggunakan FMECA.
2. Menentukan hasil jenis perawatan komponen dan perhitungan interval perawatan pada LLC 40 Ton dengan menggunakan metode RCM II.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat digunakan sebagai dasar untuk perusahaan agar selalu memberikan perhatian pada LLC 40 Ton agar tidak terjadi kegagalan komponen pada alat tersebut.
2. Dapat digunakan sebagai dasar melakukan *maintenance* atau operasional mesin LLC 40 Ton.
3. Membantu perusahaan dalam menetapkan suatu prioritas perawatan dan perbaikan dengan menggunakan FMECA dan RCM II.

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Data yang diteliti adalah Januari 2019 sampai dengan Desember 2022.
2. Penentuan distribusi dengan menggunakan software pengolahan data statistik.

****halaman ini sengaja dikosongkan****

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keselamatan dan Kesehatan Kerja

2.1.1 Pengertian Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Pembangunan nasional dapat berjalan dengan baik jika kualitas, kompetensi dan profesionalisme sumber daya manusianya juga baik, termasuk di dalamnya sumber daya manusia keselamatan dan Kesehatan kerja. Tenaga kerja sendiri merupakan aset penting perusahaan. Maka dari itu perlindungan dalam hal keselamatan dan Kesehatan kerja perlu diberikan kepada pekerja. Keselamatan dan Kesehatan kerja memiliki peran penting bagi setiap perusahaan dikarenakan semakin meningkatnya intensitas kerja akan menyebabkan meningkatnya risiko kecelakaan di lingkungan kerja (Djarmiko, 2016).

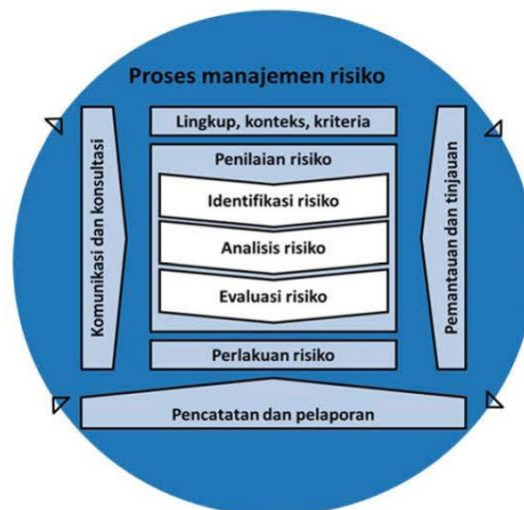
Menurut Suma'mur (1981) keselamatan kerja merupakan rangkaian usaha untuk menciptakan suasana kerja yang aman dan tenteram bagi para karyawan yang bekerja di perusahaan yang bersangkutan. Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang selanjutnya disingkat K3 adalah segala kegiatan untuk menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan tenaga kerja melalui upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja (PP No. 50 Tahun 2012). Berdasarkan definisi diatas maka dapat disimpulkan bahwa Keselamatan dan kesehatan kerja merupakan rangkaian kegiatan yang dimana menjamin dan melindungi keselamatan dan kesehatan pekerja.

2.1.2 Tujuan Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Bedasarkan UU RI Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja mempunyai tujuan memberikan perlindungan atas keselamatan pekerja, orang lain yang memasuki area kerja, dan sumber-sumber produksi dapat digunakan dengan aman, efektif, dan efisien. Sedangkan ruang lingkup Undang-Undang Keselamatan Kerja ini meliputi tempat kerja di darat, dalam tanah, permukaan air, dalam air, dan di udara dengan ada unsur usaha, tenaga kerja, dan sumber bahaya.

2.2 Manajemen Risiko

Menurut (BSI, 2018) manajemen risiko adalah kegiatan terkoordinasi untuk mengarahkan dan mengendalikan sistem yang berkaitan dengan risiko yang ada pada sistem tersebut. Risiko merupakan dampak dari ketidakpastian yang ada pada sistem tersebut. Risiko merupakan dampak dari ketidakpastian yang dinyatakan dalam hubungan dari sumber risiko, potensi kejadian, *consequences* dan *likelihood*. Terdapat beberapa tahapan dalam penerapan manajemen risiko yaitu mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, yang mana harus dilaksanakan secara sistematis, berulang dan bekerja sama dengan pihak *stakeholder* (Australian et al., 2004).



Gambar 2. 1 Proses Manajemen Risiko

(BSI, 2018)

2.2.1 Identifikasi Risiko

Identifikasi risiko merupakan sebuah tahapan dalam proses manajemen risiko dimana bertujuan untuk menemukan, mengenali dan menggambarkan risiko yang dapat membantu serta mencegah sebuah organisasi dalam menghadapi risiko-risiko tersebut. Dalam mengidentifikasi risiko, informasi yang relevan, tepat dan terbaru merupakan hal yang penting dalam proses identifikasi. Proses identifikasi risiko dapat menggunakan berbagai metode dengan mempertimbangkan beberapa faktor berikut:

- a. Sumber risiko yang nyata dan tidak nyata;

- b. Penyebab-penyebab dan kejadian yang dapat terjadi;
- c. Ancaman dan peluang;
- d. Kerentanan dan kemampuan;
- e. Perubahan dalam konteks eksternal dan internal;
- f. Indikator risiko yang muncul;
- g. Sifat, nilai asset dan sumber daya;
- h. Konsekuensi dan dampaknya terhadap sasaran;
- i. Keterbatasan pengetahuan dan keandalan informasi;
- j. Faktor-faktor yang berkaitan dengan waktu;
- k. Prasangka, asumsi dan kepercayaan dari para pihak yang terlibat.

Organisasi harus mengidentifikasi risiko, terlepas dari apakah sumbernya terkendali atau tidak. Pertimbangan harus diberikan bahwa mungkin ada lebih dari satu jenis hasil, yang mana dapat menghasilkan berbagai konsekuensi yang dapat terukur maupun tidak terukur.

2.2.2 Analisis Risiko

Analisis risiko bertujuan untuk memahami sifat dan karakteristik risiko yang sesuai dalam tingkatan risiko. Analisis risiko melibatkan pertimbangan yang mendetail terkait ketidakpastian, sumber risiko, konsekuensi, kemungkinan, peristiwa, skenario, kontrol dan efektivitas risiko tersebut. Teknik analisis dapat dilakukan secara kualitatif, kuantitatif atau kombinasi dari keduanya tergantung pada keadaan di lapangan serta dengan mempertimbangkan beberapa faktor berikut:

- a. Kemungkinan kejadian dan dampaknya;
- b. Sifat dan besarnya dampak;
- c. Kompleksitas dan keterkaitannya;
- d. Faktor yang berkaitan dengan waktu;
- e. Keefektifan dari pengendalian risiko yang sudah ada;
- f. Tingkat sensitivitas dan kepercayaan diri dalam analisis.

Analisis risiko dapat dipengaruhi oleh perbedaan pendapat, prasangka, persepsi dan penilaian terhadap risiko. Dalam beberapa kasus dapat menggunakan kombinasi dari beberapa metode yang mana dapat menghasilkan wawasan dengan jangkauan yang lebih luas. Analisis

risiko menyediakan masukan untuk evaluasi risiko, untuk menentukan apakah risiko tersebut perlu mendapat perlakuan dan bagaimana strategi dan metode perawatan risiko yang paling tepat. Hasil dari analisis risiko dapat memberikan wawasan untuk keputusan dalam pemilihan jenis dan tingkat risiko yang didapat.

2.2.3 Evaluasi Risiko

Evaluasi risiko bertujuan untuk mendukung keputusan. Evaluasi risiko melibatkan perbandingan hasil dari analisis risiko dengan kriteria risiko yang telah ditetapkan. Evaluasi risiko juga menentukan tindakan pengendalian yang diperlukan dimana dapat mengarah pada beberapa keputusan dibawah ini.

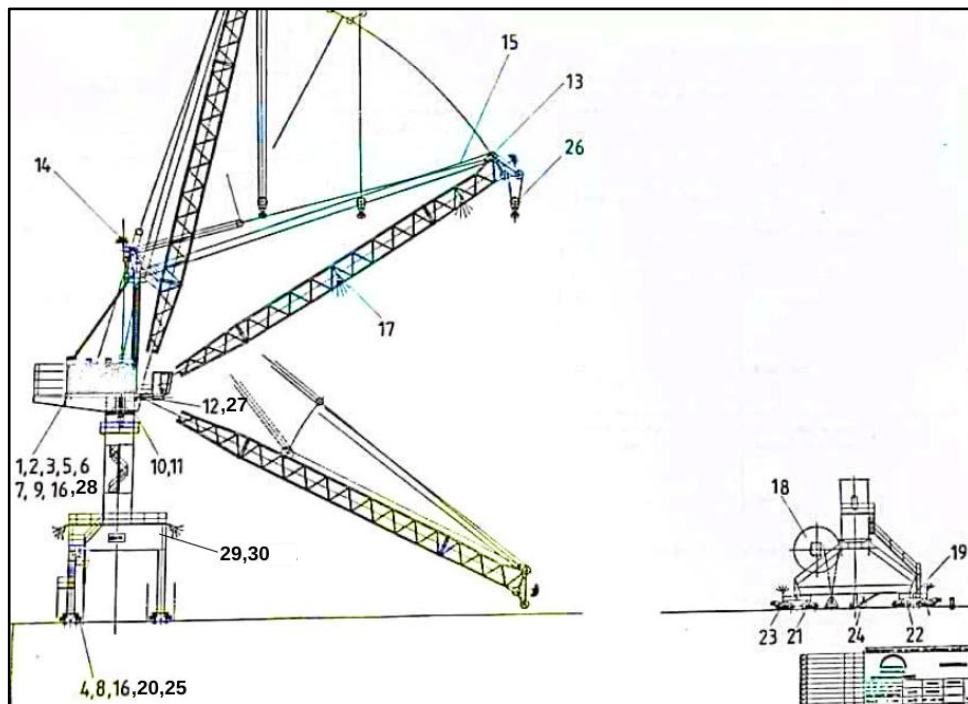
- a. Tidak ada perlakuan khusus selanjutnya
- b. Mempertimbangkan pilihan dalam perawatan risiko
- c. Melakukan analisis lebih lanjut untuk lebih memahami risiko
- d. Memperbaiki pengendalian yang sudah dilakukan sebelumnya
- e. Mempertimbangkan ulang sasaran yang ingin dicapai

Keputusan harus mempertimbangkan konteks yang lebih luas dan mempertimbangkan risiko yang dapat ditoleransi. Keputusan harus diambil sesuai dengan persyaratan hukum atau peraturan yang ada. Dalam beberapa kasus, evaluasi risiko dapat mengarah pada keputusan untuk melakukan analisis lebih lanjut.

2.3 Level Luffing Crane (LLC)

Level luffing crane secara umum memiliki mekanisme yang hampir sama dengan *Tower Crane*. Menurut Cahyono & Ariatedja (2018) *Level luffing crane* merupakan pesawat angkat-angkut yang memiliki mekanisme gerakan yang cukup lengkap yaitu terkait kemampuan mengangkat muatan (*lifting*), menggeser (*trolleying*), menahannya tetap di atas bila diperlukan dan membawa muatan ke tempat yang ditentukan (*slewing* dan *travelling*) serta *level luffing crane* mempunyai tambahan penghubung untuk menggerakkan *jib* naik-turun. Penghubung hanya dapat bekerja pada kemiringan sudut tertentu untuk mendapatkan optimasi struktur yang lebih kuat. Hal yang membedakan

dengan *tower crane* yaitu LLC memiliki jangkauan dan *counter weight* yang lebih terbatas. Pada gambar 2.2 menunjukan gambaran dari *level luffing crane*.



Gambar 2. 2 LLC 40 Ton

(Man Takraf, 1992)

LLC banyak ditemui pada area industri perkapalan. *Crane* ini digunakan untuk menempatkan *container* dan kebutuhan peralatan yang dalam dimensi besar untuk digunakan dalam kapal. Penopang berengsel yang dimiliki oleh *crane* dapat membuat gerakan naik turun, sehingga membuat lengan pada *crane* bergerak ke dalam dan ke luar (Okky, 2023). Pada tabel 2.1 merupakan komponen dan dilengkapi dengan fungsi dari *Level luffing crane* :

Tabel 2. 1 Komponen *Level Luffing Crane* 40 Ton

No	Komponen	Fungsi
1.	<i>Hoist Gearbox</i>	Naik turun <i>sling/block (Hook)</i>
2.	<i>Luffing Gearbox</i>	Naik turun jib/lengan
3.	<i>Slewing Gearbox</i>	Putar kanan/kiri <i>crane</i>
4.	<i>Travelling Gearbox</i>	Bergerak maju mundur <i>crane</i>
5.	<i>Hoist Brake</i>	Menghentikan naik turun <i>sling/block (Hook)</i>

Tabel 2. 1 Komponen *Level Luffing Crane* 40 Ton

No	Komponen	Fungsi
6.	<i>Luffing Brake</i>	Menghentikan naik turun jib/lengan
7.	<i>Slewing Brake</i>	Menghentikan putar kanan/kiri <i>crane</i>
8.	<i>Traveling Drive Brake</i>	Menghentikan <i>crane</i> maju/mundur
9.	<i>Pedestal bearing luffing</i>	Bantalan untuk memutar LLC ke kanan/kiri
10.	<i>Slewing ring bearing roller bearing</i>	Untuk memutar kanan/kiri 360°
11.	<i>Jib hinge point</i>	Kunci atau penahan jib/lengan
12.	<i>Operator cabin</i>	Sebagai tempat operator menjalankan LLC
13.	<i>Pulley Block</i>	Penggerak alur <i>sling</i>
14.	<i>Drum Sling</i>	Rangkaian tempat rol untuk tali kawat/ <i>sling</i>
15.	<i>Wire Rope</i>	Alat bantu atau tali kawat baja untuk mengangkat
17.	<i>Suspension device lamp</i>	Suspension atau penyeimbang lampu kontrol
18.	<i>Cable reel</i>	Kabel power untuk menyalurkan aliran listrik
16.	<i>Motor Hoist</i>	Sebagai Penggerak <i>gearbox hoist</i>
19.	<i>Motor Travelling</i>	Sebagai penggerak <i>gearbox travelling</i>
20.	<i>Motor Slewing</i>	Sebagai penggerak <i>gearbox slewing</i>
25.	<i>Motor Luffing</i>	Sebagai penggerak <i>gearbox luffing</i>
21.	<i>Bogie Joint</i>	Rangkaian roda pada <i>travelling</i>
22.	<i>Travelling gearbox wheel</i>	Penerus putaran mesin ke roda LLC
23.	<i>Joint 8 wheel equalizer</i>	Kunci untuk penyeimbang
24.	<i>Rail Clamps</i>	Penjepit rel agar <i>crane</i> tidak berjalan saat dimatikan
26.	<i>Hook Block</i>	Pengait yang digunakan untuk alat bantu mengangkat beban
27.	<i>Switch on/off</i>	Menyalakan/mematikan LLC

Tabel 2. 1 Komponen *Level Luffing Crane* 40 Ton

No	Komponen	Fungsi
28.	PLC	Pengatur kerja LLC
29.	<i>Earth Busbar</i>	Menyalurkan Tegangan ke 4 Sistem
30.	Transformator	Mengubah tegangan listrik
31.	Panel Listrik	Sebagai sumber tenaga listrik untuk LLC

(Sumber: Perusahaan Galangan Kapal, 2022)

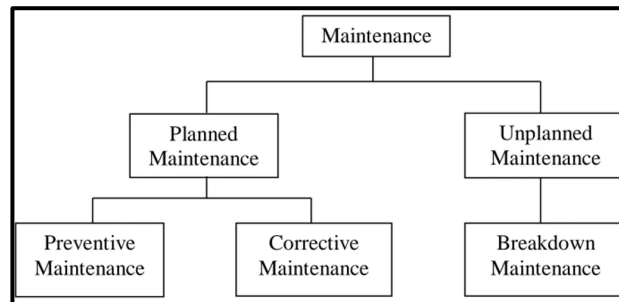
Tabel 2.1 menjelaskan mengenai komponen beserta fungsi pada LLC 40 Ton yang digunakan sebagai dasar dalam pembuatan *functional block diagram*.

2.4 Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan (*maintenance*) adalah gabungan dari berbagai tindakan yang ditujukan untuk dilakukan menjaga dan merawat mesin serta memperbaiki mesin hingga kondisi yang dapat diterima (Rachman, Garside, & Kholik, 2017). *Maintenance* atau pemeliharaan adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk menjamin kelangsungan fungsional suatu mesin atau sistem produksi agar dapat berfungsi secara optimal. Menurut Asauri (1980) pemeliharaan adalah proses menjaga bangunan atau bagian dari peralatan pabrik dalam kondisi baik dan melakukan perbaikan, perubahan, atau penggantian yang diperlukan untuk memastikan produksi berjalan seperti yang direncanakan. Berdasarkan definisi diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa perawatan merupakan suatu kombinasi dari berbagai aktivitas tindakan perbaikan, perubahan, atau penggantian untuk mempertahankan kelangsungan fungsional dari suatu mesin atau sistem produksi agar dapat berfungsi secara optimal dan alat pada kondisi yang baik untuk melakukan proses yang direncanakan.

Kegiatan pemeliharaan ditentukan untuk memastikan bahwa *asset* fisik yang dimiliki dapat terus melakukan apa yang diharapkan pengguna (*user*) sehubungan dengan fungsi yang dilakukan oleh *asset* tersebut (Moubray,

1997). Berdasarkan gambar 2.3 bentuk kegiatan perawatan dapat dibagi menjadi dua yaitu sebagai berikut (Corder, 1996) :



Gambar 2. 3 Bentuk Kegiatan Perawatan
(Corder, 1996)

1. *Unplanned Maintenance*, merupakan tindakan perawatan yang pelaksanaannya tidak ditentukan dan tidak ada perencanaan sebelumnya, hanya ada satu bentuk *unplanned maintenance*, yaitu pemeliharaan darurat atau *emergency maintenance* dimana perlu segera dilakukan tindakan untuk mencegah akibat yang lebih serius. Misalnya hilangnya produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk alasan keselamatan kerja.
2. *Planned Maintenance*, merupakan tindakan perawatan yang pelaksanaannya telah ditentukan dan dikendalikan sesuai dengan rencana yang dibuat sebelumnya. Terdapat dua aktivitas utama dalam *planned maintenance* yaitu:
 - a. *Preventive Maintenance* adalah kegiatan perawatan yang dilakukan dalam periode waktu yang tetap atau dengan kriteria tertentu pada berbagai tahap produksi, untuk mencegah kerusakan yang tak terduga
 - b. *Corrective Maintenance* adalah kegiatan perawatan yang dilakukan setelah peralatan atau fasilitas produksi mengalami kerusakan, kegagalan, atau hasil produksi tidak sesuai rencana.

Tujuan pemeliharaan bukan hanya untuk menjaga kondisi mesin dan peralatan semata. Pemeliharaan juga bertujuan untuk menjaga kemampuan produksi agar dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi. Untuk lebih lengkapnya berikut tujuan fungsi pemeliharaan menurut Asauri (1980) :

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan mengenai investasi tersebut.
4. Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien keseluruhannya.
5. Menghindari kegiatan *maintenance* yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.
6. Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan, yaitu tingkat keuntungan (*return of investment*) yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.

Pemilihan kegiatan perawatan tersebut didasari atas sifat dari kerusakan atau kegagalan pada peralatan, apakah bersifat terprediksi atau tidak terprediksi. Selain itu pemilihan tersebut juga disadari atas biaya yang harus dikeluarkan untuk kegiatan perawatan tersebut. Perawatan seringkali dihubungkan sebagai akar dari suatu keandalan (*reliability*). Hal ini dikarenakan seringkali masalah keandalan datangnya dari bagian perawatan. Oleh karena itu perlu adanya strategi perawatan yang baik untuk meningkatkan *reliability* dari suatu sistem. Beberapa strategi perawatan yang dapat dilakukan sebagai berikut:

- a. *Strategi Reactive*, strategi ini memiliki tujuan untuk mempertahankan peralatan pada kondisi yang selalu dapat berfungsi. Strategi *reactive* berhubungan dengan strategi “*fix when broken*” atau dengan kata lain memperbaiki suatu peralatan jika peralatan tersebut telah rusak. Strategi ini memiliki parameter perbandingan antara kemampuan melakukan

perbaikan suatu alat dengan penggunaan waktu seminimal mungkin dalam melakukan perbaikan peralatan tersebut.

- b. *Strategi Preventive*, strategi ini merupakan suatu proses kontrol terhadap kegiatan perawatan yang terencana dari yang tidak terencana. Sehingga dengan melakukan *preventive maintenance* pengeluaran yang terduga dapat tereduksi.
- c. *Strategi Predictive*, strategi ini hanya berupaya untuk mengeliminasi peralatan yang berada di luar batas dengan menggunakan teknologi atau alat dalam memonitor kondisi peralatan. Teknik *reliability* digunakan untuk memprediksi kegagalan dari peralatan dan memprediksi umur dari peralatan tersebut. Konsep utama dari *predictive* adalah untuk menciptakan suatu perencanaan yang tepat mengenai waktu perawatan suatu peralatan sehingga waktu antar perbaikan dapat tereduksi.
- d. *Strategi Proactive*, merupakan integrasi penggunaan strategi *predictive*, *investigative* dan teknologi *corrective* untuk memperpanjang umur peralatan, mengurangi atau mengeliminasi upaya penggunaan kebijakan *reactive maintenance*. Kebijakan perawatan *proactive* melibatkan analisa *root cause failure analysis*, spesifikasi performansi peralatan baru maupun peralatan yang telah diperbaiki dan data kegagalan.

2.5 Functional Block Diagram

Functional Block Diagram merupakan diagram yang menggambarkan hubungan dan aliran kerja antar fungsi komponen yang membentuk suatu sistem serta untuk memperjelas ruang lingkup analisis fungsi dan kegagalan fungsi sehingga dapat dilakukan dengan mudah. FBD digunakan untuk mendeskripsikan sistem kerja dari suatu mesin. *Functional Block Diagram* diperkenalkan sebagai representasi grafis dari fungsi suatu sistem yang berupa blok-blok berisi fungsi-fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut. Selain itu, *input* dan *output* sistem dapat digambarkan untuk menyatakan apa yang menjadi masukan dan keluaran dari setiap sub sistem (Papazoglou, 1998).

Function block diagram dapat dibuat setelah sistem dipilih dan menentukan bagaimana komponen tersebut bekerja sesuai dengan fungsinya.

Adapun data yang digunakan untuk membuat definisi dan dasar sebagai penentuan kegiatan perawatan pencegahan yaitu menggunakan data fungsi peralatan dan cara pengoperasiannya. Keuntungan yang didapatkan dari pendeskripsian *function block diagram* adalah sebagai berikut :

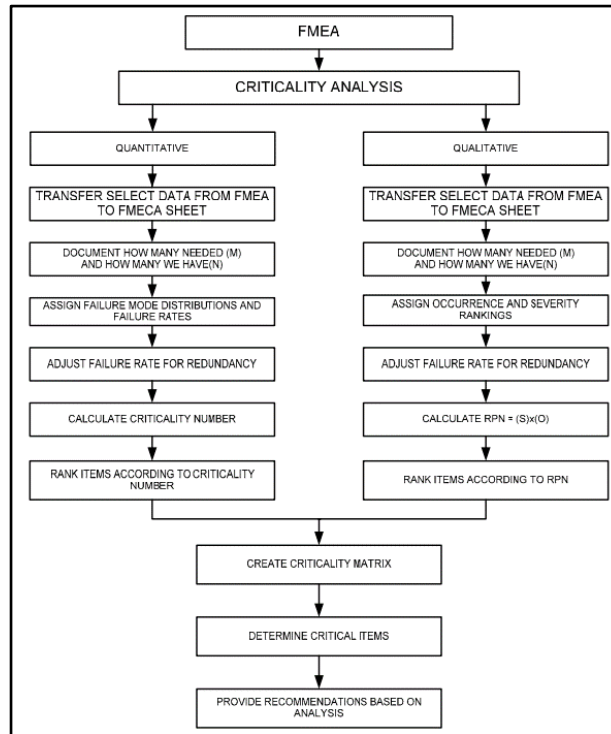
1. Sebagai dasar informasi dari sistem mengenai desain dan operasi yang diamati. Informasi tersebut nantinya digunakan sebagai acuan untuk melakukan tindakan perawatan. Dimana tindakan perawatan dilakukan sebagai upaya pencegahan dikemudian hari.
2. Memperoleh pengetahuan sistem secara menyeluruh.
3. Mengetahui proses identifikasi parameter-parameter operasi yang menyebabkan terjadinya kegagalan sistem.

2.6 Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)

Failure mode Effect Analysis terdiri dari dua analisis terpisah yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan perhitungan analisis kekritisian/*Criticality Analysis* (CA). Metode FMEA harus diselesaikan sebelum melakukan perhitungan *Criticality Analysis* (CA). Menurut Singh, Sanjeev, & Singh (2019) FMECA digunakan untuk menganalisis mode kegagalan, penyebab kegagalan dan efek kegagalan. Selanjutnya, analisis kekritisian dilakukan dan *risk priority number* diberikan berdasarkan klasifikasi tingkat keparahan, probabilitas kejadian dan probabilitas deteksi untuk mengidentifikasi bagian paling kritis *Level luffing crane*. FMECA mengarah untuk mengidentifikasi tindakan pencegahan yang harus diambil untuk mengurangi risiko *Level luffing crane* di masa mendatang dengan menghilangkan penyebab kegagalan, mengurangi keparahan dan kemungkinan terjadinya kegagalan.

FMECA terdiri dari dua analisis terpisah, FMEA dan *Criticality Analysis* (CA). FMEA harus diselesaikan sebelum melakukan CA. Hal tersebut akan memberikan manfaat tambahan untuk menunjukkan analisis peringkat kuantitatif mode kegagalan sistem atau subsistem. Analisis kekritisian memungkinkan analisis untuk mengidentifikasi masalah terkait keandalan dan keparahan dengan komponen atau sistem tertentu. Meskipun analisis ini dapat dilakukan dengan atau tanpa data kegagalan, terdapat perbedaan pada masing-

masing data pendekatan yang dibahas dalam bagian berikut. Gambar 2.5 menunjukkan proses untuk melakukan FMECA menggunakan sarana kuantitatif dan kualitatif (Department of the US Army, 2006).



Gambar 2. 4 Alur metode FMECA

(Department of the US Army, 2006)

Gambar 2.5 adalah proses pengerjaan metode FMECA dengan beberapa penjelasan dan tujuan sebagai berikut : Menurut IEEE Std. 352 FMECA memiliki tujuan antara lain:

- a. Membantu dalam memilih alternatif desain dengan keandalan dan tingkat keamanan yang tinggi pada tahap perencanaan awal.
- b. Menjamin bahwa seluruh kemungkinan mode kegagalan dan efeknya pada saat pengoperasian sistem telah dipertimbangkan.
- c. Mendaftarkan seluruh potensi kegagalan dan mengidentifikasi besaran efeknya.
- d. Menyediakan analisis kuantitatif dasar keandalan dan waktu ketersediaan mesin.

- e. Menyediakan dokumentasi historis sebagai rekomendasi di masa depan untuk membantu menganalisis dari kegagalan lapangan dan pertimbangan untuk pergantian desain.
- f. Membantu dalam melakukan evaluasi dari kebutuhan desain yang berkaitan tentang kelebihan, sistem deteksi kegagalan, karakteristik *fail-safe* dan lain-lain.

2.6.1 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Failure mode effect analysis (FMEA) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu kegagalan pada fungsional, serta membuat analisis potensi risiko yang memungkinkan untuk terjadinya kegagalan pada alat, proses, dan sistem. Menurut Ebeling (1997) FMEA bertujuan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, menilai kemungkinan terjadinya dan pengaruh terhadap sistem, serta mengisolasi penyebab, dan menentukan perbaikan dengan tindakan korektif atau tindakan pencegahan. Teknik FMEA digunakan sebagai proses turunan dari pelaksanaan analisis RCM II. Gagasan utama RCM yaitu mencegah terjadinya kerusakan dengan menghilangkan atau mengurangi penyebab kegagalan. Metode FMEA berfokus pada analisis penyebab kerusakan dan mekanisme terjadinya kerusakan. Ketika dilakukan identifikasi dan ditemukan penyebab serta mekanisme kerusakan pada setiap *failure modes*, selanjutnya dapat diberikan saran untuk waktu pelaksanaan *preventive maintenance*, atau perencanaan tindakan monitoring untuk menurunkan *failure rate* (Moubray, 1997).

2.6.2 Criticality Analysis

Criticality Analysis merupakan suatu cara pengukuran terhadap efek dari suatu mode kegagalan yang sangat berarti bisa terjadi pada peralatan atau sistem, pada sisi keselamatan dan keberhasilan operasi. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan ranking kekritisan dari setiap potensi kegagalan untuk setiap komponen yang ada di sistem yang didasarkan pada *Criticality Number* dan *Severity Ranking* (Fitriyani, Subekti, & Amrullah, 2018). *Criticality Analysis* dapat digunakan untuk:

1. Meranking setiap potensi *failure mode* yang ada pada komponen yang diidentifikasi.
2. Menentukan *criticality number* dan *criticality ranking* pada komponen yang mengalami kegagalan.
3. Sebagai dasar untuk perencanaan melaksanakan perawatan

Criticality analysis dapat ditampilkan dengan metode kualitatif dan kuantitatif. Analisa kuantitatif akan digunakan ketika bagian spesifik dari item *failure rate* tersedia. Jika *failure rate* tersedia maka dapat dilakukan analisis kuantitatif untuk menghitung angka kekritisian dari setiap komponen. Sedangkan CA dengan metode kualitatif tidak memerlukan item *failure rate*. Seandainya *failure rate* diketahui pada komponen yang sama dan tidak diketahui pada bagian lain, maka data *failure rate* dapat digunakan untuk mendukung penentuan *ranking*. Ini akan memberikan relatif *ranking* diantara semua komponen. *Failure mode ratio* dan probabilitas *failure mode* digunakan dalam analisis ini. Analisis ini akan memberikan data kuantitatif *ranking* dari setiap *level failure mode* dari kemungkinan hubungan probabilitas *failure*.

2.6.2.1 Quantitative Criticality Analysis

Dalam penggunaan metode *quantitative criticality analysis* ini harus tersedia data *failure rate* dan *failure mode distributions*. Setelah diketahui bahwa data *failure rate* dan *failure mode distribution* tersedia, maka dapat dilakukan analisis kuantitatif untuk menghitung angka kekritisian dari setiap komponen yang mengalami kerusakan atau kegagalan. Setiap kategori dan variabel yang digunakan dalam *quantitative criticality analysis* dijelaskan sebagai berikut:

1. Severity

Severity merupakan ukuran keseriusan efek dari mode kegagalan. Klasifikasi *severity* untuk memberikan ukuran kualitatif dari kriteria kerugian terburuk yang telah ditentukan. Pada tabel 2.2 merupakan urutan kemungkinan kualitatif *severity ranking* (S):

Tabel 2. 2 Severity Ranking

Ranking	Effect	Keterangan
1	<i>None</i>	Tidak ada kegagalan yang berakibat pada Keselamatan, lingkungan atau fungsi alat.
2	<i>Very Low</i>	Ada gangguan kecil pada fungsi alat. Perbaikan terhadap kerusakan dapat dilakukan selama <i>trouble call</i> .
3	<i>Low</i>	Ada gangguan kecil pada fungsi alat. Perbaikan terhadap kerusakan dapat dilakukan lebih lama daripada <i>trouble call</i> .
4	<i>Low to Moderate</i>	Cukup ada gangguan pada fungsi alat. Beberapa bagian dari fungsi alat perlu diperbaiki sehingga diperlukan waktu tunggu.
5	<i>Moderate</i>	Cukup ada gangguan pada fungsi alat. Fungsi alat memerlukan proses perbaikan 100%.
6	<i>Moderate to High</i>	Cukup ada gangguan pada fungsi alat. Ada beberapa fungsi alat yang tidak bisa digunakan. Waktu untuk memperbaiki alat cukup lama.
7	<i>High</i>	Gangguan pada alat tinggi. Ada beberapa fungsi alat yang tidak bisa digunakan. Waktu untuk memperbaiki alat lama.
8	<i>Very High</i>	Gangguan pada alat tinggi. Semua fungsi alat tidak bisa digunakan. Waktu untuk memperbaiki alat lama.
9	<i>Hazard</i>	Potensial untuk menimbulkan gangguan pada keselamatan atau lingkungan. Kegagalan akan terjadi dengan adanya peringatan.
10	<i>Hazard</i>	Potensial untuk menimbulkan gangguan pada keselamatan atau lingkungan. Kegagalan akan terjadi tanpa adanya peringatan.

