



TUGAS AKHIR : TI 184833

**PENJADWALAN MAINTENANCE DENGAN METODE
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II (STUDI KASUS :
COOLING WATER PUMP PERUSAHAAN PLASTICIZER)**

Azimatul Khusniah

NRP 02411540000032

DOSEN PEMBIMBING :

Yudha Prasetyawan, S.T., M.Eng.

NIP. 197705232000031002

DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019



FINAL PROJECT : TI 184833

**MAINTENANCE SCHEDULING USING RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE II METHOD (STUDY CASE :
COOLING WATER PUMP PLASTICIZER COMPANY)**

Azimatul Khusniah

NRP 02411540000032

SUPERVISOR :

Yudha Prasetyawan, S.T., M.Eng.

NIP. 197705232000031002

INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019

LEMBAR PENGESAHAN
PENJADWALAN MAINTENANCE DENGAN METODE *RELIABILITY*
CENTERED MAINTENANCE II
(STUDI KASUS : *COOLING WATER PUMP* PERUSAHAAN
***PLASTICIZER*)**

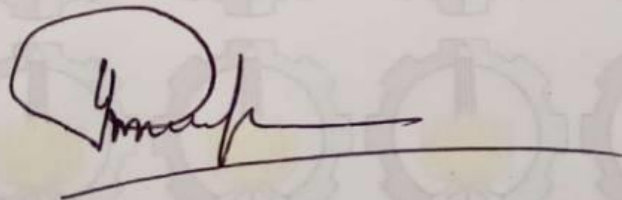
TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Azimatul Khusniah
NRP. 0241154000032

Mengetahui dan Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Yudha Prasetyawan, S.T.,M.Eng.

NIP. 197705232000031002



Halaman ini sengaja dikosongkan

**PENJADWALAN MAINTENANCE DENGAN METODE *RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE II* (STUDI KASUS : *COOLING WATER
PUMP* PERUSAHAAN *PLASTICIZER*)**

Nama mahasiswa : Azimatul Khusniah
NRP : 0241154000032
Pembimbing : Yudha Prasetyawan, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Perusahaan *plasticizer* merupakan perusahaan penghasil bahan baku plastik yaitu *Diocetyl Phthalate* (DOP). Untuk menghasilkan DOP berkualitas dibutuhkan proses yang baik. Proses produksi DOP adalah reaktor, *heater*, *stripper* dan pendukung. Salah satu proses pendukung dalam proses produksi adalah *cooling water pump*, yang berfungsi sebagai proses air pendingin yang digunakan untuk *service* kebutuhan dalam proses produksi DOP. Penelitian ini membahas penjadwalan *maintenance* menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II untuk menghasilkan *maintenance task* yang tepat. Melalui RCM II *Decision worksheet* dilengkapi dengan 5 jenis *maintenance task* yaitu *Scheduled Restoration Task*, *Scheduled Discard Task*, *On Condition Task*, *Finding Failure Task* dan *No Schedule Maintenance Task*. Selanjutnya RCM II *Information worksheet* menggunakan *Failure Mode Effect And Analysis* (FMEA) untuk mengetahui fungsi komponen, fungsi kegagalan, penyebab kegagalan, dan akibat yang ditimbulkan dari kegagalan komponen. Kemudian ditentukan interval perawatan sekaligus dilakukan plotting kalender perawatan selama periode 1 tahun serta teknik penentuan pengadaan komponen pada *cooling water pump*. Hasil analisis RCM II yaitu terdapat 6 komponen dengan tipe perawatan *scheduled discard task*, 2 komponen dengan tipe perawatan *scheduled restoration task*, dan 3 komponen menggunakan tipe perawatan *failure finding interval*. Total efisiensi biaya perawatan adalah 24% yaitu sebesar Rp. 94.165.350,00.

Kata Kunci: *Cooling Water Pump, Reliability Centered Maintenance II, FMEA, Interval Perawatan, pengadaan, plotting kalender.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**MAINTENANCE SCHEDULING DESIGN USING RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE II METHOD (STUDY CASE : COOLING
WATER PUMP PLASTICIZER COMPANY)**

Name : Azimatul Khusniah
Student ID : 0241154000032
Departement : Industrial Engineering
Supevisor : Yudha Prasetyawan, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

The plasticizer company is a plastic raw material producing company, Dioctyl Phthalate (DOP). To produce quality DOP, a good component is needed. The DOP production process are reactor, heater, stripper and supporters. One of the supporting process in the production process is a water pump, which functions as a process of cooling water that is used to service needs in the DOP production process. This study discusses maintenance scheduling using the Reliability Centered Maintenance (RCM) II method to produce the right maintenance task. Through RCM II the worksheet decision is equipped with 5 types of maintenance tasks, namely Scheduled Restoration Task, Scheduled Discard Task, On Condition Task, Finding Failure Task and No Schedule Maintenance Task. Furthermore RCM II Information worksheet uses Failure Mode Effect And Analysis (FMEA) to find out the function of components, failure functions, causes of failure, and the consequences of component failure. Then the maintenance interval was determined as well as plotting the maintenance calendar for a period of 1 year and the technique of determining the procurement of components at the cooling water pump. The results of RCM II analysis are that there are 6 components with the type of scheduled discard task maintenance, 2 components with the type of maintenance restoration task schedule, and 3 components using the type of failure finding interval treatment. The total efficiency of maintenance costs is 24% which is Rp. 94,165,350.00.

Key words : Cooling Water Pump, Reliability Centered Maintenance II, FMEA, Maintenance Interval, procurement, plotting the maintenance calendar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan lancar dan tepat pada waktunya. Shalawat dan salam senantiasa penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu' alaihi wa sallam.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan strata-1 di Departemen Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul “Penjadwalan *Maintenance* dengan Metode *Reliability Centered Maintenance II* (Studi Kasus: *Cooling Water Pump* Perusahaan *Plasticizer*). Selama proses pengerjaan Laporan, penulis mendapatkan bimbingan, arahan, bantuan, saran dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Bapak Yudha Prasetyawan, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Mega Bagus, Bapak Muhammad Fauzi, Bapak Adit yang telah memberikan kesempatan, bantuan dan bimbingan dalam proses pengambilan data di perusahaan.
3. Dr. Ir. Mokh. Suef, Msc(Eng) dan Ratna Sari Dewi, ST., MT., Ph.D selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah banyak memberikan saran dan masukan untuk perbaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Industri ITS yang telah mendidik dan mengajarkan berbagai ilmu selama perkuliahan sebagai bekal di kemudian hari.
5. Kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan motivasi pada penulis.
6. Semua pihak yang terlibat yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas bantuan doa, semangat dan motivasi untuk penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa penulisan Laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mohon kritik dan saran pembaca yang dapat membangun dan memperbaiki penulisan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2019

Azimatul Khusniah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	7
1.5.1. Batasan Penelitian	7
1.5.2. Asumsi Penelitian	7
1.6. Sistematika Penulisan	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Perawatan (<i>Maintenance</i>)	12
2.2 Konsep Perawatan	12
2.3 Keandalan	14
2.3.1. Fungsi Keandalan	15
2.3.2. Laju Kegagalan	15
2.3.3. Mean Time to Failure (MTTF)	15
2.3.4. Distribusi pada Keandalan	16
2.4 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA)	18

2.5 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM) II</i>	18
2.6 <i>Interval Waktu Pemeliharaan</i>	26
2.6.1. Interval Pemeliharaan Schedule Discard Task	26
2.6.2. Interval Pemeliharaan Schedule Restoration Task	27
2.6.3. Interval Pemeliharaan Finding Task	28
2.6.4. Interval Pemeliharaan On- Condition Task	28
2.7 <i>Pompa</i>	30
2.8 <i>Penelitian Terdahulu</i>	31
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 <i>Tahap Identifikasi Awal</i>	35
3.1.1. Identifikasi Permasalahan	36
3.1.2. Perumusan Masalah	36
3.1.3. Penentuan Tujuan	36
3.1.4. Penentuan Ruang Lingkup Penelitian	36
3.1.5. Studi Lapangan	37
3.1.6. Studi Literatur	37
3.2 <i>Tahap Pengumpulan Data</i>	37
3.3 <i>Tahap Pengolahan Data</i>	37
3.3.1 Penyusunan Functional Block Diagram (FBD)	38
3.3.2 Analisis Fungsi Kegagalan Sistem dan Penyebab Kegagalan Sistem	38
3.3.3 Analisis FMEA	39
3.3.4 Evaluasi Failure Mode dengan Reliability Centered Maintenance (RCM) II Information Worksheet	39
3.3.5 Menentukan Perawatan dengan Maintenance melalui (RCM) II Decision Worksheet	40

3.3.6 Pembuatan Penjadwalan Maintenance	40
3.3.7 Penentuan Biaya Perbaikan dan Pengadaan Komponen.....	40
3.4 Tahap Analisis dan Interpretasi Data.....	40
3.5 Tahap Kesimpulan dan Saran	41
3.6 <i>Flowchart</i> Pembuatan RCM II <i>Information Worksheet</i>	41
3.7 <i>Flowchart</i> Pembuatan RCM II <i>Decision Worksheet</i>	43
3.8 <i>Flowchart</i> Penyesuaian Jadwal.....	44
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	47
4.1 Gambaran Umum Perusahaan	47
4.2 Proses Produksi Dioctyl Phtalate (DOP)	48
4.3 <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) II <i>Information Worksheet</i>	50
4.4 <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) II <i>Decision Worksheet</i>	55
4.5 <i>Functional Block Diagram</i>	59
4.6 <i>Time To Failure</i>	63
4.6.1. Fitting Distribusi Time To Failure Komponen	63
4.6.2. Perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF).....	67
4.7 <i>Time To Repair</i>	69
4.7.1. Fitting Distribusi Time To Failure Komponen	69
4.7.2. Perhitungan Mean Time To Repair (MTTR).....	73
4.8 <i>Reliability Block Diagram</i>	75
4.9 Penentuan Interval Pemeliharaan	77
4.9.1. Interval Pemeliharaan Scheduled Resoration Task dan Scheduled Discard Task	77
4.9.2. Interval Pemeliharaan Scheduled Discard Task.....	79
4.9.3. Interval Pemeliharaan Finding Failure Interval	87
4.10 Perhitungan Biaya Perawatan	88

4.11 Uji Sensitivitas	96
4.12 Penentuan Alokasi Pengadaan Komponen	99
BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA	102
5.1 Analisis Proses Produksi <i>Dioctyl Phthalate</i> (DOP)	102
5.2 Analisis RCM II <i>Information Worksheet</i>	103
5.3 Analisis RCM II <i>Decision Worksheet</i>	103
5.4 Analisis Perhitungan MTBF	106
5.5 Analisis Perhitungan MTTR	107
5.6 Analisis Interval Pemeliharaan	107
5.6.1. Analisis Interval Pemeliharaan Scheduled Discard Task dan Scheduled Restoration Task.....	107
5.6.2. Analisis Interval Pemeliharaan Failure Finding Interval	109
5.7 Analisis Biaya Perawatan dan Pengadaan Komponen.....	109
5.8 Analisis Sensitivitas	110
5.9 Analisis Kalender Pemeliharaan Periode 1 Tahun.....	116
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	118
6.1 Kesimpulan	118
6.2 Saran.....	119
DAFTAR PUSTAKA.....	120
LAMPIRAN 1	xvii
LAMPIRAN 2	xviii
LAMPIRAN 3	xxi
LAMPIRAN 4	xxiii
LAMPIRAN 5	xxvii
LAMPIRAN 6	xxxix
BIOGRAFI PENULIS	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Consequences Evaluation</i>	23
Tabel 2. 2 Syarat Pengisian <i>Proactive Task</i>	24
Tabel 2. 3 Penelitian Sebelumnya.....	32
Tabel 4. 1 Spesifikasi Pompa di <i>Cooling Water Pump</i>	47
Tabel 4. 2 Rekap Komponen <i>Cooling Water Pump</i>	51
Tabel 4. 3 Rekap <i>Reliability Centered Maintenance (RCM) II Information Worksheet</i>	52
Tabel 4. 4 Kondisi <i>Disfunction</i> di <i>Cooling Water Pump</i>	59
Tabel 4. 5 Rekap Data <i>Time To Failure</i>	63
Tabel 4. 6 Rekap Distribusi Komponen <i>Time To Failure</i>	66
Tabel 4. 7 Hasil Rekap <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	68
Tabel 4. 8 Rekap Data <i>Time to Repair</i>	69
Tabel 4. 9 Rekap Distribusi <i>Time to Repair</i>	72
Tabel 4. 10 Hasil Rekap <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	74
Tabel 4. 11 Rekap Keandalan Komponen.....	75
Tabel 4. 12 <i>Proposed Interval</i> Komponen <i>Scheduled Restoration Task</i>	77
Tabel 4. 13 Contoh Parameter <i>Scheduled Restoration Task</i>	78
Tabel 4. 14 Simulasi <i>Scheduled Restoration Task Shaft</i>	79
Tabel 4. 15 Simulasi <i>Scheduled Restoration Task Motor</i>	79
Tabel 4. 16 Rekap <i>Proposed Task Scheduled Discard Task</i>	80
Tabel 4. 17 Rekap Data Harga Komponen	81
Tabel 4. 18 Rekap Perhitungan CR, CO,CW, dan CF.....	85
Tabel 4. 19 Rekap Data CWPM, CPPM, COPM, dan CM.....	85
Tabel 4. 20 Rekap Perhitungan TM	86
Tabel 4. 21 Rekap Rekomendasi Waktu Perawatan dan Waktu Perawatan Eksisting	89
Tabel 4. 22 Rekap Data Frekuensi Perawatan Eksisting Komponen.....	89
Tabel 4. 23 Rekap Frekuensi Rekomendasi Perawatan Komponen	91
Tabel 4. 24 Rekap Nilai CR, CF, dan CW dan Frekuensi Metode Eksisting	93

Tabel 4. 25 Rekap Nilai CR, CF, dan CW dan Frekuensi Metode Rekomendasi .	94
Tabel 4. 26 Rekap <i>Finding Failure Interval</i>	88
Tabel 4. 27 Uji Sensitivitas Komponen <i>Bearing</i>	98
Tabel 5. 1 Rekap <i>Scheduled Discard Task</i> dan <i>Scheduled Restoration Task</i>	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Frekuensi Kerusakan Mesin <i>Cooling Water Pump</i>	4
Gambar 1. 2 <i>Flowsheet</i> Dasar Proses <i>Diocetyl Phthalate</i> (DOP).....	2
Gambar 2. 1 Konsep Tinjauan Pustaka	11
Gambar 2. 2 Klasifikasi Perawatan (Dhillon, 2006)	13
Gambar 2. 3 RCM II <i>Decision Diagram</i> (Moubray, 1997)	22
Gambar 2.4 RCM II <i>Decision Worksheet</i> (Moubray, 1997).....	25
Gambar 2.5 Interval P-F (Moubray, 1997)	29
Gambar 2. 6 <i>Bearing Potential Failure</i> (kiri) dan <i>Bearing Functional Failure</i> (kanan).....	29
Gambar 2. 7 Jenis-Jenis Pompa (Forsthoffer, 2005).....	30
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian Tugas Akhir	33
Gambar 3. 2 Contoh <i>Functional Block Diagram</i>	38
Gambar 3. 3 Contoh perhitungan FMEA (Putra & Purba, 2018)	39
Gambar 3. 4 <i>Flowchart</i> Pembuatan RCM II <i>Information Worksheet</i>	42
Gambar 3. 5 <i>Form RCM II Information Worksheet</i>	43
Gambar 3. 6 <i>Flowchart</i> Pembuatan RCM II <i>Decision Worksheet</i>	43
Gambar 3. 7 <i>Form RCM II Decision Worksheet</i>	44
Gambar 3. 8 <i>Flowchart</i> Alur Penyesuaian Jadwal.....	44
Gambar 3. 9 Contoh Template Penjadwalan Perawatan	45
Gambar 4. 1 Alur Proses Produksi DOP	49
Gambar 4. 2 Hasil Rekap RCM II <i>Decision Worksheet</i>	56
Gambar 4. 3 <i>Fuctional Block Diagram Cooling Water Pump</i>	61
Gambar 4. 4 <i>Fitting Distribution Time to Failure</i> dengan Weibull++6	64
Gambar 4. 5 Parameter Distribusi <i>Time to Failure</i> pada <i>Software</i> Weibull++6... 65	
Gambar 4. 6 <i>Fitting</i> Distribusi <i>Time to Repair</i> menggunakan Weibull++6	70
Gambar 4. 7 Parameter Distribusi <i>Time to Repair</i> Menggunakan Weibull++6.... 71	
Gambar 4. 8 <i>Reliability Block Diagram Cooling Water Pump</i>	76
Gambar 5. 1 Perbandingan Jumlah <i>Proposed Maintenance Task</i>	104
Gambar 5. 2 Grafik Uji Sensitivitas <i>Gland Packing</i>	111