(Sumber: Department of the US Army, 2006)

2. *Beta/Failure effect probability (β)*

Beta didefinisikan sebagai *failure effect probability* (β) yang digunakan untuk menghitung *failure effects* dari setiap *failure mode*. Nilai Beta (β) menggambarkan kemungkinan kemungkinan efek kegagalan dari hasil identifikasi mode kegagalan yang terjadi. Berikut merupakan Tabel 2.3 nilai Beta (β)

Tabel 2. 3 Nilai Beta (β)

<i>Failure Mode</i>	<i>Nilai Beta (β)</i>
<i>Actual loss</i>	1
<i>Probable loss</i>	>0.1 sampai <1
<i>Possible loss</i>	>0 sampai 0.1
<i>No Effect</i>	0

(Sumber: Department of the US Army, 2006)

3. *Alpha/Failure Mode Ratio (α)*

Alpha (α) adalah probabilitas yang dinyatakan dalam pecahan desimal yang diberikan pada komponen yang mengalami kegagalan. Menentukan alpha menggunakan dua bagian proses untuk tiap komponen yang dianalisis. Pertama menentukan mode kegagalan dan yang kedua untuk menghitung probabilitas mode kegagalan. Jika semua mode kegagalan potensial untuk perangkat dipertimbangkan, jumlah alfa akan sama dengan satu.

4. *Failure rate (λ)*

Failure rate (λ) adalah rasio antara jumlah kegagalan per unit waktu dan tipe kerusakannya yang dinyatakan dalam per satu juta jam (*failures/10⁶ hours*). Data kegagalan didapat dari data tes aktual yang ada di lapangan atau dari hasil informasi kegagalan yang tersedia.

5. *Operation time (t)*

Operation time Merupakan lama waktu suatu komponen beroperasi.

6. *Failure mode criticality number* (Cm)

Failure mode criticality number adalah ukuran relatif dari frekuensi mode kegagalan. Pokok perhitungan matematis memberikan angka urutan ranking terpenting laju kegagalan. Nilai *Failure mode criticality number* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut

$$C_m = \beta \times \alpha \times \lambda \times t \quad (2.1)$$

Keterangan :

C_m : *failure mode criticality number*

β : *failure effect probability*

α : *failure mode ratio*

λ : *failure rate*

t : waktu operasi (jam)

7. *Criticality number* (Cr)

Criticality number adalah pengukuran relatif konsekuensi dan frekuensi dari kegagalan item. Angka ini ditentukan oleh total seluruh *failure mode criticality* dari satu item dengan *severity level* yang sama. Untuk menghitung *criticality number* dapat menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$C_r = \sum(C_m) \quad (2.2)$$

Keterangan :

C_r : *criticality number*

C_m : *failure mode criticality*

8. *Criticality ranking*

Criticality ranking adalah daftar untuk penentuan peringkat mode kegagalan yang paling diperhatikan terlebih dahulu, sampai paling sedikit. Adapun perhitungan sebagai berikut:

$$Criticality\ ranking = C_r \times S \quad (2.3)$$

Keterangan :

C_r : *Criticality number*

S : *Severity*

2.6.2.2 *Qualitative Criticality Analysis*

Analisis kualitatif akan digunakan ketika tingkat kegagalan bagian atau item tertentu tidak tersedia. Namun, jika tingkat kegagalan diketahui pada beberapa komponen dan tidak diketahui pada yang lain, data tingkat kegagalan dapat digunakan untuk mendukung peringkat di bawah ini, sehingga akan memberikan peringkat relatif antara semua komponen. Kegagalan rasio mode dan probabilitas mode kegagalan tidak digunakan dalam analisis ini. Analisis ini akan memungkinkan para analis kemampuan untuk secara subjektif memberi peringkat setiap mode kegagalan tingkat keparahan dalam hubungannya dengan probabilitasnya kegagalan. Beberapa hal yang diperhatikan dalam proses identifikasi menggunakan analisa ini adalah sebagai berikut:

1. *Severity ranking (S)* merupakan tingkat keparahan dari efek potensial bentuk kegagalan. Penentuan *severity ranking* juga diperlukan guna menunjukkan komponen mana yang memiliki *severe failure effects* paling sedikit dan banyak.
2. *Occurrence ranking (O)* Merupakan metode yang digunakan dalam pemberian penilaian *failure rate* untuk suatu peralatan atau komponen.
3. *Risk Priority Number (RPN)* merupakan teknik yang digunakan dalam menganalisis risiko dengan menghubungkan potensial masalah yang dianalisis dalam *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*.

$$RPN = (S) \times (O)$$

RPN memiliki manfaat antara lain untuk mengetahui peringkat dan mengidentifikasi risiko yang akan ada dalam suatu sistem. (Department of the US Army, 2006).

2.6.3 Worksheet FMECA

Worksheet FMECA digunakan sebagai alat bantu dalam pengerjaan FMECA. Worksheet FMECA terdapat beberapa kolom yang memiliki fungsi berbeda-beda dalam menyajikan informasi. Pada tabel 2.4 adalah contoh dari Worksheet FMECA :

Tabel 2. 4 Worksheet FMECA (Department of the US Army, 2006)

<i>Quantitative Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>											
<i>System</i>						<i>Date</i>					
<i>Part Name</i>						<i>Sheet</i>					
<i>Reference Drawing</i>						<i>Complied by</i>					
<i>Mission</i>						<i>Approved</i>					
<i>Item Number</i>	<i>Item FunctionID</i>	<i>Potential Failure Mode</i>	<i>Failure Mechanism</i>	<i>Severity</i>	<i>Failure Rate (λ)</i>	<i>Failure Effect Probability(β)</i>	<i>Failure Ratio(α)</i>	<i>Operating Time (t)</i>	<i>Failure Mode Critically Number (Cm)</i>	<i>Item Critically Number (ΣCm)</i>	<i>Remarks</i>

(Sumber: Department of the US Army, 2006)

2.7 Konsep Keandalan

Menurut Ebeling (1997) keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem dapat beroperasi dengan baik tanpa mengalami kerusakan pada suatu kondisi tertentu dan waktu yang telah ditentukan. Menurut Birolini (2003) *reliability* dapat didefinisikan sebagai karakteristik probabilitas suatu sistem dapat melakukan fungsinya dalam kondisi tertentu dan waktu yang telah ditentukan. Maka, keandalan merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi keberhasilan proses produksi. Keandalan menjadi aspek sangat penting karena akan mempengaruhi biaya perawatan yang pada akhirnya akan mempengaruhi profit suatu perusahaan (Dhillon, 2006).

2.7.1 Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR)

Mean Time To Failure (MTTF) merupakan nilai rata-rata waktu kegagalan yang akan datang dari sebuah sistem (komponen). Untuk sistem yang dapat direparasi, maka MTTF adalah masa kerja suatu komponen saat pertama kali digunakan atau dihidupkan sampai unit tersebut akan rusak kembali atau perlu di periksa kembali. *Mean Time To Repair* (MTTR) adalah waktu rata-rata untuk waktu pengecekan atau perbaikan saat komponen atau unit tersebut diperiksa sampai komponen atau unit tersebut digunakan atau dihidupkan kembali. Menurut (Ebeling, 1997) dalam perhitungan nilai MTTF dan MTTR menggunakan rumus yang sama akan tetapi rumus tersebut bergantung pada jenis distribusi parameternya pada persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \int_0^{\infty} R(t) dt \\ \text{MTTF} &= -e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \\ \text{MTTF} &= \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \end{aligned} \tag{2.4}$$

Apabila terdapat dua parameter yaitu parameter skala (η) dan parameter bentuk (β), maka persamaan yang digunakan persamaan 2.5 sebagai berikut :

$$\text{MTTF} = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.5)$$

Keterangan:

R = *Reliability*

η = Parameter skala (*scale parameter*)

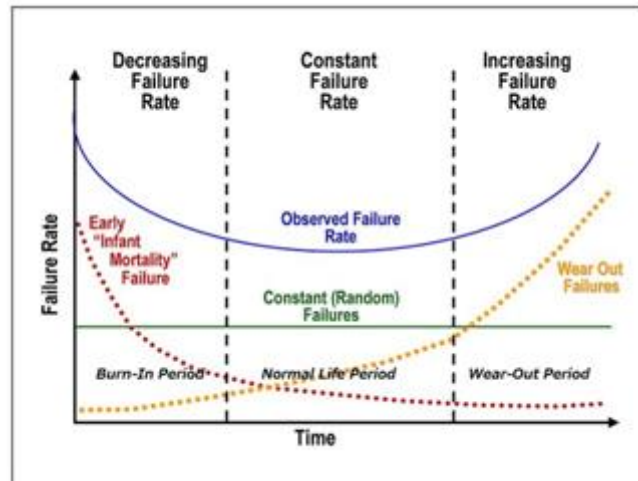
β = Parameter bentuk (*shape parameter*)

γ = Parameter lokasi (*location parameter*)

$\eta \Gamma$ = Fungsi gamma

2.7.2 Laju Kegagalan (λ)

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen, subsistem, atau sistem (Darmawan, Rapi, & Ali, 2016). Laju kegagalan dinyatakan dalam banyaknya kegagalan per satuan waktu, dimana terdapat beberapa kasus dapat ditunjukkan sebagai penambahan atau *increasing failure rate* (IFR), sebagai penurunan atau *decreasing failure rate* (DFR), dan sebagai nilai konstan atau *constant failure rate* (CFR), pada saat fungsi laju kegagalan adalah fungsi penambahan, penurunan atau konstan yang akan ditunjukkan pada gambar 2.6 sebagai berikut:



Gambar 2.5 Bathtub Curve

(Ebeling, 1997)

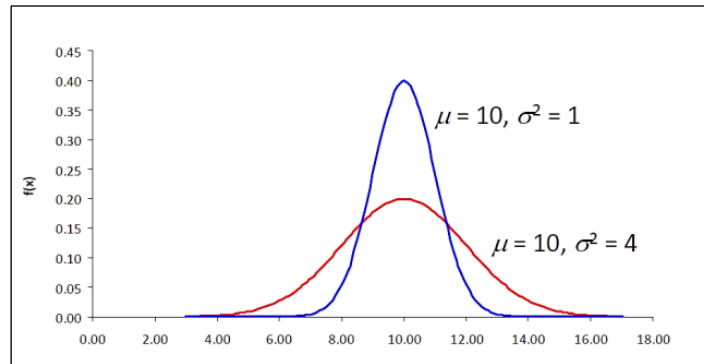
Gambar 2.6 adalah konsep laju kegagalan didasari oleh jumlah komponen atau sistem rekayasa yang menunjukkan perilaku (t) berbentuk mengikuti kurva bak mandi (*bathtub curve*).

2.8 Distribusi Keandalan Sistem

Waktu terjadinya kerusakan tiap peralatan merupakan variabel acak. Sebelum menghitung nilai probabilitas keandalan suatu mesin atau peralatan maka perlu diketahui secara statistik distribusi kerusakan peralatan tersebut. Berikut merupakan beberapa distribusi umum yang digunakan untuk menghitung tingkat keandalan suatu peralatan.

2.8.1 Distribusi Normal

Distribusi normal (*Gaussian*) merupakan distribusi probabilitas yang paling penting baik dalam teori maupun aplikasi statistik, Parameter yang digunakan distribusi normal adalah μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi). Distribusi normal memiliki laju kerusakan yang naik sejak bertambahnya umur alat, yang berarti probabilitas kerusakan alat atau komponen naik sesuai dengan bertambahnya umur tersebut (Moubray, 1997). Grafik pola distribusi normal digambarkan pada gambar 2.7 adalah sebagai berikut.



Gambar 2. 6 Kurva Pola Distribusi Normal

(Nurdini, 2017)

Pola distribusi normal diilustrasikan pada Gambar 2.7 *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*). Dispersi terhadap nilai rata-rata (*mean*) distribusi normal diukur berdasarkan nilai standar deviasi. Jadi, parameter-parameter distribusi normal adalah *mean* dan standar deviasi. Menurut Ebeling (1997) *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi normal dapat ditulis seperti Persamaan 2.6 berikut :

$$MTTF = \mu \tag{2.6}$$

Dimana $\mu > 0, \sigma > 0$ dan $t > 0$

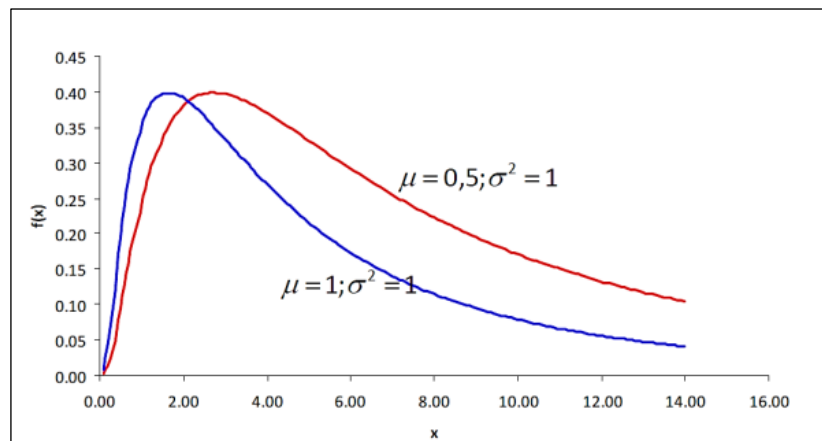
Keterangan :

μ = rata-rata (*mean*)

MTTF = waktu rata-rata antar kerusakan

2.8.2 Distribusi Lognormal

Pada saat variabel acak T (waktu kegagalan) mempunyai distribusi lognormal, logaritma T memiliki distribusi normal. Karakteristik distribusi lognormal memiliki dua parameter, yaitu parameter lokasi (μ) dan parameter skala (σ), sama dengan standar deviasi. Gambar 2.8 menunjukkan ilustrasi pola penyebaran data yang mengikuti distribusi lognormal (Ebeling, 1997).



Gambar 2. 7 Kurva Pola Distribusi Lognormal

(Nurdini, 2017)

Apabila distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi lognormal, maka distribusi lognormal waktu rata-rata kegagalan komponen pada persamaan 2.7 sebagai berikut:

$$MTTF = \exp\left(\mu \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.7)$$

Keterangan :

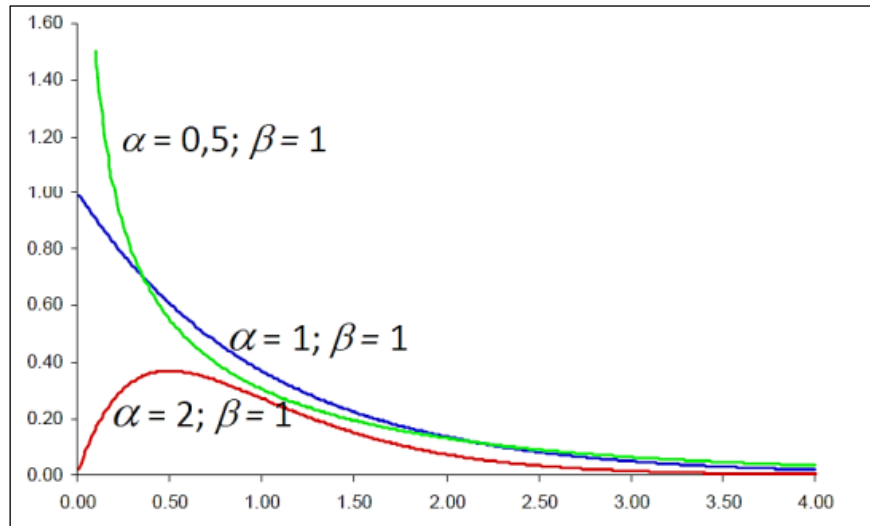
μ = Parameter Lokasi

σ = Parameter Skala

MTTF = waktu rata-rata antar kerusakan

2.8.3 Distribusi Weibull

Pada analisis keandalan, distribusi *weibull* telah digunakan secara luas. Penambahan parameter di dalam distribusi *weibull* dapat mereperentasikan banyaknya *Probability Density Function* (PDF), sehingga distribusi ini dapat digunakan untuk variasi data yang luas. Karakteristik distribusi *weibull* adalah memiliki beberapa parameter pada distribusinya. Distribusi *weibull* tipe 2 memiliki dua parameter, yaitu beta (β) dan eta (η), sedangkan distribusi *weibull* tipe 3 memiliki tiga parameter, yaitu beta (β), eta (η), dan gamma (γ). Penyebaran data yang mengikuti pola distribusi *weibull* diilustrasikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 8 Kurva Pola Distribusi *Weibull*

(Nurdini, 2017)

Apabila distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi *Weibull*, waktu rata rata kegagalan komponen pada persamaan 2.8 dan 2.9 sebagai berikut (Ebeling, 1997):

Waktu rata-rata kegagalan distribusi *Weibull* :

- Persamaan *Weibull* 2 Parameter :

$$MTTF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.8)$$

- Persamaan *Weibull* 3 Parameter :

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.9)$$

Keterangan :

η =Parameter skala (*scale parameter*), $\eta > 0$, disebut sebagai *characteristic life*.

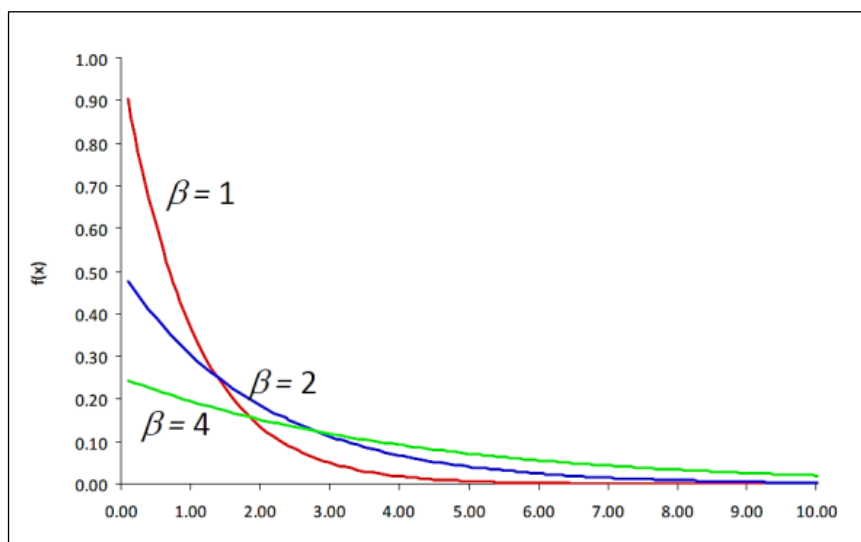
β = Parameter bentuk (*shape parameter*), $\beta > 0$, mendeskripsikan bentuk dari PDF.

Γ = Parameter lokasi (*locations parameter*), merepresentasikan *failure-free* atau awal periode dari penggunaan alat. Jika $\gamma = 0$ maka distribusi akan berubah menjadi 2 parameter.

MTTF = Waktu rata-rata antar kerusakan.

2.8.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial salah satunya digunakan terhadap suatu komponen atau unit dengan jumlah data kegagalan di bawah 5 kali. Pada saat waktu kegagalan dari suatu komponen mengikuti pola distribusi eksponensial, maka laju kegagalannya adalah konstan. Distribusi eksponensial tipe 1 memiliki satu parameter, yaitu lambda (λ), sedangkan distribusi eksponensial tipe 2 memiliki dua parameter, yaitu lambda (λ) dan gamma (γ). Ilustrasi distribusi eksponensial terdapat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Kurva Pola Distribusi Eksponensial

(Nurdini, 2017)

Apabila distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi eksponensial, maka distribusi lognormal waktu rata rata kegagalan komponen pada persamaan 2.10 sebagai berikut (Ebeling, 1997):

Waktu rata-rata kegagalan distribusi eksponensial 1 :

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.10)$$

Keterangan :

λ = Laju kegagalan (*failure rate*)

MTTF = waktu rata-rata antar kerusakan

2.9 Reliability Centered Maintenance

Reliability centered maintenance adalah sebuah proses untuk menentukan apa yang harus dilakukan agar menjamin suatu *asset* fisik dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan oleh penggunanya (Moubray, 1997). RCM mengarahkan pada penanganan item agar tetap andal dalam menjalankan fungsinya dengan tetap mengacu pada efektivitas biaya perawatan. RCM merupakan teknik manajemen perawatan yang mengkombinasikan 2 jenis tindakan perawatan yakni *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. *Preventive maintenance* adalah tindakan perawatan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang telah dijelaskan sebelumnya. Sedangkan *predictive maintenance* adalah pemeliharaan berdasarkan penilaian atas analisis kondisi (*Condition Base*) komponen-komponen mesin atau bahkan mesin secara keseluruhan. Kondisi itu harus dapat terukur (parameter terukur) seperti suhu, tekanan, vibrasi, tingkat keausan, tingkat korosi (*corrosion rate*), tingkat keretakan, sisa umur kekuatan logam, viskositas minyak pelumas, konduktivitas air pendingin, daya mampu, efisiensi dan lain sebagainya. Parameter-parameter terukur ini secara periodik dimonitor.

RCM sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan keperluan kebutuhan *maintenance* pada *physical asset* dalam konteks operasional. Proses yang dijalankan dalam RCM adalah dengan mengajukan tujuh pertanyaan terhadap tiap aset/ sistem yang dijalankan perusahaan (Moubray, 1997). Ketujuh pertanyaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Apakah fungsi serta standar performansi yang dimiliki oleh *asset* ketika menjalankan operasinya (*function*)?
2. Kondisi seperti apakah *asset* gagal untuk memenuhi fungsinya (*functional failure*)?
3. Apa penyebab dari tiap kegagalan yang terjadi (*failure modes*)?
4. Apa yang akan terjadi pada saat kegagalan tersebut berlangsung (*failure effect*)?
5. Bagaimana masalah yang ditimbulkan akibat kegagalan yang terjadi (*failure consequence*)?

6. Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah terjadinya kegagalan (*pro-active task*)?
7. Apa selanjutnya yang harus dilakukan jika *Proactive task* yang sesuai tidak dapat diberikan (*default action*)?

2.9.1 Reliability Centered Maintenance II (RCM II)

Reliability Centered Maintenance II (RCM II) merupakan perawatan berbasis keandalan dimana pendekatan RCM mengasumsikan bahwa perawatan tidak dapat berindak lebih dari menjamin agar *asset* terus menerus mencapai kemampuan dasarnya. Dilihat dari sisi perawatan, pengertian lengkap dari RCM adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar sembarang *asset* fisik dapat berlangsung terus memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya saat ini (Tampubolon, 2016).

Reliability centered maintenance (RCM II) merupakan pengembangan dari RCM. Perkembangan RCM II terletak *consequences*, dimana RCM II mempunyai tambahan untuk *safety and environment consequences* (Moubray, 1997). Penambahan ini menyeimbangkan antara tindakan *maintenance* dengan lingkungan yang sangat kritis terhadap kelestarian alam. RCM II membantu dalam memenuhi ekspektasi terhadap kegiatan perawatan, yakni (Moubray, 1997):

1. Meningkatkan integritas keselamatan dan juga lingkungan, RCM II mempertimbangkan dampak yang ditimbulkan terhadap keselamatan (*safety*) dan lingkungan (*environment*) pada setiap bentuk kegagalan sebelum memperhatikan efek yang ditimbulkan terhadap operasi. Hal ini berarti kegiatan tersebut bertujuan untuk menurunkan *hazard* yang berkaitan dengan keselamatan dan lingkungan pada kegagalan alat. Mengintegrasikan *safety* ke dalam *decision making* RCM II meningkatkan tindakan untuk berlaku aman (*attitudes to safety*).

2. Meningkatkan performansi operasi (*output*, kualitas produk, serta pelayanan terhadap konsumen) RCM II memperhatikan bahwa segala bentuk kegiatan *maintenance* memiliki nilai, dan ada *rules* untuk menentukan mana yang paling cocok untuk setiap situasi. RCM II akan menentukan *maintenance* paling efektif untuk setiap *asset* yang dimiliki, serta penentuan tindakan sesuai untuk diberikan, dimana menggambarkan program *maintenance* sebelum kegiatan servis dijalankan.
3. Meningkatkan efektifitas biaya *maintenance* RCM II memfokuskan perhatian pada aktivitas *maintenance* yang memiliki efek langsung terhadap performansi sebuah *plant*. Hal ini membantu untuk meyakinkan bahwa segala sesuatu yang dikeluarkan untuk *maintenance* adalah yang terbaik untuk dilakukan. Jika RCM II diaplikasikan dengan baik akan membantu menurunkan aktivitas rutin yang biasa dilakukan dalam kegiatan *maintenance*.
4. Meningkatkan masa pakai/ umur suatu peralatan. Hal ini difokuskan pada kegiatan teknik yang diberikan dalam *scheduled on-condition task*. Menyediakan sebagai database yang lengkap (*comprehensive*) Hasil akhir dari pelaksanaan RCM II adalah berupa data yang lengkap (*comprehensive*) dan terdokumentasi untuk setiap tindakan/ kegiatan *maintenance* yang dipersyaratkan untuk masing-masing *asset* yang dimiliki perusahaan. Hal ini akan membantu perusahaan ketika akan dilakukan perubahan keadaan (seperti perubahan pola *shift* kerja, atau pengaplikasian teknik baru). Selain itu juga, informasi yang tersimpan dalam RCM II *worksheet* dapat membantu *staff* pekerja baru yang kurang memiliki pengalaman atau kemampuan (keahlian) untuk menjalankan kegiatan *maintenance*.

2.9.2 RCM II Decision Worksheet

RCM II *decision worksheet* merupakan dokumen lembar kerja kedua dalam pengerjaan RCM. Worksheet ini digunakan untuk *record* mendaftarkan jawaban dari pertanyaan yang muncul dari *decision diagram*, sehingga kita dapat mengetahui hal-hal sebagai berikut:

1. Apa saja kegiatan rutin *maintenance* (jika ada) yang harus dilakukan, berapa sering dilakukan dan siapa yang melakukan.
2. Kegagalan mana sajakah yang cukup serius sehingga perlu dilakukan *redesign*.
3. Keadaan/kondisi dimana keputusan yang telah diambil diberikan untuk menghadapi kegagalan yang terjadi. Kolom-kolom dalam *decision worksheet* dapat dijelaskan sebagai berikut:
 - a. *Information Reference* mengacu pada informasi yang diperoleh dari RCM II *Decision Worksheet*, yakni dengan memasukkan kode yang dimiliki *Function Failure*, serta *Failure mode* dari masing-masing *equipment*.
 - b. *Consequence Reference* merupakan konsekuensi yang ditimbulkan karena terjadinya kegagalan fungsi. Dalam RCM II *Failure Consequence* dibedakan menjadi 4 jenis yakni *Hidden failure*, *Safety Effect*, *Environmental Effect* dan *Operational Effect*. Pada tabel 2.5 merupakan tabel sebagai acuan pengisian yang dilakukan dalam kolom *consequence evaluation* dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 2. 5 Penentuan Kriteria Dampak/ Konsekuensi dalam RCM II

<i>Failure consequence</i>	Memiliki Konsekuensi	Tidak memiliki konsekuensi
Kolom H (<i>Hidden Function</i>)	<i>Failure mode</i> tidak dapat diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal	<i>Failure modes</i> dapat diketahui secara langsung oleh Operator dalam kondisi normal
Kolom S (<i>Safety</i>)	<i>Failure modes</i> berdampak pada keselamatan kerja Operator	<i>Failure modes</i> tidak berdampak pada keselamatan kerja

Tabel 2. 5 Penentuan Kriteria Dampak/ Konsekuensi dalam RCM II

<i>Failure consequence</i>	Memiliki Konsekuensi	Tidak memiliki konsekuensi
		Operator
Kolom E (<i>Environment</i>)	<i>Failure modes</i> berdampak pada lingkungan sekitar	<i>Failure modes</i> tidak berdampak pada lingkungan sekitar
Kolom O (<i>Operational</i>)	<i>Failure modes</i> berdampak pada <i>output</i> produksi yang dihasilkan	<i>Failure modes</i> tidak berdampak pada <i>output</i> produksi yang dihasilkan

(Sumber: Moubray, 1997)

Tabel 2.5 menjelaskan tentang *failure consequence* yang berada RCM II dibedakan menjadi 4 jenis yakni *hidden failure*, *safety effect*, *environmental effect* dan *operational effect*.

c. *Proactive task & Default Action* merupakan tindakan/ kondisi yang diambil dalam mencegah terjadinya *failure modes*. Dalam penentuan tindakan tersebut akan dibantu dengan RCM II *Decision Diagram* dengan memenuhi persyaratan *technically feasible and worth doing* yang telah ditetapkan pada RCM II. Berikut adalah penentuan persyaratan kondisi *proactive task* dalam RCM II pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Penentuan Persyaratan Kondisi Proactive Task RCM II

<i>Proactive task</i>	Persyaratan kondisi <i>Proactive task</i>
Kolom H1/S1/O1/N1 <i>Scheduled on-condition task</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Memungkinkan untuk dilakukan pendektasian terhadap gejala-gejala awal terjadinya kerusakan. - Dapat dilakukan monitoring terhadap item pada interval kurang dari P-F interval - Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk dilakukan tindakan pencegahan untuk mengurangi / mengeliminasi <i>functional failures</i>

Tabel 2. 6 Penentuan Persyaratan Kondisi Proactive Task RCM II

<i>Proactive task</i>	Persyaratan kondisi <i>Proactive task</i>
Kolom H2/S2/O2/N2 <i>Scheduled restoration task</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat diidentifikasi umur dimana item menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kegagalan - Mayoritas item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk kegagalan yang memiliki dampak/konsekuensi terhadap <i>safety</i> atau <i>environment</i>) - Dapat memulihkan daya tahan item terhadap kegagalan yang terjadi
Kolom H3/S3/O3/N3 <i>Scheduled discard task</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat diidentifikasi umur dimana item menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kegagalan - Mayoritas item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk kegagalan yang memiliki dampak/konsekuensi terhadap <i>safety</i> atau <i>environment</i>)
Kolom H4 <i>Scheduled</i> <i>Failure finding task</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Pendeteksian untuk menemukan <i>hidden failure</i> memungkinkan untuk dapat dilakukan - <i>Task</i> yang diberikan mampu menurunkan terjadinya <i>multiple failure</i> - <i>Task</i> yang diberikan dilakukan sesuai dengan yang dikehendaki
Kolom H5 <i>Redesign</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Hidden failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan desain pada mesin
Kolom S4 <i>Combination task</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>proactive task</i> dilakukan

(Sumber: Moubray, 1997)

Tabel 2.6 menjelaskan tentang penjelasan *proactive task* yang berada RCM II dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *Scheduled on-condition task*, *Scheduled restoration task*, *Scheduled discard task*. Apabila jawaban atas pertanyaan yang diajukan pada *decision diagram* RCM II adalah dengan memenuhi persyaratan atau *Yes*, maka dicatat Y sedangkan apabila tidak memenuhi atau *No* dicatat dengan N pada kolom *Decision Worksheet* RCM II. Untuk lebih detail membaca *decision diagram* RCM II pada gambar 2.10.

- d. *Proposed task* yaitu kolom yang digunakan untuk menjelaskan tindakan perencanaan yang digunakan sesuai dengan hasil *proactive task* maupun *default action*, terdiri dari *scheduled discard task*.
- e. *Initial interval* digunakan untuk mencatat interval perawatan yang optimal dari masing-masing komponen. *Task interval* dituliskan di *Decision worksheet* dalam kolom *initial interval* yang berdasarkan:
 - 1. *On condition task interval*
 - 2. *Scheduled restoration dan Scheduled discard task interval*
 - 3. *Failure-finding task interval*

Ketika sudah menyelesaikan *Decision worksheet*, lalu menuliskan *task interval* pada setiap komponen.

- f. *Can be done by* digunakan untuk mencatat siapakah yang berwenang dalam melakukan aktivitas perawatan tersebut.

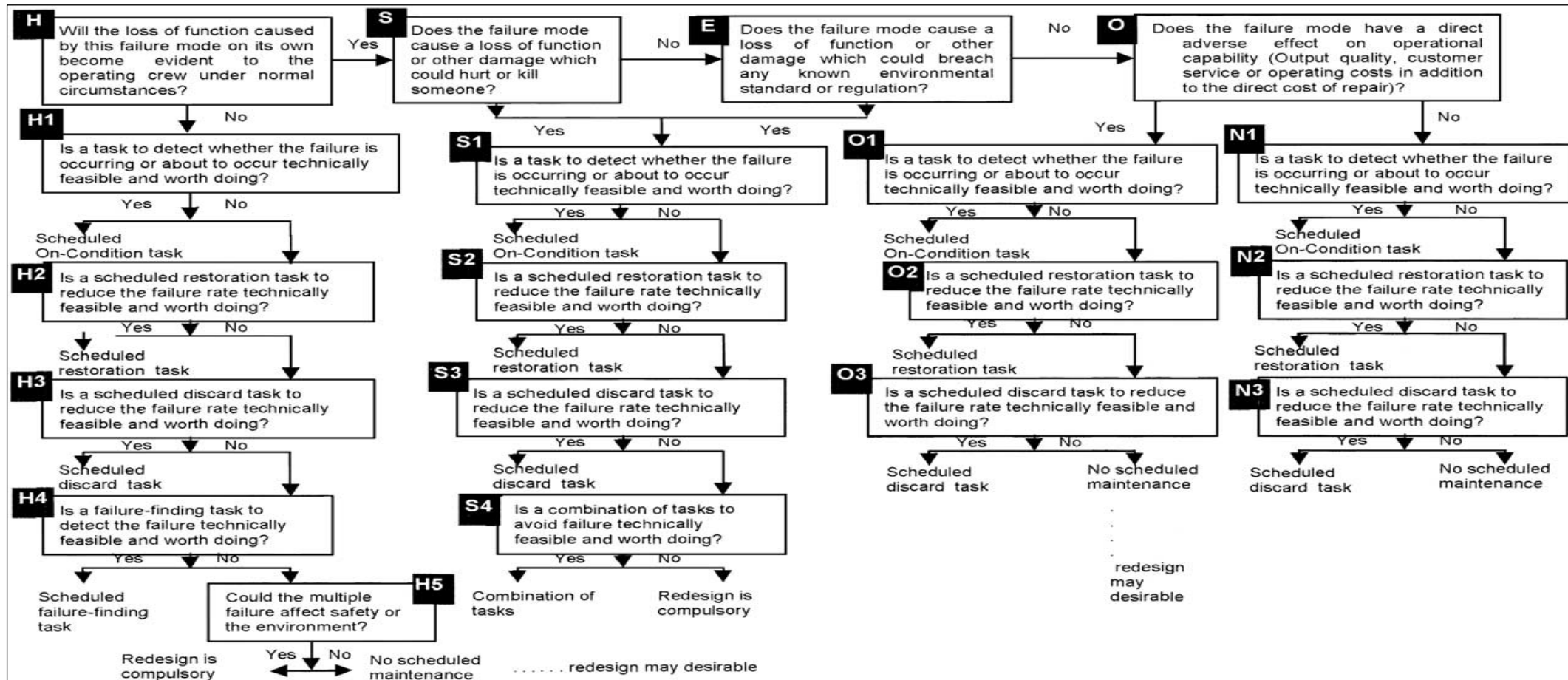
Berikut merupakan form RCM II *Decision worksheet* yang dapat dilihat pada Tabel 2.7 sebagai berikut:

Tabel 2. 7 RCM II *Decision Worksheet*

RCM II Decision Worksheet		Sistem :								Date						Sheet :	
		Sub sistem :														No :	
		Fungsi sub sistem :														Of :	
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>
									S1	S2	S3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6			

(Sumber: Moubray, 1997)

Pengerjaan RCM II *decision worksheet* pada tabel 2.7 dalam pengisiannya akan dibantu oleh RCM II *decision diagram* pada gambar 2.10 dibawah ini :



Gambar 2. 10 RCM II Decision Diagram

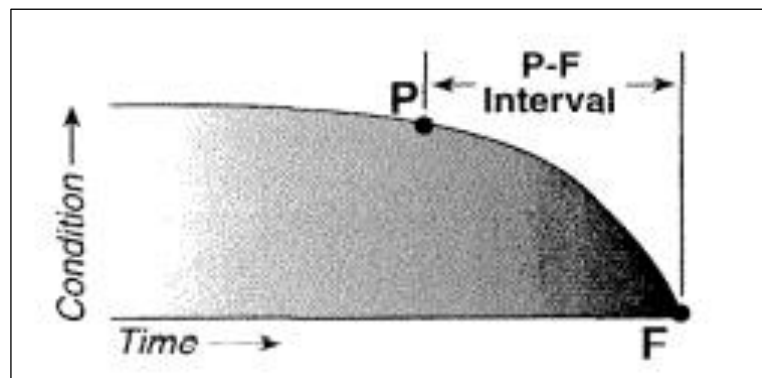
(Moubray, 1997)

2.10 Perhitungan Interval Perawatan

Interval waktu perawatan untuk setiap komponen ditentukan berdasarkan aktivitas perawatan yang dilakukan. Aktivitas perawatan dibedakan menjadi lima macam, yaitu *on-condition task*, *scheduled restoration task*, *scheduled discard task*, *failure finding task*, serta *redesign* dan *no scheduled maintenance*. Berikut adalah perhitungan untuk mencari interval waktu perawatan dari masing-masing aktivitas perawatan (Moubray, 1997).

2.10.1 Scheduled On-Condition Task

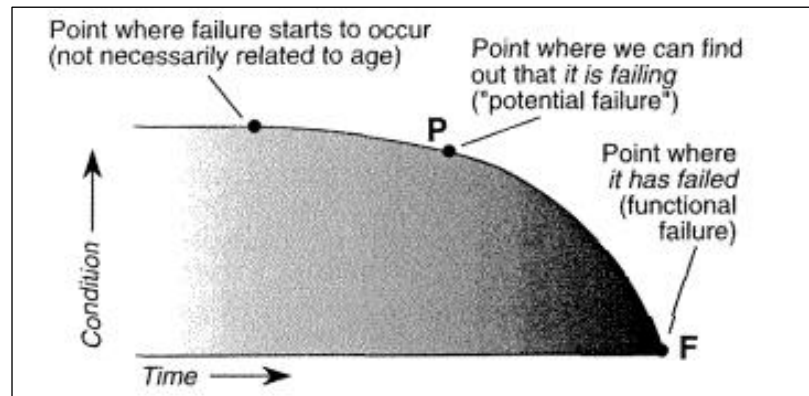
Scheduled On-condition task merupakan *scheduled task* yang diberikan untuk mendeteksi/ memeriksa terjadinya kegagalan potensial (*potential failures*), sehingga dapat ditentukan tindakan untuk mencegah terjadinya *functional failures* atau menghindari konsekuensi dari *functional failures*. *Scheduled on-condition task* dapat dikatakan *technically feasible* apabila memungkinkan untuk dilakukan penentuan kondisi kegagalan potensial secara jelas, *potential failure functional failure* (P-F) Interval relatif konsisten, dapat dilakukan monitoring terhadap item pada interval kurang dari P-F interval, P-F Interval cukup panjang untuk bisa dilakukan beberapa alternatif (dengan kata lain, cukup panjang untuk dapat dilakukan tindakan untuk mengurangi atau mengeliminasi konsekuensi dari *functional failures*) sesuai dengan Gambar 2.12:



Gambar 2. 11 P-F Interval

(Moubray, 1997)

Berdasarkan gambar 2.11 akan digambarkan apa yang terjadi pada *fase failure* terakhir yang disebut kurva P-F, karena kurva ini menjelaskan awal terjadinya kegagalan (*failure*). Titik terdeteksinya penurunan kondisi (titik P), jika kondisi ini tidak terdeteksi dan tidak diperbaiki maka akan berlanjut pada kerusakan sampai suatu *potential functional failure* (titik F) sesuai dengan gambar 2.12:



Gambar 2. 12 Kurva P-F

(Moubray, 1997)

Berdasarkan Gambar 2.12 aktivitas *on-condition task* ini dapat digunakan jika suatu komponen memenuhi keadaan - keadaan berikut :

1. Suatu komponen dapat dideteksi potensi kegagalannya dengan jelas.
2. Interval P-F dari komponen tersebut bernilai konstan.
3. Dapat dilakukan monitoring komponen pada interval kurang dari P-F interval.
4. Nilai P-F interval pada komponen cukup panjang untuk digunakan.

2.10.2 Scheduled Restoration Task

Scheduled restoration task mencakup kegiatan rekondisi suatu komponen atau melakukan *overhaul* suatu mesin pada saat atau sebelum hatasan usia tertentu. *Scheduled discard task* mencakup penggantian komponen sebelum batasan usia tertentu, tidak tergantung pada kondisinya saat itu. Aktivitas perawatan ini termasuk *preventive maintenance* yang dilakukan agar komponen tersebut dapat bekerja seperti semula.

Frekuensi pelaksanaan *scheduled restoration task* ditentukan oleh suatu umur dimana komponen menunjukkan peningkatan yang cepat pada *conditional probability of failure*. Penentuan interval waktu perawatan yang digunakan untuk *scheduled restoration task* berdasarkan rumus berikut ini (Dhamayanti, Alhilman, & Athari, 2016) :

Untuk distribusi *Weibull 3* parameter diperoleh :

$$TM = \gamma + \eta \left(\frac{1}{\beta - 1} x \frac{CM}{CR - CM} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (2.11)$$

Untuk distribusi *Weibull 2* parameter diperoleh :

$$TM = \eta + \left(\frac{1}{\beta - 1} x \frac{CM}{CR - CM} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (2.12)$$

CM = Biaya tenaga kerja + Biaya material

$$CR = CF + ((CW + CO) \times MTTR) \quad (2.13)$$

Keterangan :

CM = Biaya *Maintenace* (Rp)

CR = Biaya Perbaikan (Rp)

CF = Biaya penggantian komponen jika perlu diganti (Rp)

CO = Biaya yang ditanggung perusahaan akibat terjadi *downtime* (Rp)

CW = Biaya pekerja melakukan *repair* (Rp)

MTTR = Lamanya waktu perbaikan (Jam)

2.10.3 *Scheduled Discard Task*

Scheduled discard task mencakup kegiatan penggantian komponen sebelum batasan usia tertentu, tidak tergantung pada kondisinya saat itu. Frekuensi pelaksanaan *scheduled discard task* ditentukan oleh suatu umur dimana komponen menunjukkan peningkatan yang cepat pada *conditional probability of failure*.

Interval waktu perawatan yang digunakan untuk *scheduled discard task* adalah setengah dari *Mean Time to Failure* (MTTF) suatu komponen. MTTF komponen didapatkan dari data histori kerusakan

komponen tersebut. Rumus untuk mendapatkan nilai MTTF suatu komponen adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot F(t) dt \quad (2.14)$$

$$MTTF = - \int_0^{\infty} t \frac{dR}{dt} dt \quad (2.15)$$

$$MTTF = -tR(t)|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.16)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.17)$$

Keterangan :

R = *Reliability*

t = *time*

R(t) = *Reliability Function*

F(t) = *Cunulative Distribution Function*

Aktivitas perawatan *scheduled discard task* ini dapat digunakan jika suatu komponen memenuhi keadaan - keadaan sebagai berikut (Moubray, 1997):

- a. Terdapat unsur yang dapat diidentifikasi dimana suatu komponen menunjukkan peningkatan yang cepat pada *conditional probability of failure*.
- b. Sebagian besar komponen masih bisa bertahan dalam umur tersebut (semua komponen yang jika rusak memiliki konsekuensi keamanan atau lingkungan)

2.10.3 *Failure Finding Task*

Failure finding task merupakan salah satu aktivitas perawatan yang termasuk dalam kategori *default action*. *Failure finding task* dilakukan dengan memeriksa fungsi tersembunyi untuk mengetahui apakah fungsi sudah gagal. Aktivitas ini hampir sama dengan *on condition task*, akan tetapi *on-condition task* dilakukan sebelum sistem tersebut gagal

berfungsi. Menurut Moubray,(1997) interval waktu perawatan untuk *failure finding task* dihitung menggunakan persamaan 2.18 sebagai berikut:

$$FFI = 2 \times U_{t\text{ive}} \times M_{t\text{ive}} \quad (2.18)$$

Keterangan :

FFI = *Failure finding interval*

$U_{t\text{ive}}$ = *Unavailability* yang dikehendaki dari *protective device*

$M_{t\text{ive}}$ = MTBF dari *protective device*

2.10.4 Redesign dan No Scheduled Maintenance

Redesign dan *no scheduled maintenance* merupakan aktivitas perawatan yang termasuk dalam kategori *default action*. Interval waktu perawatan untuk *redesign* dan *no scheduled maintenance* adalah pada saat suatu komponen gagal berfungsi. Artinya, aktivitas perawatan dan penggantian baru dilakukan ketika komponen tersebut telah rusak.

Aktivitas perawatan *redesign* dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu mengganti spesifikasi komponen, menambahkan komponen baru, mengganti mesin dengan tipe yang lain, atau melakukan relokasi mesin. Sedangkan aktivitas perawatan *no scheduled maintenance* dapat digunakan jika suatu komponen memenuhi keadaan - keadaan berikut:

1. Tidak dapat ditemukan *scheduled task* yang sesuai untuk *hidden function* dan *multiple failure* tidak memiliki konsekuensi keamanan dan lingkungan.
2. Biaya efektif (*cost effective*) yang dikeluarkan untuk kegiatan *preventive task* tidak dapat ditentukan baik untuk dampak operasional maupun non operasional.

2.11 Expert Judgment

Penilaian *Expert Judgment* adalah pertimbangan dari pendapat ahli atau pendapat orang yang berpengalaman untuk membantu menentukan kemungkinan-kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi pada LLC 40 Ton. Analisis keselamatan seringkali bergantung pada perkiraan manusia tentang kemungkinan kejadian tertentu. Untuk tujuan ini, pendapat para ahli diberi

bobot yang lebih besar daripada pendapat orang yang bukan ahlinya. Kombinasi penilaian dari beberapa ahli diberi bobot lebih besar daripada penilaian yang dibuat oleh satu orang ahli (Rae & Alexander, 2017). Menurut Skjong & Wentworth (2001) pakar adalah individu yang memiliki pengetahuan dan pengalaman tentang subjek, sistem, atau bidang tertentu. Identifikasi ahli merupakan bagian penting dalam proses penilaian ahli. Bukti berikut dapat digunakan sebagai kriteria untuk memilih *expert judgement* adalah sebagai berikut:

1. Berpengalaman dalam memberikan penilaian berdasarkan bukti keahlian seperti pelatihan, ijazah, jabatan, dan penghargaan serta banyak hal lainnya.
2. Memiliki pengetahuan terkait alat atau mesin beserta komponennya.
3. Kebersediaan dalam meluangkan waktu saat jam kerja untuk dimintai terkait objek penelitian.
4. Memiliki reputasi yang baik di perusahaan
5. Memiliki sifat netral/ketidakberpihakan serta mempunyai kualitas yang melekat seperti kepercayaan diri dan kemampuan beradaptasi.

Proses diskusi membawa pengaruh besar dalam keakuratan penilaian oleh pakar ahli, selain pemilihan kriteria *experts*. Proses diskusi perlu dilakukan *brainstorming* untuk mendapatkan pertimbangan dengan melibatkan pakar ahli, untuk mengidentifikasi analisis masalah, menentukan cara-cara penyelesaian masalah, dan pengusulan berbagai alternatif pemecah masalah dengan mempertimbangkan sumber daya yang tersedia. Oleh karena itu, terdapat beberapa hal yang dapat membuat *expert judgments* menjadi lebih akurat diantaranya yaitu (Rae & Alexander, 2017):

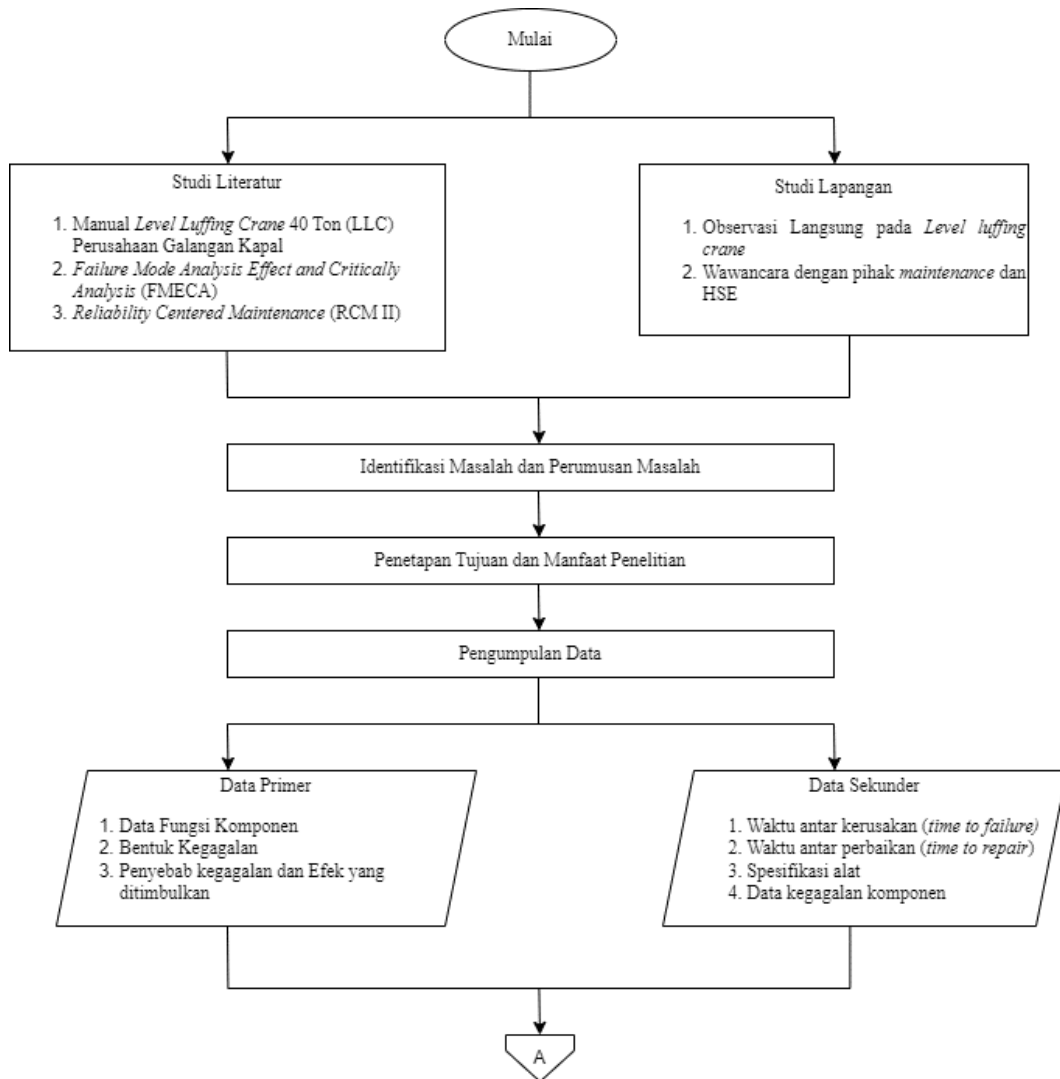
1. Cara pertanyaan diajukan mempengaruhi validitas ramalan *experts*.
2. Pelatihan *experts* mempengaruhi validitas prakiraan mereka.
3. Dekomposisi tugas mempengaruhi validitas *expert judgments*.

****halaman ini sengaja dikosongkan****

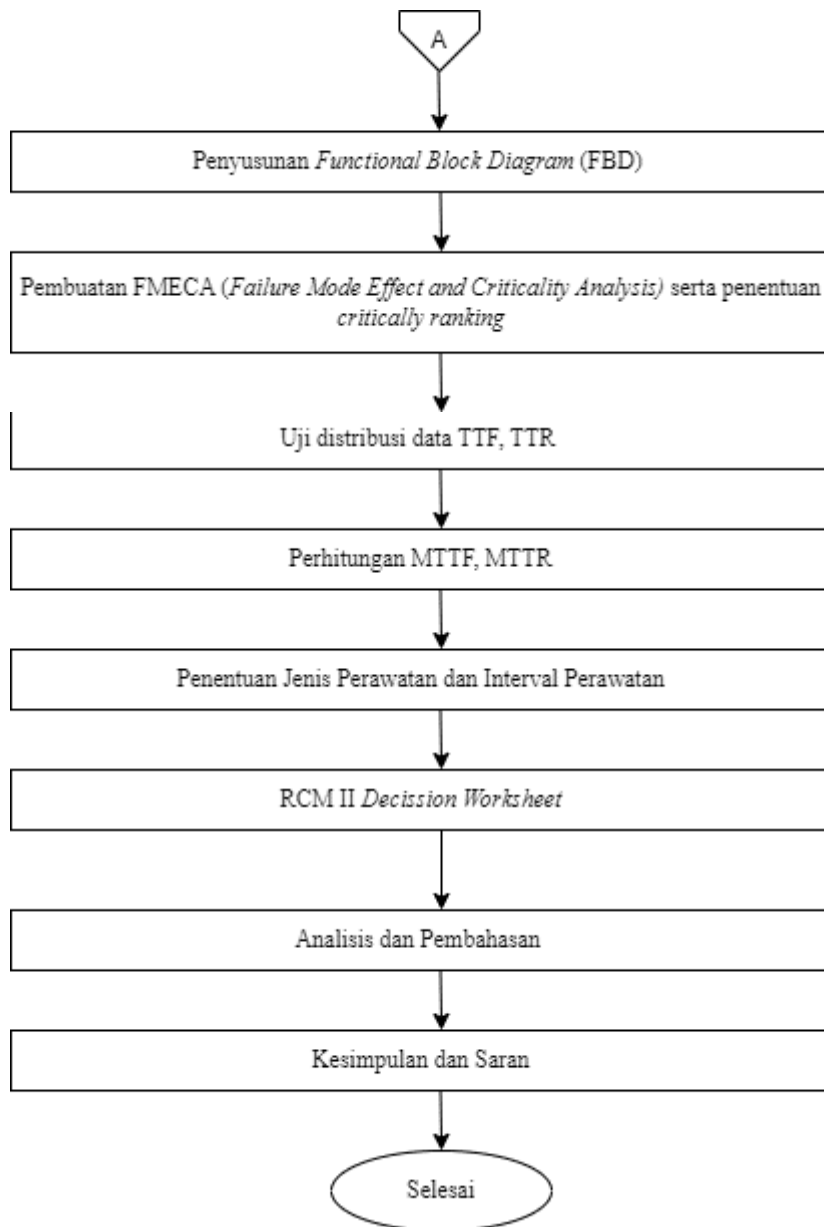
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian terdapat beberapa tahapan-tahapan yang saling berhubungan untuk menunjang proses pengerjaan penelitian tugas akhir dan menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir. Metodologi penelitian menghasilkan proses pengerjaan penelitian tugas akhir yang sistematis dan terstruktur. Penelitian ini membutuhkan diagram alir dimana untuk mempermudah penulis dan pembaca memahami proses pengerjaan penelitian. Langkah-langkah dan metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian LLC 40 Ton



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Lanjutan LLC 40 Ton

3.1 Tahap Identifikasi Awal

3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap untuk mencari teori dan literatur yang sesuai dengan topik penelitian dan yang berhubungan dengan rumusan masalah yang nantinya akan berfungsi untuk analisis data penelitian. Studi literatur yang digunakan pada penelitian ini adalah *Failure Mode Effects and Criticality Analysis* (FMECA), *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II), komponen *Level Luffing Crane* 40 Ton (LLC).

3.1.2 Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk mengamati objek yang akan diteliti dimana akan dilakukan pengamatan terhadap kondisi fisik dan aliran proses kerja mesin/peralatan LLC 40 Ton. Pengamatan dilakukan secara langsung di lapangan, sehingga didapatkan gambaran LLC 40 Ton secara detail mengenai bahaya-bahaya proses yang potensial terhadap risiko kerusakan atau kegagalan peralatan LLC 40 Ton.

3.1.3 Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi mengenai permasalahan yang terjadi pada LLC 40 Ton. Identifikasi dilakukan pada LLC 40 Ton dengan data kegagalan atau kerusakan yang mempunyai potensi berisiko tinggi. Selanjutnya hasil dari identifikasi digunakan untuk menentukan rumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat penelitian dan batasan masalah.

3.1.4 Perumusan Masalah, Tujuan, Manfaat dan *Batasan Masalah*

Tahap perumusan masalah merupakan langkah awal penelitian sehingga suatu permasalahan dapat diselesaikan. Selanjutnya, penetapan tujuan digunakan untuk menentukan apa yang ingin dicapai dalam penelitian. Penetapan manfaat bertujuan untuk mengetahui manfaat apa yang diperoleh dalam penelitian bagi pihak yang terkait, serta menentukan batasan masalah penelitian agar pembahasan dalam penelitian bisa terfokus dan tidak meluas.

3.2 Tahap Pengumpulan Data

3.2.1 Pengumpulan Data Primer

Pada tahap ini data primer yang diperoleh melalui wawancara langsung dengan staff *Maintenance*, *HSE Officer* meliputi data tentang keadaan potensi bahaya, penentuan *severity* dan *failure effect probability*, pemeriksaan *failure* pada *worksheet* FMECA dan permasalahan yang ada di lapangan.

3.2.2 Pengumpulan Data Sekunder

Pada tahap ini data sekunder yang dikumpulkan adalah berupa data *downtime* mesin LLC 40 Ton, data spesifikasi alat, data kegagalan atau kerusakan komponen selama rentang waktu tiga tahun.

3.3 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini berisi urutan Langkah-langkah mengelolah data yang telah dikaji selama penelitian, baik data primer maupun data sekunder. Tahapan pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.3.1 Functional Block Diagram (FBD)

Functional Block Diagram (FBD) digunakan untuk menggambarkan proses kerja mesin LLC 40 Ton dengan menunjukkan keterkaitan antar fungsi komponen penyusun sistem yang ditunjukkan secara *visual* dengan gambar blok serta garis panah sebagai aliran utama.

3.3.2 Pembuatan Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)

Dalam metode RCM II terdapat *information worksheet*. Pembuatan FMECA pada RCM II berfungsi untuk melakukan identifikasi kegagalan yang terjadi pada LLC 40 Ton dengan memberikan penilaian resiko menggunakan nilai *criticality number* dan diurutkan dari yang tertinggi ke rendah, untuk dilakukan prioritas perawatan dengan perhitungan menggunakan RCM II.

3.3.4 RCM II Decision Worksheet

Hasil dari perhitungan dan perankingan sebelumnya pada komponen yang memiliki risiko tertinggi dan mengalami kegagalan digunakan untuk menentukan tahapan RCM II *Decision Worksheet*. Dimana Tahapan ini digunakan untuk menentukan strategi *preventive maintenance* yang tepat sebagai berikut :

- *Failure Consequence*

Tindakan pada strategi ini bertujuan untuk menganalisis konsekuensi yang ditimbulkan karena terjadinya kegagalan fungsi. Dalam RCM II *failure consequence* dibedakan atas 4 jenis yakni *hidden failure*, *safety effect*, *environmental effect* dan *operational effect*.

- *Proactive Task and Default Action*

Proactive task merupakan tindakan yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*. *Decision Diagram* merupakan penentuan tindakan dalam menentukan strategi *Default Action* dengan memenuhi persyaratan *technically feasible* dan *worth doing* yang telah ditetapkan dalam RCM II. Strategi *Default Action* merupakan tindakan yang dilakukan apabila *proactive task* tidak dapat menanggulangi dampak kegagalan meliputi *scheduled failure finding*, *Combination Task*, *Redesain*.

- *Proposed Task*

Proposed Task merupakan tindakan yang menjelaskan terkait perencanaan yang digunakan sesuai dengan hasil *proactive task* maupun *default action*, terdiri dari *scheduled discard task*. Tindakan yang digunakan dalam melakukan pencatatan interval perawatan yang optimal dari masing-masing komponen menggunakan *Initial Interval*. Pada aktivitas perawatan masing-masing komponen perlu dicatatat siapakah yang berwenang dalam melakukan aktivitas perawatan tersebut dengan menggunakan tindakan *Can be done by*.

3.3.5 Interval Perawatan

Pada tahap ini dilakukan tahap uji distribusi terhadap waktu antar kegagalan (TTF) dan waktu lama perbaikan (TTR) dengan bantuan *software* pengolahan data statistik dan kemudian data tersebut akan diolah untuk menentukan interval waktu perawatan optimal ditinjau dari segi minimasi biaya (*cost*). Perhitungan yang akan dilakukan mencakup:

1. Perhitungan nilai *reliability* yang meliputi MTTF dan MTTR.
2. Perhitungan biaya perawatan (CM) dan biaya perbaikan (CR).
3. Perhitungan interval waktu perawatan yang optimal.

3.4 Analisis Data

Pada tahap ini akan dilakukan analisis dari beberapa pengolahan data yang telah dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan

bersama *expert judgement* adalah kegiatan penelitian pada saat menyusun FBD, pengisian FMECA pada kolom *item number*, *item function*, *potential failure mode*, dan *severity*, penyusunan *Worksheet RCM II* pada kolom *consequence evaluation* dan *proposed task*. Analisis kuantitatif dilakukan pada perhitungan *Critically Number*, dan perhitungan interval perawatan. Berdasarkan analisis tersebut dapat dilakukan penarikan kesimpulan yang akan menjawab dari beberapa rumusan masalah yang telah ditetapkan di awal penelitian.

3.5 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir yang dilakukan pada penelitian ini adalah membuat kesimpulan dari hasil identifikasi hingga proses analisa. Selanjutnya peneliti juga memberikan saran yang ditujukan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan metode atau objek agar dapat memberikan evaluasi dan melakukan pengembangan pada penelitian ini.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab berikut ini akan dilakukan hasil dan pembahasan terkait data primer dan sekunder yang telah diperoleh melalui proses wawancara serta data historis mesin LLC 40 Ton. Data-data yang telah diperoleh akan diolah untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan perkomponen dan menentukan komponen kritis menggunakan metode FMECA. Selanjutnya, dilakukan penentuan kegiatan perawatan serta jenis perawatan yang sesuai pada masing-masing komponen.

4.1 Gambaran Umum LLC 40 Ton

Setiap *crane* memiliki spesifikasi yang berbeda-beda. Berikut data spesifikasi LLC 40 Ton yang dapat dilihat pada tabel 4.1 :

1. Nama Pemilik : Perusahaan Galangan Kapal
2. Jenis Pesawat Angkat : *Level Luffing Crane*
3. Pabrik Pembuat : MAN Takraf Fordertechnik Germany
4. Merk/ Type : MAN GHH
5. Tahun Pembuatan : 1992
6. No. Seri/ No. Unit : 963-4-003300
7. Kapasitas Angkat : 40 Ton

Tabel 4. 1 Spesifikasi Level Luffing Crane 40 Ton

<i>Level Luffing Crane 40 Ton</i>	
<i>Capacity main hoist</i>	40 ton from 14 m to 24 m 20 ton to 40 m
<i>Radius main hoist</i>	Max : 40 m Min : 14 m
<i>Height of hook</i>	Max radius : 40 m <i>above top of rail</i> Min radius : 40 m <i>above top of rail</i>
<i>Lowering of hook</i>	10 m
<i>Height of jib pivot point</i>	22 m
<i>Distance of rail centres</i>	9 m
<i>Level Luffing Crane 40 Ton</i>	
<i>Corner distance</i>	12 m
<i>Clear portal height</i>	7 m
<i>Wheels/ corner</i>	8

Tabel 4. 1 Spesifikasi Level Luffing Crane 40 Ton

Level Luffing Crane 40 Ton	
<i>Wheel diameter</i>	630 mm
Operating speeds	
<i>Hoisting</i>	10 m/min
<i>Luffing</i>	20 m/min
<i>Slewing</i>	0,33 rpm
<i>Travelling</i>	35 m/min
Motor output	
<i>Main hoist drive</i>	90 kw/ 1270 rpm
<i>Luffing drive</i>	55 kw/ 1500 rpm
<i>Slewing drive</i>	2 x 11 kw/ 1420 rpm
<i>Travelling drive</i>	16 x 3 kw/ 1465 rpm
Weights	
<i>Weight of crane</i>	200 ton
<i>Counterweight</i>	85 ton
<i>Central ballast</i>	120 ton
<i>Service weight of crane</i>	405 ton
<i>Corner pressure in service max.</i>	1686 kN (at seismic condition 2530 kN)
<i>Wheel pressure max.</i>	211 Kn (316 Kn)
<i>Crane rail</i>	65 mm width of rail head

Sumber: Perusahaan Galangan Kapal, 2022

Berdasarkan tabel 4.1 diketahui bahwa spesifikasi dari LLC 40 ton tersebut merupakan produksi MAN GHH dengan pabrik pembuat MAN Takraf Fordertechnik Germany yang dibuat pada tahun 1992. LLC 40 ton memiliki Panjang *hook* 40 meter dan memiliki kapasitas angkat maksimal 40 ton.