Gambar 5. 3 Grafik Uji Sensitivitas <i>Wearing Seal</i>	111
Gambar 5. 4 Grafik Uji Sensitivitas <i>Bearing</i>	112
Gambar 5. 5 Grafik Uji Sensitivitas <i>Vane</i>	112
Gambar 5. 6 Grafik Uji Sensitivitas <i>Shaft</i>	113
Gambar 5. 7 Grafik Uji Sensitivitas <i>Oil Seal</i>	113
Gambar 5. 8 Grafik Uji Sensitivitas <i>Gasket</i>	114
Gambar 5. 9 Grafik Uji Sensitivitas <i>Oil Gauge</i>	114
Gambar 5. 10 Grafik Uji Sensitivitas Motor	115
Gambar 5. 11 Grafik Uji Sensitivitas <i>Deep Groove Ball Bearing</i>	115
Gambar 5. 12 Grafik Uji Sensitivitas <i>Gearbox</i>	116

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

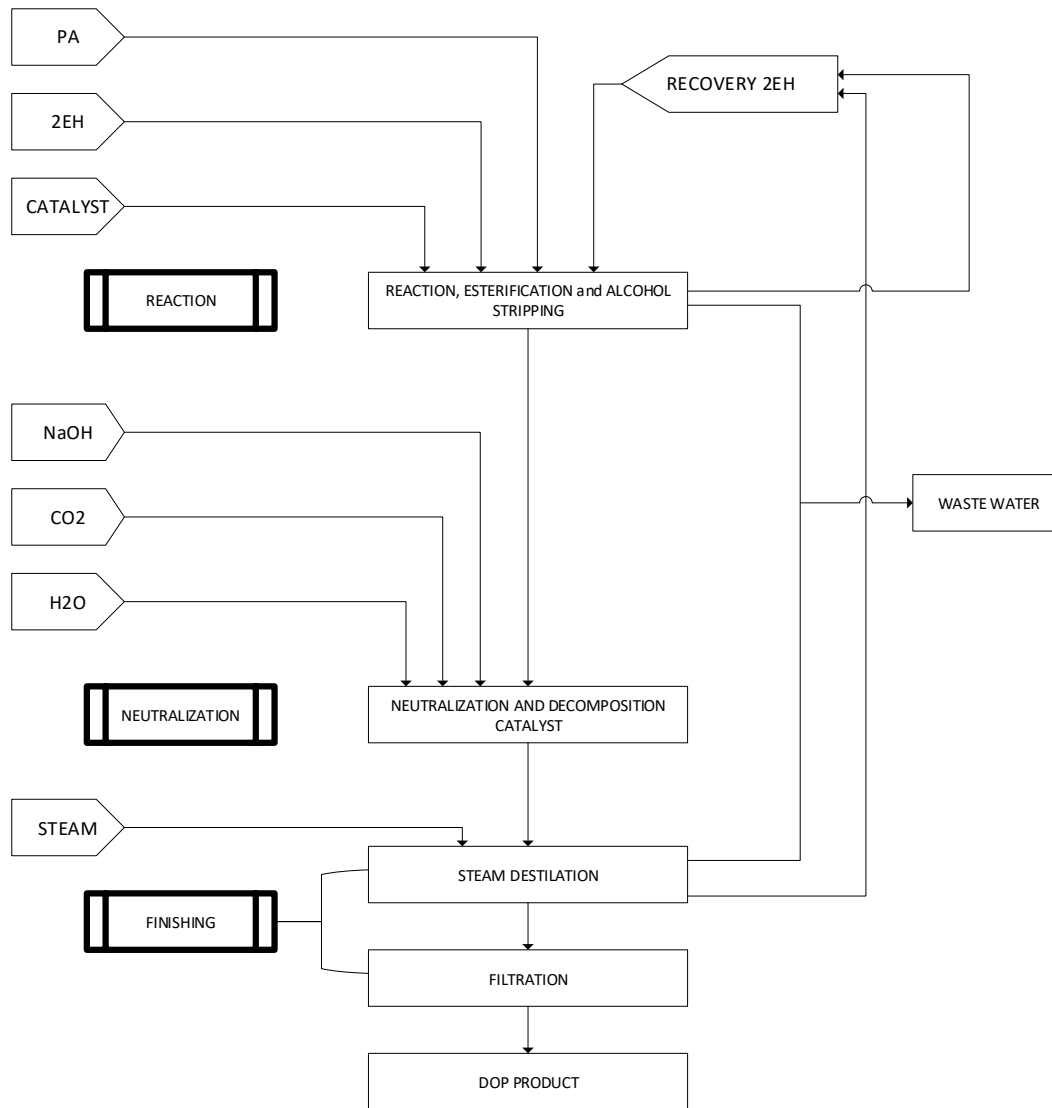
1.1. Latar Belakang

Persaingan industri plastik yang semakin pesat memacu setiap perusahaan plastik untuk meningkatkan kualitas produknya. Kualitas produk menjadi target utama untuk mengurangi variabilitas dan *waste* yang dihasilkan dari proses produksi, selain itu spesifikasi produk yang ditawarkan *customer* yang berbeda memacu timbulnya persaingan kualitas produk. Dengan begitu, industri yang tidak mampu menghasilkan kualitas produk baik, tidak akan bertahan di pasaran. Untuk memperoleh produk yang berkualitas harus didukung dengan mesin, fasilitas, dan peralatan yang memiliki performansi terbaik dan tingkat availabilitas tinggi untuk dapat meningkatkan jumlah produksi agar dapat memenuhi permintaan pasar.

Apabila terjadi kerusakan pada salah satu mesin dapat mengakibatkan terganggunya proses produksi, sehingga diperlukan perawatan yang terencana dan terjadwal untuk menanggulangi risiko kerusakan mesin. Oleh karena itu, diperlukan strategi pemeliharaan yang tepat untuk menghasilkan interval perawatan yang optimal sesuai dengan kebutuhan setiap mesin.

Perusahaan *Plasticizer* merupakan perusahaan yang memproduksi *Diocetyl Phthalate* (DOP) sebagai bahan utama dalam pembuatan barang-barang plastik. Kebutuhan DOP di Indonesia untuk produksi bahan plastik cukup tinggi yaitu sebesar 60% per tahun. Proses produksi di perusahaan *plasticizer* berlangsung selama 7 hari kerja. Proses produksi dilakukan selama 24 jam setiap harinya, dengan target produksi per hari 105 ton DOP yang dipasarkan secara nasional di seluruh perusahaan di Indonesia. Dengan target produksi yang cukup besar diharapkan dapat menggantikan DOP *import* yang didatangkan dari luar negeri

seperti Jerman Barat, Amerika Serikat, Jepang dan negara lainnya. Berikut ini merupakan proses produksi DOP di perusahaan *plasticizer* adalah sebagai berikut:



Gambar 1. 1 *Flowsheet* Dasar Proses *Diocetyl Phthalate* (DOP)

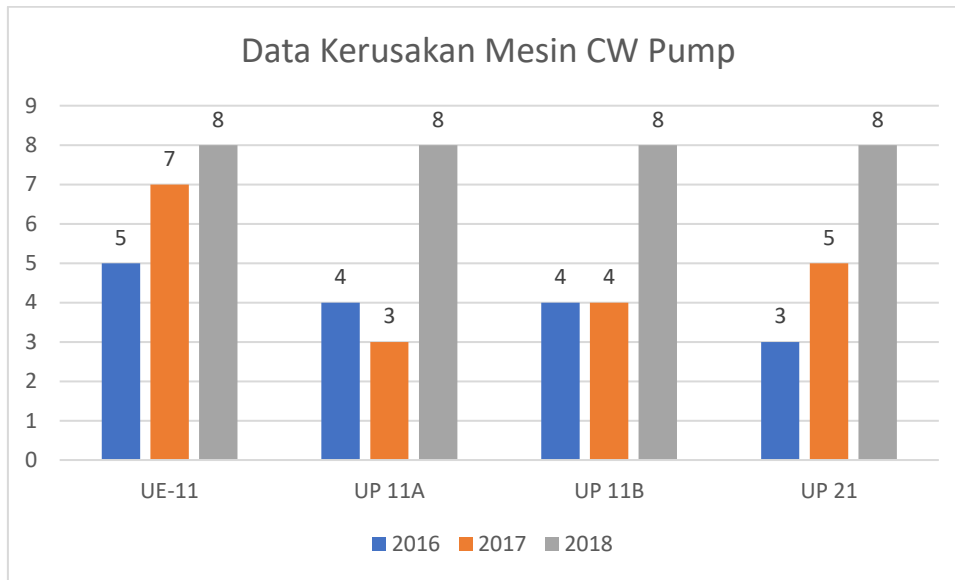
Dari proses produksi pada gambar 1.1, terdapat 3 proses yang terdiri dari proses reaksi, nertralisasi dan *finishing* untuk menghasilkan DOP dengan kualitas yang baik. Proses produksi DOP menggunakan metode esterifikasi antara *phthalic anhydride* dan *2 Ethyl Hexanol* dengan bantuan katalis asam sulfat dengan temperatur 150 °C. Pada setiap proses dibutuhkan mesin dan fasilitas pendukung, sehingga apabila terjadi kerusakan mesin dapat menghambat proses produksi

selanjutnya yang mengakibatkan lamanya *downtime* mesin yang mengakibatkan kualitas produk kurang bagus, meningkatnya biaya operasional produksi, dan tidak terpenuhinya pelayanan konsumen.

Peralatan utama menjadi faktor penting yang digunakan dalam proses produksi seperti *reactor*, *heater*, *stripper* dan peralatan pendukung lainnya yaitu *cooling water pump*. *Cooling water pump* merupakan proses air pendingin yang digunakan untuk *service* kebutuhan dalam proses produksi DOP yang terdiri dari komponen pompa UP-11 A/B, UE-11, UP-21 yang digunakan sebagai pendingin dalam proses produksi. *Cooling water pump* dilengkapi dengan kapasitas air pendingin 300 m³/jam dengan volume bak air 110 m³. Dalam menjaga kualitas *cooling water pump* sesuai dengan persyaratan, bak air dilengkapi dengan kurizet S-370 dan kurizet T-225 yang berfungsi untuk mencegah korosif pada setiap pompa dan pengontrol penyebaran *scale* atau meratakan lapisan film yang dibentuk oleh kurizet S-370. Kegagalan pada pompa di *cooling water pump* dalam menjalankan fungsinya dapat menyebabkan proses pencampuran bahan baku *Phthalic Anhidryde* (PA), *2-Ethyl Hexanol* (2-EH), dan katalis tidak sempurna yang berdampak pada kualitas DOP yang menurun yang mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian. Semua proses pendingin harus didukung dengan fasilitas sistem produksi yang mampu untuk melakukan fungsinya dengan tepat. Agar mendapatkan mesin, fasilitas, dan peralatan produksi yang memiliki tingkat *availabilitas* tinggi dan produk dengan kualitas bagus diperlukan tindakan perawatan yang terencana dan terjadwal untuk menghindari kerusakan mesin secara mendadak.

Perusahaan *Plasticizer* telah melakukan kegiatan perawatan setiap 3 bulan sekali berupa cek vibrasi, cek *noise*, cek *leak* pada *seal*, dan cek *temperature*. Namun, penjadwalan tersebut dilakukan secara kondisional berdasarkan subjektifitas teknisi dan kerusakan komponen. Apabila ditemukan kerusakan pada pompa, pihak *maintenance* akan melakukan tindakan perbaikan pada pompa tersebut. Berdasarkan data kerusakan dari perusahaan, pada tanggal 2 November 2016 telah terjadi kebakaran pada motor pompa yang diakibatkan oleh *overload* pompa. Apabila kerusakan tersebut sering terjadi akan mengakibatkan kerugian yang sangat besar pada perusahaan.

Menurut data perusahaan, terdapat beberapa mesin yang membutuhkan perawatan rutin untuk menghindari kerusakan mesin yang dapat mengganggu jalannya proses produksi. Berikut ini akan ditampilkan grafik kegagalan beberapa mesin mulai Januari 2016 hingga Desember 2018.



Gambar 1. 2 Frekuensi Kerusakan Mesin *Cooling Water Pump*

Berdasarkan gambar 1.2, terdapat beberapa mesin yang digunakan dalam proses produksi di *cooling water pump* yang memerlukan perawatan untuk mempertahankan kualitas produk diantaranya adalah *deep grove ball bearing*, *oil seal* pada pompa UP-11 A/B, *bearing*, *shaft*, *oil seal* pada UE-11, dan *bearing* A dan B pada UP-21. Selain itu, kerusakan pada *bearing* yang sudah mengalami keausan dan kebocoran pada mesin *seal* dan adanya ketidakseimbangan pada *shaft* pompa. Menurut data perusahaan, persentase kerusakan komponen mesin tahun 2016 – 2017 sekitar 50% yang mengakibatkan terganggunya proses produksi DOP berhenti, sehingga perusahaan mengalami kerugian.

Tindakan perbaikan pada masing-masing komponen pompa membutuhkan waktu 2 hari, karena poses *rewinding* pada motor pompa membutuhkan waktu perbaikan yang lama selama 3-4 hari. Oleh karena itu, diperlukan metode yang tepat untuk perawatan setiap mesin. Sehingga kerusakan mesin dapat diminimalisir, sehingga performansi mesin dapat berfungsi dengan baik.

Salah satu metode yang dipakai untuk menentukan kebijakan perawatan adalah metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II. RCM II merupakan metode kualitatif yang digunakan untuk menentukan jenis kegiatan perawatan yang tepat untuk menjaga aset fisik perusahaan sehingga dapat menjalankan fungsi operasionalnya. Tujuan utama RCM II adalah untuk meningkatkan kinerja peralatan atau aset fisik pabrik dengan menentukan metode perawatan yang efektif dan efisien (Khasanah, 2011). Kelebihan metode RCM II ini adalah memiliki *procedure* pengolahan data yang detail serta terdapat penjadwalan mesin sesuai dengan kegunaan, sehingga membantu meningkatkan keandalan dan usia mesin, memperbaiki performansi operasi produksi meliputi *output* produk, kualitas produk dan pelayanan konsumen. RCM II dilengkapi dengan kerangka kerja yang tepat untuk manajemen pemeliharaan dengan memfokuskan pada komponen penting untuk menghindari biaya perawatan yang tinggi (Gupta & Mishra, 2018), RCM II menghasilkan biaya perawatan yang lebih efisien dibandingkan dengan metode perawatan lainnya. Dengan RCM II akan diperoleh waktu pelaksanaan aktivitas *maintenance* dan interval perawatan setiap mesin yang lebih efektif.

FMEA (*Failure Mode Effect and Analysis*) adalah metode untuk mengidentifikasi bahaya yang berhubungan dengan keandalan mesin, fasilitas dan peralatan yang sangat baik untuk mengidentifikasi kerusakan dari komponen mesin, mencari penyebab kegagalan dari setiap komponen mesin. FMEA adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (Barends et al., 2012). FMEA bertujuan untuk mengidentifikasi dan menilai risiko-risiko yang berhubungan dengan potensi kegagalan (Iswanto, et al., 2013). Pada penelitian tugas akhir ini akan mendefinisikan fungsi dan fungsi kegagalan dari komponen mesin di *cooling water pump* menggunakan FMEA. Berdasarkan pemaparan permasalahan di atas, ditentukan pula kegiatan perawatan yang sesuai dengan interval waktu perbaikan mesin di *cooling water pump* dan ditentukan teknik pengadaan komponen mesin yang diperoleh dari interval penjadwalan perawatan setiap mesin. Dengan demikian, perancangan *maintenance* yang tepat dapat meminimalisir konsekuensi yang kegagalan yang akan terjadi dan memberikan *improvement* yang memberikan keuntungan bagi perusahaan maupun pelayanan konsumen.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian tugas akhir ini adalah “Bagaimana merancang penjadwalan aktivitas pemeliharaan, interval pemeliharaan, dan teknis pemeliharaan komponen mesin pada Perusahaan *Plasticizer* menggunakan *Reliability Centered Maintenance II* serta menentukan teknik pengadaan komponen mesin”.