4.2 Fungsi Komponen LLC 40 Ton

Komponen LLC 40 ton didapatkan melalui pengumpulan data sekunder perusahaan dan proses wawancara dengan pihak operator serta *maintenance*. Data komponen LLC 40 ton yang didapatkan akan dimasukkan kedalam tabel FMECA untuk dilakukan analisis mode kegagalan serta efek dan penyebab kegagalan. Hasil dari kegiatan ini diperoleh daftar komponen dan fungsi komponen LLC 40 ton yang dapat dilihat pada tabel 4.2 :

Tabel 4. 2 Daftar fungsi komponen LLC 40 ton

No.	Komponen	Fungsi
1.	Panel Listrik	Sebagai sumber tenaga listrik untuk LLC
2.	<i>Transformator Shut Down</i>	Mengubah tegangan listrik
3.	<i>Busbar</i>	Menyalurkan Tegangan ke 4 Sistem
4.	PLC	Pengatur kerja LLC
5.	<i>Switch on/off</i>	Menyalakan/mematikan LLC
6.	<i>Motor Hoist</i>	Sebagai Penggerak <i>gearbox hoist</i>
7.	<i>Motor Luffing</i>	Sebagai penggerak <i>gearbox luffing</i>
8.	<i>Motor Slewing</i>	Sebagai penggerak <i>gearbox slewing</i>
9.	<i>Motor Travelling</i>	Sebagai penggerak <i>gearbox travelling</i>
10.	<i>Hoist Gearbox</i>	Naik turun <i>sling/block (Hook)</i>
11.	<i>Luffing Gearbox</i>	Naik turun jib/lengan
12.	<i>Slewing Gearbox</i>	Putar kanan/kiri <i>crane</i>
13.	<i>Travelling Gearbox</i>	Bergerak maju mundur <i>crane</i>
14.	<i>Hoist Brake</i>	Menghentikan naik turun <i>sling/block (Hook)</i>
15.	<i>Luffing Brake</i>	Menghentikan naik turun jib/lengan
16.	<i>Slewing Brake</i>	Menghentikan putar kanan/kiri <i>crane</i>
17.	<i>Traveling Drive Brake</i>	Menghentikan <i>crane</i> maju/mundur
18.	<i>Drum Sling</i>	Rangkaian tempat rol untuk tali kawat/ <i>sling</i>
19.	<i>Pulley Block</i>	Penggerak alur <i>sling</i>
20.	<i>Wire Rope</i>	Alat bantu atau tali kawat baja untuk mengangkat

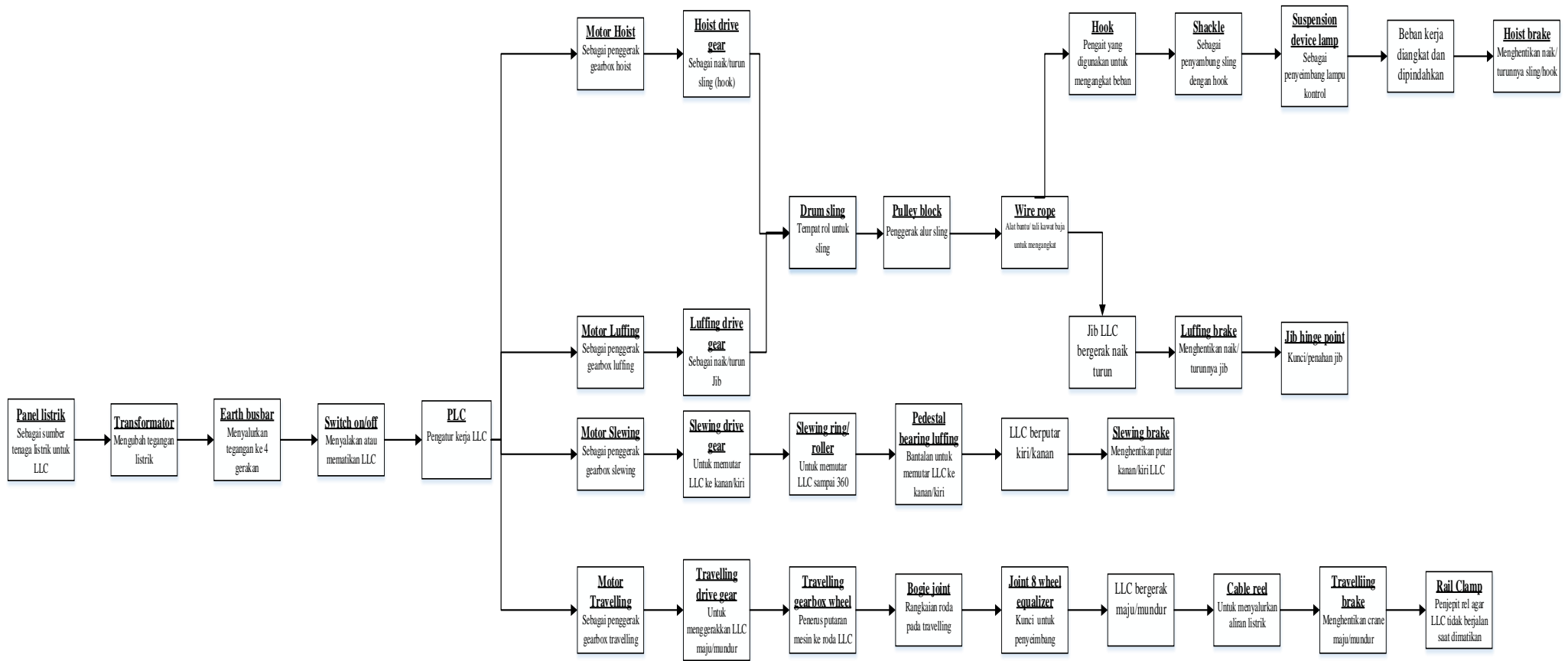
Tabel 4. 2 Daftar fungsi komponen LLC 40 ton

No.	Komponen	Fungsi
21.	<i>Hook Block</i>	Pengait yang digunakan untuk alat bantu mengangkat beban
22.	<i>Suspension device lamp</i>	Suspension atau penyeimbang lampu kontrol
23.	<i>Jib hinge point</i>	Kunci atau penahan jib/lengan
24.	<i>Slewing ring bearing roller bearing</i>	Untuk memutar kanan/kiri 360°
25.	<i>Pedestal bearing luffing</i>	Bantalan untuk memutar LLC ke kanan/kiri
26.	<i>Cable rool</i>	Kabel power untuk menyalurkan aliran listrik
27.	<i>Joint 8 wheel equalizer</i>	Kunci untuk penyeimbang
28.	<i>Travelling gearbox wheel</i>	Penerus putaran mesin ke roda LLC
29.	<i>Bogie Joint</i>	Rangkaian roda pada <i>travelling</i>
30.	<i>Rail Clamps</i>	Penjepit rel agar <i>crane</i> tidak berjalan saat dimatikan

Sumber: Perusahaan Galangan Kapal, 2023

4.3 Functional Block Diagram (FBD) LLC 40 Ton

Pada tahap ini akan digambarkan *Functional block diagram* (FBD) untuk menunjukkan proses kerja LLC 40 ton. Pembuatan FBD ini didasarkan melalui proses wawancara dengan operator LLC dan *manual book*. FBD LLC 40 ton dapat dilihat pada gambar 4.1 dan lampiran 4. FBD digambarkan dengan simbol persegi menunjukkan fungsi dari komponen, sedangkan simbol anak panah menjelaskan aliran proses sistem.



Gambar 4. 1 Functional Block Diagram LLC 40 ton

Bedasarkan gambar 4.1 menunjukkan bahwa proses kerja LLC berawal dari pergerakan sistem yang dialiri sumber energi dari PLN yaitu dengan menyalurkan arus listrik ke *transformator shut down* melalui *cable reel*, penggunaan *cable reel* yaitu sebagai gulungan kabel dari panel listrik. Penggunaan *transformator shut down* sendiri mengubah tegangan yang disalurkan PLN dari 6 kV menjadi 380 V perubahan tersebut berfungsi agar arus ampere yang dihasilkan menjadi lebih besar sehingga dapat dibagikan ke sistem *hoisting* serta penampang atau kabel yang digunakan berukuran lebih kecil dan aman. Selanjutnya *earth busbar* menyalurkan tegangan 380 V ke empat sistem yaitu *hoisting*, *luffing*, *slewing*, dan *travelling*. Operator menekan tombol *switch on/off* untuk menyalakan LLC yang berada di dalam *operator cabin*. Ketika dinyalakan melalui tombol power, PLC akan menstabilkan tegangan listrik dan mengubah arus AC ke arus DC untuk menggerakkan *motor hoist*, *motor luffing*, *motor slewing*, *motor travelling*.

Setelah tegangan stabil operator akan menjalankan *handle* kearah kiri atau kanan sesuai dengan aba-aba *rigger*. *Handle* yang digerakan akan menyalurkan listrik dari panel listrik ke *motor hoist* sehingga dapat menggerakkan *hoist gearbox*. *Hoist gearbox* yang digulung pada *drum sling* kemudian akan bergerak melalui *pulley block* sebagai alur jalannya *sling* menurunkan *hook* kearah beban kerja. Beban kerja akan dikaitkan pada *hook*. Setelah dikaitkan, maka *rigger* akan memberikan tanda kepada operator untuk memindahkan material yang diangkat. Proses pengangkatan material akan dibantu dengan menggunakan *suspension device lamp* untuk penerangan. Penghentian proses pengangkatan material menggunakan *hoist brake*.

Handle yang digerakan akan menyalurkan listrik dari panel listrik ke *motor luffing* sehingga dapat menggerakkan *luffing gearbox*. *Luffing gearbox* kemudian menggerakkan *drum sling luffing*. *Sling luffing* pada *drum sling* akan bergerak melalui *pulley* sehingga dapat menggerakkan *jib*/lengan naik atau turun sesuai dengan kontrol yang dilakukan pada *operator cabin*. *Luffing brake* digunakan untuk menghentikan naik turunnya *jib*. Untuk menghindari *jib*/lengan terjatuh maka diberikan *jib hinge point*.

Handle yang digerakan akan menyalurkan listrik dari panel listrik ke *motor slewing* sehingga dapat menggerakkan *slewing gearbox*. *Slewing gearbox* akan menggerakkan *slewing ring/roller* akan digunakan memutar LLC ke kanan atau kiri. Untuk menghentikan LLC berputar kanan atau kiri menggunakan *Slewing brake*.

Handle yang digerakan akan menyalurkan listrik dari panel listrik ke *motor travelling* sehingga dapat menggerakkan *travelling gearbox*. *travelling gearbox* kemudian dapat menggerakkan *drive axle* sehingga roda-roda bergerak dan LLC dapat bergerak maju atau mundur. *Joint 8 wheel equalizer* yang berada pada roda digunakan sebagai pengunci atau penyeimbang roda. Untuk menghentikan LLC bergerak maju atau mundur digunakan *travelling brake*.

4.4 Failure Mode Effect Analysis and Criticality analysis (FMECA)

Failure Mode Effect Analysis and Criticality analysis (FMECA) pada penelitian ini dilakukan pada LLC 40 ton. FMECA terdiri dari gabungan dua analisis yang terpisah yaitu, FMEA dan *Criticality analysis*. Metode pertama yang harus dilakukan sebelum dilakukan perhitungan *Criticality analysis*, yaitu melakukan analisis dengan menggunakan metode FMEA. Metode FMEA dilakukan untuk mengetahui batasan sistem, fungsi utama sistem, mode operasi sistem, mekanisme kegagalan, efek yang ditimbulkan dan mengidentifikasi potensi kegagalan yang timbul untuk mengurangi resiko kegagalan proses produksi. Metode *criticality analysis* berfungsi untuk mengidentifikasi masalah terkait keandalan dan keparahan suatu komponen atau sistem. Metode FMEA dan *Criticality Analysis* ditentukan dengan cara *brainstorming* bersama *expert*.

Tahapan pertama adalah melakukan identifikasi kegagalan serta efek kegagalan yang ditimbulkan pada komponen LLC 40 ton menggunakan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). Beberapa efek kegagalan yang ditimbulkan pada fungsi komponen adalah terpengaruhnya faktor keselamatan, operasi, dan lingkungan. Pada subbab sebelumnya telah dilakukan analisis menggunakan metode FBD yaitu dengan menunjukkan proses alur kerja setiap komponen LLC 40 ton, setelah itu seluruh komponen LLC 40 ton dimasukkan kedalam lembar kerja FMEA untuk dianalisis mode kegagalan, penyebab mode kegagalan, dampak yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut dan pengendaliannya yang dirangkum pada tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Failure Mode Effect Analysis LLC 40 Ton

RCM II		Sistem : Alat Angkat-Angkut Produksi				
Decision		Sub sistem : LLC 40 ton				
Worksheet		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal				
No	Part	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Mechanisme	Failure Effect
1.	<i>Motor Hoist</i>	Menggerakkan <i>hoist gearbox</i>	<i>Motor hoist</i> rusak atau tidak berfungsi	Motor hoist terbakar <i>Bearing rusak</i>	<i>Blower</i> pendingin motor tidak berfungsi <i>Motor hoist</i> terkena beban melebihi kapasitas	Tidak ada sumber tenaga penggerak untuk mengangkat benda kerja
2.	<i>Hoist Gearbox</i>	Menggerakkan naik/turun <i>sling(hook)</i>	Menurunkan efisiensi gear dan menurunkan kinerja LLC	Kerusakan pada <i>seal gear</i>	Terjadi gesekan yang terlalu tinggi	<i>Hoist</i> pada LLC tidak dapat menggerakkan <i>drum sling hoist</i>

Tabel 4.3 merupakan contoh dari hasil identifikasi bahaya pada LLC 40 ton. Hasil rekap tabel identifikasi bahaya seluruh komponen pada LLC 40 ton dapat dilihat pada lampiran 4. Menurut dari hasil identifikasi bahaya pada LLC 40 ton pada tabel lampiran 4, dapat diketahui bahwa terdapat 30 komponen yang mengalami kegagalan. Pada 30 komponen yang mengalami kegagalan dapat diketahui jumlah mode kegagalan sejumlah 34 mode kegagalan yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan atau kerusakan pada LLC 40 ton. Adapun beberapa komponen yang menimbulkan efek kegagalan pada kinerja sistem adalah sebagai berikut :

- *Motor hoist* berfungsi sebagai penggerak *hoist gearbox* dimana dapat menggerakkan naik turunnya *sling* dan *hook*. Apabila terjadi kegagalan maka LLC 40 ton tidak dapat mengangkat beban kerja untuk proses produksi, bentuk kegagalan *motor hoist* dikarenakan lilitan pada *motor hoist* terbakar sebab *blower* pendingin motor tidak berfungsi. Kerusakan pada motor juga dapat disebabkan karena *bearing* motor rusak dikarenakan mengangkat beban yang berlebih dan terdapat kotoran/debu pada area *bearing*. Efek kegagalan berdampak pada aspek lingkungan dan operasional, yaitu panas berlebih, kebisingan dan terhambatnya proses produksi.
- *Hoist gearbox* berfungsi menerima daya dari *motor hoist* dan mentransferkan ke bagian lain dari mekanisme penggerak *hoist*. Apabila terjadi kegagalan maka *gear* tidak dapat mengubah gerakan putaran dari motor menjadi gerakan vertikal yang diperlukan untuk mengangkat dan menurunkan beban kerja. Kerusakan pada *hoist gearbox* dapat disebabkan karena gesekan yang terlalu sering sehingga menyebabkan kerusakan *seal* pada *gear*.
- *Hoist Brake* berfungsi menghentikan gerak naik/turun *Sling(hook)*. Apabila terjadi kegagalan maka proses penghentian pada gerakan *hoisting* tidak dapat dilakukan. Kerusakan pada *Hoist Brake* disebabkan oleh usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan

- rem yang mendadak sehingga kampas rem menjadi aus. Efek kegagalan menyebabkan operasional LLC tidak dapat dihentikan.
- Panel listrik berfungsi sebagai sebagai sumber penyalur tenaga listrik untuk LLC 40 ton. Apabila terjadi kegagalan maka panel listrik tidak dapat menyalurkan tegangan listrik. Kerusakan pada panel listrik dikarenakan adanya arus berlebih yang mengalir sehingga memicu korsleting listrik atau short circuit pada komponen dalam panel listrik. Efek kegagalan menyebabkan adanya potensi kebakaran pada panel sehingga suplai tegangan listrik untuk LLC 40 ton terhenti.
 - Transformator berfungsi merubah tegangan listrik dari panel listrik. Apabila terjadi kegagalan maka tegangan listrik tinggi dari panel listrik tidak dapat diturunkan. Kerusakan pada trafo disebabkan kelebihan beban pada *output* trafo yang dapat menyebabkan terbakarnya gulungan kumparan atau inti trafo. Efek kegagalan menyebabkan kerusakan MCB pada output trafo.
 - Busbar berfungsi membagi tegangan listrik ke keseluruhan motor pada LLC 40 ton. Apabila terjadi kegagalan maka tegangan listrik yang sudah diturunkan tidak dapat dialirkan ke sistem motor. Kerusakan pada busbar disebabkan oleh beban arus listrik yang berlebihan dimana hal ini dapat menimbulkan gangguan pada motor yang terhubung ke busbar. Efek kegagalan menyebabkan gangguan arus listrik yang tidak terkendali atau lonjakan tegangan.
 - PLC berfungsi untuk mengontrol sistem kerja gerakan LLC 40 ton. Apabila terjadi kegagalan maka program LLC 40 ton tidak berjalan. Kerusakan pada PLC disebabkan oleh kabel dalam komunikasi profibus putus. Efek kegagalan menyebabkan koneksi antar perangkat dalam jaringan profibus terputus.
 - Switch on/off berfungsi untuk menyalakan atau menonaktifkan LLC. Apabila terjadi kegagalan maka LLC 40 ton tidak dapat beroperasi. Kerusakan pada switch on/off disebabkan oleh pemakaian yang terlalu lama sehingga komponen internal mengalami aus yang berakibat tombol tidak dapat berfungsi atau rusak.

- Motor *Slewing* berfungsi sebagai penggerak *slewing gearbox*. Apabila terjadi kegagalan maka LLC 40 ton tidak dapat mengangkut beban kerja untuk proses produksi. Bentuk kegagalan motor *slewing* dikarenakan lilitan pada motor *slewing* terbakar sebab *blower* pendingin motor tidak berfungsi. Kerusakan pada motor juga dapat disebabkan karena *bearing* motor rusak dikarenakan pengangkatan beban yang berlebih dan terdapat kotoran/debu pada area *bearing*. Efek kegagalan berdampak pada aspek lingkungan dan operasional, yaitu panas berlebih, kebisingan dan terhambatnya proses produksi.
- *Slewing Gearbox* berfungsi mengontrol dan mengatur gerak memutar *Jib*. Apabila terjadi kegagalan maka efisiensi gear akan menurun yang berdampak pada keseluruhan kinerja LLC 40 ton. Kerusakan pada *Slewing Gearbox* disebabkan oleh adanya gesekan yang terlalu keras dengan intensitas tinggi sehingga memicu kerusakan pada *Seal*. Efek kegagalan menyebabkan LLC tidak dapat bergerak memutar dalam pengoperasiannya.
- *Slewing Brake* berfungsi menghentikan gerak memutar LLC. Apabila terjadi kegagalan maka proses penghentian pada gerakan *slewing* tidak dapat dilakukan. Kerusakan pada *Slewing Brake* disebabkan oleh usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan rem yang mendadak sehingga kampas rem menjadi aus. Efek kegagalan menyebabkan operasional LLC tidak dapat dihentikan.
- *Pulley block* berfungsi sebagai penggerak alur sling dimana *pulley* dapat memperpanjang jangkauan LLC serta menyesuaikan Panjang jangkauan dari sling. Apabila terjadi kegagalan maka dapat menyebabkan tali baja/*wire rope* mengalami penurunan fungsi menjadi cepat aus/rantas sehingga mengurangi kemampuan tali baja untuk melakukan pengangkatan yang aman. Kerusakan pada *pulley* disebabkan karena terjadi gesekan/ketegangan tali baja yang tidak sesuai serta kurangnya perawatan dan pemeliharaan rutin.
- *Drum Sling* berfungsi sebagai tempat rol untuk tali kawat/sling. Apabila terjadi kegagalan maka *drum sling* tidak dapat berfungsi

untuk memutar *sling*. Kerusakan pada *drums sling* disebabkan oleh beban berlebih atau penggunaan kabel *sling* yang tidak sesuai dengan kapasitasnya. Efek kegagalan menyebabkan kerusakan pada gulungan *wire rope*.

- *Wire Rope* berfungsi sebagai alat bantu atau tali kawat baja untuk mengangkat beban kerja. Apabila terjadi kegagalan maka *wire rope* tidak dapat mengangkat beban sesuai dengan kapasitasnya. Kerusakan pada *wire rope* disebabkan oleh pengangkatan beban berlebih serta tingginya intensitas gesekan sehingga *wire rope* rontas. Efek kegagalan menyebabkan kekuatan *wire rope* berkurang dan berpotensi putus.
- Motor *Luffing* berfungsi sebagai penggerak *luffing gearbox*. Apabila terjadi kegagalan maka LLC 40 ton tidak dapat mengangkut beban kerja untuk proses produksi. Bentuk kegagalan motor *travelling* dikarenakan lilitan pada motor *travelling* terbakar sebab *blower* pendingin motor tidak berfungsi. Kerusakan pada motor juga dapat disebabkan karena *bearing* motor rusak dikarenakan pengangkatan beban yang berlebih dan terdapat kotoran/debu pada area *bearing*. Efek kegagalan berdampak pada aspek lingkungan dan operasional, yaitu panas berlebih, kebisingan dan terhambatnya proses produksi.
- *Luffing Gearbox* berfungsi mengontrol dan mengatur gerak vertikal *Jib*. Apabila terjadi kegagalan maka efisiensi gear akan menurun yang berdampak pada kemampuan angkat dan keseluruhan kinerja LLC 40 ton. Kerusakan pada *Luffing Gearbox* disebabkan oleh adanya gesekan yang terlalu keras dengan intensitas tinggi sehingga memicu kerusakan pada *Seal*. Efek kegagalan menyebabkan *Luffing* pada LLC tidak dapat menggerakkan *drum sling luffing* sehingga *luffing* tidak dapat bergerak naik turun.
- *Luffing Brake* berfungsi menghentikan gerak naik/turun *Jib*. Apabila terjadi kegagalan maka proses penghentian pada gerakan *luffing* tidak dapat dilakukan. Kerusakan pada *Luffing Brake* disebabkan oleh usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan rem yang mendadak

sehingga kampas rem menjadi aus. Efek kegagalan menyebabkan operasional LLC tidak dapat dihentikan.

- *Suspension Device Lamp* berfungsi sebagai penyeimbang lampu kontrol. Apabila terjadi kegagalan maka lampu tidak dapat menyala. Kerusakan pada *suspension device lamp* disebabkan oleh pemakaian yang berlebihan sehingga melampaui batas *lifetime*. Efek kegagalan menyebabkan hilangnya penerangan saat proses angkat- angkut.
- Cable Reel berfungsi sebagai penggulung kabel saat LLC beroperasi. Apabila terjadi kegagalan maka *cable reel* tidak dapat digulung. Kerusakan pada *cable reel* disebabkan oleh kurangnya perawatan dan pemeliharaan sehingga kabel terjepit, macet, atau terlilit secara tidak benar. Efek kegagalan menyebabkan gangguan dalam operasional LLC 40 ton.
- Rail Clamps berfungsi sebagai penjepit rel agar LLC tidak dapat bergerak maju mundur. Apabila terjadi kegagalan maka *rail clamps* dapat bergerak diluar kontrol. Kerusakan pada *cable reel* disebabkan oleh Baut yang digunakan sudah *lifetime* sehingga penguncian tidak maksimal. Efek kegagalan menyebabkan adanya potensi LLC 40 ton untuk bergerak walaupun saat tidak dioperasikan.
- *Joint 8 Wheel Equalizer* berfungsi sebagai kunci untuk penyeimbang pada LLC 40 ton. Apabila terjadi kegagalan maka roda akan goyah saat adanya pergerakan maju mundur LLC. Kerusakan pada *joint 8 wheel equalizer* disebabkan oleh baut yang digunakan sudah *lifetime* sehingga penguncian tidak maksimal. Efek kegagalan menyebabkan adanya potensi roda pada LLC 40 ton terlepas.
- *Hook Block* berfungsi sebagai Sebagai pengait untuk proses angkat- angkut pada LLC 40 ton. Kerusakan pada *hook block* disebabkan oleh penggunaan yang melebihi umur pakai. Efek kegagalan menyebabkan kekuatan pengait untuk mengangkat beban kerja berkurang
- *Slewing ring/roller* berfungsi untuk memutar LLC 40 ton. Apabila terjadi kegagalan maka *slewing ring/roller* tidak dapat memutar LLC. Kerusakan pada *slewing ring/roller* disebabkan perpindahan gerakan

slewing yang mendadak sehingga menyebabkan kerusakan pada system kontrol. Efek kegagalan menyebabkan LLC tidak dapat melakukan gerakan memutar.

- *Pedestal Bearing Luffing* berfungsi sebagai bantalan untuk memutar LLC 40 ton. Kerusakan pada *pedestal bearing luffin* disebabkan kurangnya perawatan dan pelumasan sehingga menghambat gerakan *luffing crane*. Efek kegagalan menyebabkan LLC tidak dapat melakukan gerakan memutar.
- Motor *Travelling* berfungsi sebagai penggerak *travelling gearbox* dimana dapat menggerakkan naik turunnya *sling* dan *hook*. Apabila terjadi kegagalan maka LLC 40 ton tidak dapat mengangkat beban kerja untuk proses produksi. Bentuk kegagalan motor *travelling* dikarenakan lilitan pada motor *travelling* terbakar sebab *blower* pendingin motor tidak berfungsi. Kerusakan pada motor juga dapat disebabkan karena *bearing* motor rusak dikarenakan pengangkatan beban yang berlebih dan terdapat kotoran/debu pada area *bearing*. Efek kegagalan berdampak pada aspek lingkungan dan operasional, yaitu panas berlebih, kebisingan dan terhambatnya proses produksi.
- *Travelling Gearbox* berfungsi mengontrol dan mengatur gerak maju mundur *Jib*. Apabila terjadi kegagalan maka efisiensi gear akan menurun yang berdampak pada keseluruhan kinerja LLC 40 ton. Kerusakan pada *Travelling Gearbox* disebabkan oleh adanya gesekan yang terlalu keras dengan intensitas tinggi sehingga memicu kerusakan pada *Seal*. Efek kegagalan menyebabkan LLC tidak dapat bergerak maju mundur dalam pengoperasiannya.
- *Travelling Brake* berfungsi menghentikan gerak maju mundur LLC. Apabila terjadi kegagalan maka proses penghentian pada gerakan *travelling* tidak dapat dilakukan. Kerusakan pada *travelling Brake* disebabkan oleh usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan rem yang mendadak sehingga kampas rem menjadi aus. Efek kegagalan menyebabkan operasional LLC tidak dapat dihentikan.

- *Jib Hinge Point* berfungsi sebagai kunci penahan *jib* atau lengan. Apabila terjadi kegagalan maka *jib hinge point* tidak dapat mengunci atau menahan lengan LLC. Kerusakan pada *jib hinge point* disebabkan baut yang digunakan sudah *lifetime* sehingga penguncian tidak maksimal. Efek kegagalan menyebabkan *Jib* goyah dan berpotensi untuk terjatuh.
- *Drive Axle* berfungsi sebagai poros penggerak yang mentransmisikan putaran mesin ke roda LLC. Apabila terjadi kegagalan maka *roda LLC* tidak dapat bergerak. Kerusakan pada *drive axle* disebabkan usia *drive axle* yang sudah *lifetime*. Efek kegagalan menyebabkan LLC tidak dapat melakukan gerakan maju mundur.
- *Bogie Joint* berfungsi memungkinkan terjadinya gerakan rotasi oleh roda. Apabila terjadi kegagalan maka *LLC* tidak dapat bergerak. Kerusakan pada *drive axle* disebabkan usia *wheel* yang sudah *lifetime*. Efek kegagalan menyebabkan berkurangnya keseimbangan LLC. Setelah dilakukan identifikasi bahaya maka Langkah selanjutnya adalah dilakukan perhitungan *criticality analysis*.

Tahapan kedua yaitu dilakukan perhitungan *criticality analysis*. *Criticality analysis* adalah suatu cara pengukuran terhadap efek dari mode kegagalan yang dapat terjadi pada suatu peralatan atau sistem, pada sisi keselamatan dan keberhasilan operasi. Metode ini dapat digunakan dalam menentukan ranking dari setiap potensi kegagalan untuk setiap komponen yang ada di sistem yang didasarkan pada *failure rate* dan *severity ranking*. Berikut merupakan salah satu contoh penentuan *criticality number* dan *criticality ranking* pada komponen *motor hoist* yang mengalami kegagalan fungsi:

- a. Nilai *Severity Class motor hoist* berada pada level 6 yaitu *moderate to high* dimana terdapat gangguan sehingga beberapa fungsi alat tidak bisa digunakan, dan membutuhkan waktu perbaikan cukup lama. Penentuan nilai *severity* ditentukan oleh *expert judgment*.
- b. Nilai *failure rate* (λ) merupakan jumlah kegagalan per satu juta jam. Pada komponen *motor hoist* dengan kegagalan fungsi *bearing* rusak

didapatkan jumlah kegagalan yaitu 5 pada data kegagalan, maka untuk mencari nilai *failure rate* dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{(\text{Jumlah kegagalan tiapkomponen})}{10^6 \text{ jam}} = \frac{5}{10^6} \\ = 0,000005/\text{jam}$$

Perhitungan nilai *failure rate* pada komponen *motor hoist* dengan kegagalan fungsi motor terbakar didapatkan jumlah kegagalan yaitu 3 pada data kegagalan, maka untuk mencari nilai *failure rate* dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{(\text{Jumlahkegagalan tiapkomponen})}{10^6 \text{ jam}} = \frac{3}{10^6} = 0,000003/\text{jam}$$

- c. Nilai *failure effect probability* (β) adalah 1 *actual loss*, karena efek kegagalan yang ditimbulkan mempengaruhi 100% fungsi alat.
- d. Nilai *failure mode ratio* (α) pada komponen *motor hoist* dengan kegagalan fungsi *bearing rusak*, dilakukan perhitungan dengan jumlah kegagalan tiap mode yang berjumlah 5 didapatkan dari data kegagalan dibagi dengan total kegagalan pada komponen *motor hoist* yaitu 8. Maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{\text{Jumlah kegagalan tiap mode}}{\text{Total jumlah kegagalan tiap komponen}} = \frac{5}{8} = 0,625$$

Perhitungan nilai *failure mode ratio* pada komponen *motor hoist* dengan kegagalan fungsi motor terbakar dilakukan perhitungan dengan jumlah kegagalan tiap mode yang berjumlah 3 didapatkan dari data kegagalan dibagi dengan total kegagalan pada komponen *motor hoist* yaitu 8. Maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{\text{Jumlah kegagalan tiap mode}}{\text{Total jumlah kegagalan tiap komponen}} = \frac{3}{8} = 0,375$$

- e. Nilai *operating time* (t) pada komponen LLC 40 Ton selama empat tahun adalah sebesar 11152,00 jam.
- f. Nilai *failure mode criticality* (Cm) pada komponen *motor hoist* dengan fungsi kegagalan *bearing rusak* sebagai berikut:

$$Cm = \beta \times \alpha \times \lambda \times t$$

$$Cm = 1 \times 0,625 \times 0,000005/\text{jam} \times 11152,00 \text{ jam}$$

$$Cm = 0,01255$$

Perhitungan *failure mode criticality* pada komponen *motor hoist* dengan fungsi kegagalan motor terbakar sebagai berikut:

$$Cm = \beta \times \alpha \times \lambda \times t$$

$$Cm = 1 \times 0,375 \times 0,000003/\text{jam} \times 11152,00 \text{ jam}$$

$$Cm = 0,03485$$

- g. Nilai *criticality number* (Cr) didapatkan dari penjumlahan nilai *failure mode criticality number* (Cm) pada setiap *failure mode*. Perhitungan didapatkan sebagai berikut:

$$Cr = \sum(Cm)$$

$$Cm = 0,01255 + 0,03485$$

$$Cr = 0,04740$$

- h. Nilai *criticality ranking* didapatkan melalui perkalian antara nilai *criticality number* dengan *severty*. Perhitungan *criticality ranking* pada komponen *motor hoist* sebagai berikut:

$$\text{Criticality ranking} = Cr \times S$$

$$Cr = 0,04740 \times 6$$

$$Cr = 0,28438$$

Setiap komponen dapat memiliki *failure mode* lebih dari satu, dimana nilai kekritisan suatu komponen (*item criticality number*) merupakan gabungan antara nilai *failure mode criticality number* setiap mode kegagalannya. Setelah perhitungan *criticality number* diatas didapatkan maka akan dilakukan penggabungan antara FMEA dengan *criticality analysis* yang telah dilakukan analisis sebelumnya. Hasil dari perhitungan *criticality analysis* pada komponen LLC 40 ton akan dimasukkan dalam lembar kerja FMECA yang dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Criticality Analysis LLC 40 Ton

<i>Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>												
System : Alat Angkat-Angkut Produksi							Date : 2023					
Part Name : LLC 40 Ton							Sheet : 1 of 14					
Reference Drawing : -							Complied by : Dena Eka Pujiwisanti Putri					
Mission : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal							Approved : (Staff Maintenance)					
<i>Item Number</i>	<i>Item FunctionID</i>	<i>Potential Failure Mode</i>	<i>Failure Mechanism</i>	<i>S</i>	<i>Failure Rate (λ)</i>	<i>Failure Effect Probability (β)</i>	<i>Failure Mode Ratio(α)</i>	<i>Operating Time (t)</i>	<i>Failure Mode Critically Number (Cm)</i>	<i>Item Critically Number (ΣCm)</i>	<i>Item Critically Ranking (Crxs)</i>	<i>Remarks</i>
1.	<u>Motor Hoist</u> Menggerakkan <i>hoist gearbox</i>	Terbakar	Blower pendingin motor tidak berfungsi	6	0,000003	0,375	1	11152,00	0,01255	0,04740	0,28438	
		Bearing rusak	Terkena beban melebihi kapasitas (overload)	6	0,000005	0,625	1	11152,00	0,03485			

Tabel 4.4 FMECA LLC 40 Ton komponen *motor hoist* merupakan salah satu contoh hasil perhitungan *criticality analysis* pada LLC 40 ton, hasil lengkap perhitungan *criticality analysis* menggunakan metode FMECA dapat dilihat pada lampiran 5. Berdasarkan tabel FMECA yang dapat dilihat pada lampiran 5, hasil perhitungan *criticality number* menghasilkan nilai kekritisitas tertinggi pada komponen *Motor Travelling* sebesar 0,07187, maka komponen tersebut akan dijadikan sebagai komponen prioritas utama dalam melakukan perbaikan nantinya

Pada tahap ini akan dilakukan pengklasifikasian prioritas perbaikan komponen menggunakan *criticality ranking*. *Criticality ranking* merupakan suatu metode yang digunakan untuk meranking/mengklasifikasikan *failure mode* pada komponen LLC 40 ton. Dimana memiliki tujuan untuk mengidentifikasi *failure mode* pada komponen yang memiliki dampak terbesar hingga dampak kecil, di keseluruhan sistem sehingga prioritas perbaikan dapat dilakukan secara efektif dan terfokus (Department of the US Army, 2006).

Pada penelitian ini penentuan rangking dilakukan dengan analisis kuantitatif dimana kelebihan analisis ini yaitu didasarkan pada data dan perhitungan matematis sehingga pengukuran yang didapatkan secara objektif. *Criticality ranking* sangat diperlukan, kemungkinan terdapat dua atau lebih *failure mode* yang memiliki nilai *criticality number* yang sama, sehingga peringkat kekritisitas diperlukan karena memperhitungkan nilai *severty* yang lebih tinggi saat terjadi *failure*. Rekap hasil dari *criticality number* dan *criticality ranking* dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Criticality Ranking LLC 40 Ton

No.	Part	Criticality Number (Cr)	Severity (S)	Criticality Ranking (Cr x S)
1	<i>Motor Travelling</i>	0,07187	6	0,43121
2	<i>Hoist Gearbox</i>	0,06691	5	0,40147
3	<i>Motor Hoist</i>	0,0474	6	0,28438
4	<i>Slewing Gearbox</i>	0,05576	5	0,2788
5	<i>Travelling Gearbox</i>	0,05576	5	0,2788

Tabel 4. 5 Criticality Ranking LLC 40 Ton

No.	Part	Criticality Number (Cr)	Severity (S)	Criticality Ranking (Cr x S)
6	Wire Rope	0,06691	4	0,26765
7	Motor Luffing	0,03983	6	0,23897
8	Luffing Gearbox	0,04461	5	0,22304
9	Travelling Brake	0,04461	5	0,22304
10	Motor Slewing	0,03346	6	0,20074
11	Boogie Joint	0,06691	3	0,20074
12	Panel Listrik	0,04461	4	0,17843
13	Drive Axle	0,04461	4	0,17843
14	Drum Sling	0,03346	5	0,16728
15	Pulley Block	0,03346	5	0,16728
16	PLC	0,04461	3	0,13382
17	Hoist Brake	0,03346	4	0,13382
18	Joint 8 wheel equalizer	0,03346	4	0,13382
19	Busbar	0,0223	5	0,11152
20	Luffing Brake	0,0223	5	0,11152
21	Slewing ring bearing roller	0,03346	3	0,10037
22	Transformator	0,0223	5	0,08922
23	Slewing Brake	0,0223	4	0,08922
24	Pedestal bearing luffing	0,0223	3	0,06691
25	Hook Block	0,01115	5	0,05576
26	Switch on/off	0,0223	2	0,04461
27	Suspension Device Lamp	0,0223	2	0,04461
28	Jib Hinge Point	0,01115	2	0,04461
29	Rail Clamps	0,01115	4	0,03346
30	Cable Reel	0,01115	3	0,0223

Bedasarkan tabel 4.5 perhitungan *criticality ranking* didapatkan bahwa komponen *Motor Travelling* memiliki nilai *criticality ranking* tertinggi yaitu sebesar 0,43121 dan komponen yang memiliki nilai *criticality ranking*

terendah yaitu *cable reel* sebesar 0,0223. Pada penelitian ini *Motor Travelling* memiliki nilai *criticality number* sebesar 0,07187 dan nilai *severity* yang bernilai 6. Hal tersebut dapat menandakan bahwa komponen ini memiliki frekuensi kegagalan yang sering serta *severity* yang cukup tinggi dan jumlah kegagalan yang besar, maka membutuhkan penanganan lebih dari komponen-komponen lainnya. Prinsip utama dalam manajemen perawatan adalah untuk menekan periode kerusakan hingga batas minimum, maka penggantian komponen berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting (Raharja, Suardika, & W., 2021). Sehingga perhitungan RCM II dilakukan pada seluruh komponen yang memiliki data kegagalan memenuhi nilai MTTF. Data kegagalan yang hanya satu tidak dapat dijadikan acuan untuk menghitung *Mean Time To Failure* (MTTF) karena MTTF membutuhkan setidaknya dua data kegagalan yang terjadi pada suatu sistem atau komponen. MTTF merupakan waktu rata-rata antara dua kegagalan yang terjadi pada waktu yang berbeda pada sistem yang sama (Cekyay & Ozekici, 2015). Maka dari itu didapatkan bahwa komponen yang tidak dilakukan perhitungan pada RCM II *decision worksheet* adalah *hook block, jib hinge point, rail clamps, cable reel*.

4.5 RCM II Decision Worksheet

Tahapan setelah dilakukan Identifikasi kegagalan LLC 40 ton dan dilakukan perhitungan komponen kritis dengan perhitungan *criticality analysis* sebelumnya. Maka tahapan selanjutnya adalah dilakukan analisis perencanaan perawatan dan perbaikan dengan menggunakan metode RCM II yaitu dengan mengisi tabel RCM II *Decision worksheet*. Komponen yang akan dilakukan perencanaan perawatan adalah komponen yang memiliki data kegagalan memenuhi nilai MTTF. Adapun komponen *hook block, jib hinge point, rail clamps, cable reel* tidak dilakukan perhitungan perencanaan perawatan karena data kegagalan tidak memenuhi nilai MTTF. Tabel 4.6 merupakan salah satu contoh dari hasil analisis RCM II *Decision worksheet* pada LLC 40 ton:

Tabel 4. 6 RCM II *Decision Worksheet Diagram* LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat Angkat-Angkut Produksi										Date : 10 Juni 2023			Sheet :		
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :		
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal													Of :		
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Initial Interval</i>	<i>Can be done by</i>			
No	Part	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
1	Motor Hoist	Menggerakkan hoist gearbox	Motor hoist rusak atau tidak berfungsi	Bearing rusak	Y	N	N	Y	N	Y	N				Scheduled restoration task *Melakukan pembersihan dan pelumasan pada bearing motor hoist menggunakan oli / grease	2221,54379	Maintenance Departement
				Terbakar	Y	N	N	Y	N	Y	N				Scheduled restoration task *Melakukan rewinding motor ke workshop	1374,76852	Maintenance Departement

Tabel 4.6 RCM II *Decision worksheet diagram* LLC 40 ton komponen *motor hoist* merupakan salah satu contoh hasil analisis perencanaan perawatan dan perbaikan pada *motor hoist*, hasil lengkap analisis perencanaan perawatan dan perbaikan pada *motor hoist* menggunakan metode RCM II *Decision worksheet diagram* dapat dilihat pada lampiran 6. Berdasarkan tabel 4.6 Menunjukkan hasil analisis dari *maintenance task* yang dapat digunakan sebagai acuan perawatan pada LLC 40 Ton. Penentuan didapatkan melalui diskusi bersama *expert judgment* perusahaan galangan kapal. Berikut penjelasan terkait RCM II *Decision worksheet* yang terdapat pada tabel 4.6 :

1. Kolom *information reference* merupakan kolom yang berisi informasi dimana menunjukkan *information worksheet* yang akan dianalisis, yaitu *failure* (F), *functional failure* (FF), dan *failure mode* (FM).
2. Kolom *consequence evaluation* merupakan kolom yang berisi tentang konsekuensi yang ditimbulkan karena terjadinya kegagalan fungsi seperti *Hidden failure* (H), *Safety consequence* (S), *Environmental consequence* (E), dan *Operational consequence* (O), dimana jika konsekuensi kegagalan memiliki dampak dapat diisi dengan yes (Y), dan apabila sebaliknya konsekuensi kegagalan tidak memiliki hubungan/dampak maka diisi dengan no (N).
3. Adapun contoh dalam *failure mode* LLC 40 Ton terdapat kegagalan pada *Motor hoist* dengan mode kegagalan *bearing* rusak dan motor terbakar. *Motor hoist* yang mengalami *failure mode bearing* rusak akan menyebabkan efisiensi operasional menurun. Maka didapatkan kegagalan memiliki konsekuensi *hidden failure* (H), dan *operational consequence* (O). Sehingga kegagalan pada *hoist gearbox* pada kolom *consequence evaluation decision worksheet* adalah yes (Y) untuk *hidden failure* (H) dan *operational consequence* (O). *Motor hoist* yang mengalami *failure mode* motor terbakar akan menyebabkan efisiensi operasional menurun. Maka didapatkan kegagalan memiliki konsekuensi *hidden failure* (H), dan *operational consequence* (O). Sehingga kegagalan pada *hoist gearbox* pada kolom *consequence evaluation decision worksheet* adalah yes (Y) untuk *hidden failure* (H) dan *operational consequence* (O).

4. Hasil analisis *consequence evaluation* digunakan sebagai penentuan strategi perawatan efektif pada strategi perawatan *proactive task* (kolom 9 sampai 11) dan *default task* (kolom 12 sampai 14). *Proactive task* merupakan Tindakan yang dilakukan sebelum terjadinya suatu kegagalan dimana bertujuan untuk mencegah, mengurangi, atau mendeteksi potensi kegagalan, sehingga meningkatkan keandalan dan kinerja suatu sistem. Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui *proactive task* sebagai berikut :

- a. Kolom 9 (H1/S1/O1/N1) dapat diisi dengan *yes* (Y) apabila *scheduled on-condition task* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai, dan dapat diisi *no* (N) apabila sebaliknya. *Scheduled on-condition task* merupakan Suatu kegiatan pemeliharaan yang mencakup kegiatan pengamatan atau pengukuran kinerja komponen LLC 40 Ton saat sedang beroperasi, sehingga dapat segera diketahui tanda-tanda kerusakan pada komponen tersebut. Kegiatan ini berhubungan dengan *condition monitoring* dan *preventive maintenance*. Berdasarkan lampiran 6 tentang RCM II *decision worksheet* dapat dilihat bahwa komponen yang memiliki jenis perawatan *scheduled on-condition task* adalah *Wire rope, Drive axle, Pulley block*.
- b. Kolom 10 (H2/S2/O2/N2) dapat diisi dengan *yes* (Y) apabila *scheduled restoration task* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai dalam mengantisipasi *failure mode*, dan dapat diisi *no* (N) apabila sebaliknya. *Scheduled restoration task* merupakan suatu tindakan pemeliharaan dengan melakukan perbaikan pada komponen dengan jadwal tertentu sebelum batas usia dari mesin, tanpa melihat kondisi komponen saat itu sehingga membuat sistem perlu diberhentikan sementara. Berdasarkan lampiran 6 tentang RCM II *decision worksheet* dapat dilihat bahwa komponen yang memiliki jenis perawatan *scheduled restoration task* adalah *motor travelling, motor hoist, motor luffing, motor travelling, boogie joint, panel listrik, joint & wheel equalizer*.
- c. Kolom 11 (H3/S3/O3/N3) dapat diisi dengan *yes* (Y) apabila *scheduled discard task* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai, dan dapat diisi *no* (N) apabila sebaliknya. *scheduled discard task* merupakan tindakan

pemeliharaan dengan mengganti komponen baru sebelum batas umur komponen tersebut, dimana hal tersebut sudah ditetapkan dengan interval waktu tertentu. Berdasarkan lampiran 6 tentang RCM II *decision worksheet* dapat dilihat bahwa komponen yang memiliki jenis perawatan *scheduled discard task* adalah *hoist gearbox, slewing gearbox, travelling gearbox, luffing gearbox, travelling brake, drum sling, PLC, hoist brake, busbar, luffing brake, slewing ring bearing roller, transformator, slewing brake, pedestal bearing luffing, switch on/off, suspension device lamp*.

Apabila pada kolom 9 sampai dengan 12 terisi *no* (N) maka dapat memilih salah satu *default action* yang sesuai pada kolom 12 sampai dengan kolom 14 pada masing-masing *failure mode* yang terjadi sebagai berikut :

- a. Kolom 12 (H4) dapat diisi dengan *yes* (Y) apabila *failure finding task* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai dalam mengantisipasi *failure mode*, dan dapat diisi *no* (N) apabila sebaliknya. *Failure finding task* adalah kegiatan yang dilakukan untuk mengidentifikasi atau memeriksa fungsi tersembunyi pada komponen untuk mengetahui apakah komponen tersebut telah mengalami kegagalan, dimana *failure finding task* bertujuan mendeteksi masalah sebelum menyebabkan konsekuensi yang lebih serius.
- b. Kolom 13 (H5) dapat diisi dengan *yes* (Y) apabila *redesign* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai dalam mengantisipasi *failure mode*, dan dapat diisi *no* (N) apabila sebaliknya. *Redesign* merupakan tindakan memodifikasi atau memperbaiki komponen untuk mengatasi kegagalan yang terjadi, dimana hal tersebut dapat mencakup perubahan komponen, metode pengendalian, dan prosedur kerja.
- c. Kolom (H6) dapat diisi dengan *yes* (Y) apabila *no scheduled maintenace* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai dalam mengantisipasi *failure mode*, dan dapat diisi *no* (N) apabila sebaliknya. *No scheduled maintenance* adalah tindakan yang tidak melakukan perawatan atau dengan kata lain menunggu sampai alat rusak baru diperbaiki. Hal ini

dilakukan karena konsekuensi kegagalan tidak berpengaruh pada hal apapun atau terjadi kegagalan yang secara spontan.

5. Hasil analisis yang diawali dari *information worksheet* pada RCM II *decision worksheet* dimana didapatkan melalui metode *failure mode effect analysis* (FMEA) yang menjadi hal mendasar. *Failure mode* didapatkan melalui data historis kegagalan pada komponen yang telah dianalisis menggunakan metode FMECA pada LLC 40 Ton kemudian diolah dan dihitung interval perawatannya.
6. Penentuan *maintenance task* menggunakan RCM II *decision worksheet* dilakukan diskusi dengan *expert judgment* untuk menentukan hasil keputusan.

4.6 Penentuan Distribusi Data

Pada tahap penentuan distribusi data kegagalan digunakan data kuantitatif yaitu berupa data *downtime* kegagalan 30 komponen pada periode tahun 2019, 2020, 2021, 2022 dimana data kegagalan tersebut telah diidentifikasi menggunakan FMECA. Data kuantitatif yang telah diperoleh pada lampiran 2 yaitu data selang waktu kerusakan (TTF) dan selang waktu perbaikan (TTR), data kuantitatif tersebut akan diolah dan diuji dengan bantuan *software* penentuan distribusi data untuk mengetahui jenis distribusi data kegagalan tersebut. Adapun 5 jenis distribusi statistik yang diantaranya yaitu *Weibull 2*, *Weibull 3*, *Normal*, *Lognormal*, dan *Eksponensial*. *Output* yang dihasilkan pada pengujian menggunakan *software* yaitu *alternative distribution* dengan urutan ranking, dimana distribusi dengan urutan ranking terbaik akan dipilih. Selain itu *output* dari *software* akan menghasilkan parameter distribusi yang digunakan untuk menentukan waktu selang antar kegagalan komponen (MTTF) dan waktu rata-rata perbaikan (MTTR).

Penentuan jenis distribusi menggunakan aplikasi distribusi data diketahui bahwa hasil untuk *time to failure* (TTF) pada 26 komponen LLC 40 Ton menghasilkan jenis distribusi *Weibull 2*, normal, dan *exponential 1* dengan parameter berupa beta (β), eta (η), mean (μ), std (σ), dan lambda (λ). Sedangkan untuk *time to repair* (TTR) pada 26 komponen LLC 40 Ton menghasilkan jenis distribusi *Weibull 2*, *weibull 3*, normal, dan lognormal dengan parameter beta

(β), eta (η), gamma (γ), mean (μ) dan std (σ). Parameter distribusi yang telah diperoleh akan digunakan dalam penentuan mean time to failure (MTTF) dan mean time to repair (MTTR). Berdasarkan tabel 4.7 hasil penentuan distribusi menggunakan *software* distribusi data, diketahui bahwa hasil untuk nilai *Time To Failure* (TTF) dan *time to failure* (TTR) pada 26 komponen LLC 40 Ton didapatkan hasil jenis distribusi sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Rekap Hasil Uji Pengujian Distribusi Komponen LLC 40 Ton

No	Part	Failure mode	Ket	Distribusi	Parameter					
					β	η	γ	μ	σ	λ
1.	Motor Hoist	Bearing rusak	TTF	Weibull 2	5,512	2302,146	–	–	–	–
			TTR	Weibull 2	11,108	0,707	–	–	0,051	–
		Terbakar	TTF	Weibull 2	3,820	5106,097	–	–	–	–
			TTR	Weibull 3	0,401	2,386	14,778	–	–	–

Tabel 4.7 rekap hasil uji pengujian distribusi LLC 40 ton komponen *motor hoist* merupakan salah satu contoh hasil uji pengujian distribusi komponen pada LLC 40 ton, hasil rekap uji pengujian distribusi pada LLC 40 ton menggunakan *software* uji distribusi dapat dilihat pada lampiran 7. Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa hasil pengujian distribusi LLC 40 Ton dengan menggunakan aplikasi uji distribusi didapatkan hasil pada data interval kerusakan (TTF) yaitu distribusi *Weibull 2* pada komponen *Motor travelling*, *Motor hoist*, *motor luffing*, *boogie joint*, *slewing gearbox*, *travelling gearbox*, *wire rope*, *luffing gearbox*, *travelling brake*, *motor slewing*, panel listrik, *drive axle*, *hoist brake*, *joint 8 wheels equalizer*. Jenis distribusi normal pada data TTF yaitu *hoist gearbox*. Jenis distribusi *Exponential 1* pada data TTF didapatkan PLC, *busbar*, *luffing brake*, *slewing ring bearing roller*, *pulley block*, *transformator*, *slewing brake*, *pedestal bearing luffing*, *switch on/off*, *suspension device lamp*. Hasil pendistribusian data pada selang lamanya perbaikan (TTR) menghasilkan jenis distribusi *Weibull 3* yaitu *hoist gearbox*, *motor hoist*, *luffing gearbox*, *motor slewing*, *boogie joint*, *joint 8 wheels equalizer*, *suspension device lamp*. Jenis distribusi *Weibull 2* pada data TTR menghasilkan *motor travelling*, *motor hoist*, *travelling gearbox*, *wire rope*, *motor luffing*, *travelling brake*, *motor slewing*, panel listrik, *drive axle*, PLC,

busbar, hoist brake, luffing brake, transformator, pedestal bearing luffing, switch on/off. Jenis distribusi normal pada data TTR yaitu *slewing gearbox, motor luffing, drum sling.* Jenis distribusi lognormal pada data TTR yaitu *slewing brake.*

4.7 Perhitungan MTTF dan MTTR

Parameter yang telah ditentukan dari jenis distribusi masing-masing, maka selanjutnya adalah pengukuran kuantitatif menggunakan data MTTF (*Mean Time to Failure*), MTTR (*Mean Time to Repair*). MTTF digunakan untuk menghitung skor *reliabilitas* subsistem kritis. MTTR digunakan untuk menentukan biaya pemeliharaan subsistem. Nilai gamma yang digunakan diambil dari lampiran 3, sedangkan nilai gamma yang tidak terdapat pada lampiran 3 dapat dihitung menggunakan kalkulator gamma. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan MTTF dan MTTR komponen LLC 40 ton pada *motor hoist.*

➤ *Motor Hoist*

a. *Bearing rusak*

$$1. \text{ MTTF} = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{Weibull 2}$$

$$\text{MTTF} = 2302,146 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{5,512}\right)$$

$$\text{MTTF} = 2302,146 \times \Gamma (1,18)$$

$$\text{MTTF} = 2302,146 \times 0,92372$$

$$\text{MTTF} = 2126,538183 \text{ jam}$$

$$2. \text{ MTTR} = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{Weibull 2}$$

$$\text{MTTR} = 0,707 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{11,108}\right)$$

$$\text{MTTR} = 0,707 \times \Gamma (1,09)$$

$$\text{MTTR} = 0,707 \times 0,95546$$

$$\text{MTTR} = 0,675330928 \text{ jam}$$

b. *Motor terbakar*

$$1. \text{ MTTF} = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{Weibull 2}$$

$$\text{MTTF} = 5106,097 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{3,820}\right)$$

$$MTTF = 5106,097 \times \Gamma (1,26)$$

$$MTTF = 5106,097 \times 0,9044$$

$$MTTF = 4617,954516 \text{ jam}$$

$$2. \text{ MTTR} = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{Weibull 3}$$

$$MTTR = 14,778 + 2,386 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{0,401}\right)$$

$$MTTR = 14,778 + 2,386 \times \Gamma (3,50)$$

$$MTTR = 14,778 + 2,386 \times 3,3234$$

$$MTTR = 22,70921186 \text{ jam}$$

Tabel 4.8 merupakan tabel hasil rekapitulasi perhitungan MTTF dan MTTR yang telah dihitung sesuai dengan rumus jenis distribusi dan parameter yang telah diketahui.

Tabel 4. 8 Hasil Rekapitulasi Perhitungan MTTF & MTTR

No	Part	Failure mode	Keterangan	MTTF (Jam)	MTTR (Jam)
1	Motor Travelling	Bearing rusak	TTF	1387,668	
			TTR		0,6409264
		Terbakar	TTF	4830,790	
			TTR		30,02293
2	Hoist Gearbox	Kebocoran pada seal	TTF	2056,021	
			TTR		1,2049294
3	Motor Hoist	Bearing rusak	TTF	2126,538183	
			TTR		0,6753309
		Terbakar	TTF	4617,954516	
			TTR		22,709212
4	Slewing Gearbox	Kebocoran pada seal	TTF	2158,799876	
			TTR		1,183
5	Travelling Gearbox	Kebocoran pada seal	TTF	1887,720242	
			TTR		1,1391723
6	Wire Rope	Rantas	TTF	1889,269827	
			TTR		1,0041775
7	Motor Luffing	Bearing rusak	TTF	2986,836	
			TTR		0,646
		Terbakar	TTF	5174,839	
			TTR		20,104257
8	Luffing Gearbox	Kebocoran pada seal	TTF	2593,273344	
			TTR		1,0226739
9	Travelling Brake	Kampas rem aus	TTF	2173,921745	
			TTR		1,0845884
10	Motor Slewing	Bearing rusak	TTF	2978,239075	
			TTR		1,2534933

Tabel 4. 8 Hasil Rekapitan Perhitungan MTTF & MTTR

No	Part	Failure mode	Keterangan	MTTF (Jam)	MTTR (Jam)
		Terbakar	TTF	2796,341541	
			TTR		23,515226
11	<i>Boogie Joint</i>	Korosi	TTF	2220,130	
			TTR		1,2855872
12	<i>Panel Listrik</i>	Korseleting listrik	TTF	3052,389064	
			TTR		1,1915989
13	<i>Drive Axle</i>	bearing drive axle rusak	TTF	2631,391481	
			TTR		1,148553
14	<i>Drum Sling</i>	Sistem kontrol drum sling rusak	TTF	4483,618	
			TTR		2,667
15	<i>Pulley Block</i>	Bearing aus	TTF	3155,5468	
			TTR		1,3380138
16	<i>Plc</i>	Komunikasi profibus rusak	TTF	3864,883667	
			TTR		1,3686896
17	<i>Hoist Brake</i>	Kampas rem aus	TTF	4666,523	
			TTR		1,1220429
18	<i>Joint 8 Wheel Equalizer</i>	Baut pengunci longgar	TTF	3286,9418	
			TTR		0,5841852
19	<i>Busbar</i>	Korseleting listrik	TTF	7327,617791	
			TTR		3,3465508
20	<i>Luffing Brake</i>	Kampas rem aus	TTF	4513,246378	
			TTR		1,1679225
21	<i>Slewing Ring Bearing Roller</i>	sistem control rusak	TTF	6673,340007	
			TTR		0,8362571
22	<i>Transformator</i>	Korseleting listrik	TTF	5038,291012	
			TTR		3,7463993
23	<i>Slewing Brake</i>	Kampas rem aus	TTF	3141,986364	
			TTR		1,1696594
24	<i>Pedestal Bearing Luffing</i>	Bantalan luffing macet	TTF	3416,700834	
			TTR		1,0442951
25	<i>Switch On/Off</i>	Push button rusak	TTF	5864,758665	
			TTR		0,8362571
26	<i>Suspension Device Lamp</i>	Korseleting listrik	TTF	9969,095803	
			TTR		1,587883

Mean Time To Failure (MTTF) merupakan waktu rata-rata terjadinya kerusakan saat pertama kali mesin tersebut dijalankan sampai mesin tersebut rusak kembali. Pada perhitungan kuantitatif MTTF menunjukkan bahwa

komponen yang memiliki nilai MTTF semakin besar, maka komponen tersebut memiliki rentang waktu kegagalan yang lebih lama. Sebaliknya komponen yang memiliki nilai MTTF yang semakin kecil, maka komponen tersebut akan lebih sering terjadi kegagalan. Berdasarkan tabel 4.8 diketahui komponen yang memiliki nilai MTTF tertinggi yaitu komponen *suspension device lamp* dengan nilai sebesar 9969,095803 jam, yang mana berarti bahwa komponen akan mengalami kegagalan setelah bekerja selama 9969,095803 jam. Komponen yang memiliki nilai MTTF terendah yaitu komponen *motor travelling* dengan *failure mode bearing* rusak dan terbakar diketahui bahwa memiliki nilai sebesar 1376,898 jam, dimana berarti bahwa komponen akan mengalami kegagalan setelah bekerja selama 1376,898 jam.

Mean Time To Repair (MTTR) merupakan waktu rata-rata yang diperlukan untuk memperbaiki komponen atau unit yang rusak hingga unit tersebut dapat digunakan kembali. Pada perhitungan kuantitatif MTTR menunjukkan bahwa komponen yang memiliki nilai MTTR yang semakin besar, maka waktu perbaikan yang dibutuhkan oleh komponen tersebut akan semakin lama. Sebaliknya komponen yang memiliki nilai MTTR yang semakin kecil, maka waktu perbaikan yang dibutuhkan oleh komponen tersebut akan semakin cepat. Berdasarkan tabel 4.8 diketahui bahwa komponen yang memiliki nilai MTTR tertinggi adalah komponen *motor travelling* dengan nilai sebesar 30,02293 jam, sedangkan nilai MTTR terendah adalah komponen *joint 8 wheel equalizer* dengan nilai sebesar 0,5841852 jam. Perhitungan MTTF akan digunakan sebagai perhitungan interval perawatan berdasarkan waktu kerusakan, sedangkan perhitungan MTTR digunakan sebagai perhitungan total biaya yang akan dikeluarkan oleh perusahaan.

4.8 Perhitungan Biaya Perawatan

Pada tahap selanjutnya dilakukan perhitungan besarnya biaya perawatan (CM) dan biaya perbaikan (CR) untuk setiap masing-masing komponen.

4.8.1 Biaya Maintenance (CM)

Pada perhitungan biaya *maintenance* terdapat beberapa informasi data yang dibutuhkan, yaitu biaya tenaga kerja yang melakukan tindakan *preventive maintenance* serta biaya material yang digunakan untuk

maintenance. Data biaya *maintenance* didapatkan dari data Perusahaan galangan kapal tahun 2022. Kegiatan perawatan secara rutin pada LLC 40 Ton dilakukan oleh 4 orang mekanik *maintenance*. Tabel 4.9 merupakan rincian dana perhitungan gaji kegiatan *maintenance* sebagai berikut :

Tabel 4. 9 Perhitungan Gaji Kegiatan *Maintenance*

Tenaga Kerja	Gaji	Jumlah Personel	Total Gaji	
			Per bulan	Per jam
Mekanik	Rp 4.400.000	4	Rp 17.600.000	Rp 110.000
Total				Rp 110.000

Bedasarkan tabel 4.9 menunjukkan bahwa perusahaan galangan kapal memiliki jam kerja dalam satu hari adalah 8 jam, dimana dalam 1 bulan terdapat 20 hari kerja sehingga jumlah jam kerja dalam 1 bulan adalah 160 jam. Kegiatan *preventive maintenance* yang dilakukan pada komponen LLC 40 Ton meliputi pemberian *greasing*, oli, serta pengecekan kondisi mesin. Data daftar material kegiatan *maintenance* didapatkan dari data Perusahaan galangan kapal tahun 2022. Tabel 4.10 adalah rincian dana daftar material kegiatan *preventive maintenance* sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Daftar Material untuk Kegiatan *Maintenance*

Daftar Material untuk Perawatan						
Item	Konsumsi Per Bulan	Harga	Satuan	Total Biaya Per Konsumsi	Biaya Bahan Per Hari	Biaya bahan per Jam
Oli	15	Rp 60.000	1 liter	Rp 900.000	Rp 45.000	Rp 5.625
Grease	20	Rp 50.000	1 kg	Rp 1.000.000	Rp 50.000	Rp 6.250
Total						Rp 11.875

Bedasarkan gaji tenaga kerja *maintenance* dan material untuk kegiatan *preventive maintenance* pada tabel 4.9 dan 4.10, dapat diketahui alokasi biaya perawatan atau *cost of maintenance* (CM) pada tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Alokasi Biaya *Maintenance* (CM)

Komponen Biaya	Besar Biaya Per Jam
Tenaga Kerja	Rp 110.000
Material	Rp 11.875
Total (CM)	Rp 121.875

(Sumber : Perusahaan Galangan Kapal, 2022)

Total hasil perhitungan alokasi biaya *maintenance* yang ditunjukkan pada tabel 4.11 Merupakan biaya total perjam yaitu sebesar Rp 121.875,-.Selanjutnya perhitungan alokasi biaya tersebut digunakan dalam perhitungan interval perawatan (TM).