1.3. Tujuan Penelitian

Berikut ini akan dijelaskan mengenai tujuan yang akan dicapai dalam penelitian tugas akhir ini.

1. Mengidentifikasi fungsi kegagalan, penyebab kegagalan dan dampak dari kegagalan komponen pada *cooling water pump*.
2. Mendapatkan rancangan aktivitas pemeliharaan yang tepat pada setiap mesin yang memberikan manfaat pada perusahaan *plasticizer*.
3. Mendapatkan interval perawatan setiap mesin pada *cooling water pump* yang memberikan pengaruh penjadwalan perawatan mesin.
4. Membuat kalender perawatan selama periode 1 tahun.
5. Memberikan rekomendasi biaya perawatan dan pengadaan komponen mesin selama periode 1 tahun.

1.4. Manfaat Penelitian

Berikut ini akan dijelaskan mengenai manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian tugas akhir ini, yaitu :

1. Memberikan alternatif rancangan pemeliharaan yang dapat membantu meningkatkan performansi mesin pada *cooling water pump* di Perusahaan *Plasticizer*.
2. Memberikan alternatif interval waktu pemeliharaan pada setiap mesin pada *cooling water pump* berdasarkan *Reliability Centered Maintenance II*.
3. Memberikan rekomendasi aktivitas pemeliharaan yang terjadwal untuk meningkatkan availabilitas mesin di Perusahaan *Plasticizer* selama periode 1 tahun.

4. Memberikan rekomendasi biaya perawatan dan pengadaan komponen mesin di Perusahaan *Plasticizer*.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Berikut ini akan dijelaskan mengenai ruang lingkup penelitian yang terdiri dari batasan dan asumsi dari penelitian yang dilakukan oleh penulis.

1.5.1. Batasan Penelitian

Berikut ini akan dijelaskan mengenai batasan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan data kerusakan periode tahun 2016 sampai dengan 2018.
2. Kerusakan komponen atau peralatan yang terjadi yaitu tercatat pada data historis perawatan bukan disebabkan oleh *human error*.
3. Penelitian ini dibatasi pada bagian *Cooling Water Pump* di proses produksi DOP di Perusahaan *Plasticizer*.
4. Rancangan penjadwal pemeliharaan yang dilakukan selama periode 1 tahun.

1.5.2. Asumsi Penelitian

Berikut ini akan dijelaskan mengenai asumsi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini, yaitu :

1. Mesin dengan Merek yang sama memiliki nilai *mean time to failure* (MTTF) dan *mean time to reliability* (MTTR) yang sama.
2. Perusahaan *Plasticizer* mampu menyediakan komponen baru pada saat jadwal pergantian komponen atau peralatan.

1.6. Sistematika Penulisan

Berikut ini akan dijelaskan mengenai sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian tugas akhir.

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini akan dijelaskan mengenai latar belakang yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir yang berkaitan dengan Perusahaan *Plasticizer*, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian yang terdiri atas batasan dan asumsi yang digunakan, serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka ini akan dijelaskan mengenai teori, konsep, dan metode yang akan digunakan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian tugas akhir. Teori dan konsep yang digunakan diharapkan dapat memberi wawasan tambahan kepada pembaca tugas akhir. Tinjauan pustaka pada penelitian ini adalah konsep perawatan, konsep keandalan, *Reliability Centered Maintenance II*, macam-macam distribusi, dan literatur lain yang mendukung penelitian tugas akhir ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian tugas akhir ini akan dijelaskan mengenai alur proses pengerjaan penelitian yang dilakukan oleh penulis agar penelitian dapat dilaksanakan secara terstruktur, sistematis, dan terarah.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab pengumpulan dan pengolahan data akan dijelaskan mengenai pengumpulan data dan langkah-langkah pengolahan data mengenai data profil perusahaan terkait. Pengumpulan data dilakukan dengan pengamatan secara langsung, mengumpulkan data historis perusahaan dengan diskusi dan wawancara secara langsung dengan karyawan yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir. Sedangkan pengolahan data dilakukan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* untuk merancang penjadwalan pemeliharaan yang tepat.

BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisis dan interpretasi data yang didapatkan dari pengolahan data pada bab sebelumnya. Analisis dan interpretasi

data yang dijelaskan adalah interval waktu perawatan dan jadwal perawatan mesin, fasilitas, dan peralatan yang sudah diterapkan di perusahaan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

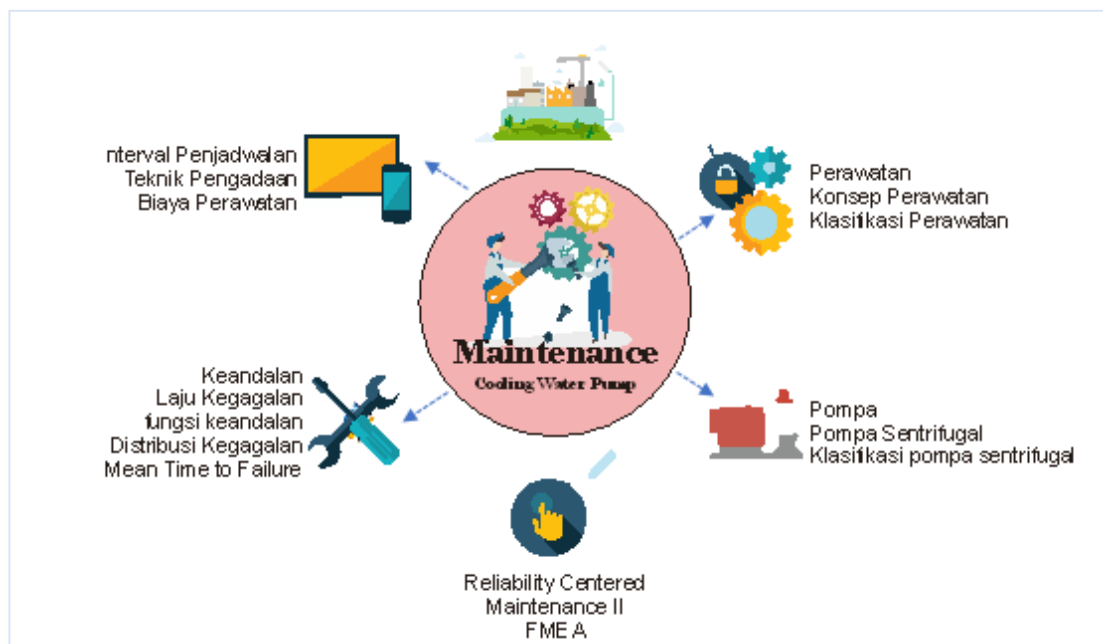
Pada bab kesimpulan dan saran akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian tugas akhir ini. Selain itu terdapat saran yang berguna untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka yang terdiri dari teori-teori, konsep dan metode yang menjadi landasan penulis dalam melaksanakan penelitian tugas akhir. Berikut ini akan ditampilkan mengenai konsep tinjauan pustaka pada penelitian tugas akhir ini:



Gambar 2. 1 Konsep Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka yang akan dibahas adalah pengertian perawatan, konsep perawatan yang terdiri dari klasifikasi perawatan yang dibagi menjadi *planned maintenance* yaitu *preventive maintenance* dan *unplanned maintenance* yang terdiri dari *corrective maintenance*, pengertian keandalan mesin, fungsi keandalan mesin, laju kegagalan, *mean time to failure*, dan distribusi kegagalan yang terdiri dari distribusi normal, distribusi lognormal, distribusi eksponensial, diatribusi weibull.

Konsep keandalan pada komponen, *Reliability Centered Maintenance* (RCM II), RCM II dibagi menjadi *information worksheet* untuk mengetahui fungsi, kegagalan fungsi, penyebab kegagalan, efek kegagalan komponen. Selain itu RCM

II *decision worksheet* dilengkapi dengan 5 jenis *maintenance task* yaitu *Scheduled Restoration Task*, *Scheduled Discard Task*, *On Condition Task*, *Finding Failure Task* dan *No Schedule Maintenance Task*. Interval penjadwalan dilakukan sebagai tujuan utama untuk membuat perencanaan penjadwalaan yang tidak subjektif dari teknisi, dan pengertian pompa yang terdiri dari kapasitas dan spesifikasi pompa, jenis pompa sentrifugal yang digunakan dalam pembuatan produk DOP.

2.1 Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan atau *maintenance* merupakan suatu aktivitas yang dilakukan secara kontinyu pada peralatan agar memiliki kondisi yang sama dengan keadaan awalnya (Higgs & Mobley, 2008). Perawatan merupakan kegiatan pendukung yang bertujuan untuk menjamin kelangsungan fungsional proses produksi (peralatan, mesin, fasilitas lainnya), sehingga pada saat dibutuhkan dapat sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Perawatan dapat dicapai dengan melakukan perencanaan penjadwalan dengan tetap memperhatikan fungsi pendukungnya dengan kriteria meminimasi biaya.

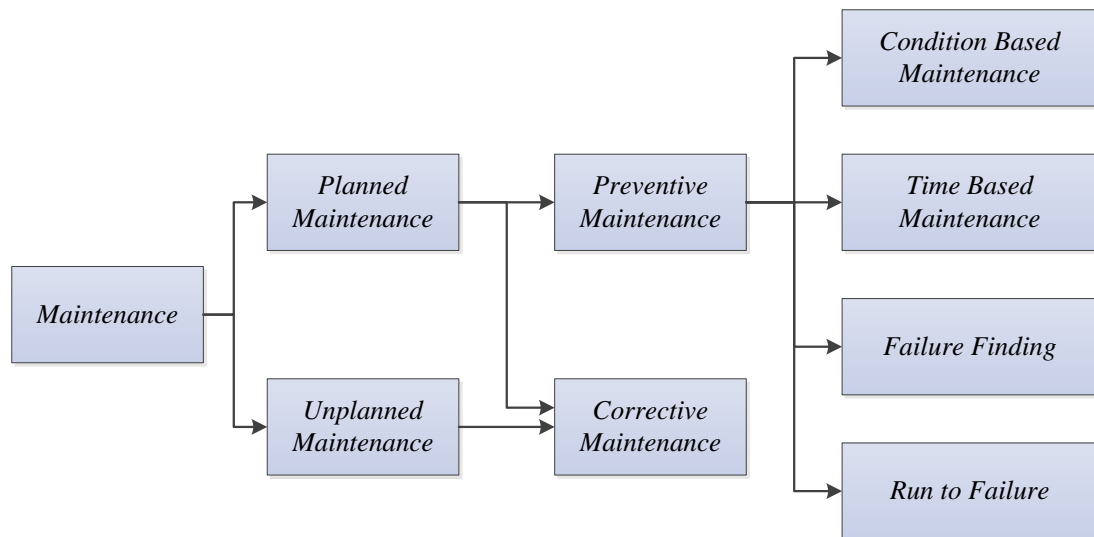
Perawatan merupakan suatu tindakan merawat mesin atau peralatan pabrik untuk memperbarui umur penggunaan mesin dengan memperbaiki kerusakan atau kegagalan pada mesin (Setiawan, 2008). Perawatan merupakan salah satu fungsi yang sama penting dengan sistem produksi di perusahaan. Hal ini karena peralatan atau mesin memerlukan perawatan agar kegiatan produksi berjalan lancar (Taufik & Septyani, 2015).

Sehingga dapat disimpulkan bahwa perawatan merupakan kegiatan untuk memperbaiki peralatan, mesin, fasilitas perusahaan yang mengalami kerusakan dan kegagalan fungsi agar dapat kembali menjalankan fungsinya.

2.2 Konsep Perawatan

Terdapat dua klasifikasi perawatan yaitu *planned maintenance* dan *unplanned maintenance*. *Planned maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang sudah terdapat perencanaan sebelumnya. Sedangkan *unplanned maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan tanpa adanya rencana sebelumnya.

Berikut ini merupakan bagan yang menjelaskan mengenai klasifikasi perawatan yang sudah dijelaskan diatas:



Gambar 2. 2 Klasifikasi Perawatan (Dhillon, 2006)

Secara umum, kegiatan *maintenance* dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. *Preventive Maintenance*

Preventive Maintenance adalah rencana *maintenance* pada mesin, fasilitas dan peralatan pada perusahaan yang dibuat untuk meningkatkan availabilitas mesin dan fasilitas tersebut. Untuk mencapai keberhasilan *preventive maintenance* harus dikoreksi, diuji, dan disesuaikan dengan frekuensi sistem penjadwalan *maintenance*.

b. *Corrective Maintenance*

Corrective Maintenance adalah aktivitas *maintenance* pada mesin, fasilitas, dan peralatan pabrik yang dilakukan setelah terjadi kerusakan. *Corrective maintenance* dilakukan pada mesin yang masih beroperasi namun tidak optimal.

c. *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance adalah aktivitas *maintenance* yang digunakan untuk mengetahui perubahan kondisi fisik pada mesin, fasilitas dan peralatan. Perawatan ini digunakan sebagai *sign of failure* untuk melakukan

aktivitas *maintenance* dalam mengurangi resiko kerusakan. Perawatan ini bertujuan untuk mencegah kerusakan total pada mesin yang tidak mampu beroperasi.

d. *Breakdown Maintenance*

Breakdown Maintenance adalah aktivitas *maintenance* yang dilakukan setelah terjadi kerusakan yang mengakibatkan mesin tidak mampu melakukan operasi sehingga diperlukan suatu peralatan untuk memperbaikinya.

e. *Total Productive Maintenance*

Total Productive Maintenance merupakan aktivitas perawatan yang digunakan oleh perusahaan sebagai *world class asset management*. *Total productive maintenance* bertujuan untuk *zero breakdown, zero defect, zero accident*, dan *zero speed losses*. *Total productive maintenance* berfokus terhadap *proactive* dan *preventive maintenance* untuk memaksimalkan efisiensi dari setiap pengoperasian peralatan, mesin, dan fasilitas.

2.3 Keandalan

Keandalan merupakan probabilitas dari suatu produk yang dapat beroperasi dalam waktu tertentu dengan kondisi tertentu tanpa terjadi kerusakan (Elsayed, 2012). Keandalan merupakan salah satu parameter keberhasilan dari proses produksi yang meliputi keandalan komponen, keandalan sistem produksi, keandalan sub sistem yang tidak mengalami kegagalan dalam jangka waktu tertentu. Teori keandalan dapat memperkirakan suatu komponen, sub-sistem mempunyai peluang melakukan fungsinya dengan baik dalam jangka waktu yang lama.

Keandalan adalah probabilitas komponen dalam suatu sistem yang dapat menjalankan fungsinya selama periode waktu tertentu (Ebellling, 1996). Dalam hal ini kerusakan tidak mengandung makna ambigu dan terdefinisi dengan jelas. Selain itu sistem harus berada dalam kondisi normal dan tidak ada pengaruh yang signifikan dari luar sistem. Konsep dasar keandalan adalah *hazard rate functions*, yaitu alternatif yang digunakan untuk menjelaskan distribusi kegagalan yang mempengaruhi biaya pemeliharaan yang berkaitan dengan keuntungan perusahaan.