4.8.2 Biaya Perbaikan (CR)

Perusahaan mengeluarkan biaya perbaikan karena timbul kegagalan atau kerusakan pada komponen LLC 40 Ton, dimana mengharuskan dilakukan perbaikan atau pergantian komponen. Biaya perbaikan atau *cost of repair* (CR) terdiri biaya penggantian komponen (CF), *man hours* (CW), serta biaya konsekuensi operasional akibat mesin tidak beroperasi (CO).

a. Biaya penggantian komponen (CF)

Biaya pergantian komponen timbul akibat adanya suatu kegagalan pada komponen LLC 40 Ton sehingga perlu dilakukan proses pergantian komponen. Data biaya pergantian komponen didapatkan dari data Perusahaan galangan kapal tahun 2022. Tabel 4.12 merupakan daftar biaya penggantian komponen :

Tabel 4. 12 Daftar Biaya Pergantian Komponen LLC 40 Ton

No	Part	Failure Mode	Daftar Komponen	Harga
1	<i>Hoist gearbox</i>	Kebocoran pada seal	Ganti Seal	Rp 550.000
2	<i>Motor Travelling</i>	<i>Bearing rusak</i>	Ganti bearing baru	Rp 1.500.000
		Terbakar	Ganti stator repair	Rp 2.000.000
3	<i>Motor Hoist</i>	<i>Bearing rusak</i>	Ganti bearing baru	Rp 1.350.000
		Terbakar	Ganti stator repair	Rp 1.500.000
4	<i>Slewing gearbox</i>	Kebocoran pada seal	Ganti Seal	Rp 550.000
5	<i>Travelling gearbox</i>	Kebocoran pada seal	Ganti Seal	Rp 700.000

Tabel 4. 12 Daftar Biaya Pergantian Komponen LLC 40 Ton

No	Part	Failure Mode	Daftar Komponen	Harga
6	<i>Wire rope</i>	<i>Wire rope</i> rantas	Tidak ada pergantian, hanya pengecekan rutin dan pemberian grease	Rp 0
7	<i>Motor Luffing</i>	<i>Bearing rusak</i>	Ganti bearing baru	Rp 1.350.000
		Terbakar	Ganti stator repair	Rp 1.500.000
8	<i>Luffing gearbox</i>	Kebocoran pada seal	Ganti Seal	Rp 600.000
9	<i>Travelling Brake</i>	Kampas rem aus	Ganti kampas baru	Rp 2.500.000
10	<i>Motor Slewing</i>	<i>Bearing rusak</i>	Ganti bearing baru	Rp 1.220.000
		Terbakar	Ganti stator repair	Rp 1.500.000
11	<i>Bogie joint</i>	Korosi	Tidak ada pergantian, hanya pengecekan rutin dan dilakukan pelumasan	Rp 0
12	Panel Listrik	Korseleting listrik	Ganti kabel	Rp 300.000
13	<i>Drive axle</i>	<i>bearing drive axle</i> rusak	Ganti <i>bearing</i>	Rp 500.000
14	<i>Drum sling</i>	<i>Spiral drum sling</i> retak	Ganti potensio referensi	Rp 250.000
15	PLC	Komunikasi profibus rusak	Ganti profibus	Rp 1.750.000
16	<i>Hoist Brake</i>	Kampas rem aus	Ganti kampas baru	Rp 3.000.000
17	<i>Joint 8 wheel equalizer</i>	Baut pengunci longgar	Ganti baut	Rp 120.000
18	<i>Busbar</i>	Korsleting listrik	Ganti busbar sisir 3 fasa	Rp 523.500
19	<i>Luffing Brake</i>	Kampas rem aus	Ganti kampas baru	Rp 1.500.000
20	<i>Slewing ring/roller</i>	<i>sistem control</i> rusak	Ganti IGBT	Rp 1.550.000
21	<i>Pulley block</i>	Bearing aus	Ganti <i>bearing</i>	Rp 375.000
22	<i>Transformator</i>	Korseleting listrik	Ganti seal trafo	Rp 500.000
23	<i>Slewing Brake</i>	Kampas rem aus	Ganti kampas baru	Rp 1.000.000
24	<i>Pedestal bearing luffing</i>	Bantalan luffing macet	Tidak ada pergantian, hanya pengecekan rutin dan pelumasan	Rp 0
25	<i>Switch on/off</i>	Push button rusak	Ganti kabel	Rp 200.000
26	<i>Suspension Device lamp</i>	Korsleting listrik	Ganti lampu LED	Rp 140.000

b. Biaya *Man Hours* (CW)

Biaya *man hours* merupakan biaya yang terkait dengan upah tenaga kerja dalam jumlah jam, yang melakukan tindakan perbaikan selama terjadi kerusakan pada komponen LLC 40 Ton. Tenaga kerja perbaikan berjumlah 5 orang yang terdiri dari 1 orang *supervisor*, dan 4 orang teknisi. Perusahaan memiliki jumlah jam kerja dalam 1 bulan

setiap pekerja adalah 160 jam. Data perhitungan gaji perbaikan didapatkan dari data Perusahaan galangan kapal tahun 2022. Tabel 4.13 merupakan perhitungan gaji untuk kegiatan perawatan perbaikan:

Tabel 4. 13 Perhitungan Gaji untuk Kegiatan Perbaikan

Tenaga Kerja	Gaji	Jumlah Personel	Total Gaji	
			Per bulan	Per jam
Supervisor	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000	Rp 62.500
Mekanik	Rp 4.400.000	4	Rp 17.600.000	Rp 110.000
Total			Rp 27.600.000	Rp 172.500

Bedasarkan Tabel 4.13 total biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan galangan kapal untuk kegiatan perbaikan (CW) sebesar Rp 172.500,- per jam dengan asumsi bahwa seluruh tenaga kerja tersebut selalu tersedia untuk melakukan kegiatan perbaikan.

c. Biaya Konsekuensi Operasional (CO)

Biaya ini merupakan biaya yang timbul akibat terjadinya *downtime* pada LLC 40 Ton. Hal tersebut menyebabkan perusahaan galangan kapal mengalami kerugian karena LLC 40 Ton tidak dapat beroperasi. Besarnya biaya dapat dihitung dengan cara:

$$CO = \text{Harga/ unit} \times \text{Jumlah output/jam}$$

Apabila LLC 40 Ton tidak dapat menjalankan fungsinya karena mengalami kegagalan maka akan menimbulkan penurunan hasil produksi yang membuat perusahaan mengalami kerugian. LLC 40 Ton beroperasi setiap harinya selama 8 jam melakukan pengangkatan rata-rata 20 plat kapal, Harga satuan plat yaitu sebesar Rp 7.507.500 dengan dimensi plat (6 mm x 1800 mm x 6000 mm). Maka besarnya biaya konsekuensi operasional yang akan diterima oleh perusahaan sebagai berikut :

$$CO = \text{harga produk/unit} \times \text{jumlah output/jam}$$

$$CO = (\text{Rp. } 7.507.500 / \text{plat}) \times 20/8\text{jam}$$

$$CO = \text{Rp}18.768.750 \text{ ,- /jam}$$

Bedasarkan perhitungan CO diatas biaya konsekuensi operasional yang timbul akibat terjadinya *downtime* pada LLC 40 Ton adalah Rp18.768.750 /jam.

Besarnya biaya perbaikan (CR) yang dikeluarkan oleh perusahaan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Dhamayanti, Alhilman, & Athari, 2016):

$$CR = CF + ((CW+CO) \times MTTR)$$

Berikut adalah salah satu contoh perhitungan biaya perbaikan pada komponen *Motor Hoist* :

➤ *Bearing* rusak

$$CF = \text{Rp } 1.350.000,-$$

$$CW = \text{Rp } 172.500,-$$

$$CO = \text{Rp } 18.768.750,-$$

$$MTTR = 0,6753$$

Jawab :

$$CR = CF + ((CW+CO) \times MTTR)$$

$$CR = \text{Rp } 1.350.000 + ((\text{Rp } 172.500 + \text{Rp } 18.768.750) \times 0,6753)$$

$$CR = \text{Rp } 14.141.612$$

➤ Motor terbakar

$$CF = \text{Rp } 1.500.000,-$$

$$CW = \text{Rp } 172.500,-$$

$$CO = \text{Rp } 18.768.750,-$$

$$MTTR = 22,7092$$

Jawab :

$$CR = CF + ((CW+CO) \times MTTR)$$

$$CR = \text{Rp } 1.500.000 + ((\text{Rp } 172.500 + \text{Rp } 18.768.750) \times 22,7092)$$

$$CR = \text{Rp } 431.640.859$$

Hasil perhitungan biaya diatas merupakan salah satu contoh perhitungan biaya perbaikan (CR). Pada tabel 4.14 adalah salah satu contoh tabel rekapan biaya perbaikan 26 komponen LLC 40 Ton sebagai berikut :

Tabel 4. 14 Rekap Biaya Perbaikan (CR)

No	Part	Failure Mode	CW (Rp)	CO (Rp)	CM (Rp)	CF (Rp)	CR (Rp)	MTTR
1.	Motor Hoist	<i>Bearing rusak</i>	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.350.000	Rp 14.141.612	0,6753
		Terbakar	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.500.000	Rp 431.640.859	22,7092

Tabel 4.14 Rekap biaya perbaikan LLC 40 ton komponen *motor hoist* merupakan salah satu contoh rekap biaya perbaikan pada LLC 40 ton, hasil lengkap rekap biaya perbaikan pada LLC 40 ton dapat dilihat pada lampiran 8. Hasil perhitungan CR dihitung sesuai dengan rumus dengan memasukkan nilai CW, CO, CF dan MTTR yang telah dihitung sebelumnya sehingga diperoleh nilai CR. Nilai CR akan digunakan untuk menghitung intial interval perawatan jenis *scheduled restoration task*

4.9 Penentuan Interval Perawatan Optimal

Perhitungan interval perawatan optimal (TM) dilakukan setelah mendapatkan nilai perhitungan biaya perawatan (CM) dan biaya perbaikan (CR) pada komponen LLC 40 Ton. Komponen yang telah dilakukan analisis pada RCM II *decision worksheet* dihasilkan perawatan dengan *scheduled discard task*, *scheduled restoration task* dan *scheduled on-condition task*. Perhitungan interval perawatan dengan *scheduled discard task* dan *scheduled restoration task* pada setiap komponen bergantung dengan jenis dan nilai parameter distribusi yang telah diperoleh dari *software* distribusi parameter, dan biaya-biaya yang berhubungan dengan perawatan seperti biaya *maintenance* (CM) dan biaya perbaikan (CR). Perhitungan interval pemeliharaan untuk *scheduled on-condition task*. setiap komponen diperoleh dari interval P-F setiap komponen. Berikut merupakan perhitungan waktu interval setiap komponen.

4.9.1 Perhitungan Interval Perawatan Optimal pada Komponen *Scheduled Restoration Task*

Perhitungan interval perawatan *scheduled restoration task* dan *scheduled discard task* berdasarkan dengan parameter distribusi yang telah ditentukan sebelumnya. Persamaan pada perhitungan ini menggunakan persamaan 2.12 Yang digunakan untuk *Weibull 2*, parameter yang dibutuhkan telah ditentukan pada *software* uji distribusi (Dhamayanti, Alhilman, & Athari, 2016).

Berikut ini merupakan contoh perhitungan interval perawatan optimal (TM) pada komponen *Motor hoist*.

➤ *Motor Hoist*

Motor Hoist merupakan komponen yang menggunakan jenis perawatan *scheduled restoration task* dengan jenis distribusi MTTF yaitu *Weibull 2*. Sehingga untuk perhitungan interval perawatan pada *motor hoist* dapat digunakan rumus sebagai berikut:

a. *Bearing* rusak

Diketahui :

$$\beta = 5,512$$

$$\eta = 6906,438$$

$$C_M = 121.875$$

$$C_R = 14.141.612$$

Maka perhitungan interval perawatan optimal TM sebagai berikut:

$$TM = \eta \left[\frac{1}{\beta - 1} \times \frac{C_M}{C_R - C_M} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$TM = 6906,438 \left[\frac{1}{5,512 - 1} \times \frac{121.875}{14.141.612 - 121.875} \right]^{\frac{1}{5,512}}$$

$$TM = 6906,438 ((0,221633 \times 0,0086931)^{0,181423})$$

$$TM = 2221,544 \text{ jam}$$

b. Motor terbakar

Diketahui :

$$\beta = 3,820$$

$$\eta = 15318,265$$

$$C_M = 121.875$$

$$C_R = 431.640.859$$

Maka perhitungan interval perawatan optimal TM sebagai berikut:

$$TM = \eta \left[\frac{1}{\beta - 1} \times \frac{C_M}{C_R - C_M} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$TM = 15318,265 \left[\frac{1}{3,820 - 1} \times \frac{121.875}{431.640.859 - 121.875} \right]^{\frac{1}{3,820}}$$

$$TM = 15318,265 ((0,354628 \times 0,0002824)^{0,26179})$$

$$TM = 1374,769 \text{ jam}$$

Hasil rekapan perhitungan interval waktu perawatan optimal (TM)

komponen LLC 40 ton dapat dilihat pada tabel 4.15 :

Tabel 4. 15 Hasil Rekapan Perhitungan Perawatan Optimal *Scheduled Restoration Task*

No	Part	Failure mode	Jenis Perawatan	TM (Jam)	MTTF (Jam)
1	Motor travelling	Bearing rusak	<i>Scheduled restoration task</i>	530,38742	1387,668
		Terbakar	<i>Scheduled restoration task</i>	7873,99778	9712,50971
2	Motor Hoist	Bearing rusak	<i>Scheduled restoration task</i>	2221,54379	2126,53818
		Terbakar	<i>Scheduled restoration task</i>	1374,76852	4617,95452
3	Motor Luffing	Bearing rusak	<i>Scheduled restoration task</i>	2554,37494	2986,836
		Terbakar	<i>Scheduled restoration task</i>	3613,99778	5174,83866
4	Motor Slewing	Bearing rusak	<i>Scheduled restoration task</i>	1717,78752	2978,23908
		Terbakar	<i>Scheduled restoration task</i>	295,24079	2796,34154
5	Boogie Joint	Korosi	<i>Scheduled restoration task</i>	2008,44173	2220,130
6	Panel Listrik	Korseleting listrik	<i>Scheduled Restoration task</i>	1885,97786	3052,38906
7	Joint 8 Wheel Equalizer	Baut pengunci longgar	<i>Scheduled restoration task</i>	3203,26564	3286,94180

4.9.2 Perhitungan Interval Perawatan Optimal pada Komponen *Scheduled Discard Task*

Scheduled discard task mencakup kegiatan penggantian komponen sebelum batasan usia tertentu, dengan tidak bergantung pada kondisinya saat itu. Interval waktu perawatan yang digunakan untuk aktivitas *scheduled discard task* adalah setengah dari nilai MTTF suatu komponen (Sari & Prasetyawan, 2012). Berikut tabel 4.16 menunjukkan hasil rekap perhitungan interval perawatan optimal pada komponen *scheduled discard task* :

Tabel 4. 16 Hasil Rekap Perhitungan Perawatan Optimal *Scheduled Discard Task*

No	Part	Failure mode	MTTF (Jam)	Interval Waktu (1/2 MTTF) (Jam)
1	<i>Hoist Gearbox</i>	Kebocoran pada seal	2056,02100	1028,01050
2	<i>Slewing Gearbox</i>	Kebocoran pada seal	2158,79988	1079,39994
3	<i>Travelling Gearbox</i>	Kebocoran pada seal	1887,72024	943,86012
4	<i>Luffing Gearbox</i>	Kebocoran pada seal	2593,27334	1296,63667
5	<i>Travelling Brake</i>	Kampas rem aus	2173,92175	1086,96087
6	<i>Drum Sling</i>	Sistem kontrol drum sling rusak	4483,61844	2241,80922
7	PLC	Komunikasi profibus rusak	3864,88367	1932,44183
8	<i>Hoist Brake</i>	Kampas rem aus	4666,52282	2333,26141
9	<i>Busbar</i>	Korsleting listrik	7327,61779	3663,80890
10	<i>Luffing Brake</i>	Kampas rem aus	4513,24638	2256,62319
11	<i>Slewing Ring Bearing Roller</i>	Sistem Control Rusak	6673,340007	3336,67000
12	<i>Transformator</i>	Korseleting listrik	5038,291012	2519,14551
13	<i>Slewing Brake</i>	Kampas rem aus	3141,986364	1570,99318
14	<i>Pedestal Bearing Luffing</i>	Bantalan luffing macet	3416,700834	1708,35042
15	<i>Switch On/Off</i>	Push button rusak	5864,758665	2932,37933

Tabel 4. 16 Hasil Rekap Perhitungan Perawatan Optimal *Scheduled Discard Task*

No	Part	Failure mode	MTTF (Jam)	Interval Waktu (1/2 MTTF) (Jam)
16	<i>Suspension Device Lamp</i>	Korsleting listrik	9969,095803	4984,54790

4.9.3 Perhitungan Interval Perawatan Optimal pada Komponen *Scheduled On-Condition Task*

Penentuan interval waktu perawatan komponen dengan aktivitas *on-condition task* ini menggunakan rumus setengah dari interval P-F, dimana interval P-F didefinisikan sebagai interval antara terjadinya *potential failure* dan kondisi kegagalan *functional equipment* (Moubray, 1997). Berikut adalah hasil perhitungannya interval perawatan komponen *scheduled on-condition task* pada tabel 4.17:

Berikut ini merupakan contoh perhitungan interval perawatan optimal (TM) untuk menghitung nilai perawatan *Scheduled On-Condition Task*.

➤ *Wire rope*

Diketahui :

$$\beta = 9,152$$

$$\eta = 5982,489$$

$$C_M = 121.875$$

$$C_R = 14.141.612$$

Maka perhitungan interval perawatan optimal TM sebagai berikut:

$$TM = \eta \left[\frac{1}{\beta - 1} \times \frac{C_M}{C_R - C_M} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$TM = 5982,489 \left[\frac{1}{9,152 - 1} \times \frac{121.875}{14.141.612 - 121.875} \right]^{\frac{1}{9,152}}$$

$$TM = 5982,489 ((0,122664 \times 0,0064489)^{0,10926123})$$

$$TM = 2741,421181 \text{ jam}$$

➤ *Drive Axle*

Diketahui :

$$\beta = 3,342$$

$$\eta = 8796,020$$

$$C_M = 121.875$$

$$C_R = 14.141.612$$

Maka perhitungan interval perawatan optimal TM sebagai berikut:

$$TM = \eta \left[\frac{1}{\beta - 1} \times \frac{C_M}{C_R - C_M} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$TM = 8796,020 \left[\frac{1}{3,342 - 1} \times \frac{121.875}{14.141.612 - 121.875} \right]^{\frac{1}{3,342}}$$

$$TM = 8796,020 ((0,427017 \times 0,0053575)^{0,299237355})$$

$$TM = 1426,008457 \text{ jam}$$

➤ *Pulley Block*

Diketahui :

$$\beta = 3,372$$

$$\eta = 3516,047$$

$$C_M = 121.875$$

$$C_R = 14.141.612$$

Maka perhitungan interval perawatan optimal TM sebagai berikut:

$$TM = \eta \left[\frac{1}{\beta - 1} \times \frac{C_M}{C_R - C_M} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$TM = 3516,047 \left[\frac{1}{3,372 - 1} \times \frac{121.875}{14.141.612 - 121.875} \right]^{\frac{1}{3,372}}$$

$$TM = 3516,047 ((0,421627 \times 0,0070579)^{0,296580705})$$

$$TM = 626,2885087 \text{ jam}$$

Tabel 4. 17 Hasil Rekapitan Perhitungan Perawatan Optimal *Scheduled On-Condition Task*

No	Part	P-F Interval (Jam)	Dasar Pertimbangan	Initial Interval (P-F Interval/2) (Jam)
1	Wire rope	2741,421	Perhitungan TM	$1/2 \times 2741,421 = 1370,71$ jam
2	Drive axle	1426,008	Perhitungan TM	$1/2 \times 1426,008 = 713$ jam
3	Pulley block	626,2885	Perhitungan TM	$1/2 \times 626,29 = 313,14$ jam

Menentukan *initial interval* dari komponen *scheduled on condition task* adalah setengah dari interval P-F. Nilai interval P-F didapatkan dari perhitungan TM yang sesuai dengan data kegagalan yang ada. *Scheduled on condition task* merupakan tindakan untuk mengurangi atau menghilangkan konsekuensi yang terjadi jika potensi kegagalan dibiarkan menjadi kegagalan fungsi dengan cara melakukan *condition based monitoring*, *predictive maintenance*, dan *condition monitoring*.

****halaman ini sengaja dikosongkan****

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil pengolahan dan analisis data dalam penyusunan tugas akhir yang dilakukan pada LLC 40 Ton dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis dalam mengidentifikasi kegagalan komponen menggunakan FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*) pada LLC 40 Ton menunjukkan bahwa terdapat 30 komponen dan 34 *failure modes*, serta diketahui pada perhitungan nilai *criticality ranking* didapatkan komponen yang memiliki nilai kekritisitas tertinggi adalah *Motor travelling* yaitu sebesar 0,43121. Perhitungan komponen kritis yang telah dilakukan digunakan sebagai prioritas tindakan untuk dilakukan perawatan guna mengurangi kegagalan.
2. Berdasarkan hasil RCM II *decision worksheet* didapatkan informasi mengenai jenis perawatan dan perhitungan interval pada LLC 40 ton yaitu:
 - a. *Scheduled on-condition task* pada komponen *wirerope, drive axle, pulley block* dengan nilai perawatan optimal paling besar pada komponen *wirerope* yaitu sebesar 1370,71 jam.
 - b. *Scheduled Restoration task* pada komponen *motor travelling, motor hoist, motor luffing, motor slewing, boogie joint, panel listrik, joint 8 wheel equalizer* dengan nilai perawatan optimal paling besar pada komponen *Motor travelling* dengan *failure mode* komponen motor terbakar yaitu sebesar 4526,32400 jam.
 - c. *Scheduled Discard task* pada komponen *hoist gearbox, slewing gearbox, travelling gearbox, luffing gearbox, travelling brake, drum sling, PLC, hoist brake, busbar, luffing brake, slewing ring bearing roller, transformator, slewing brake, pedestal bearing luffing, switch on/off, suspension device lamp* dengan nilai perawatan optimal paling besar pada komponen *suspension device lamp* dengan *failure mode* komponen motor terbakar yaitu sebesar 4984,54790 jam.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dengan adanya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat merancang dan membangun sistem informasi rincian perbaikan komponen yang terintegrasi sistem notifikasi untuk dilakukan *maintenance*.
2. Pelaksanaan kegiatan perawatan ini dapat dilakukan dengan memperhatikan pertimbangan kondisi komponen, perubahan jam produksi serta biaya yang diperlukan untuk perbaikan maupun penggantian komponen dari LLC 40 Ton.
3. Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk mempertimbangkan perhitungan biaya (*cost*) yang dikeluarkan saat melakukan kegiatan *preventive maintenance*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, W., Fachri, M., Yola, M., & Harpito. (2020). Reliability Centered Maintenance on Critical Components of the Press Machine. *Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, vol. 6(02), pp 86-92.
- Asauri, S. (1980). *Management produksi*. Jakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Birolini, A. (2003). *Reliability Engineering*. Tuscany, Italy: Springer.
- Cahyono, H. A., & Ariatedja, J. B. (2018). Analisis Fatigue pada Slewing Tower Level Luffing Crane Berbasis Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 7, No. 2, 128-133.
- Cekyay, B., & Ozekici, S. (2015). Reliability, MTTF and steady-state availability analysis of systems with exponential lifetimes. *Journal Applied Mathematical Modelling*, Vol 39, PP 284-296.
- Corder, A. (1996). *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Darmawan, A., Rapi, A., & Ali, S. (2016). Analisis Perawatan Untuk Mendeteksi Risiko Kegagalan Komponen Pada Excavator 390D. *JITI*, Vol.15 (1), 109-115.
- Department of the US Army, .. (2006). Failure modes, effects and Criticality Analysis (FMECA) for command, control, computer, intelligence, surveillance and reconnaissance (C4ISR) Facilities. *Facilities*, September, 75.
- Dhamayanti, D. S., Alhilman, J., & Athari, N. (2016). Usulan Preventive Maintenance pada Mesin Komori LS440 dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM II) dan Risk Based Maintenance (RBM) di PT ABC. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, Universitas Telkom Bandung.
- Dhillon, B. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. New York: Taylor and Francis Group.
- Djarmiko, R. D. (2016). *Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Yogyakarta: Deepublish.

- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: Mc Graw Hill Publishing Company.
- Fitriyani, A. N., Subekti, A., & Amrullah, H. N. (2018). Identifikasi Kegagalan Komponen Pada Unit Boiler Dengan Menggunakan Metode FMECA (Studi Kasus : Perusahaan Pupuk). *Proceeding 2nd Conference On Safety Engineering* (pp. pp 669-674). Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Kirana, U. T., Alhilman, J., & Sutrisno. (2016). Perencanaan Kebijakan Perawatan Mesin Corazza FF100 Pada Line 3 PT XYZ dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri Vol. 03, No. 01*, 47-53.
- Man Takraf, (1992). *Operation Manual Level Luffing Crane* PT PAL. Germany.
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. R. (2009). *The Basics Of FMEA 2nd Edition*. England: Taylor & Francis Group.
- Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance*. New York: Industrial Press Inc.
- Nurdini, M. (2017). Implementasi Reliability Centered Maintenance (RCM) II Pada Boiler B-1102 Di Pabrik I PT Petrokimia Gresik. . *Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*.
- Okky, P. S. (2023, 01 03). *Penyebab Kerusakan Dan Perawatan Rescue Crane Di Kn.Sar Sadewa 231 Badan Sar Nasional (Basarnas) Semarang*. Retrieved from repository.unimar-amni.ac.id: <http://repository.unimar-amni.ac.id/4163/1/BAB%20%20TINJAUAN%20PUSTAKA.pdf>
- Papazoglou, I. A. (1998). Functional block diagrams and automated construction of event trees. *Journal Reliability Engineering & System Safety Vol 61, Issue 3*, 169-254.
- Perusahaan Galangan Kapal, (2021). *Total Downtime Mesin Divisi Produksi*. Surabaya.
- Perusahaan Galangan Kapal, (2022). *Daftar Komponen Level Luffing Crane*. Surabaya.

- PP No. 50 Tahun 2012, .. (2012). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 50 Tahun 2012 Tentang Penerapan SMK3. *Presiden Republik Indonesia*, 262.
- Rachman, H., Garside, A. K., & Kholik, H. M. (2017). Usulan Perawatan Sistem Boiler dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM). *Jurnal Teknik Industri, Vol. 18, No. 01*, pp 86-93.
- Rae, A., & Alexander, R. (2017, March 26). Forecasts or fortune-telling: when are expert judgements of safety risk valid? *Article in Safety Science, University of York, United Kingdom*, pp. pp 156-165.
- Raharja, I. P., Suardika, I. B., & W., H. G. (2021). Analisis Sistem Perawatan Mesin Bubut Menggunakan Metode RCM (Reliability Centered Maintenance) di CV. Jaya Perkasa Teknik. *Jurnal Teknik Industri ITN Malang*, 39-48.
- Rahman, A. A., Dhani, M. R., & Santoso, M. Y. (2022). Analisis Kegagalan Gantry Crane Dan Overhead Crane Menggunakan Metode Fmeca Dan Fta Di Perusahaan Manufaktur. Surabaya: Tugas Akhir Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Rahmawati, A. F., Sandora, R., & Khairansyah, M. D. (2017). Penilaian Risiko Bahaya dan Penjadwalan Preventive Maintenance Menggunakan Metode FMECA dan RCM II di PG. Kebon Agung. *Proceeding 1st Conference on Safety Engineering and Its Application* (pp. 211-216). Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Ramli, L., Muhammad, Z., Abdullahi, A. M., Jafar, H., & Lazim, I. M. (2017). Control strategies for crane systems: A comprehensive review. *Mechanical Systems and Signal Processing Vol.95*, Pages 1-23.
- Sari, W. Y., & Prasetyawan, Y. (2012). Perancangan Kebijakan Perawatan dan Penentuan Persediaan Spare Part di Sub Sistem Evaporasi Pabrik Urea Kaltim-3 PT Pupuk Evaporasi Pabrik Urea Kaltim-3 PT Pupu. *Jurnal Teknik ITS , Vol 01(No. 01)*, pp 141-146.
- Singh, J., Sanjeev, S., & Singh, A. (2019). Distribution transformer failure modes, effects and criticality analysis (FMECA). *Engineering Failure Analysis Vol 99*, pp 180-191.

- Skjong, R., & Wentworth, B. H. (2001). Expert judgment and risk perception. *Proceedings of the Eleventh (2001) International Offshore and Polar Engineering Conference* (pp. 537-544). Stavanger, Norway: The International Society of Offshore and Polar Engineers.
- Suma'mur, P. (1981). *Keselamatan Kerja dan Pencegahan Kecelakaan Kerja*. Jakarta: Gunung Agung.
- Tampubolon, S. A. (2016). Pengembangan kebijakan perawatan pada Mesin Manograph Dengan menggunakan metode reliability centered Maintenance (RCM) Dan Risk Based Maintenance (RBM) Di PT ABC. *e-Proceeding of Engineering : Vol.3, No.2* , pp 2686-2689.
- Utomo, S., & Setiastuti, N. (2019). Penerapan Metode Technometrik Untuk Penilaian Kapabilitas Teknologi Industri Galangan Kapal Dalam Menyongsong Era Industri 4.0 . *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)* , Volume 3 Nomor 1, pp. 100-114.
- UU RI Nomor 1, .. (1970). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja. *Presiden Republik Indonesia*, 1-20.
- Wibowo, D., & Kurniati, N. (2019). Penentuan Strategi Pemeliharaan Forklift Menggunakan Metode RCM II. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 8, No. 2*, 2301-9271.
- Yamit, Z. (2010). *Manajemen Kualitas Produk dan Jasa*. Yogyakarta: Ekonisia.
- Zarkasyi, M. H., Hakam, M., & Setiawan, P. A. (2021). Perencanaan Maintenance Pada Overhead Crane Menggunakan Metode FMEA dan RCM II. *5th Proceeding Conference On Safety Engineering* (pp. 39-45). Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

LAMPIRAN 1
LEMBAR *EXPERT JUDGMENT*

EXPERT JUDGMENT

Penelitian ini menggunakan *expert judgement* untuk membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir. Fungsi dari *expert judgement* adalah untuk membantu analisis penyebab kegagalan dan membantu penilaian identifikasi kegagalan menggunakan *Failure Mode Effect and Criticality Analysis*, serta membantu perencanaan *maintenance* menggunakan *Reliability Centered Maintenance II*. Pemilihan *expert judgement* sesuai dengan kriteria berikut :


3. Mengetahui secara jelas sistem pemeliharaan dan perbaikan mesin di Divisi Kapal Niaga.
4. Bersedia memberi keterangan terkait mesin *Level luffing crane* (LLC).

Expert judgement dalam penelitian ini yaitu Uranio Hario Bimo Pratomo, S.T., M.MT sebagai Perekayasa II Staff Biro Dukungan Rekayasa Dept. Dukungan Produksi Divisi Kapal Niaga yang membantu memberikan keterangan data-data terkait penelitian, menjelaskan sistem operasi dan produksi mesin *Level luffing crane* (LLC), menjelaskan mengenai kegagalan komponen pada mesin *Level luffing crane* (LLC), membantu penilaian identifikasi kegagalan menggunakan FMECA, serta membantu perencanaan perencanaan *maintenance* menggunakan *Reliability Centered Maintenance II*.

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Uranio Hario Bimo Pratomo, S.T., M.MT
Tempat, Tanggal Lahir	: Surabaya, 3 Agustus 1993
Alamat	: Balongsari, 34/B, Surabaya
Jabatan	: Perekayasa II
Pendidikan Terakhir	: S-2 Manajemen Industri - ITS

Mengetahui,


Uranio Hario Bimo Pratomo, S.T., M.MT
Perekayasa II Divisi Kapal Niaga

EXPERT JUDGMENT

Penelitian ini menggunakan *expert judgement* untuk membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir. Fungsi dari *expert judgement* adalah untuk membantu analisis penyebab kegagalan dan membantu penilaian identifikasi kegagalan menggunakan *Failure Mode Effect and Criticality Analysis*, serta membantu perencanaan *maintenance* menggunakan *Reliability Centered Maintenance II*. Pemilihan *expert judgement* sesuai dengan kriteria berikut :

1. Mengetahui secara jelas sistem pemeliharaan dan perbaikan mesin di Divisi Kapal Niaga.
2. Bersedia memberi keterangan terkait mesin *Level luffing crane* (LLC).

Expert judgement dalam penelitian ini yaitu Indhita Eka Putra S.ST. sebagai Inspektur K3 II Dukungan Rekayasa Dept. Dukungan Produksi Divisi Kapal Niaga yang membantu memberikan keterangan data-data terkait penelitian, menjelaskan sistem operasi dan produksi mesin *Level luffing crane* (LLC), menjelaskan mengenai kegagalan komponen pada mesin *Level luffing crane* (LLC), membantu penilaian identifikasi kegagalan menggunakan FMECA, serta membantu perencanaan perencanaan *maintenance* menggunakan *Reliability Centered Maintenance II*.

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Indhita Eka Putra
Tempat, Tanggal Lahir	: Surabaya, 06-03-1988
Alamat	: Tuwono Rejo 6/2 SKY
Jabatan	: Inspektur K3 II
Pendidikan Terakhir	: D4 Teknik K3

Mengetahui,



Indhita Eka Putra S.ST.
Inspektur K3 II

EXPERT JUDGMENT

Penelitian ini menggunakan *expert judgement* untuk membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir. Fungsi dari *expert judgement* adalah untuk membantu analisis penyebab kegagalan dan membantu penilaian identifikasi kegagalan menggunakan *Failure Mode Effect and Criticality Analysis*, serta membantu perencanaan *maintenance* menggunakan *Reliability Centered Maintenance II*. Pemilihan *expert judgement* sesuai dengan kriteria berikut :

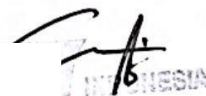
5. Mengetahui secara jelas sistem pemeliharaan dan perbaikan mesin di Divisi Kapal Niaga.
6. Bersedia memberi keterangan terkait mesin *Level luffing crane* (LLC).

Expert judgement dalam penelitian ini yaitu Miftachul Arifin sebagai Teknisi Listrik III Staff Biro Dukungan Rekayasa Dept. Dukungan Produksi Divisi Kapal Niaga yang membantu memberikan keterangan data-data terkait penelitian, menjelaskan sistem operasi dan produksi mesin *Level luffing crane* (LLC), menjelaskan mengenai kegagalan komponen pada mesin *Level luffing crane* (LLC), membantu penilaian identifikasi kegagalan menggunakan FMECA, serta membantu perencanaan perencanaan *maintenance* menggunakan *Reliability Centered Maintenance II*.