2.3.1. Fungsi Keandalan

Keandalan adalah probabilitas komponen dalam suatu sistem yang dapat menjalankan fungsinya selama periode waktu t atau lebih. Fungsi keandalan terhadap waktu dapat dinyatakan pada persamaan dibawah ini:

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

Keterangan :

$F(t)$ = Fungsi padat peluang (pdf)

$R(t)$ = Keandalan

$F(t)$ = Probabilitas Kegagalan

2.3.2. Laju Kegagalan

Laju kegagalan merupakan perbandingan banyaknya kegagalan yang terjadi dengan total waktu operasi sistem selama waktu tertentu. Laju kegagalan adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu (λ). Laju kegagalan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

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

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

Keterangan :

f = Banyaknya kegagalan selama waktu tertentu

T = Total waktu operasi

2.3.3. Mean Time to Failure (MTTF)

MTTF adalah nilai rata-rata waktu kegagalan dari sistem. MTTF dapat memperkirakan seberapa lama mesin dapat menjalankan fungsinya tanpa mengalami kegagalan (Campbell & Jardine, 2001). MTTF merupakan masa kerja

suatu peralatan pertama kali digunakan sampai mengalami kegagalan. Persamaan dari MTTF adalah sebagai berikut :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.4)$$

2.3.4. Distribusi pada Keandalan

Pola distribusi kerusakan mesin berbeda-beda, terdapat model distribusi kerusakan mesin antara lain normal, lognormal, exponential, dan weibull. Identifikasi distribusi digunakan untuk mengetahui distribusi data interval antar kerusakan mesin maupun data lama waktu perbaikan kerusakan mesin.

a. Distribusi Normal

Distribusi ini disebut dengan kurva lonceng (*bell curve*). Distribusi ini disebut juga dengan distribusi *Gaussian*. Parameter distribusi ini adalah μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi). Distribusi ini merupakan distribusi yang menjelaskan mengenai persebaran data dan memiliki kesamaan dengan distribusi lognormal (Ebelling, 1996). Berikut ini merupakan fungsi probabilitas distribusi normal adalah sebagai berikut :

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

$$F(t) = \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right) \quad (2.6)$$

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right) \quad (2.7)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)} \quad (2.8)$$

$$MTTF = \mu \quad (2.9)$$

b. Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang paling digunakan pada hampir semua karakteristik kegagalan produk yang mencakup ketiga fase kerusakan yang terjadi pada distribusi kerusakan. Parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah θ sebagai parameter skala (*scale parameter*) dan β sebagai parameter bentuk (*shape parameter*). Parameter θ digunakan untuk mempengaruhi nilai tengah dari

suatu pola data, sedangkan parameter β digunakan untuk menentukan tingkat kerusakan dari pola data. Fungsi pada distribusi *weibull* adalah sebagai berikut :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad \theta > 0, \beta > 0, t \geq 0 \quad (2.10)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.11)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.12)$$

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.13)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad (2.14)$$

c. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal merupakan distribusi yang digunakan untuk menggambarkan *life data*. Distribusi lognormal memiliki dua parameter yaitu s (*scale parameter*) dan t_{mod} (median dari data waktu kerusakan) yang merupakan nilai tengah dari distribusi kerusakan. Fungsi distribusi lognormal adalah sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi st}} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{mod}}\right)^2\right] \quad t \geq 0 \quad (2.15)$$

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{mod}}\right) \quad (2.16)$$

$$MTTF = t_{mod} \exp \frac{s^2}{2} \quad (2.17)$$

d. Distribusi Exponential

Distribusi eksponensial adalah distribusi yang digunakan pada kerusakan peralatan yang disebabkan oleh komponen penyusunnya. Distribusi ini memiliki laju kegagalan yang bersifat konstan ($\lambda=C$). Fungsi pada distribusi eksponensial adalah sebagai berikut :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.18)$$

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.19)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.20)$$

2.4 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi *failure* yang kemungkinan menjadi penyebab setiap *functional failure* dan memastikan adanya *failure effects* yang memiliki hubungan dengan *failure mode* (Moubray, 1997). FMEA bertujuan untuk mengidentifikasi alur terjadinya proses dari suatu produk yang mengalami kegagalan, melakukan estimasi risiko yang akan terjadi pada suatu proses. Berikut ini akan ditampilkan RCM II *Information Worksheet* FMEA adalah:

RCM II Information		Sistem :		Departemen:	
				14	Nama Kegiatan :
<i>Function</i>		<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i> (Penyebab	<i>Failure Effect</i>
1		A			
2		B			
3		C			

Gambar 2. 3 Template RCM II *Information Worksheet* FMEA

Pada Gambar 2.3 di atas merupakan contoh template dari *RCM II Information Worksheet* FMEA, yang terdiri dari 4 kolom yaitu *function* (fungsi) berisi kegunaan dari komponen pada mesin. *Function failure* merupakan kegagalan fungsi yang kemungkinan terjadi pada setiap komponen. *Failure Mode* merupakan penyebab kegagalan terjadinya pada *function failure*. Dan selanjutnya adalah *failure effect* yang berisi informasi mengenai efek yang akan ditimbulkan apabila *failure mode* terjadi.

2.5 Reliability Centered Maintenance (RCM) II

Reliability Centered Maintenance (RCM) II merupakan salah satu strategi metode pemeliharaan. RCM II merupakan pengembangan dari strategi RCM, dimana RCM II adalah strategi yang digunakan untuk menentukan kegiatan dalam

menjamin aset fisik perusahaan sesuai dengan keinginan penggunaan dalam konteks operasional perusahaan (Moubray, 1997)

RCM II membantu dalam memenuhi ekspektasi pada kegiatan *maintenance* pada generasi ketiga. Berikut ini merupakan 7 pertanyaan yang berhubungan dengan sistem penerapan RCM II adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana fungsi dari aset fisik dan standar performansi aset fisik?
2. Bagaimana aset dapat mengalami kegagalan pada saat menjalankan fungsinya?
3. Apa penyebab dari kegagalan fungsi yang terjadi?
4. Apa yang terjadi jika penyebab kegagalan itu muncul?
5. Bagaimana kegagalan tersebut dapat berpengaruh terhadap sistem?
6. Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi kegagalan dan mencegah kegagalan?
7. Apa yang dilakukan apabila tidak menemukan tindakan proaktif yang sesuai?

Ketujuh pertanyaan di atas berkaitan erat dengan fungsi dan standar performansi, kegagalan fungsi, efek kegagalan, modus kegagalan, dan konsekuensi kegagalan. Untuk memulai proses RCM II, terdapat beberapa yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan sistem, kemudian dilakukan pendefinisian batasan dari sistem. Batasan sistem yang dibuat dengan melihat faktor eksternal dan internal yang dapat memengaruhi sistem.
2. Pengumpulan informasi meliputi data aktual pada sistem yang diperoleh dari operator sistem terkait.
3. Pendeskripsian sistem dan pembuatan *Functional Block Diagram* (FBD). Pendeskripsian dilakukan dengan mengidentifikasi detail pada sistem, sedangkan FBD untuk menunjukkan interaksi antar sistem.

Tahap selanjutnya adalah menjawab tujuh pertanyaan yang terdapat pada RCM II. Berikut ini akan dijelaskan mengenai tujuh pertanyaan tersebut.

1. Fungsi Aset Fisik dan Standar Performansi

Fungsi aset fisik menjadi hal penting dalam menentukan kegiatan operasional perusahaan. Fungsi aset fisik dibedakan menjadi dua yaitu, *primary function* dan *secondary function*. *Primary function* merupakan alasan utama aset fisik tersebut ada, dalam hal ini adalah kapasitas, *output*, kualitas produk dan *customer services*. Sebelum menentukan aset fisik, perlu dipastikan aset fisik dapat berjalan sesuai dengan keinginan penggunaannya dalam konteks operasi. Konteks operasi yang dimaksud adalah dengan menentukan parameter yang terkait dengan aset fisik tersebut.

2. Kegagalan fungsi

Kegagalan fungsi dinyatakan sebagai ketidakmampuan suatu aset fisik menjalankan fungsi terhadap standar performansi yang ditetapkan. Ada dua jenis kegagalan fungsi yaitu kegagalan total dan kegagalan parsial. Kegagalan total dinyatakan apabila aset fisik tersebut tidak dapat memenuhi standar performansi fungsinya, sedangkan kegagalan parsial dinyatakan dalam kondisi apabila aset fisik masih dapat menjalankan fungsinya meskipun tidak sesuai dengan fungsi yang sudah ditetapkan sebelumnya.

3. Modus kegagalan

Modus kegagalan merupakan suatu kejadian yang mengakibatkan aset fisik mengalami kegagalan. Untuk menghindari modus kegagalan dapat dilakukan dengan perawatan yang terjadwal baik periode maupun kontinyu. Modus kegagalan terjadi adanya beberapa kemungkinan, antara lain:

- a. Kegagalan yang pernah terjadi pada fasilitas dan konteks operasi yang sama.
- b. Kegagalan dapat dicegah dengan program perawatan.
- c. Kegagalan yang belum pernah terjadi sebelumnya dapat diprediksi berdasarkan konteks operasi.
- d. Kegagalan yang terjadi akan memberikan dampak yang serius.

Modus kegagalan dapat dicegah dengan melakukan perawatan yang terjadwal terhadap aset fisik, sehingga menghilangkan kegagalan yang terjadi.

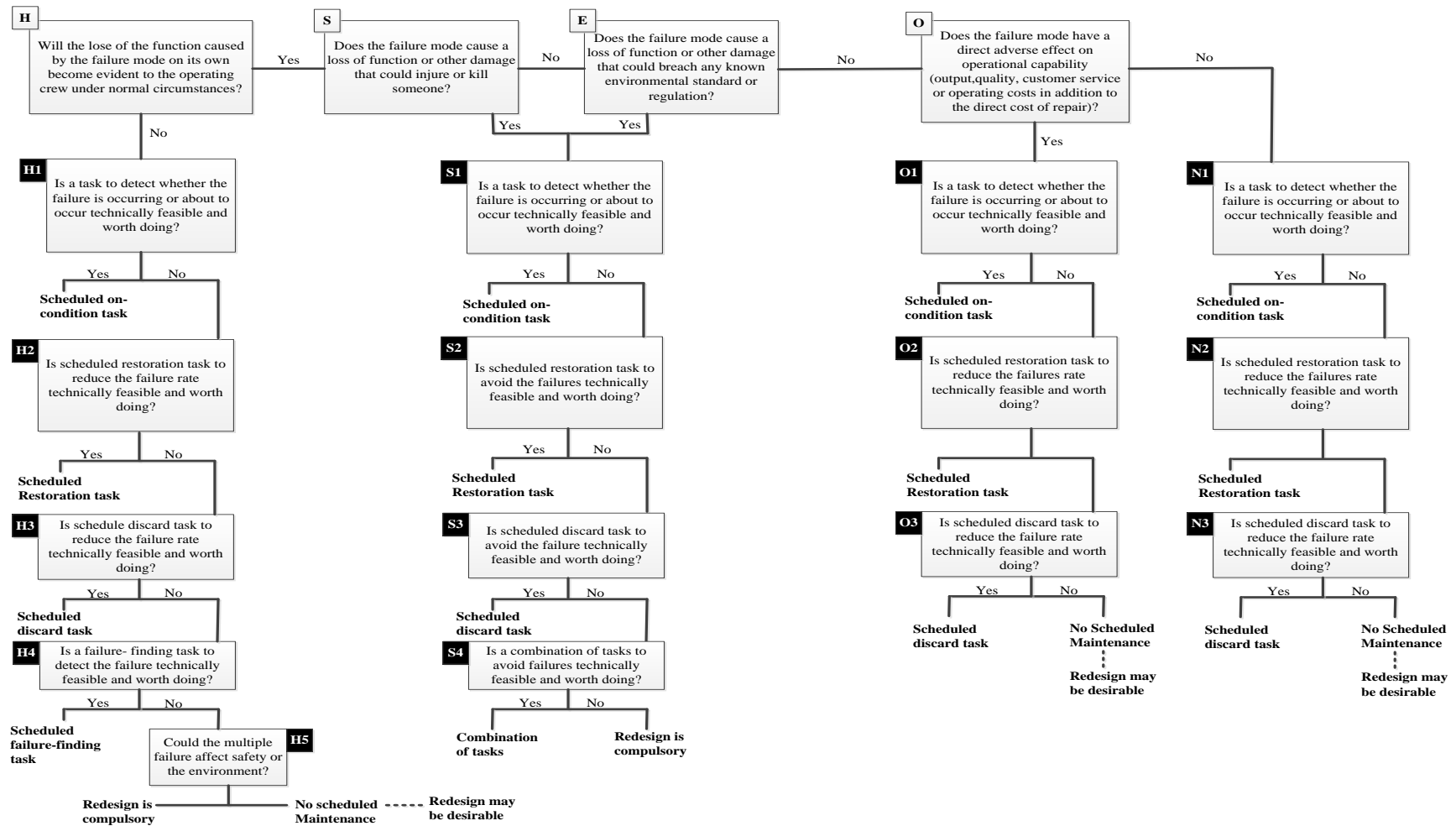
a. Efek kegagalan

Efek kegagalan terjadi disebabkan aset fisik yang tidak berjalan sesuai dengan fungsi. Dengan begitu kegiatan perawatan dilakukan pada aset fisik diharapkan menghilangkan dan meminimalisir dampak kegagalan yang terjadi.

b. Konsekuensi kegagalan

Konsekuensi kegagalan menjadi fokus utama karakteristik kegagalan. Konsekuensi kegagalan akan memengaruhi bagaimana cara mencegah hal tersebut terjadi. Dalam hal ini, konsekuensi kegagalan akan memberikan efek yang serius, sehingga diperlukan pencegahan untuk meminimalisir terjadinya kegagalan. Konsekuensi RCM II diklasifikasikan menjadi 4 macam yaitu, konsekuensi kegagalan tersembunyi, konsekuensi keselamatan dan lingkungan, konsekuensi operasional, dan konsekuensi non operasional. Konsekuensi kegagalan tersembunyi tidak memiliki dampak secara langsung, akan tetapi memberikan resiko terjadinya kegagalan lebih besar sehingga menimbulkan dampak yang serius. Konsekuensi keselamatan dan lingkungan berfokus pada segala sesuatu yang dapat mencederai dan menghilangkan nyawa seseorang, serta terjadi pelanggaran terhadap peraturan lingkungan. Konsekuensi operasional adalah konsekuensi yang memengaruhi produksi (hasil, kualitas, pelayanan, dan biaya operasional diluar biaya perbaikan). Konsekuensi non operasional adalah konsekuensi yang berdampak pada kegiatan perbaikan.

Konsekuensi di atas digunakan sebagai dasar kerangka strategis dalam pengambilan keputusan pada perawatan menggunakan RCM II. Setelah itu dilakukan penyusunan konsekuensi terstruktur untuk setiap *failure mode* dari kategori konsekuensi, sedangkan keselamatan dan lingkungan, tujuan operasional diintegrasikan menggunakan *decision diagram* RCM II. Berikut ini merupakan *decision diagram* pada RCM II:



Gambar 2. 4 RCM II Decision Diagram (Moubray, 1997)

Berdasarkan *decision diagram* RCM II pada gambar 2.4, penerapan RCM II di suatu perusahaan adalah untuk menjamin keselamatan dan lingkungan, perbaikan kinerja operasi, pembiayaan perawatan yang lebih efektif dan efisien, menghasilkan *lifetime* mesin yang lebih panjang, serta untuk melengkapi *database* pemeliharaan pada perusahaan yang terkait.

Decision worksheet RCM II adalah lembar kerja untuk menuliskan pencatatan jawaban dari setiap pertanyaan yang terdapat pada *decision diagram*. *RCM II decision worksheet* digunakan untuk acuan teknis pelaksanaan perawatan pada sistem. Hal-hal yang terdapat pada *decision worksheet* adalah sebagai berikut :

1. *Information Reference*

Information reference berisi informasi yang diperoleh dari hasil FMEA. Yang terdiri dari F (*functions*) merupakan komponen yang dianalisa, FF (*failure functions*) merupakan kegagalan fungsi, FM (*failure mode*) yaitu penyebab kegagalan fungsi.

2. *Consequences Evaluation*

Consequences Evaluation berisi konsekuensi yang ditimbulkan akibat kegagalan fungsi pada komponen. Yang terdiri dari H (*hidden failure*), S (*safety*), E (*environment*), dan O (*Operational*). Berikut ini akan ditampilkan tabel *consequences evaluation* adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 *Consequences Evaluation*

<i>Failure Consequence</i>	Ada Konsekuensi (Y)	Tidak Ada Konsekuensi (N)
Kolom <i>Hidden Failure</i> (H)	Operator tidak mampu mengetahui secara langsung adanya <i>failure mode</i> dalam kondisi normal.	Operator mampu mengetahui secara langsung adanya <i>failure mode</i> dalam kondisi normal.
Kolom <i>Safety</i> (S)	<i>Failure mode</i> memberikan dampak pada keselamatan kerja operator.	<i>Failure mode</i> tidak memberikan dampak pada keselamatan kerja operator.
Kolom <i>Environment</i> (E)	<i>Failure mode</i> memberikan dampak pada lingkungan.	<i>Failure mode</i> tidak memberikan dampak pada lingkungan.