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Miftachul Arifin
Tempat, Tanggal Lahir : Kediri 22-09-1975
Alamat : Desa Entol Sewu RT 12/03 Buduran SPA
Jabatan : Teknisi Listrik III
Pendidikan Terakhir : STM PERKAPALAN SDA

Mengetahui,



Miftachul Arifin
Teknisi Listrik III

LAMPIRAN 2
DATA TTF, TTR, & KOMPONEN MESIN

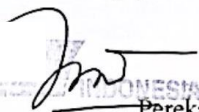
Tabel 2.1 Data *Downtime* Kegagalan LLC 40 Ton 2019-2022

No.	Komponen	Failure Mode	Downtime		End Repair		TTF	TTR
			Date	Time	Date	Time		
1	Panel Listrik	Korsleting listrik	05/03/2019	10:00:00	05/03/2019	11:15:00	0	1,25
			20/02/2020	14:30:00	20/02/2020	16:00:00	2817,0833	1,5
			07/04/2021	08:00:00	07/04/2021	09:30:00	3293,3333	1,5
			08/03/2022	15:30:00	08/03/2022	16:00:00	2682	0,5
2	Transformator	Korsleting listrik	17/09/2019	13:30:00	17/09/2019	17:00:00	0	3,5
			08/06/2021	11:30:00	08/06/2021	15:30:00	5038,1667	4
3	Busbar	Korsleting listrik	09/07/2019	08:40:00	09/07/2019	11:33:00	0	2,8833333
			10/01/2022	09:20:00	10/01/2022	13:07:00	7327,2611	3,7833333
4	PLC	Komunikasi profibus rusak	07/08/2019	10:20:00	07/08/2019	11:47:00	0	1,45
			02/12/2020	14:05:00	02/12/2020	15:22:00	3864,7667	1,2833333
5	Switch on/off	Tombol rusak	13/05/2020	10:25:00	13/05/2020	11:10:00	0	0,75
			16/05/2022	13:00:00	16/05/2022	13:55:00	5864,6111	0,9166667
6	Motor Hoist	Bearing rusak	18/02/2019	14:10:00	18/02/2019	14:45:00	0	0,5833333
			13/11/2019	14:50:00	13/11/2019	15:25:00	2144,0278	0,5833333
			05/05/2020	16:00:00	05/05/2020	16:45:00	1392,1944	0,75
			08/04/2021	09:27:00	08/04/2021	10:12:00	2701,5667	0,75
			12/01/2022	15:00:00	12/01/2022	15:42:00	2233,6	0,7
		Terbakar	23/05/2019	09:46:00	27/05/2019	10:00:00	0	32,077778
			29/06/2020	13:38:00	01/07/2020	10:00:00	3193,2111	14,788889
7	Motor Luffing	Bearing rusak	20/03/2019	10:20:00	20/03/2019	10:55:00	0	0,5833333
			29/06/2020	13:45:00	29/06/2020	14:25:00	3736,9444	0,6666667
			27/08/2021	16:10:00	27/08/2021	16:45:00	3392,5833	0,5833333
			05/04/2022	14:00:00	05/04/2022	14:45:00	1767,0833	0,75
		Terbakar	19/02/2019	15:15:00	22/02/2019	10:00:00	0	22,25
			15/12/2020	13:00:00	18/12/2020	10:00:00	5297	23
			14/09/2022	14:10:00	16/09/2022	10:00:00	5081,3889	14,611111
8	Motor Slewing	Bearing rusak	17/04/2019	09:25:00	17/04/2019	11:00:00	0	1,5833333
			19/08/2020	09:35:00	19/08/2020	10:30:00	3919,5278	0,9166667
			26/04/2021	08:45:00	26/04/2021	10:00:00	1999,4167	1,25
		Terbakar	14/01/2020	09:45:00	17/01/2020	10:00:00	0	24,083333
			03/06/2021	10:30:00	07/06/2021	10:00:00	4024,1667	31,833333
			15/12/2021	15:20:00	17/12/2021	10:00:00	1529,7778	14,222222
9	Motor Travelling	Bearing rusak	01/11/2019	13:00:00	01/11/2019	13:40:00	0	0,6666667
			09/07/2020	08:20:00	09/07/2020	08:55:00	2006,2222	0,5833333
			10/12/2020	15:00:00	10/12/2020	15:40:00	1234,0278	0,6666667
			02/03/2021	10:00:00	02/03/2021	10:40:00	654,11111	0,6666667
			02/06/2021	10:20:00	02/06/2021	11:00:00	735,88889	0,6666667

No.	Komponen	Failure Mode	Downtime		End Repair		TTF	TTR
			Date	Time	Date	Time		
			06/01/2022	15:25:00	06/01/2022	16:00:00	1745,4722	0,5833333
			30/08/2022	09:00:00	30/08/2022	09:40:00	1885,6667	0,6666667
			Terbakar	11/01/2019	08:15:00	14/01/2019	10:00:00	0
		09/09/2020		09:30:00	11/09/2020	10:40:00	4831,8333	16,388889
		12/05/2022		09:08:00	17/05/2022	10:00:00	4863,4889	40,288889
		10	Hoist Gearbox	Kebocoran pada seal	15/01/2019	09:00:00	15/01/2019	09:55:00
09/05/2019	13:20:00				09/05/2019	15:35:00	913,13889	2,25
20/02/2020	14:44:00				20/02/2020	15:45:00	2295,7167	1,0166667
02/11/2020	09:10:00				02/11/2020	09:55:00	2045,8056	0,75
06/10/2021	13:00:00				06/10/2021	13:55:00	2705,0278	0,9166667
23/07/2022	15:10:00				23/07/2022	16:00:00	2320,4167	0,8333333
11	Luffing Gearbox	Kebocoran pada seal	22/01/2019	16:00:00	22/01/2019	17:00:00	0	1
			23/12/2019	13:10:00	23/12/2019	14:10:00	2678,7222	1
			18/08/2020	08:35:00	18/08/2020	09:55:00	1910,1389	1,3333333
			16/09/2021	10:15:00	16/09/2021	11:00:00	3152,1111	0,75
12	Slewing Gearbox	Kebocoran pada seal	11/06/2019	10:30:00	11/06/2019	11:45:00	0	1,25
			21/08/2020	10:20:00	21/08/2020	11:15:00	3495,5278	0,9166667
			10/02/2021	14:00:00	10/02/2021	15:00:00	1384,9167	1
			27/07/2021	08:00:00	27/07/2021	09:15:00	1333,6667	1,25
			20/05/2022	16:00:00	20/05/2022	17:30:00	2378,25	1,5
13	Travelling Gearbox	Kebocoran pada seal	12/06/2019	13:00:00	12/06/2019	14:30:00	0	1,5
			21/05/2020	09:00:00	21/05/2020	10:15:00	2750,1667	1,25
			09/11/2020	13:00:00	09/11/2020	14:00:00	1376,9167	1
			04/10/2021	11:00:00	04/10/2021	11:40:00	2631	0,6666667
			07/01/2022	08:00:00	07/01/2022	09:15:00	758,77778	1,25
14	Hoist Brake	Kampas rem aus	11/07/2019	10:00:00	11/07/2019	11:00:00	0	1
			19/08/2020	09:49:00	19/08/2020	11:00:00	3239,6056	1,1833333
			13/09/2022	08:30:00	13/09/2022	09:40:00	6039,1667	1,1666667
15	Luffing Brake	Kampas rem aus	09/07/2020	09:50:00	09/07/2020	11:05:00	0	1,25
			24/01/2022	14:20:00	24/01/2022	15:25:00	4513,0833	1,0833333
16	Slewing Brake	Kampas rem aus	07/11/2019	13:50:00	07/11/2019	14:55:00	0	1,0833333
			04/12/2020	08:50:00	04/12/2020	10:05:00	3141,9722	1,25
17	Travelling Brake	Kampas rem aus	10/01/2020	13:55:00	10/01/2020	15:05:00	0	1,1666667
			22/06/2020	14:50:00	22/06/2020	16:10:00	1311,9167	1,3333333
			23/06/2021	15:00:00	23/06/2021	16:00:00	2927,6111	1
			31/03/2022	16:20:00	31/03/2022	17:10:00	2248,1111	0,8333333
18	Drum sling	Kontrol overlimit drumsling trouble	16/09/2019	13:20:00	16/09/2019	15:50:00	0	2,5
			30/03/2021	09:00:00	30/03/2021	12:00:00	4485,7222	3
			10/10/2022	14:20:00	10/10/2022	16:50:00	4472,7778	2,5

No.	Komponen	Failure Mode	Downtime		End Repair		TTF	TTR
			Date	Time	Date	Time		
19	Pulley Block	Bearing rusak	17/10/2019	08:30:00	17/10/2019	09:30:00	0	1
			02/09/2020	09:00:00	02/09/2020	10:30:00	2567,8333	1,5
			13/12/2021	13:00:00	13/12/2021	14:30:00	3736,8333	1,5
20	Wire rope	Rantas	01/02/2019	09:15:00	01/02/2019	09:45:00	0	0,5
			21/10/2019	08:00:00	21/10/2019	09:15:00	2095,4167	1,25
			09/06/2020	09:00:00	09/06/2020	10:00:00	1855,9167	1
			17/02/2021	10:00:00	17/02/2021	10:55:00	2024	0,9166667
			09/11/2021	08:50:00	09/11/2021	10:00:00	2119,3056	1,1666667
			18/04/2022	09:50:00	18/04/2022	11:00:00	1279,9444	1,1666667
21	Hook Block	Retak	26/10/2019	10:30:00	26/10/2019	11:30:00	0	1
22	Suspension Device Lamp	Rusak	20/05/2019	10:20:00	20/05/2019	13:00:00	0	2,6666667
			17/10/2022	16:00:00	17/10/2022	16:30:00	9969	0,5
23	Jib Hinge Point	Baut pengunci longgar	04/02/2020	10:20:00	04/02/2020	13:30:00	0	3,1666667
24	Slewing ring bearing roller	Sistem kontrol rusak	12/08/2019	09:10:00	12/08/2019	09:55:00	0	0,75
			23/11/2021	13:00:00	23/11/2021	13:55:00	6673,0278	0,9166667
25	Pedestal bearing luffing	Bantalan macet	12/08/2019	10:00:00	12/08/2019	11:10:00	0	1,1666667
			12/10/2020	13:00:00	12/10/2020	13:55:00	3416,6111	0,9166667
26	Cable reel	Cable reel macet	14/11/2021	09:50:00	14/11/2021	11:00:00	0	1,1666667
27	Joint 8 wheel equalizer	Baut pengunci longgar	08/05/2019	08:20:00	08/05/2019	08:55:00	0	0,5833333
			22/06/2020	10:20:00	22/06/2020	10:50:00	3288,4722	0,5
			06/08/2021	08:00:00	06/08/2021	08:40:00	3279,0556	0,6666667
28	Drive Axle	Bearing rusak	15/11/2019	10:30:00	15/11/2019	11:30:00	0	1
			23/09/2020	09:15:00	23/09/2020	10:30:00	2503,25	1,25
			12/04/2021	15:00:00	12/04/2021	16:00:00	1609,5	1
			25/07/2022	09:50:00	25/07/2022	11:10:00	3749,9444	1,3333333
29	Boogie Joint	Korosi	08/02/2019	14:00:00	08/02/2019	15:30:00	0	1,5
			12/02/2020	13:30:00	12/02/2020	14:30:00	2951,3333	1
			07/10/2020	09:50:00	07/10/2020	11:00:00	1902,4444	1,1666667
			22/06/2021	10:30:00	22/06/2021	11:40:00	2063,8333	1,1666667
			19/01/2022	09:48:00	19/01/2022	11:20:00	1687,3778	1,5333333
			28/11/2022	09:10:00	28/11/2022	10:30:00	2503,2778	1,3333333
30	Rail Clamps	Baut pengunci longgar	30/09/2019	13:00:00	30/09/2019	15:30:00	0	2,5

Surabaya, 05 Juli 2023


 Perekayasa II
 Uranio Hario Bimo Pratomo, S.T., M.MT

Tabel 2.2 Daftar Komponen Mesin

No.	Kode Mesin	Nama Mesin	Lokasi
1	ST - OC - 01	10T X 27 M Overhead Crane	Steel Stock House
2	ST - OC - 03	5T X 27 M Overhead Crane	Steel Stock House
3	FA - OC - 01	10T X 38 M Overhead Crane	Bengkel Fabrikasi Lambung
4	FA - OC - 02	5T X 38 M Overhead Crane	Bengkel Fabrikasi Lambung
5	FA - OC - 03	10T X 28 M Overhead Crane	Bengkel Fabrikasi Lambung
6	FA - OC - 04	5T X 28 M Overhead Crane	Bengkel Fabrikasi Lambung
7	SA - OC - 01	10T X 38 M Overhead Crane	Sub Assembly
8	SA - OC - 02	10T X 28 M Overhead Crane	Sub Assembly
9	AS - OC - 01	20T X 38 M Overhead Crane	Bengkel Assembly 1
10	AS - OC - 02	40 T X 38 M Overhead Crane	Bengkel Assembly 1
11	AS - OC - 03	30 T X 28 M Overhead Crane	Bengkel Assembly 1
12	AS - OC - 04	38 T X 28 M Overhead Crane	Bengkel Assembly 1
13	AS - OC - 05	150 / 75 T X 38 M Overhead Crane	Bengkel Assembly 1
14	PH - 03	Crane PH 30 Ton	Biro operasional
15	SA - OC - 01	10T X 38 M Overhead Crane	Sub Assembly
16	AS - 13	Transporter 300 Ton	Biro operasional
17	LLC - 01	Crane LLC 40 Ton	Biro operasional
18	LLC - 02	Crane LLC 20 Ton	Biro operasional
19	LLC - 03	Crane LLC 20 Ton	Biro operasional
20	LLC - 04	Crane LLC 40 Ton	Biro operasional
21	GC - 01	Goliath Crane 300 Ton	Biro operasional
22	SAFPRO	Plasma cutting saf pro	Bengkel Fabrikasi Lambung

****halaman ini sengaja dikosongkan****

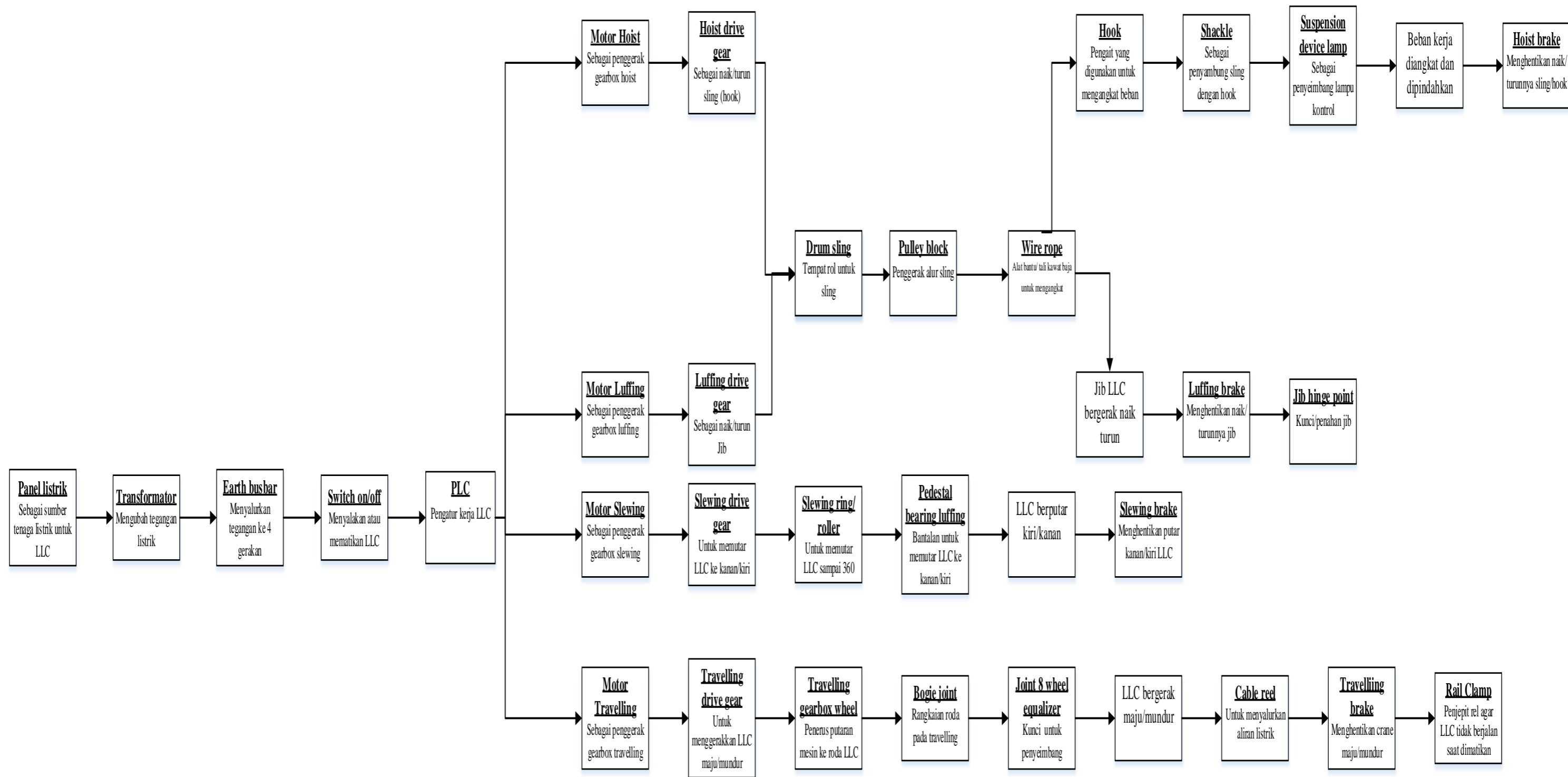
LAMPIRAN 3
TABEL GAMMA

Tabel 3 Tabel Gamma

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1.01	0.99433	1.41	0.88676	1.81	0.93408	2.21	1.10785	2.61	1.44044
1.02	0.98884	1.42	0.88636	1.82	0.93685	2.22	1.11399	2.62	1.45140
1.03	0.98355	1.43	0.88604	1.83	0.93696	2.23	1.12023	2.63	1.46251
1.04	0.97844	1.44	0.88581	1.84	0.94261	2.24	1.12657	2.64	1.47377
1.05	0.97350	1.45	0.88566	1.85	0.94561	2.25	1.13300	2.65	1.48519
1.06	0.96874	1.46	0.88560	1.86	0.94869	2.26	1.13954	2.66	1.49677
1.07	0.96415	1.47	0.88563	1.87	0.95184	2.27	1.14618	2.67	1.50851
1.08	0.95973	1.48	0.88575	1.88	0.95507	2.28	1.15292	2.68	1.52040
1.09	0.95546	1.49	0.88595	1.89	0.95838	2.29	1.59760	2.69	1.53246
1.10	0.95135	1.50	0.88623	1.90	0.96177	2.30	1.16671	2.70	1.54469
1.11	0.94740	1.51	0.88659	1.91	0.96523	2.31	1.17377	2.71	1.55708
1.12	0.94359	1.52	0.88704	1.92	0.96877	2.32	1.18093	2.72	1.56964
1.13	0.93993	1.53	0.88757	1.93	0.97240	2.33	1.18819	2.73	1.58237
1.14	0.93642	1.54	0.88818	1.94	0.97610	2.34	1.19557	2.74	1.59528
1.15	0.93304	1.55	0.88887	1.95	0.97988	2.35	1.20305	2.75	1.60836
1.16	0.92980	1.56	0.88964	1.96	0.98274	2.36	1.21065	2.76	1.62162
1.17	0.92670	1.57	0.89049	1.97	0.98769	2.37	1.21836	2.77	1.63506
1.18	0.92372	1.58	0.89142	1.98	0.99171	2.38	1.22618	2.78	1.64868
1.19	0.92089	1.59	0.89243	1.99	0.99581	2.39	1.23412	2.79	1.66249
1.20	0.91817	1.60	0.89352	2.00	1	2.40	1.24217	2.80	1.69068
1.21	0.91558	1.61	0.89468	2.01	1.00427	2.41	1.25034	2.81	1.70506
1.22	0.91311	1.62	0.89592	2.02	1.00862	2.42	1.25863	2.82	1.71963
1.23	0.91075	1.63	0.89724	2.03	1.01306	2.43	1.26703	2.83	1.73441
1.24	0.90852	1.64	0.89864	2.04	1.01758	2.44	1.27556	2.84	1.74938
1.25	0.90640	1.65	0.90012	2.05	1.02218	2.45	1.28421	2.85	1.76456
1.26	0.90440	1.66	0.90167	2.06	1.02687	2.46	1.29298	2.86	1.76456
1.27	0.90250	1.67	0.90330	2.07	1.03164	2.47	1.30188	2.87	1.77994
1.28	0.90072	1.68	0.90500	2.08	1.03165	2.48	1.31091	2.88	1.79553
1.29	0.89904	1.69	0.90678	2.09	1.04145	2.49	1.32006	2.89	1.81134
1.30	0.89747	1.70	0.90864	2.10	1.04649	2.50	1.32934	2.90	1.82736
1.31	0.89600	1.71	0.91057	2.11	1.05161	2.51	1.33875	2.91	1.84359
1.32	0.89464	1.72	0.91258	2.12	1.05682	2.52	1.34830	2.92	1.86005
1.33	0.89338	1.73	0.91467	2.13	1.06212	2.53	1.35798	2.93	1.87673
1.34	0.89222	1.74	0.91683	2.14	1.06751	2.54	1.36779	2.94	1.89363
1.35	0.89115	1.75	0.91906	2.15	1.07300	2.55	1.37775	2.95	1.91077
1.36	0.89018	1.76	0.92137	2.16	1.07857	2.56	1.38784	2.96	1.92814
1.37	0.88931	1.77	0.92376	2.17	1.08424	2.57	1.39807	2.97	1.94574
1.38	0.88854	1.78	0.92623	2.18	1.09000	2.58	1.40844	2.98	1.96358
1.39	0.88785	1.79	0.92877	2.19	1.09585	2.59	1.41896	2.99	1.98167
1.40	0.88726	1.80	0.93138	2.20	1.10180	2.60	1.42962	3.00	2

Sumber : Ebeling, C.E, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*,
 Mc Graw-Hill, New York, 1997

LAMPIRAN 4
FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM LLC 40 TON



Gambar 4. Functional Block Diagram LLC 40 ton

LAMPIRAN 5
TABEL FMEA & NILAI SEVERTY

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat Angkat-Angkut Produksi				
		Sub sistem : LLC 40 ton				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal				
No	Equipment	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Mechanisme	Failure Effect
1.	Panel Listrik	Sebagai sumber penyalur tenaga listrik untuk LLC 40 ton	Panel listrik tidak dapat menyalurkan tegangan listrik	Korseleting listrik Atau short circuit pada komponen	Arus berlebih yang mengalir pada panel listrik	Tidak terdapat suplai tenaga listrik untuk LLC 40 ton dan terbakar
2.	Transformator	Merubah tegangan listrik dari panel listrik	Tegangan listrik tinggi dari panel listrik tidak dapat diturunkan	Korsleting pada jalur trafo	Beban berlebih pada <i>output</i> trafo	MCB pada <i>output</i> rusak
3.	Busbar	Membagi tegangan listrik ke empat motor	Tegangan listrik yang sudah diturunkan tidak dapat dialirkan ke sistem motor LLC 40 ton	Korsleting listrik atau beban listrik terlalu tinggi	Arus melebihi kapasitas	Gangguan arus listrik yang tidak terkendali atau lonjakan tegangan

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat Angkat-Angkut Produksi				
		Sub sistem : LLC 40 ton				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal				
No	Equipment	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Mechanisme	Failure Effect
4.	PLC	Mengontrol sistem kerja gerakan LLC 40 ton	Program LLC 40 ton tidak berfungsi	Komunikasi profibus rusak	Kabel dalam komunikasi profibus putus	Gagal menghubungkan perangkat lain dalam jaringan profibus
5.	Switch on/off	Menyalakan/mematikan LLC	Tidak dapat mengoperasikan LLC 40 ton	Tombol rusak	Pemakaian yang terlalu lama	LLC 40 ton tidak dapat beroperasi
6.	Motor Hoist	Menggerakan <i>hoist gearbox</i>	<i>Motor hoist</i> rusak atau tidak berfungsi	Motor hoist terbakar	<i>Blower</i> pendingin motor tidak berfungsi	Tidak ada sumber tenaga penggerak untuk mengangkat benda kerja
				<i>Bearing rusak</i>		
				<i>Motor hoist</i> terkena beban melebihi kapasitas		
7.	Motor Luffing	Menggerakan <i>Luffing gearbox</i>	<i>Motor luffing</i> rusak atau tidak berfungsi	Motor luffing terbakar	<i>Blower</i> pendingin motor tidak berfungsi	<i>Luffing</i> berhenti bekerja dan <i>jib</i> atau lengan <i>crane</i> tidak dapat bergerak
				<i>Bearing rusak</i>		

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat Angkat-Angkut Produksi				
		Sub sistem : LLC 40 ton				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal				
No	Equipment	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Mechanisme	Failure Effect
					<i>Motor luffing</i> terkena beban melebihi kapasitas	
8.	Motor Slewing	Menggerakkan <i>slewing gearbox</i>	<i>Motor slewing</i> rusak atau tidak berfungsi	Motor slewing terbakar	<i>Blower</i> pendingin motor tidak berfungsi	LLC 40 ton berhenti bekerja dan tidak bisa berputar ke kanan/kiri
				<i>Bearing rusak</i>		
				<i>Motor slewing</i> terkena beban melebihi kapasitas		
9.	Motor Travelling	Menggerakkan <i>travelling gearbox</i>	<i>Motor travelling</i> rusak atau tidak berfungsi	Motor Travelling terbakar	<i>Motor travelling</i> terkena beban melebihi kapasitas	Roda Itravelling tidak dapat berputar sehingga LLC tidak dapat bekerja
				<i>Bearing rusak</i>		
				<i>Blower</i> pendingin motor tidak berfungsi		
10.	Hoist Gearbox	Menggerakkan naik/turun <i>sling(hook)</i>	Menurunkan efisiensi gear dan menurunkan kinerja LLC	Kerusakan pada <i>seal</i>	Terjadi gesekan yang terlalu tinggi	<i>Hoist</i> pada LLC tidak dapat menggerakkan <i>drum sling hoist</i> sehingga <i>hoist</i> tidak

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat Angkat-Angkut Produksi				
		Sub sistem : LLC 40 ton				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal				
No	Equipment	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Mechanisme	Failure Effect
						dapat bergerak naik turun
11.	Luffing Gearbox	Menggerakkan naik/turun <i>Jib</i>	Menurunkan efisiensi gear dan menurunkan kinerja LLC	Kerusakan pada <i>seal</i>	Terjadi gesekan yang terlalu tinggi	<i>Luffing</i> pada LLC tidak dapat menggerakkan <i>drum sling luffing</i> sehingga <i>luffing</i> tidak dapat bergerak naik turun
12.	Slewing Gearbox	Memutar LLC kanan/kiri	Menurunkan efisiensi gear dan menurunkan kinerja LLC	Kerusakan pada <i>seal</i>	Terjadi gesekan yang terlalu tinggi	LLC tidak dapat berputar ke kanan atau kiri
13.	Travelling Gearbox	Menggerakkan maju/mundur LLC	Menurunkan efisiensi gear dan menurunkan kinerja LLC	Kerusakan pada <i>seal</i>	Terjadi gesekan yang terlalu tinggi	LLC tidak dapat bergerak maju mundur
14.	Hoist Brake	Menghentikan naik/turun <i>sling(hook)</i>	Tidak dapat menghentikan	Kampas rem aus	Usia kampas rem yang sudah lama dan	LLC tidak dapat dihentikan

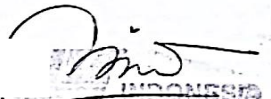
RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat Angkat-Angkut Produksi				
		Sub sistem : LLC 40 ton				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal				
No	Equipment	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Mechanisme	Failure Effect
			proses Gerakan <i>hoisting</i>		penggunaan rem yang mendadak	
15.	Luffing Brake	Menghentikan naik/turun <i>Jib</i>	Tidak dapat menghentikan proses Gerakan <i>luffing</i>	Kampas rem aus	Usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan rem yang mendadak	LLC tidak dapat dihentikan
16.	Slewing Brake	Menghentikan putar kanan/kiri LLC	Tidak dapat menghentikan proses Gerakan <i>slewing</i>	Kampas rem aus	Usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan rem yang mendadak	LLC tidak dapat dihentikan
17.	Travelling Brake	Menghentikan Gerakan maju/mundur LLC	Tidak dapat menghentikan proses Gerakan <i>travelling</i>	Kampas rem aus	Usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan rem yang mendadak	LLC tidak dapat dihentikan
18.	Pulley block	Sebagai Penggerak alur <i>sling</i>	Alur <i>sling</i> tidak dapat berputar	<i>Bearing pulley</i> rusak	Kurangnya pelumasan pada <i>bearing</i>	<i>Wire rope</i> macet atau tidak bisa berjalan

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat Angkat-Angkut Produksi				
		Sub sistem : LLC 40 ton				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal				
No	Equipment	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Mechanisme	Failure Effect
19.	Drum sling	Sebagai rangkaian tempat rol untuk tali kawat/ <i>sling</i>	<i>Drumsling</i> tidak dapat berfungsi untuk memutar <i>sling</i>	Kontrol <i>Overlimit</i>	Drum sling mengangkat beban yang melebihi kapasitas angkat.	Tidak dapat mengatur gulungan <i>wire rope</i>
20.	Wire rope	Sebagai alat bantu atau tali kawat baja untuk mengangkat	<i>Wire rope</i> tidak dapat mengangkat beban sesuai dengan kapasitasnya	<i>Wire rope</i> rantas	Pengangkatan beban yang berlebih, serta banyaknya gesekan antar <i>wire rope</i>	Kekuatan <i>wire rope</i> berkurang dan berpotensi putus
21.	Suspension Device lamp	Sebagai penyeimbang lampu kontrol	Lampu tidak menyala	Lampu rusak	Lampu sudah <i>lifetime</i>	Tidak terdapat penerangan saat proses angkat- angkut
22.	Cable reel	Sebagai penggulung kabel saat LLC berjalan	Kabel tidak dapat digulung	<i>Cable reel</i> macet	Kurangnya pelumasan	Kabel tidak dapat digulung mengganggu operasi pergerakan LLC
23.	Rail clamps	Sebagai penjepit rel agar LLC tidak dapat bergerak maju mundur	<i>Rail clamps</i> bergerak sendiri	Baut pengunci longgar	Baut yang digunakan sudah <i>lifetime</i>	LLC dapat bergerak maju mundur saat tidak dioperasikan


RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat Angkat-Angkut Produksi				
		Sub sistem : LLC 40 ton				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal				
No	Equipment	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Mechanisme	Failure Effect
24.	Joint 8 wheel equalizer	Sebagai kunci untuk penyeimbang	Roda goyah saat berjalan maju/mundur	Baut pengunci longgar	Baut yang digunakan sudah lifetime	Roda LLC goyah dan dapat terlepas
25.	Hook Block	Sebagai pengait untuk proses angkat-angkut	Tidak dapat digunakan untuk mengangkat beban kerja	Hook retak	Umur pengait yang sudah lama	Kekuatan pengait mengangkat beban berkurang
26.	Slewing ring/roller	Memutar LLC ke kanan/kiri	Tidak dapat memutar LLC	Sistem control rusak	Perpindahan Gerakan <i>slewing</i> yang mendadak	LLC tidak dapat berputar kekanan/kiri
27.	Pedestal bearing luffing	Sebagai bantalan untuk memutar LLC	Tidak bisa menjalankan fungsinya sebagai bantalan	Bantalan luffing macet	Kurangnya pelumasan serta ada benda yang menghambat bantalan	LLC tidak dapat berputar kekanan/kiri
28.	Jib hinge point	Sebagai kunci penahan jib atau lengan	Tidak dapat mengunci atau menahan lengan LLC	Baut pengunci yang longgar	Baut yang sudah lifetime	Jib goyah dan dapat terjatuh

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat Angkat-Angkut Produksi				
		Sub sistem : LLC 40 ton				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal				
No	Equipment	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Mechanisme	Failure Effect
29.	Drive axle	Sebagai penerus putaran mesin ke roda LLC	Roda LLC tidak dapat bergerak	Bearing drive axle rusak	Usia drive axle yang sudah lifetime	LLC tidak dapat berjalan maju mundur
30.	Bogie joint	Sebagai rangkaian roda pada travelling	LLC tidak dapat bergerak	Korosi	Usia wheels yang sudah lifetime	Mengurangi keseimbangan LLC

Surabaya, 05 Juli 2023


Perekayasa II
Uranio Hario Bimo Pratomo, S.T., M.MT

Surabaya, 05 Juli 2023


Inspektur K3 II
Indhita Eka Putra S.ST.

Surabaya, 05 Juli 2023

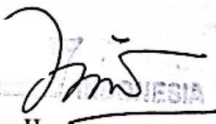

Teknisi Listrik III
Miftachul Arifin

TABEL SEVERTY FMECA (CRITICALITY ANALYSIS)

No.	Part	Severity (S)
1	Panel listrik	3
2	Transformator	5
3	Earth Busbar	5
4	PLC	3
5	Switch on/off	2
6	Motor Hoist	6
7	Motor Luffing	6
8	Motor Slewing	5
9	Motor Travelling	6
10	Hoist Gearbox	5
11	Luffing Gearbox	5
12	Slewing Gearbox	5
13	Travelling Gearbox	5
14	Hoist Brake	4
15	Luffing Brake	4
16	Slewing Brake	4
17	Traveling Brake	4
18	Drum Sling	5
19	Pulley Block	5
20	Wire Rope	4
21	Hook Block	5
22	Suspension device lamp	2
23	Jib hinge point	4
24	Slewing ring bearing roller	3
25	Pedestal bearing luffing	3
26	Cable reel	2
27	Joint 8 wheel equalizer	4
28	Travelling gearbox wheel Axle	5
29	Bogie Joint	3
30	Rail Clamps	4

Surabaya, 05 Juli 2023

Surabaya, 05 Juli 2023


 Perekayasa II
 Uranio Hario Bimo Pratomo, S.T., M.MT


 Inspektur K3 II
 Indhita Eka Putra S.ST.

LAMPIRAN 6
TABEL FMECA

Tabel 6 FMECA LLC 40 Ton

<i>Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>												
System : Alat Angkat-Angkut Produksi							Date : 2023					
Part Name : LLC 40 Ton							Sheet : 1 of 9					
Reference Drawing : -							Complied by : Dena Eka Pujiwisanti Putri					
Mission : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal							Approved :					
Item Number	Item FunctionID	Potential Failure Mode	Failure Mechanism	Severity	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability(β)	Failure Ratio(α)	Operating Time (t)	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (Crxs)	Remarks
1	Panel Listrik Sebagai sumber penyalur tenaga listrik untuk LLC 40 ton	Korseleting listrik	Arus berlebih yang mengalir pada panel listrik	4	0,000004	1	1	11152,00	0,04461	0,04461	0,17843	
2	Transformator Merubah tegangan listrik dari panel listrik	Korsleting listrik	Beban arus berlebih pada output trafo	4	0,000002	1	1	11152,00	0,02230	0,02230	0,08922	
3	Busbar Membagi tegangan listrik ke empat motor	Korsleting listrik	Beban arus berlebih pada output busbar	5	0,000002	1	1	11152,00	0,02230	0,02230	0,11152	

Tabel 6 FMECA LLC 40 Ton

<i>Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>												
System : Alat Angkat-Angkut Produksi							Date : 2023					
Part Name : LLC 40 Ton							Sheet : 1 of 9					
Reference Drawing : -							Complied by : Dena Eka Pujiwisanti Putri					
Mission : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal							Approved :					
Item Number	Item FunctionID	Potential Failure Mode	Failure Mechanism	Severity	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability(β)	Failure Ratio(α)	Operating Time (t)	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (Crxs)	Remarks
4	<u>PLC</u> Mengontrol sistem kerja gerakan LLC 40 ton	Komunikasi profibas rusak	Kabel dalam komunikasi profibas putus	3	0,000004	1	1	11152,00	0,04461	0,04461	0,13382	
5	<u>Switch on/off</u> Menyalakan/mematikan LLC	Tombol rusak	Pemakaian yang terlalu lama	2	0,000002	1	1	11152,00	0,02230	0,02230	0,04461	
6	<u>Motor Hoist</u> Menggerakkan hoist gearbox	Terbakar	Blower pendingin motor tidak berfungsi	6	0,000003	0,375	1	11152,00	0,01255	0,04740	0,28438	
		Bearing rusak	Terkena beban melebihi kapasitas (<i>overload</i>)	6	0,000005	0,625	1	11152,00	0,03485			
7	<u>Motor luffing</u> Menggerakkan Luffing gearbox	Terbakar	Blower pendingin motor tidak berfungsi	6	0,000004	0,571	1	11152,00	0,02549	0,03983	0,23897	

Tabel 6 FMECA LLC 40 Ton

<i>Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>												
System : Alat Angkat-Angkut Produksi							Date : 2023					
Part Name : LLC 40 Ton							Sheet : 1 of 9					
Reference Drawing : -							Complied by : Dena Eka Pujiwisanti Putri					
Mission : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal							Approved :					
Item Number	Item FunctionID	Potential Failure Mode	Failure Mechanism	Severity	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability(β)	Failure Ratio(α)	Operating Time (t)	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (Crxs)	Remarks
		Bearing rusak	Terkena beban melebihi kapasitas (<i>overload</i>)	6	0,000003	0,429	1	11152,00	0,01434			
8	<u>Motor Slewing</u> Menggerakan <i>slewing gearbox</i>	Terbakar	<i>Blower</i> pendingin motor tidak berfungsi	6	0,000003	0,5	1	11152,00	0,01673	0,03346	0,20074	
		Bearing rusak	Terkena beban melebihi kapasitas (<i>overload</i>)	6	0,000003	0,5	1	11152,00	0,01673			
9	<u>Motor Travelling</u> Menggerakan <i>travelling gearbox</i>	Bearing rusak	<i>Blower</i> pendingin motor tidak berfungsi	6	0,000007	0,778	1	11152,00	0,06072	0,07187	0,43121	
		Terbakar	Terkena beban melebihi	6	0,000003	0,222	1	11152,00	0,01115			

Tabel 6 FMECA LLC 40 Ton

<i>Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>												
System : Alat Angkat-Angkut Produksi							Date : 2023					
Part Name : LLC 40 Ton							Sheet : 1 of 9					
Reference Drawing : -							Complied by : Dena Eka Pujiwisanti Putri					
Mission : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal							Approved :					
Item Number	Item FunctionID	Potential Failure Mode	Failure Mechanism	Severity	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability(β)	Failure Ratio(α)	Operating Time (t)	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (Crxs)	Remarks
			kapasitas (<i>overload</i>)									
10	<u>Hoist Gearbox</u> Menggerakkan naik/turun sling(hook)	Kebocoran pada seal	Terjadi gesekan yang terlalu tinggi	6	0,000006	1	1	11152,00	0,06691	0,06691	0,40147	
11	<u>Luffing Gearbox</u> Menggerakkan naik/turun Jib	Kebocoran pada seal	Terjadi gesekan yang terlalu tinggi	5	0,000004	1	1	11152,00	0,04461	0,04461	0,22304	
12	<u>Slewing Gearbox</u> Memutar LLC kanan/kiri	Kebocoran pada seal	Terjadi gesekan yang terlalu tinggi	5	0,000005	1	1	11152,00	0,05576	0,05576	0,27880	

Tabel 6 FMECA LLC 40 Ton

<i>Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>												
System : Alat Angkat-Angkut Produksi							Date : 2023					
Part Name : LLC 40 Ton							Sheet : 1 of 9					
Reference Drawing : -							Complied by : Dena Eka Pujiwisanti Putri					
Mission : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal							Approved :					
Item Number	Item FunctionID	Potential Failure Mode	Failure Mechanism	Severity	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability(β)	Failure Ratio(α)	Operating Time (t)	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (Crxs)	Remarks
13	<u><i>Travelling Gearbox</i></u> Menggerakkan maju/mundur LLC	Kebocoran pada seal	Terjadi gesekan yang terlalu tinggi	5	0,000005	1	1	11152,00	0,05576	0,05576	0,27880	
14	<u><i>Hoist Brake</i></u> Menghentikan naik/turun sling(hook)	Kampas rem aus	Usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan rem yang mendadak	4	0,000003	1	1	11152,00	0,03346	0,03346	0,13382	
15	<u><i>Luffing Brake</i></u> Menghentikan naik/turun Jib	Kampas rem aus	Usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan rem yang mendadak	5	0,000002	1	1	11152,00	0,02230	0,02230	0,11152	

Tabel 6 FMECA LLC 40 Ton

<i>Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>												
System : Alat Angkat-Angkut Produksi							Date : 2023					
Part Name : LLC 40 Ton							Sheet : 1 of 9					
Reference Drawing : -							Complied by : Dena Eka Pujiwisanti Putri					
Mission : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal							Approved :					
Item Number	Item FunctionID	Potential Failure Mode	Failure Mechanism	Severity	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability(β)	Failure Ratio(α)	Operating Time (t)	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (Crxs)	Remarks
16	<u>Slewing Brake</u> Menghentikan putaran kanan/kiri LLC	Kampas rem aus	Usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan rem yang mendadak	4	0,000002	1	1	11152,00	0,02230	0,02230	0,08922	
17	<u>Travelling Brake</u> Menghentikan Gerakan maju/mundur LLC)	Kampas rem aus	Usia kampas rem yang sudah lama dan penggunaan rem yang mendadak	5	0,000004	1	1	11152,00	0,04461	0,04461	0,22304	
18	<u>Drum Sling</u> Sebagai rangkaian tempat rol untuk tali kawat/sling Sebagai rangkaian tempat rol untuk tali kawat/sling	Kontrol overlimit drum sling trouble	Drum sling mengangkat beban yang melebihi kapasitas angkat.	5	0,000003	1	1	11152,00	0,03346	0,03346	0,16728	

Tabel 6 FMECA LLC 40 Ton

<i>Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>												
System : Alat Angkat-Angkut Produksi							Date : 2023					
Part Name : LLC 40 Ton							Sheet : 1 of 9					
Reference Drawing : -							Complied by : Dena Eka Pujiwisanti Putri					
Mission : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal							Approved :					
Item Number	Item FunctionID	Potential Failure Mode	Failure Mechanism	Severity	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability(β)	Failure Ratio(α)	Operating Time (t)	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (Crxs)	Remarks
19	<u>Pulley Block</u> Sebagai Penggerak alur sling	Bearing rusak	Kurangnya pelumasan pada alur pulley	5	0,000003	1	1	11152,00	0,03346	0,03346	0,16728	
20	<u>Wire rope</u> Sebagai alat bantu atau tali kawat baja untuk mengangkat	Rantas	Pengangkatan beban yang berlebih, serta banyaknya gesekan antar <i>wire rope</i>	4	0,000006	1	1	11152,00	0,06691	0,06691	0,26765	
21	<u>Hook Block</u> Sebagai pengait untuk proses angkat-angkut	Hook Retak	Umur pengait yang sudah lama	5	0,000001	1	1	11152,00	0,01115	0,01115	0,05576	
22	<u>Suspension Device Lamp</u> Sebagai penyeimbang lampu kontrol	Lampu rusak	Lampu sudah lifetime	2	0,000002	1	1	11152,00	0,02230	0,02230	0,04461	

Tabel 6 FMECA LLC 40 Ton

<i>Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>												
System : Alat Angkat-Angkut Produksi							Date : 2023					
Part Name : LLC 40 Ton							Sheet : 1 of 9					
Reference Drawing : -							Complied by : Dena Eka Pujiwisanti Putri					
Mission : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal							Approved :					
Item Number	Item FunctionID	Potential Failure Mode	Failure Mechanism	Severity	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability(β)	Failure Ratio(α)	Operating Time (t)	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (Crxs)	Remarks
23	<u>Jib Hinge Point</u> Sebagai kunci penahan jib atau lengan	Baut pengunci yang longgar	Baut yang sudah lifetime	4	0,000001	1	1	11152,00	0,01115	0,01115	0,04461	
24	<u>Slewing ring bearing roller</u> Memutar LLC ke kanan/kiri	Sistem kontrol rusak	Perpindahan Gerakan <i>slewing</i> yang mendadak	3	0,000003	1	1	11152,00	0,03346	0,03346	0,10037	
25	<u>Pedestal bearing luffing</u> Sebagai bantalan untuk memutar LLC	Bantalan luffing macet	Kurangnya pelumasan serta ada benda yang menghambat bantalan	3	0,000002	1	1	11152,00	0,02230	0,02230	0,06691	
26	<u>Cable reel</u> Sebagai penggulung kabel saat LLC berjalan	<i>Cable reel</i> macet	Kurangnya pelumasan	2	0,000001	1	1	11152,00	0,01115	0,01115	0,02230	

Tabel 6 FMECA LLC 40 Ton

<i>Failure Mode Effect and Criticality analysis</i>												
System : Alat Angkat-Angkut Produksi							Date : 2023					
Part Name : LLC 40 Ton							Sheet : 1 of 9					
Reference Drawing : -							Complied by : Dena Eka Pujiwisanti Putri					
Mission : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal							Approved :					
Item Number	Item FunctionID	Potential Failure Mode	Failure Mechanism	Severity	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability(β)	Failure Ratio(α)	Operating Time (t)	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (Crxs)	Remarks
27	<u><i>Joint 8 wheel equalizer</i></u> Sebagai kunci untuk penyeimbang	Baut pengunci longgar	Baut yang digunakan sudah lifetime	4	0,000003	1	1	11152,00	0,03346	0,03346	0,13382	
28	<u><i>Drive Axle</i></u> Sebagai penerus putaran mesin ke roda LLC	<i>Bearing</i> rusak	Usia drive axle yang sudah lifetime	4	0,000004	1	1	11152,00	0,04461	0,04461	0,17843	
29	<u><i>Boogie Joint</i></u> Sebagai rangkaian roda pada travelling	Korosi	Usia <i>wheels</i> yang sudah lifetime	3	0,000006	1	1	11152,00	0,06691	0,06691	0,20074	
30	<u><i>Rail Clamps</i></u> Sebagai penjepit rel agar LLC tidak dapat bergerak maju mundur	Baut pengunci longgar	Baut yang digunakan sudah lifetime	3	0,000001	1	1	11152,00	0,01115	0,01115	0,03346	

LAMPIRAN 7
TABEL RCM II *DECISION WORKSHEET*

Tabel 7 RCM Decision Worksheet LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkat-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :		
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :		
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal													Of :		
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>
					H	S	E	O	S1	S2	S3						
									O1	O2	O3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
1	Panel Listrik	Sebagai sumber penyalur tenaga listrik untuk LLC 40 ton	Panel listrik tidak dapat menyalurkan tegangan listrik	Korseleting listrik	Y	N	N	Y	N	N	Y				Scheduled Restoration task *Melakukan pengecekan kabel sebelum pengoperasian	1885,97786	Maintenance Departement
2	Transformator	Merubah tegangan listrik dari panel listrik	Tegangan listrik tinggi dari panel listrik tidak dapat diturunkan	Kebocoran pada seal genset	Y	N	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian seal pada genset	5038,291012	Maintenance Departement
3	Busbar	Membagi tegangan listrik ke empat motor	Tegangan listrik yang sudah diturunkan tidak dapat dialirkan ke sistem motor LLC 40 ton	Korsleting listrik	Y	N	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian busbar	7327,61779	Maintenance Departement

Tabel 7 RCM *Decision Worksheet* LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkat-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :		
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :		
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal										Of :					
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>
					S1	S2	S3	O1	O2	O3							
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
4	PLC	Mengatur fungsi dan gerakan LLC 40 ton	Program LLC 40 ton tidak berfungsi	Komunikasi profibus rusak	Y	Y	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian sistem control profibus	3864,88367	Maintenance Departement
5	Switch on/off	Menyalakan/mematikan LLC	Tidak dapat mengoprasikan LLC 40 ton	Tombol rusak	Y	N	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian tombol on/off	5864,758665	Maintenance Departement
6	Motor Hoist	Menggerakan <i>hoist gearbox</i>	<i>Motor hoist</i> rusak atau tidak berfungsi	<i>Bearing rusak</i>	Y	N	N	Y	N	Y	N				Scheduled restoration task *Melakukan pembersihan dan pelumasan pada bearing motor hoist menggunakan oli / grease	2221,54379	Maintenance Departement

Tabel 7 RCM *Decision Worksheet* LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkat-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :		
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :		
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal													Of :		
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>
									S1	S2	S3						
									O1	O2	O3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
				Terbakar	Y	N	N	Y	N	Y	N				Scheduled restoration task *Melakukan rewinding motor ke workshop	1374,76852	Maintenance Departement
7	Motor Luffing	Menggerakkan <i>Luffing gearbox</i>	<i>Motor luffing</i> rusak atau tidak berfungsi	<i>Bearing rusak</i>	Y	N	N	Y	N	Y	N				Scheduled restoration task *Melakukan pembersihan dan pelumasan pada bearing motor hoist menggunakan oli / grease	2554,37494	Maintenance Departement
				Terbakar	Y	N	N	Y	N	Y	N				Scheduled restoration task **Melakukan rewinding	3613,99778	Maintenance Departement

Tabel 7 RCM *Decision Worksheet* LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkat-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :				
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal										Of :							
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>		
					S1	S2	S3	O1	O2	O3									
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6					
																	<i>motor ke workshop</i>		
8	Motor Slewing	Menggerakkan <i>slewing gearbox</i>	<i>Motor slewing rusak atau tidak berfungsi</i>	<i>Bearing rusak</i>	Y	N	N	Y	N	Y	N						Scheduled restoration task <i>*Melakukan pembersihan dan pelumasan pada bearing motor hoist menggunakan oli / grease</i>	1717,78752	<i>Maintenance Departement</i>
				Terbakar	Y	N	N	Y	N	Y	N						Scheduled restoration task <i>*Melakukan rewinding motor ke workshop</i>	295,24079	<i>Maintenance Departement</i>

Tabel 7 RCM Decision Worksheet LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkat-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :		
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :		
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal													Of :		
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>
									S1	S2	S3						
									O1	O2	O3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
9	Motor Travelling	Menggerakkan <i>travelling gearbox</i>	<i>Motor travelling</i> rusak atau tidak berfungsi	<i>Bearing rusak</i>	Y	N	N	Y	N	Y	N				Scheduled restoration task *Melakukan pembersihan dan pelumasan pada bearing motor hoist menggunakan oli / grease	530,38742	Maintenance Departement
				Terbakar	Y	N	N	Y	N	Y	N				Scheduled restoration task *Melakukan rewinding motor ke workshop	4526,324	Maintenance Departement

Tabel 7 RCM *Decision Worksheet* LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkat-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :		
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :		
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal													Of :		
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>
									S1	S2	S3						
									O1	O2	O3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
10	Hoist Gearbox	Menggerakkan naik/turun <i>sling(hook)</i>	Menurunkan efisiensi gear dan menurunkan kinerja LLC	Kebocoran pada seal	Y	Y	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian seal pada gear	2056,021	Maintenance Departement
11	Luffing Gearbox	Menggerakkan naik/turun <i>Jib</i>	Menurunkan efisiensi gear dan menurunkan kinerja LLC	Kebocoran pada seal	Y	Y	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian seal pada gear	2593,27334	Maintenance Departement
12	Slewing Gearbox	Memutar LLC kanan/kiri	Menurunkan efisiensi gear dan menurunkan kinerja LLC	Kebocoran pada seal	Y	Y	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian seal pada gear	2158,79988	Maintenance Departement
13	Travelling Gearbox	Menggerakkan maju/mundur LLC	Menurunkan efisiensi gear dan menurunkan kinerja LLC	Kebocoran pada seal	Y	Y	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian seal pada gear	1887,72024	Maintenance Departement

Tabel 7 RCM *Decision Worksheet* LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkat-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :		
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :		
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal													Of :		
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>
									S1	S2	S3						
									O1	O2	O3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
14	Hoist Brake	Menghentikan naik/turun <i>sling(hook)</i>	Tidak dapat menghentikan proses Gerakan <i>hoisting</i>	Kampas rem aus	Y	Y	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian kampas rem	4666,52282	Maintenance Departement
15	Luffing Brake	Menghentikan naik/turun <i>Jib</i>	Tidak dapat menghentikan proses Gerakan <i>luffing</i>	Kampas rem aus	Y	Y	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian kampas rem	4513,24638	Maintenance Departement
16	Slewing Brake	Menghentikan putar kanan/kiri LLC	Tidak dapat menghentikan proses Gerakan <i>slewing</i>	Kampas rem aus	Y	Y	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian kampas rem	3141,986364	Maintenance Departement
17	Travelling Brake	Menghentikan Gerakan maju/mundur LLC	Tidak dapat menghentikan proses Gerakan <i>travelling</i>	Kampas rem aus	Y	Y	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian kampas rem	2173,92175	Maintenance Departement

Tabel 7 RCM *Decision Worksheet* LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkat-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :		
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :		
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal													Of :		
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>
									S1	S2	S3						
									O1	O2	O3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
18	Pulley block	Sebagai Penggerak alur <i>sling</i>	Alur <i>sling</i> tidak dapat berputar	<i>Bearing pulley</i> rusak	Y	N	N	Y	N	Y	N				Scheduled On-Conditioning task *Melakukan pembersihan dan pelumasan pada bearing pulley menggunakan oli / grease	626,2885	Maintenance Departement
19	Drum sling	Sebagai rangkaian tempat rol untuk tali kawat/ <i>sling</i>	<i>Drumsling</i> tidak dapat berfungsi untuk memutar <i>sling</i>	Sistem kontrol rusak	Y	N	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian sistem control potensio referensi	4483,61844	Maintenance Departement

Tabel 7 RCM Decision Worksheet LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkat-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :		
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :		
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal													Of :		
Information references					Consequence evaluation				H1	H2	H3	Default action			Proposed Task	Intial Interval	Can be done by
									S1	S2	S3						
									O1	O2	O3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
20	Wire rope	Sebagai alat bantu atau tali kawat baja untuk mengangkat	Wire rope tidak dapat mengangkat beban sesuai dengan kapasitasnya	Wire rope rantas	Y	Y	N	Y	N	Y	N				Scheduled On-Conditioning task *Melakukan pembersihan dan pelumasan pada wire rope menggunakan grease	1370,7105	Maintenance Departement
21	Suspension Device lamp	Sebagai penyeimbang lampu kontrol	Lampu tidak menyala	Korsleting listrik	Y	N	N	Y	N	N	Y				Scheduled discard task *Melakukan penggantian lampu LED	9969,095803	Maintenance Departement
22	Joint 8 wheel equalizer	Sebagai kunci untuk penyeimbang	Roda goyah saat berjalan maju/mundur	Baut pengunci longgar	Y	N	N	Y	N	N	Y				Scheduled Restoration task *Melakukan perbaikan pada baut pengunci	3203,26564	Maintenance Departement

Tabel 7 RCM *Decision Worksheet* LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkat-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :				
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal													Of :				
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>		
									S1	S2	S3								
									O1	O2	O3								
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6					
																	<i>sebelum pemakaian</i>		
23	<i>Slewing ring/roller</i>	Memutar LLC ke kanan/kiri	Tidak dapat memutar LLC	Sistem kontrol rusak	Y	N	N	Y	N	N	Y						Scheduled discard task *Melakukan penggantian sistem control IGBT	6673,340007	Maintenance Departement
24	<i>Pedestal bearing luffing</i>	Sebagai bantalan untuk memutar LLC	Tidak bisa menjalankan fungsinya sebagai bantalan	Bantalan luffing macet	Y	N	N	Y	N	Y	N						Scheduled restoration task *Melakukan pelumasan pada bantalan luffing menggunakan oli / grease	3416,700834	Maintenance Departement
25	<i>Drive axle</i>	Sebagai penerus putaran mesin ke roda LLC	Roda LLC tidak dapat bergerak	<i>Bearing drive</i> rusak	Y	N	N	Y	N	Y	N						Scheduled On-Conditioning task *Melakukan pembersihan	1426,008	Maintenance Departement

Tabel 7 RCM *Decision Worksheet* LLC 40 Ton

RCM II Decision Worksheet		Sistem : Alat angkut-angkut produksi										Date : 12 Juni 2023			Sheet :				
		Sub sistem : LLC 40 Ton													No :				
		Fungsi sub sistem : Mengangkut beban kerja untuk produksi kapal										Of :							
<i>Information references</i>					<i>Consequence evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Intial Interval</i>	<i>Can be done by</i>		
					S1	S2	S3												
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6					
																	<i>dan pelumasan pada bearing drive menggunakan oli / grease</i>		
26	<i>Bogie joint</i>	Sebagai rangkaian roda pada <i>travelling</i>	LLC mengeluarkan suara saat bergerak	Korosi	Y	Y	N	Y	N	Y	N						Scheduled restoration task *Melakukan pembersihan dan pelumasan pada roda <i>travelling</i> menggunakan oli / grease	2008,44173	<i>Maintenance Departement</i>

LAMPIRAN 8
REKAP DISTRIBUSI PARAMETER

Tabel 8 Hasil Rekapitan Perhitungan Parameter Distribusi

No	Part	Failure mode	Ket	Distribusi	Parameter					
					β	η	γ	μ	σ	λ
1	Motor travelling	Bearing rusak	TTF	Weibull 2	2,267	1566,553	-	-	-	-
			TTR	Weibull 2	19,849	0,658	-	-	-	-
		Terbakar	TTF	Weibull 2	-	-	-	-	-	-
			TTR	Weibull 3	193,719	4858,336	-	-	-	-
2	Hoist gearbox	Kebocoran pada seal	TTF	Normal	0,998	17,713	12,310	-	-	-
			TTR	Weibull 3	0,651	0,341	0,738	-	-	-
3	Motor Hoist	Bearing rusak	TTF	Weibull 2	5,512	2302,146	-	-	-	-
			TTR	Weibull 2	11,108	0,707	-	-	0,051	-
		Terbakar	TTF	Weibull 2	3,820	5106,097	-	-	-	-
			TTR	Weibull 3	0,401	2,386	14,778	-	-	-
4	Slewing gearbox	Kebocoran pada seal	TTF	Weibull 2	2,655	2429,603	-	-	-	-
			TTR	Normal	-	-	-	1,183	0,231	-
5	Travelling gearbox	Kebocoran pada seal	TTF	Weibull 2	2,479	2127,584	-	-	-	-
			TTR	Weibull 2	4,889	1,241	-	-	-	-
6	Wire rope	Rantas	TTF	Weibull 2	9,152	1994,163	-	-	-	-
			TTR	Weibull 2	5,388	1,090	-	-	-	-
7	Motor Luffing	Bearing rusak	TTF	Weibull 2	4,388	3279,534	-	-	-	-
			TTR	Normal	-	-	-	0,646	0,080	-
		Terbakar	TTF	Weibull 2	30,441	5261,389	-	-	-	-
			TTR	Weibull 2	7,216	21,469	-	-	-	-
8	Luffing gearbox	Kebocoran pada seal	TTF	Weibull 2	6,150	2789,066	-	-	-	-
			TTR	Weibull 3	2,679	0,573	0,513	-	-	-
9	Travelling Brake	Kampas rem aus	TTF	Weibull 2	3,829	2403,717	-	-	-	-
			TTR	Weibull 2	6,684	1,162	-	-	-	-
10	Motor Slewing	Bearing rusak	TTF	Weibull 2	3,565	3306,509	-	-	-	-
			TTR	Weibull 3	5,001	1,287	0,072	-	-	-
		Terbakar	TTF	Weibull 2	2,481	3151,660	-	-	-	-
			TTR	Weibull 2	3,781	26,001	-	-	-	-
11	Boogie Joint	Korosi	TTF	Weibull 2	5,262	2410,853	-	-	-	-
			TTR	Weibull 3	3,003	0,574	0,772	-	-	-
12	Panel Listrik	Korseleting listrik	TTF	Weibull 2	15,361	3165,886	-	-	-	-
			TTR	Weibull 2	3,634	1,323	-	1,013	0,480	-
13	Drive Axle	bearing drive axle rusak	TTF	Weibull 2	3,342	2932,011	-	-	-	-
			TTR	Weibull 2	8,870	1,212	-	-	-	-
14	Drum Sling	Sistem 152ontrol drum sling rusak	TTF	Weibull 2	437,738	4483,618	-	-	-	-
			TTR	Normal	-	-	-	2,667	0,289	-

No	Part	Failure mode	Ket	Distribusi	Parameter					
					β	η	γ	μ	σ	λ
15	Pulley Block	Bearing aus	TTF	Exponential 1	3,372	3516,047	-	-	-	-
			TTR	Weibull 3	3,625	1,449	0,033	-	-	-
15	PLC	Komunikasi profibus rusak	TTF	Exponential 1	-	-	-	-	-	0,00025874
			TTR	Weibull 2	19,650	1,406	-	-	-	-
16	Hoist Brake	Kampas rem aus	TTF	Weibull 2	3,852	5159,800	-	-	-	-
			TTR	Weibull 2	19,484	1,153	-	-	-	-
17	Joint 8 Wheel Equalizer	Baut pengunci longgar	TTF	Weibull 2	441,130	3286,942	-	-	-	-
			TTR	Weibull 3	5,007	0,322	0,289	-	-	-
18	Busbar	Korsleting listrik	TTF	Exponential 1	-	-	-	-	-	0,000136470
			TTR	Weibull 2	8,832	3,532	-	-	-	-
19	Luffing Brake	Kampas rem aus	TTF	Exponential 1	-	-	-	-	-	0,000221570
			TTR	Weibull 2	16,767	1,206	-	0,094	0,064	-
20	Slewing Ring Bearing Roller	sistem control rusak	TTF	Exponential 1	-	-	-	-	-	0,000149850
			TTR	Weibull 2	11,957	0,871	-	-	-	-
21	Pulley Block	Bearing aus	TTF	Exponential 1	-	-	-	-	-	0,000158600
			TTR	Log normal	-	-	-	0,203	0,287	-
22	Transformer	Korseleting listrik	TTF	Exponential 1	-	-	-	-	-	0,000198480
			TTR	Weibull 2	17,968	3,867	-	-	-	-
23	Slewing Brake	Kampas rem aus	TTF	Exponential 1	-	-	-	-	-	0,000318270
			TTR	Log normal	-	-	-	0,152	0,101	-
24	Pedestal Bearing Luffing	Bantalan luffing macet	TTF	Exponential 1	-	-	-	-	-	0,000292680
			TTR	Weibull 2	9,949	1,098	-	-	-	-
25	Switch On/Off	Push button rusak	TTF	Exponential 1	-	-	-	-	-	0,000170510
			TTR	Weibull 2	11,957	0,871	-	-	-	-
26	Suspension Device Lamp	Korsleting listrik	TTF	Exponential 1	-	-	-	-	-	0,000100310
			TTR	Weibull 3	1,418	1,732	0,011	-	-	-

****halaman ini sengaja dikosongkan****

LAMPIRAN 9
REKAP BIAYA PERBAIKAN

Table 9 Hasil Rekapitan Perhitungan Biaya Perbaikan LLC 40 Ton

No	Part	Failure Mode	CW (Rp)	CO (Rp)	CM (Rp)	CF (Rp)	CR (Rp)	MTTR
1	Motor Travelling	<i>Bearing rusak</i>	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.500.000	Rp 13.639.946	0,6409
		Terbakar	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 2.000.000	Rp 570.671.823	30,02293
2	Hoist Gearbox	Kebocoran pada seal	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 550.000	Rp 23.372.868	1,2049
3	Motor Hoist	<i>Bearing rusak</i>	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.350.000	Rp 14.141.612	0,6753
		Terbakar	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.500.000	Rp 431.640.859	22,7092
4	Slewing Gearbox	Kebocoran pada seal	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 550.000	Rp 22.957.499	1,1830
5	Travelling Gearbox	Kebocoran pada seal	Rp 0	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 700.000	Rp 22.080.840	1,1392
6	Wire rope	<i>Wire rope</i> rantas	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 0	Rp 19.020.378	1,0042
7	Motor Luffing	<i>Bearing rusak</i>	Rp 0	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.350.000	Rp 13.474.613	0,6460
		Terbakar	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.500.000	Rp 382.299.763	20,1043
8	Luffing Gearbox	Kebocoran pada seal	Rp 0	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 600.000	Rp 19.794.311	1,0227
9	Travelling Brake	Kampas rem aus	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 2.500.000	Rp 23.043.460	1,0846
10	Motor Slewing	<i>Bearing rusak</i>	Rp 0	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.220.000	Rp 24.746.503	1,2535
		Terbakar	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.500.000	Rp 446.907.767	23,5152
11	<i>Bogie joint</i>	Korosi	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 0	Rp 24.350.629	1,2856
12	Panel Listrik	Korseleting listrik	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 300.000	Rp 22.870.372	1,1916
13	<i>Drive axle</i>	<i>bearing drive axle</i> rusak	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 500.000	Rp 22.255.030	1,1486
14	Drum sling	Sistem kontrol drum sling overlimit	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 0	Rp 50.516.314	2,6670
15	Pulley block	Bearing aus	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 375.000	Rp 25.718.653	1,338013755
16	PLC	Komunikasi profibus rusak	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.750.000	Rp 27.674.692	1,3687

Table 9 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Biaya Perbaikan LLC 40 Ton

No	Part	Failure Mode	CW (Rp)	CO (Rp)	CM (Rp)	CF (Rp)	CR (Rp)	MTRR
17	Hoist Brake	Kampas rem aus	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 3.000.000	Rp 24.252.896	1,1220
18	Joint 8 wheel equalizer	Baut pengunci longgar	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 120.000	Rp 11.185.198	0,5842
19	Busbar	Korsleting listrik	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 523.500	Rp 63.911.355	3,3466
20	Luffing Brake	Kampas rem aus	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.500.000	Rp 23.621.913	1,1679
21	<i>Slewing ring/roller</i>	<i>sistem control rusak</i>	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.550.000	Rp 17.389.755	0,8363
22	Transformator	Korsleting listrik	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 500.000	Rp 71.461.486	3,7464
23	Slewing Brake	Kampas rem aus	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 1.000.000	Rp 23.154.811	1,1697
24	<i>Pedestal bearing luffing</i>	Bantalan luffing macet	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 0	Rp 19.780.255	1,0443
25	Switch on/off	Push button rusak	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 200.000	Rp 16.039.755	0,8363
26	Suspension Device lamp	Korsleting listrik	Rp 172.500	Rp 18.768.750	Rp 121.875	Rp 140.000	Rp 30.216.489	1,5879

****halaman ini sengaja dikosongkan****

BIOGRAFI PENULIS



Dena Eka Pujiwisanti Putri merupakan nama penulis dari tugas akhir ini. Penulis lahir di Gresik pada tanggal 16 September 2001. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang merupakan putra dari pasangan Bapak Iwan Suwara dan Ibu Puji Astutik. Penulis menempuh Pendidikan di kota Surabaya sejak sekolah menengah pertama hingga sekolah menengah atas, dan melanjutkan pendidikannya di perguruan tinggi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dengan Program Studi D4- Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal. Setelah melalui banyak proses, kendala dan tantangan pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**PENJADWALAN PERAWATAN LEVEL LUFFING CRANE 40 TON MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM II)**”. Dari hasil penulisan tugas ini penulis berharap dapat memberikan wawasan dan manfaat bagi pembaca. Terakhir penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dengan bangga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah mendukung, mendoakan, dan membantu atas terselesaikannya Tugas Akhir ini. Adapun kritik dan saran terhadap penulis dapat menghubungi penulis melalui email denaeka@student.ppns.ac.id