<i>Failure Consequence</i>	Ada Konsekuensi (Y)	Tidak Ada Konsekuensi (N)
Kolom <i>Operational (O)</i>	<i>Failure mode</i> memberikan dampak pada <i>output</i> produksi pada kualitas produk yang dihasilkan.	<i>Failure mode</i> tidak memberikan dampak pada <i>output</i> produksi pada kualitas produk yang dihasilkan.

Sumber: Moubray,1997

3. *Proactive Task and Default Action*

Proactive Task and Default Action digunakan untuk menjelaskan kondisi mencegah terjadinya *failure mode*. Penentuan kondisi didasarkan pada *decision diagram* dengan memenuhi syarat *technically feasible* dan *worth doing*. Apabila jawaban benar (*Yes*) maka dicatat Y namun apabila jawaban tidak sesuai (*No*) maka dicatat N pada kolom *decision worksheet*. Pada tabel dibawah ini akan jelaskan mengenai syarat pengisian *proactive task*:

Tabel 2. 2 Syarat Pengisian *Proactive Task*

<i>Proactive Task</i>	Persyaratan kondisi <i>proactive task</i>
H1/S1/O1/N1 <i>Scheduled on Condition Task</i>	Memungkinkan terlihat gejala awal kerusakan dengan melihat pendeteksian diawal. Dilakukan monitoring terhadap item, saat interval kurang dari P-F interval. Apakah dalam interval waktu tersebut cukup dilakukan tindakan pencegahan untuk mengurangi <i>functional failure</i> .
H2/S2/O2/N2 <i>Scheduled Restoration Task</i>	Mayoritas item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk kegagalan yang memiliki dampak terhadap S/E). Dapat diidentifikasi pada umur item dengan menunjukkan Adanya kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kegagalan.
H3/S3/O3/N3 <i>Scheduled Discard Task</i>	Dapat diidentifikasi pada umur dimana item menunjukkan adanya kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kegagalan. Mayoritas item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk kegagalan yang memiliki dampak terhadap S/E).
H4/S4/O4/N4 <i>Scheduled Finding Failure Task</i>	Memungkinkan untuk dilakukan pendeteksian untuk menemukan <i>hidden failure</i> pada komponen.

<i>Proactive Task</i>	Persyaratan kondisi <i>proactive task</i>
	<i>Task</i> yang diberikan dapat menurunkan terjadinya kegagalan berganda serta sesuai dengan interval yang dikehendaki.
H5 <i>Redesign</i>	<i>Hidden failure</i> dapat dicegah dengan melakukan perubahan desain pada mesin
S4 <i>Combination Task</i>	<i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>proactive task</i> dapat dilakukan.

Sumber: Moubray,1997

4. *Proposed Task*

Proposed Task berisi tindakan perencanaan untuk menerjemahkan hasil dari *proactive task* dan *default action* yang diberikan.

5. *Initial Interval*

Initial Interval berisi catatan interval pemeliharaan yang optimal dari *task* untuk *scheduled restoration/ discard task*.

6. *Can be Done by*

Can be done by berisi pihak yang terkait secara langsung dengan proses operasi perawatan. Pihak yang dimaksud adalah pihak yang berwenang dalam melaksanakan aktivitas pemeliharaan.

RCM II Worksheet		Sistem:													Date :	Sheet	
		Sub Sistem:														No:	
		Fungsi Sub Sistem:														Of	
No	Equipment	F	FF	FM	Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task	Initial Interval	Can be done by
					H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			

Gambar 2.5 RCM II *Decision Worksheet* (Moubray, 1997)

2.6 Interval Waktu Pemeliharaan

Perhitungan waktu pemeliharaan yang optimal dapat diperoleh menggunakan beberapa rumus. Interval waktu pemeliharaan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut ini.

2.6.1. Interval Pemeliharaan Schedule Discard Task

Interval pemeliharaan *schedule discard task* dan *schedule restoration task* merupakan *preventive maintenance* yang dilakukan agar komponen dapat bekerja seperti semula. *Schedule discard task* meliputi penggantian komponen sebelum batas usia tertentu, tidak bergantung kondisi saat itu. Frekuensi *schedule discard task* ditentukan oleh usia komponen yang menunjukkan peningkatan yang cepat pada suatu kondisi *probability of failure*. *Schedule restoration task* meliputi penggantian *overall* komponen pada sebelum atau saat usia tertentu. Frekuensi *schedule restoration task* ditentukan oleh faktor usia komponen seperti *schedule discard task*. Penentuan interval pemeliharaan ini menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CF = CR + MTTR (Co +Cw) \quad (2.21)$$

$$CO = \text{Biaya kerugian per jam} * \text{total jam kerja per hari} * \text{harga jual produk} \quad (2.22)$$

$$CW = \text{Jumlah karyawan pelaksana } maintenance * \text{biaya kerja per hari} \quad (2.23)$$

$$CM = CWPM + CFPM +COPM \quad (2.24)$$

$$CWPM = \text{Jumlah pekerja departemen } maintenance * \text{gaji per bulan} \quad (2.25)$$

$$CFPM = \text{Estimasi biaya yang dikeluarkan untuk perawatan} *CF \quad (2.26)$$

$$COPM = Losses * CO \quad (2.27)$$

Distribusi weibull parameter 2 :

$$TM = \eta \left[\frac{1}{\beta-1} x \frac{CM}{CR-CM} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (2.28)$$

Distribusi weibull parameter 3 :

$$TM = \gamma + \eta \left[\frac{1}{\beta-1} x \frac{CM}{CR-CM} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (2.29)$$

Keterangan :

<i>Cost of Maintenance</i> (CM)	: Biaya <i>Maintenance</i> (Biaya tenaga kerja + Biaya material)
<i>Cost of Repair</i> (CR)	: Biaya Perbaikan
<i>Cost of Replacement</i> (Cr)	: Biaya penggantian komponen
<i>Cost of Worker</i> (CW)	: Biaya pekerja
<i>Cost of Operational</i> (CO)	: Biaya konsekuensi operasional
<i>Mean Time To Reliability</i> (MTTR)	: Waktu rata-rata perbaikan

Pemeliharaan *schedule discard task* digunakan apabila komponen pada keadaan-keadaan berikut:

- Identifikasi pada umur komponen dengan melihat adanya peningkatan yang cepat pada *conditional probability of failure*.
- Sebagian besar komponen yang mampu bertahan pada umur tertentu, akan mengalami kerusakan yang memiliki konsekuensi keamanan.

2.6.2. *Interval Pemeliharaan Schedule Restoration Task*

Interval pemeliharaan *scheduled restoration task* merupakan aktivitas perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi penyebab kegagalan dengan melakukan rekondisi pada setiap komponen mesin sehingga seperti keadaan semula (Moubray, 1997). Perawatan ini tidak memperhatikan keadaan komponen dalam keadaan baik atau tidak. Apabila dirasa perlu melakukan perawatan *restoration task* maka dilakukan saat atau sebelum mencapai batas umurnya. Aktivitas perawatan ini untuk mencegah gangguan proses produksi selama komponen tersebut mengalami kerusakan (Ebeling, 1996). Berikut ini akan ditampilkan persamaan *restoration task*:

$$R_m(t) = R(t)^n R(t - nT) \quad (2.30)$$

Dimana : $nt \leq t < (n + 1)t$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Keterangan:

$R_m(t)$: Fungsi keandalan setelah dilakukan *preventive maintenance*.

$R(t)^n$: Probabilitas ketahanan komponen sampai *preventive maintenance* ke-n.

$R(t-nT)$: Probabilitas ketahanan jangka waktu $t-nT$ yang telah ditentukan pada kondisi awal.

2.6.3. Interval Pemeliharaan Finding Task

Interval pemeliharaan *finding task* merupakan aktivitas pencegahan yang dilakukan dengan memeriksa fungsi yang tersembunyi. Interval ini dilakukan apabila *proactive task* tidak dapat dilakukan untuk mengurangi *multiple failure* pada *hidden function* sampai dengan toleransi batas bawah. *Failure finding interval* dipengaruhi oleh availabilitas yang ingin dicapai oleh perusahaan. Berikut ini rumus yang digunakan untuk mendapatkan interval pemeliharaan *finding task* adalah sebagai berikut:

$$\text{Failure Finding Interval (FFI)} = 2 \times \text{Unavailability} \times \text{MTBF}$$

Keterangan :

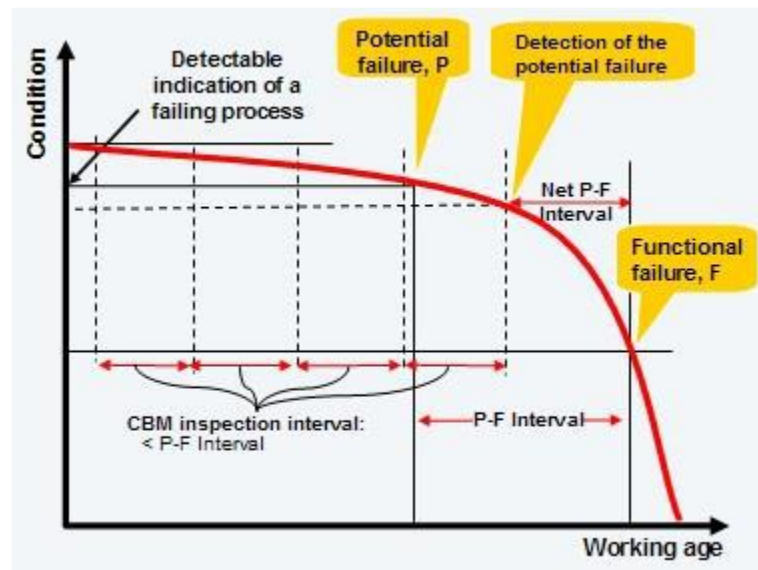
FFI : *Failure finding interval*.

Unavailability : Nilai yang ditentukan oleh perusahaan.

MTBF : MTBF dari masing-masing komponen.

2.6.4. Interval Pemeliharaan On- Condition Task

Menentukan interval pemeliharaan pada *on-condition task* adalah setengah dari interval P-F. Menurut Moubrey (1997) interval P-F adalah interval antara *potential failure* (P) dan *functional failure* (F). Berikut ini merupakan grafik interval P-F adalah sebagai berikut:



Gambar 2.6 Interval P-F (Moubray, 1997)



Gambar 2. 7 *Bearing Potential Failure* (kiri) dan *Bearing Functional Failure* (kanan)

Gambar 2.7 di atas merupakan contoh aplikasi bearing yang *potential failure* yang berada di gambar kiri dan *bearing yang functional failure* yang berada di gambar kanan.

2.7 Pompa

Pompa adalah alat yang berfungsi untuk memindahkan cairan dengan menaikkan energi cairan yang mengalir melewatinya, dengan begitu cairan tersebut dapat mengalir dari permukaan yang rendah menuju permukaan yang tinggi serta dari tempat yang memiliki tekanan rendah menuju tempat bertekanan lebih tinggi. Pompa dibedakan menjadi dua kelompok yang berbeda yaitu *dynamic action pump* dan *positive displacement pump* (Forsthoffer, 2005).

Types Of Pumps			
Reciproacting	Rotary	Single stage	Multistage
<ul style="list-style-type: none">▪ Power▪ Diaphragm▪ Metering▪ Direct acting	<ul style="list-style-type: none">▪ Screw▪ Gear	<ul style="list-style-type: none">▪ Overhung▪ Inline▪ Integral gear▪ Centrifugal▪ Double flow▪ Sump▪ Submersible▪ Magnetic drive	<ul style="list-style-type: none">▪ Horizontal split▪ Barrel▪ Canned▪ Sump▪ Submersible

Gambar 2. 8 Jenis-Jenis Pompa (Forsthoffer, 2005)

o Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal merupakan mesin kinetis yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolis menggunakan aktivitas sentrifugal. Aktivitas sentrifugal adalah pemberian tekanan fluida yang sedang dipompa. Klasifikasi pompa sentrifugal dibedakan menjadi beberapa sub bagian yang terdiri dari kapasitas, tekanan *discharge*, posisi poros, jumlah *suction*, arah aliran keluar *impeller*, dan jumlah/ susunan *impeller* dan tingkat. Berikut ini merupakan penjelasan klasifikasi pompa sentrifugal :

1. Kapasitas

- Kapasitas Rendah : $< 20 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Kapasitas menengah : $20\text{-}60 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Kapasitas tinggi : $> 60 \text{ m}^3/\text{jam}$

2. Tekanan *Discharge*
 - Tekanan rendah : $< 5 \text{ Kg/cm}^2$
 - Tekanan menengah : $5-50 \text{ Kg/cm}^2$
 - Tekanan tinggi : $> 50 \text{ Kg/cm}^2$
3. Posisi Poros
 - Poros tegak
 - Poros mendatar
4. Jumlah *Suction*
 - *Single Suction*
 - *Double Suction*
5. Arah aliran keluar *impeller*
 - *Radial flow*
 - *Axial flow*
 - *Mixed flow*
6. Jumlah/susunan *impeller* dan tingkat :
 - *Single stage* : Terdiri dari 1 *impeller* dan 1 *casing*.
 - *Multi stage* : Terdiri dari beberapa *impeller* yang tersusun seri dalam 1 *casing*.
 - *Multi impeller* : Terdiri dari beberapa *impeller* yang tersusun paralel dalam 1 *casing*.
 - *Multi impeller – multi stage* : kombinasi *multi impeller* dan *multi stage*.

2.8 **Penelitian Terdahulu**

Berikut ini akan ditampilkan penelitian sebelumnya menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II), terhadap perancangan pembuatan penjadwalan *maintenance* di berbagai perusahaan adalah sebagai berikut:

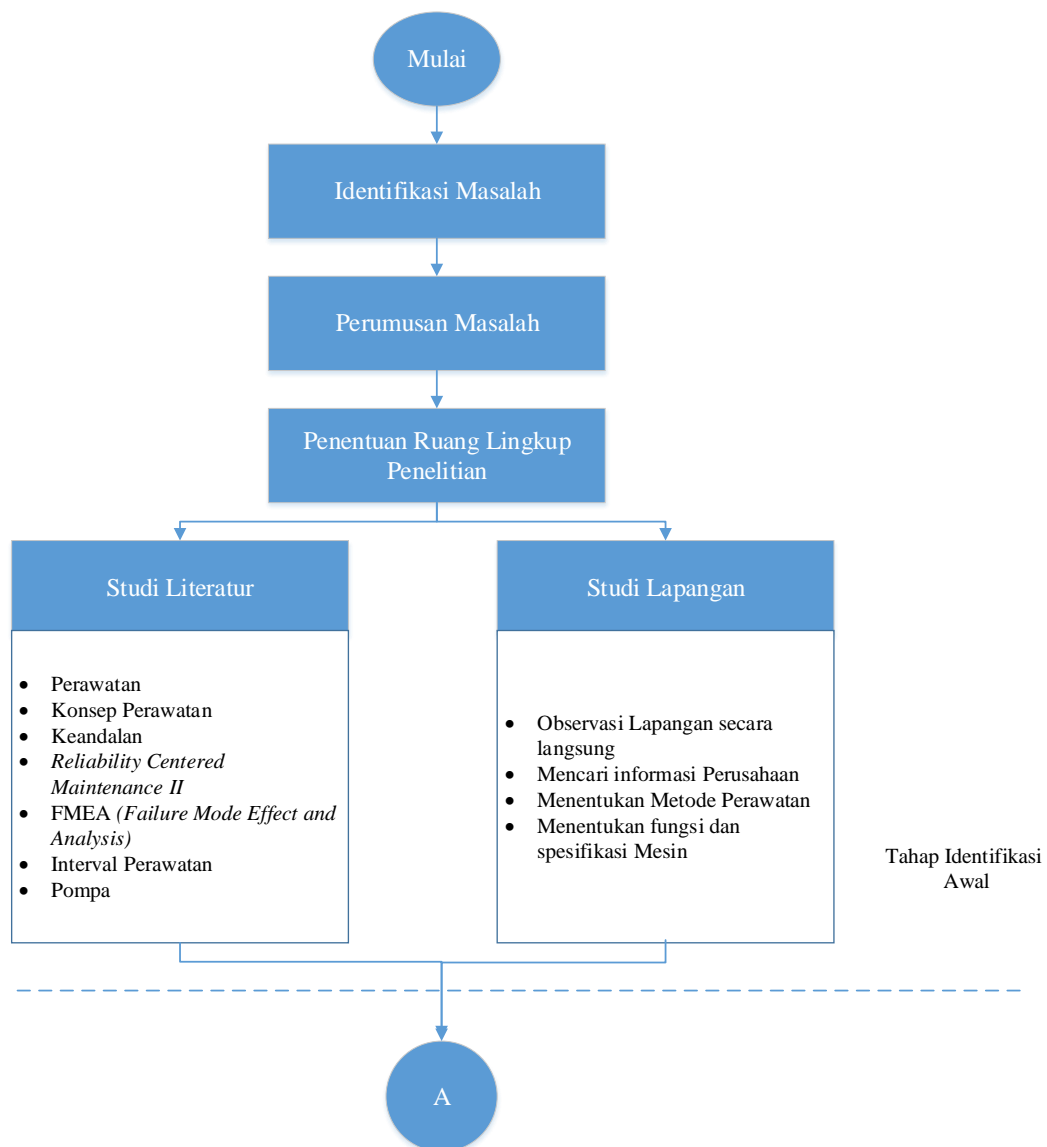
Tabel 2. 3 Penelitian Sebelumnya

No	Nama Penulis	Judul	Tahun	Objek	Metode
1.	Noga Amelia W.S	Penentuan Kebijakan Perawatan Mesin Menggunakan Metode RCM II di Departemen Produksi pada Perusahaan Karoseri	2017	Mobil Box Model Standar	RCM II FMEA Jadwal Perawatan
2.	Leddy Claudia	Perancangan Aktivitas Perawatan Pada Unit Produksi Continuous Tandem Cold Mill PT Krakatau Steel Tbk Menggunakan <i>Reliability Centered Maintenance II</i>	2017	Produksi CTCM	RCM II FMEA Jadwal Perawatan Biaya <i>Maintenance</i>
3.	Uswatun Maulidiyah	Perancangan Strategi Pemeliharaan dengan <i>Reliability Centered Maintenance (RCM) II</i> dan <i>Life Cycle Cost (LCC)</i> di Unit Pabrik Phonska II PT Petrokimia Gresik	2016	Pabrik Phonska II	RCM II LCC NPV
4	Felicius Rindy Kurniawan	Perancangan Aktivitas Perawatan Dengan Metode <i>Reliability Centered Maintenance II</i> (Studi Kasus : Fabrikasi Drum PT Pertamina Persero Bitumen Plant Gresik)	2018	Fabrikasi Drum	RCM II FMEA Biaya <i>Maintenance</i> Jadwal Perawatan
5.	Azimatul Khusniah	Penjadwalan <i>Maintenance</i> Dengan Metode <i>Reliability Centered Maintenance II</i> (Studi Kasus : <i>Cooling Water Pump</i> Perusahaan <i>Plasticizer</i>)	2019	Bahan Campuran Plastik (DOP)	RCM II FMEA Biaya <i>Maintenance</i> Jadwal Perawatan Pengadaan Komponen

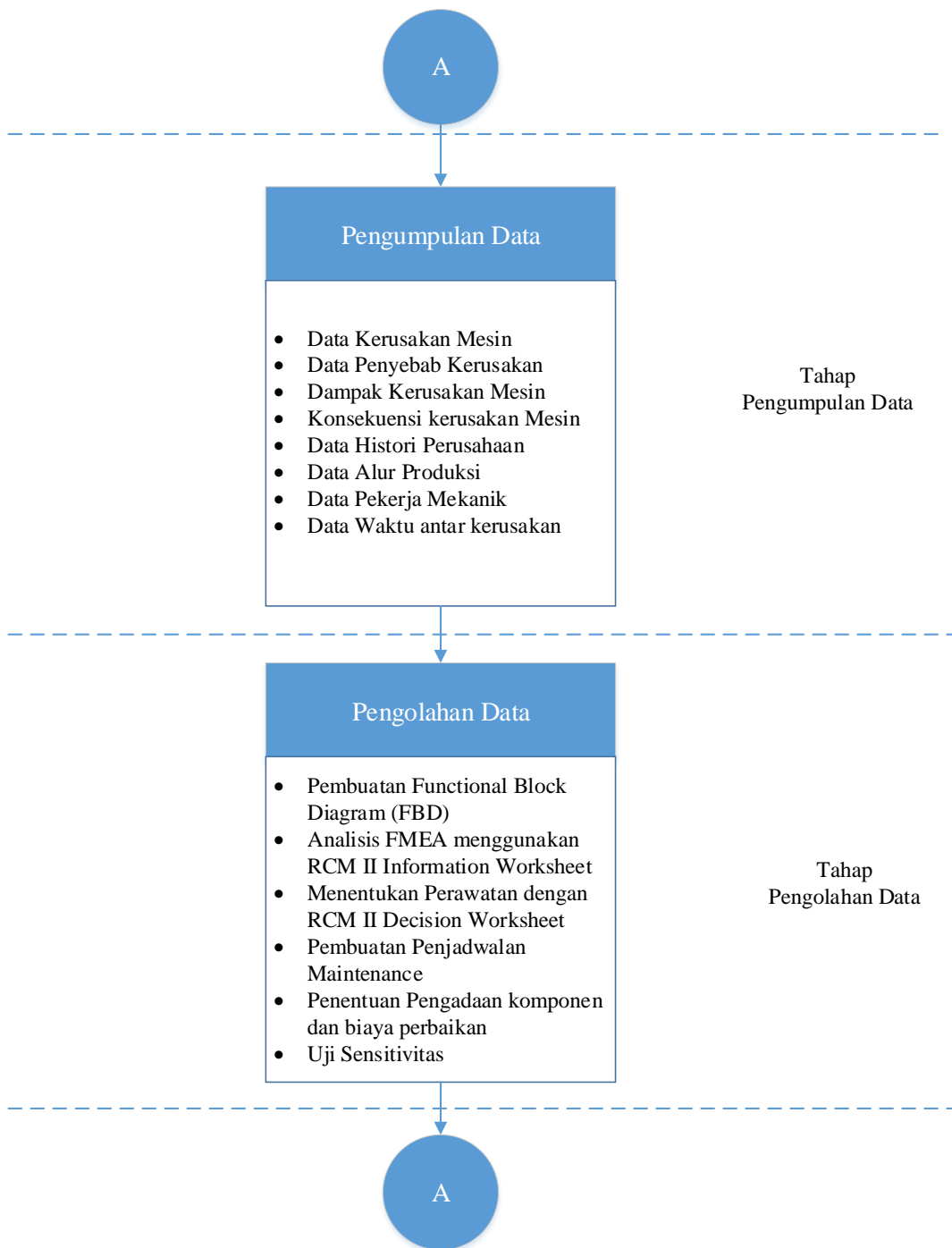
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

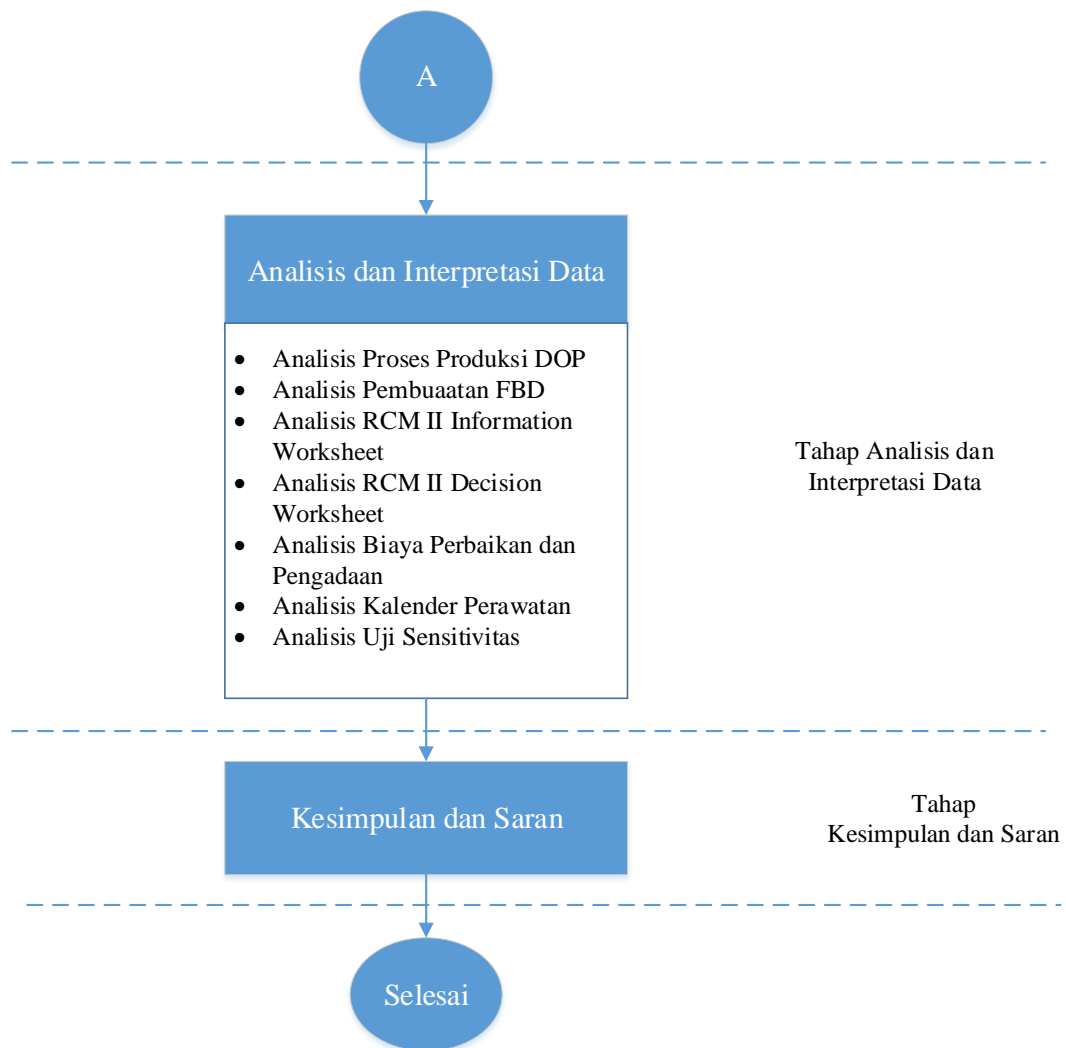
Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai metodologi pengerjaan penelitian tugas akhir. Metodologi memberikan gambaran mengenai alur pengerjaan dan kerangka berfikir yang sistematis, terstruktur, dan terarah. Berikut ini merupakan *flowchart* metodologi penelitian penulis.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Penelitian Tugas Akhir



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian Tugas Akhir (Lanjutan)



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian Tugas Akhir (Lanjutan)

Secara umum, tahapan penelitian tugas akhir ini dibagi menjadi 5 tahap, yaitu tahap awal penelitian, tahap pengumpulan data, pengolahan data, tahap analisis dan interpretasi data, dan tahap kesimpulan dan saran.

3.1 *Tahap Identifikasi Awal*

Pada tahap ini akan dijelaskan mengenai identifikasi permasalahan, perumusan masalah, tujuan dan ruang lingkup penelitian serta studi lapangan dan studi literatur.

3.1.1. Identifikasi Permasalahan

Pada tahap ini, peneliti melakukan identifikasi permasalahan yang ada di perusahaan. Identifikasi permasalahan dilakukan oleh peneliti dengan melakukan wawancara dan pengamatan secara langsung dengan karyawan perusahaan.

3.1.2. Perumusan Masalah

Setelah tahap identifikasi permasalahan, tahap selanjutnya adalah melakukan perumusan masalah. Pada penelitian ini, penulis menemukan permasalahan yang berkaitan dengan aktivitas pemeliharaan mesin yang kurang berjalan dengan baik karena penjadwalan *maintenance* yang belum terencana dengan baik, hal itu didasarkan pada subjektivitas teknisi dan kerusakan mesin.

3.1.3. Penentuan Tujuan

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah mengidentifikasi fungsi kegagalan, penyebab kegagalan dan dampak dari kegagalan komponen pada *cooling water pump*. Mendapatkan rancangan aktivitas pemeliharaan yang tepat pada setiap mesin yang memberikan manfaat pada perusahaan *plasticizer*. Mendapatkan interval perawatan setiap mesin pada *cooling water pump* yang memberikan pengaruh penjadwalan perawatan mesin. Membuat kalender perawatan selama periode 1 tahun. Memberikan rekomendasi biaya perawatan dan teknik pengadaan komponen mesin selama periode 1 tahun.

3.1.4. Penentuan Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian pada tugas akhir ini adalah mesin produksi bahan baku plastik yaitu *diocetyl phtalate* (DOP) pada bagian *cooling water pump* yang meliputi identifikasi fungsi kegagalan komponen sistem, menentukan interval perawatan mesin, dan merancang aktivitas perawatan yang tepat untuk setiap komponen *cooling water pump*. Serta menentukan teknik pengadaan komponen *cooling water pump* yang diperoleh dari interval penjadwalan dan tingkat availabilitas mesin.

3.1.5. *Studi Lapangan*

Studi lapangan merupakan aktivitas berkunjung secara langsung ke objek penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kondisi eksisting objek amatan. Fokus utama studi lapangan untuk mengetahui kondisi eksisting objek amatan, metode perawatan mesin, mengetahui informasi perusahaan yang berupa sejarah, kegiatan produksi, total kerusakan mesin, dan lain-lain, serta melakukan wawancara langsung dengan karyawan perusahaan yang bertanggung jawab terhadap aktivitas *maintenance*.

3.1.6. *Studi Literatur*

Tahap selanjutnya adalah melakukan studi literatur, tahap ini dilakukan untuk memberikan pemahaman mengenai dasar teori dan konsep yang mendukung penelitian tugas akhir ini. Penulis mendapatkan studi literatur dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, *website*, dan lain-lain. Studi literatur dalam penelitian ini adalah perawatan, konsep perawatan, konsep keandalan, *Reliability Centered Maintenance II*, laju kegagalan, interval waktu pemeliharaan, *functional block diagram* (FBD), dan pompa.

3.2 *Tahap Pengumpulan Data*

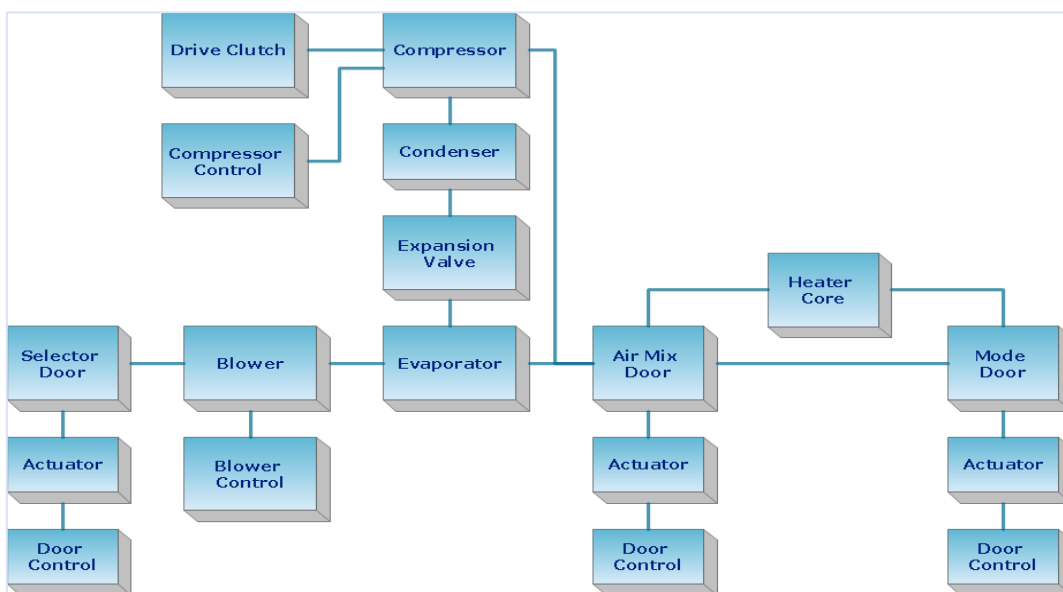
Pada tahap ini akan dilakukan pengumpulan data untuk penelitian tugas akhir. Proses pengumpulan data dilakukan dengan datang secara langsung ke perusahaan. Adapun data yang dibutuhkan oleh penulis berupa data historis kerusakan mesin yang meliputi data jenis kerusakan, waktu antar kerusakan, frekuensi kerusakan, dampak kerusakan mesin, konsekuensi kerusakan mesin, data perawatan mesin yang dilakukan oleh perusahaan, data pekerja mekanik, data alur produksi, dan data biaya perbaikan yang dikeluarkan untuk melakukan perawatan mesin.

3.3 *Tahap Pengolahan Data*

Tahap selanjutnya adalah pengolahan data yang digunakan untuk mendapatkan solusi kebijakan *maintenance* yang tepat. Data yang akan diolah adalah sebagai berikut.

3.3.1 Penyusunan Functional Block Diagram (FBD)

Pada tahap pertama pengolahan data, langkah pertama yang dilakukan penyusunan *Functional Block Diagram* (FBD). Tujuan penyusunan FBD untuk membuat model yang dapat menjelaskan masing-masing komponen mesin di stasiun produksi khususnya dibagian *cooling water pump*. FBD dapat menggambarkan keterkaitan antar komponen dalam mesin yang membentuk suatu sistem.



Gambar 3. 2 Contoh *Functional Block Diagram*

3.3.2 Analisis Fungsi Kegagalan Sistem dan Penyebab Kegagalan Sistem

Pada tahap ini, dilakukan identifikasi kegagalan fungsi utama dan fungsi sekunder dari sistem amatan. Fungsi utama sistem dapat diketahui melalui fungsi utama dan batasan sistem. Sedangkan fungsi sekunder dapat dilihat dari komponen, peralatan pendukung dan mesin utama. Setelah dilakukan identifikasi sistem dilanjutkan dengan mengidentifikasi dan mendeskripsikan kegagalan fungsi sistem. Kegagalan fungsi sistem berupa kegagalan komponen, peralatan, dan mesin, dan prediksi kegagalan mesin di dalam sistem.

3.3.3 Analisis FMEA

Pada bagian ini akan dilakukan analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan *procedure* untuk mengidentifikasi kegagalan fungsi, penyebab kegagalan fungsi, dampak kerusakan komponen. FMEA berfungsi untuk menentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang selanjutnya akan diidentifikasi lebih lanjut menjadi fokus utama dalam menentukan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II *information worksheet* dan *decision worksheet*.

RPN Number before implementation FMEA						
Potential Failure Mode	Potential effect of Failure	Potential cause of Failure	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN
Boiler Tube	1. Water leakage 2. Level unmaintained 3. Boiler stop 4. Retubing	1. Silica to high 2. Corrosion 3. Combustion ramp to fast 4. Water quality bad 5. Overheating in Super heater	9	8	6	432
Temperature Steam	1. Steam rejection 2. Overpressure	1. Atempurator valve fail 2. Combustion ratio not good 3. Superheater fail	8	4	6	192
Flame Fail	1. Steam not produce properly 2. Combustion does not take place	1. Flame scanner fail 2. Fuel-air ratio not good 3. Electrical fail	7	6	5	210
Fuel Lost	1. Steam not produce proper manner	1. Strainer dirty 2. Pressure regulator fail	8	4	2	64

Gambar 3. 3 Contoh perhitungan FMEA (Putra & Purba, 2018)

3.3.4 Evaluasi Failure Mode dengan Reliability Centered Maintenance (RCM) II Information Worksheet

Pada tahap ini akan dilakukan penyusunan RCM II *Information Worksheet* berupa *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menjelaskan penyebab dan dampak pada sistem. RCM II *information worksheet* menjelaskan secara detail mengenai efek dari modus kegagalan sistem. Hasil RCM II *information worksheet* dapat menjawab tujuan dalam penelitian tugas akhir ini. RCM II *information worksheet* dijelaskan mengenai dampak kegagalan yang terjadi, penyebab kegagalan, lama perbaikan yang dilakukan, dan pemeliharaan yang dilakukan.

3.3.5 *Menentukan Perawatan dengan Maintenance melalui (RCM) II Decision Worksheet*

Tahap selanjutnya adalah tahap perancangan *maintenance* dengan menggunakan rancangan desain pemeliharaan pada RCM II *decision worksheet*. RCM II *decision worksheet* menunjukkan langkah-langkah yang tepat dilakukan oleh perusahaan apabila sedang melakukan pemeliharaan terhadap mesin-mesin di lantai produksi. Melalui *decision worksheet*, penulis dapat menentukan terjadinya kegagalan sebuah mesin yang dapat diatasi dengan *proactive task* atau dengan *default action*. Dengan adanya rancangan *maintenance task* ini dapat memudahkan perusahaan dalam melakukan *maintenance* menggunakan informasi RCM II yang sudah terintegrasi.

3.3.6 *Pembuatan Penjadwalan Maintenance*

Pada tahap ini, penulis melakukan penyesuaian jadwal *maintenance*. Apabila terdapat aktivitas *maintenance* yang terjadwal secara bersamaan, maka diperlukan penyesuaian jadwal. Penentuan jadwal setelah semua jadwal *maintenance task* sudah diplot kedalam kalender perawatan. Apabila terdapat mesin yang diperbaiki pada hari Sabtu dan Minggu, maka jadwal pemeliharaannya digeser pada hari kerja.

3.3.7 *Penentuan Biaya Perbaikan dan Pengadaan Komponen*

Pada tahap ini akan dijelaskan mengenai biaya perbaikan komponen yang mengalami kerusakan pada *cooling water pump* yang terdiri dari pompa UE-11, UP A/B 11, UP-21. Setelah dilakukan perhitungan biaya perbaikan dilanjutkan perhitungan pengadaan komponen yang mengalami kerusakan sebagai rekomendasi kepada perusahaan selama periode 1 tahun.

3.4 **Tahap Analisis dan Interpretasi Data**

Pada tahap ini akan dilakukan analisis dan interpretasi data yang merupakan hasil dari pengolahan data, selanjutnya dianalisis dan dibahas secara lebih lanjut mengenai hasil penelitian yang diperoleh. Analisis dan interpretasi data dibagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari analisis aliran proses produksi, analisis

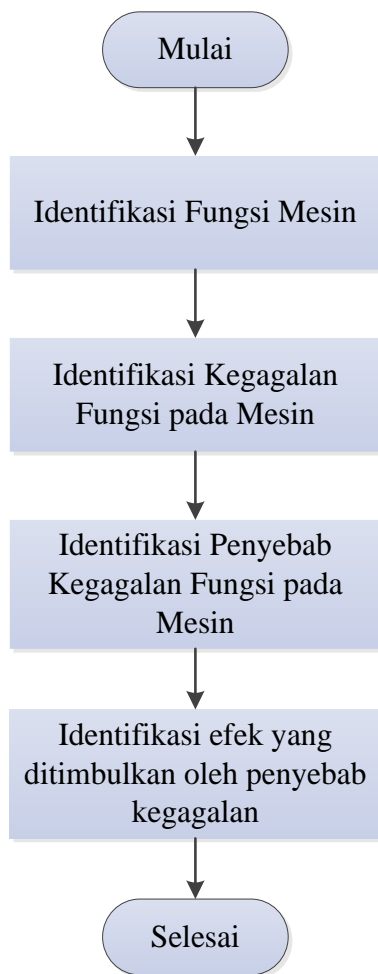
pembuatan FBD, analisis RCM II *information worksheet*, analisis RCM II *decision worksheet*, analisis biaya *maintenance* dan pengadaan komponen, dan analisis kalender perawatan. Analisis biaya *maintenance* digunakan untuk melihat seberapa besar pengaruh dari perubahan metode *maintenance* eksisting perusahaan dan RCM II. Analisis pengadaan komponen digunakan untuk menentukan total pembelian komponen selama 1 tahun periode. Analisis kalender rekomendasi perbaikan *maintenance* berisi analisis interval waktu usulan yang sesuai dengan rekomendasi dari perhitungan.

3.5 Tahap Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisis dan interpretasi data di tahap sebelumnya, selanjutnya dilakukan tahap penarikan kesimpulan dan saran dari setiap analisis berdasarkan tujuan yang sudah ditetapkan sebelumnya. Dengan demikian perusahaan dapat memperoleh manfaat berdasarkan tujuan yang sudah ditetapkan diawal. Saran yang diberikan berguna untuk penelitian lebih lanjut pada objek amatan yang sama dan metode pengerjaan yang sama.

3.6 Flowchart Pembuatan RCM II Information Worksheet

Berikut ini merupakan tahapan pembuatan *flowchart* RCM II *information worksheet* secara detail dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3. 4 *Flowchart* Pembuatan RCM II *Information Worksheet*

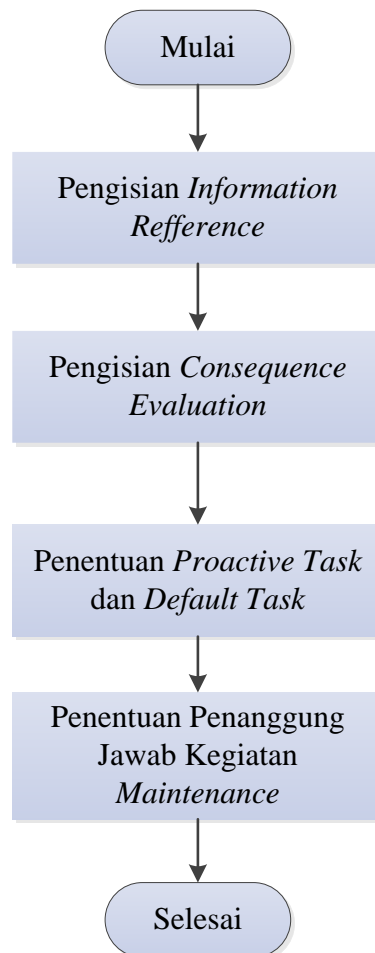
Flowchart di atas merupakan alur pembuatan RCM II *information worksheet*. Pembuatan *information worksheet* dimulai dari identifikasi fungsi mesin yang terdapat di *cooling water system* yang terdiri dari pompa pendingin sistem. Kemudian dilanjutkan dengan identifikasi penyebab kegagalan fungsi pada mesin. Setelah itu dilakukan identifikasi penyebab kegagalan fungsi pada mesin. Setelah diketahui penyebab kegagalan dilanjutkan dengan identifikasi efek yang akan ditimbulkan dari adanya penyebab kegagalan tersebut.

RCM II <i>Information Worksheet</i>		Sistem :		Departemen :		
				14	Nama Kegiatan :	
<i>Function</i>		<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode (Penyebab Kerusakan)</i>		<i>Failure Effect</i>
1.						
2.						

Gambar 3. 5 *Form RCM II Information Worksheet*

3.7 *Flowchart Pembuatan RCM II Decision Worksheet*

Tahap selanjutnya adalah pembuatan *RCM II Decision worksheet* yang akan dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 3. 6 *Flowchart Pembuatan RCM II Decision Worksheet*

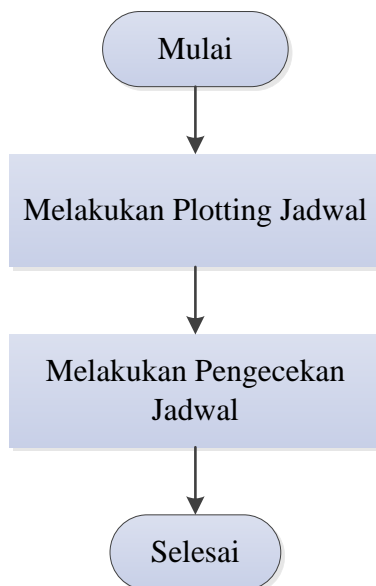
Flowchart di atas menunjukkan alur proses pembuatan RCM II *Decision Worksheet*. Pembuatan *decision worksheet* dimulai dengan pengisian *information reference*. Kemudian dilakukan pengisian *consequence evaluation* dilanjutkan dengan penentuan *proactive task* dan *default task*. Selanjutnya dilakukan penentuan penanggung jawab kegiatan *maintenance* sesuai dengan masing-masing mesin.

RCM II Worksheet		Sistem:										Date	Sheet				
		Sub Sistem:											No:				
		Fungsi Sub Sistem:											Of				
Information Reference					Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task	Can be done by	
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
									E1	E2	E3						
									O1	O2	O3						

Gambar 3. 7 Form RCM II *Desicion Worksheet*

3.8 *Flowchart Penyesuaian Jadwal*

Tahap selanjutnya adalah alur proses penyesuaian jadwal yang akan dijelaskan pada *flowchart* dibawah ini :



Gambar 3. 8 *Flowchart* Alur Penyesuaian Jadwal

Flowchart di atas menunjukkan alur penyesuaian jadwal *maintenance*. Hasil penentuan interval yang dilakukan pada tahap sebelumnya diplot pada kalender perawatan. Setelah dilakukan pengeplotan, dilakukan pengecekan jadwal. Perusahaan menjalankan proses produksinya secara kontinu dengan 5 hari kerja yaitu Senin sampai Jumat. Sehingga diperlukan pengecekan.

Tahun		1									
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pompa UE-11	Jam										

Gambar 3. 9 Contoh Template Penjadwalan Perawatan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengumpulan dan pengolahan data pada penelitian tugas akhir ini. Pada bab ini berisi mengenai gambaran umum perusahaan, proses produksi *diocetyl phthalate*, *functional block diagram*, *failure mode effect and analysis*, *RCM II information worksheet*, *RCM II decision worksheet*, *time to failure*, *time to repair*, penentuan interval pemeliharaan, perhitungan biaya perawatan, dan penentuan strategi pengadaan.

4.1 Gambaran Umum Perusahaan

Perusahaan *Plasticizer* merupakan perusahaan nasional pertama di Indonesia yang memproduksi *Diocetyl Phthalate* (DOP) yang digunakan sebagai *plasticizer* pada industri PVC. Perusahaan ini telah berpengalaman selama 34 tahun dalam bidang industri bahan baku plastik dengan kapasitas produksi sebesar 30.000 ton per tahun.

Perusahaan ini melayani permintaan konsumen secara nasional dengan komitmen untuk selalu memberikan yang terbaik dan mengutamakan pelanggan, perusahaan senantiasa terus melakukan inovasi guna mewujudkan visi perusahaan menjadi produsen *Plasticizer* bertaraf internasional yang didukung dengan sumber daya manusia yang berkualitas. Proses produksi DOP menggunakan berbagai peralatan, salah satunya adalah *cooling water pump*, yang berfungsi sebagai *service* kebutuhan dalam proses produksi DOP yang terdiri dari komponen pompa UP-11 A/B, UE-11, UP-21. Keseluruhan pompa tersebut termasuk kedalam jenis pompa sentrifugal dengan komponen penyusun sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Spesifikasi Pompa di *Cooling Water Pump*

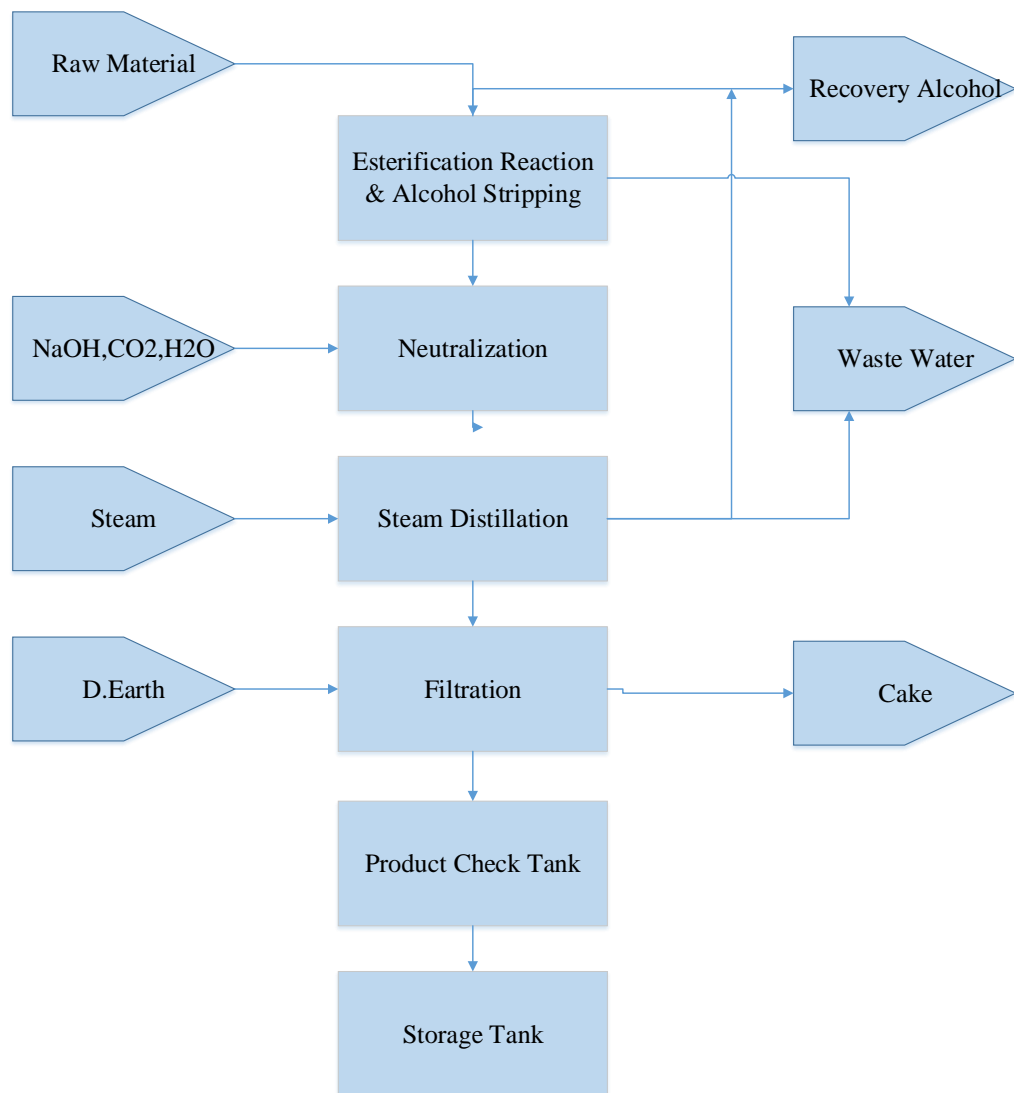
Uraian	Satuan	Keterangan
Merek	-	Torishima
Jenis	-	Sentrifugal
Liquid	-	<i>Cooling Water</i>

Uraian	Satuan	Keterangan
Temperatur	°C	11-13
Volume Bak	m ³	110
Kapasitas	m ³ /jam	300

Proses yang dijalankan di *cooling water pump* dimulai dari pengisian bak air pendingin dengan volume 110 m³ dengan membuka *valve inlet* air pendingin serta membuka *valve suction* pompa UP 11 A/B. selanjutnya pompa UP 11 A/B *valve discharge* dibuka secukupnya, dilanjutkan dengan injeksi bahan-bahan kimia. *Cooling water pump* merupakan proses air pendingin yang dipergunakan untuk *service* kebutuhan dalam suatu proses produksi DOP. Dalam menjaga kualitas air pendingin sesuai dengan persyaratan, maka bak air diinjeksi bahan-bahan kimia kurizet S-370 dan kurizet T-225. Injeksi bahan kimia tersebut bertujuan untuk memperbaiki sifat air pendingin supaya sesuai dengan persyaratan yang dikehendaki agar *line equipment* yang dialiri *flow* air pendingin terhindar dari gangguan korosi. Untuk mendinginkan temperatur air pendingin setelah menyerap panas dari proses, air disebarkan kembali ke bak pendingin dan dikontakkan dengan udara isapan (UE-11) melalui kisi-kisi sehingga temperatur air menjadi turun (dingin). Faktor yang menyebabkan air dipilih sebagai pendingin dalam *cooling water pump* adalah murah dan mudah didapat, mudah dalam pemakaian, dalam volume tertentu air dapat menyerap panas pada setiap unit *equipment* dan tidak terjadi pemuaiian/penyusutan yang nyata dalam penggunaan pada batas temperatur normal.

4.2 Proses Produksi Dioctyl Phtalate (DOP)

Proses produksi pembuatan DOP pada Perusahaan *plasticizer* dapat dilihat pada *functional block diagram* dibawah ini:



Gambar 4. 1 Alur Proses Produksi DOP

Proses produksi DOP menggunakan metode esterifikasi yang terdiri dari tiga tahapan proses yaitu proses reaksi, netralisasi, dan *finishing* (purifikasi). Aktivitas produksi dimulai dengan persiapan bahan baku yang terdiri dari PA, 2EH dan katalis dimasukkan kedalam proses reaksi. Bahan baku dimasukkan kedalam reaktor pengaduk (RV-01). Suhu reaktor dinaikkan dengan bantuan *hot oil* yang disirkulasikan melalui *coil* yang ada di dalam reaktor dan tekanan reaktor diturunkan sampai 200 torr dan dikembalikan ke tekanan atmosfer ketika suhu reaktor mencapai 100 °C dengan memasukkan nitrogen dengan tujuan untuk menghilangkan gas oksigen. Selama proses reaksi, dihasilkan uap 2EH dan air yang

terbentuk keluar melalui atas reaktor yang didinginkan. Setelah itu dilakukan proses sampling *acid value* dan *color crude* DOP. Apabila memenuhi spesifikasi, dilakukan proses *alcohol stripping*, yaitu proses pengambilan sisa 2EH yang tidak bereaksi dengan menurunkan tekanan reaktor sampai 60 torr. Selanjutnya DOP di transfer menuju proses netralisasi.

Proses netralisasi bertujuan untuk mengikat komponen-komponen selain DOP yang ada dalam *crude* DOP seperti katalis TPT dan *monoester* yang tidak bereaksi. *Crude* DOP dari tangki penampung RV-04 ditransfer ke *cooler* (NE-01.02) untuk proses pendinginan menjadi suhu 80 °C. kemudian dimasukkan NaOH, CO₂, H₂O. NaOH berfungsi sebagai pengikat *monoester* menjadi *disodium phthalate* (DSP). H₂O berfungsi sebagai pengikat katalis TPT menjadi TiO₂. Kemudian NaOH yang tidak bereaksi akan diikat oleh gas CO₂ menjadi *sodium carbonate*. Setelah itu DOP menuju proses *finishing*.

Pada proses *finishing* terdapat proses filtrasi dan distilasi *steam*. Proses distilasi berfungsi untuk menguapkan sisa 2EH dan air yang ada dalam *crude* DOP dengan bantuan injeksi *steam* dari bawah kolom distilasi. Pada proses distilasi dihasilkan *waste* berupa air, kemudian air ditransfer ke unit pengolahan air limbah. Setelah proses distilasi, dialirkan menuju proses filtrasi untuk menyaring komponen-komponen padatan DOP. Media filter yang digunakan adalah tanah *diatomaceous earth* (DE). Selanjutnya DOP dialirkan menuju tangki cek produk untuk dianalisa kualitasnya dengan spesifikasi warna, viskositas. Setelah dinyatakan bagus, DOP di transfer ke tangki penampung produk.

4.3 Reliability Centered Maintenance (RCM) II Information Worksheet

Reliability Centered Maintenance (RCM) II information worksheet adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan yang terjadi pada komponen-komponen pompa pada *cooling water pump*. Dalam pengerjaan RCM II *information worksheet* ini menggunakan template FMEA dengan cara *brainstorming* dengan *expert*. Penentuan *expert* harus memenuhi kriteria yang sudah ditetapkan diantaranya adalah pengalaman dalam melakukan penilaian serta pengambilan keputusan, ketersediaan dan kemauan dalam berpartisipasi, dan kedudukan jabatan di perusahaan. Dalam metode (RCM) II akan dijelaskan

mengenai *function*, *function failure*, *failure mode*, dan *failure effect* yang dimiliki oleh masing-masing komponen. Berikut ini akan ditampilkan mengenai komponen penyusun *cooling water pump* adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Rekap Komponen *Cooling Water Pump*

No	Nama Komponen	Fungsi
1	<i>Bearing</i>	Penumpu <i>shaft</i> agar tetap berada pada kedudukannya
2	<i>Vane</i>	Sudu-Sudu pada <i>impeller</i> tempat berlalunya <i>Cooling water</i>
3	<i>Shaft</i>	Penerus momen putar dari penggerak dan tempat bertumpunya <i>impeller</i>
4	<i>Oil Seal</i>	Penyekat untuk pelumas pada sistem <i>bearing</i>
5	<i>Gearbox</i>	Memindahkan dan mengubah tenaga dari motor yang berputar
6	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	Penumpu poros sehingga dapat berputar tanpa mengalami gesekan
7	<i>Oil Gauge</i>	Indikator tekanan untuk mengetahui berapa tekanan pada <i>cooling water pump</i>
8	<i>Gland Packing</i>	Mengontrol kebocoran fluida yang terjadi pada perbatasan poros pompa dan strator
9	<i>Wearing Seal</i>	Mencegah kebocoran yang terjadi akibat adanya celah antara <i>casing</i> dan <i>impeller</i>
10	Gasket	Mencegah fluida yang berpindah ke dalam bagian pompa ketika beroperasi
11	Motor	Sebagai pengubah energi listrik menjadi energi gerak

Berikut ini akan ditampilkan pengerjaan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), yang merupakan RCM II *information worksheet* adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Rekap *Reliability Centered Maintenance (RCM) II Information Worksheet*

RCM II Information Worksheet		Sistem : <i>Cooling Water Pump</i>		Departemen: HSE Perusahaan <i>Plasticizer</i>	
				14	Nama Kegiatan : Proses Produksi
<i>Function</i>		<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode (Penyebab Kerusakan)</i>	<i>Failure Effect</i>
1.	Penumpu <i>shaft</i> agar tetap berada pada kedudukannya	A	Gagal menumpu <i>shaft</i> sehingga terjadi kontak langsung dengan logam	<i>Overload</i> pada pompa	Terjadi <i>noise</i> dan vibrasi pada pompa
2.	Sudu-Sudu pada <i>impeller</i> tempat berlalunya <i>Cooling water</i>	B	Aliran <i>cooling water</i> tidak sempurna	<i>Vane</i> Kotor	Penurunan performa pompa
3.	Penerus momen putar dari motor dan tempat bertumpunya <i>impeller</i>	C	Tidak dapat meneruskan momen putar secara sempurna dari motor	<i>Shaft Unbalance</i>	Kenaikan temperatur bearing serta menghasilkan vibrasi dan <i>noise</i>
4.	Penyekat pada <i>impeller</i> agar diteruskan keluar menuju discharge <i>nozzle</i>	D	Gagal menghalangi pelumas <i>bearing</i>	<i>Oil Seal</i> Bocor	Adanya rembesan pelumas
5.	Memindahkan dan mengubah tenaga dari motor yang berputar	E	<i>Gearbox</i> tersumbat oli dan adanya kerusakan pada <i>oil sel</i>	<i>Gearbox</i> Aus	Terjadi <i>noise</i> yang tinggi pada pompa

Tabel 4. 3 Rekap *Reliability Centered Maintenance (RCM) II Information Worksheet* (Lanjutan)

RCM II Information Worksheet		Sistem : <i>Cooling Water Pump</i>		Departemen: HSE Perusahaan <i>Plasticizer</i>	
				14	Nama Kegiatan : Proses Produksi
<i>Function</i>		<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i> (Penyebab Kerusakan)	<i>Failure Effect</i>
6.	Penumpu poros sehingga dapat berputar tanpa mengalami gesekan	F	Gagal sebagai penumpu sehingga terjadi gesekan dengan logam pada pompa	<i>Deep Groove Ball Bearing</i> Aus	kenaikan vibrasi pada pompa
7.	Indikator tekanan untuk mengetahui berapa tekanan pada <i>cooling water pump</i>	G	Tidak dapat mendeteksi penurunan tekanan udara pada <i>cooling water</i>	<i>Oil Gauge</i> bocor	sistem pelumasan tidak dapat bersirkulasi dengan baik
8.	Mengontrol kebocoran fluida yang terjadi pada perbatasan poros pompa dan strator	H	Gagal Menghalangi air masuk ke dalam pompa	<i>Gland Packing</i> bocor	Terdapat rembesan pada <i>cooling water</i>
9.	Meminimalisir terjadinya kerusakan akibat adanya celah antar <i>casing</i> dan <i>impeller</i>	I	Gagal menghalangi kontak langsung <i>impeller</i> dan <i>casing</i>	<i>Wearing</i> Longgar	Aliran dalam pompa terhambat

Tabel 4. 3 Rekap *Reliability Centered Maintenance (RCM) II Information Worksheet* (Lanjutan)

RCM II Information Worksheet		Sistem : <i>Cooling Water Pump</i>		Departemen: HSE Perusahaan <i>Plasticizer</i>	
				14	Nama Kegiatan : Proses Produksi
<i>Function</i>		<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i> (Penyebab Kerusakan)	<i>Failure Effect</i>
10.	Mencegah fluida yang berpindah ke dalam bagian pompa ketika beroperasi	J	Gagal menghalangi fluida untuk masuk ke dalam bagian pompa	Gasket bocor	Masuknya air pendingin ke bagian dalam pompa
11.	Sebagai pengubah energi listrik menjadi energi gerak	K	Gagal mengubah energi listrik menjadi energi gerak	Motor tidak bisa <i>start</i>	Motor Terbakar

4.4 Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet

Pada sub bab sebelumnya sudah dijelaskan mengenai RCM II *information worksheet* yang disusun menggunakan FMEA, maka tahapan selanjutnya adalah RCM II *decision worksheet*. Pada tahap ini akan disusun *decision worksheet* pada komponen pompa di *cooling water pump*.

Penyusunan *decision worksheet* mengacu pada *decision diagram* pada gambar 2.4. berdasarkan *decision diagram* tersebut, terdapat evaluasi konsekuensi yang ada di *failure mode* pada FMEA, sedangkan konsekuensi yang terdapat pada *decision worksheet* meliputi *hidden failure* (H), *safety* (S), *environment* (E), dan *operation* (O). dari *decision worksheet* ini akan diperoleh penentuan kegiatan *maintenance* yang tepat pada setiap komponen mesin di *cooling water pump*.

Berdasarkan *decision diagram*, terdapat beberapa kategori kegiatan *maintenance* yaitu *on condition task*, *scheduled restoration task*, *scheduled discard task*, *finding failure task*, *redesign*, dan *no maintenance task*. Dalam penelitian ini terdapat beberapa kegiatan *maintenance* yang digunakan, yaitu *on condition task*, *scheduled discard task*, *scheduled restoration task*, *finding failure task*, dan *no schedule maintenance task*. Sedangkan untuk *can be done by* adalah orang yang memiliki tanggung jawab terhadap kegiatan *maintenance*. Berikut ini akan ditampilkan penyusunan *decision worksheet* dari komponen *cooling water pump* adalah sebagai berikut:

Gambar 4. 2 Hasil Rekap RCM II *Decision Worksheet*

<i>RCM II Worksheet</i>					Sistem : DOP Plant Perusahaan <i>Plasticizer</i>							Date			Sheet		
					Fungsi Sub Sistem : <i>Cooling Water Pump</i>										Of		
<i>Information Reference</i>					<i>Consequence Evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default Action</i>				<i>Proposed Task</i>	<i>Can be done by</i>
									S1	S2	S3						
No	<i>Equipment</i>	F	FF	FM	H	S	E	O	E1	E2	E3	H4	H5	S4			
									O1	O2	O3						
1	<i>Bearing</i>	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y				Melakukan <i>Scheduled Discard Task</i> dengan melakukan penggantian dengan <i>Bearing</i> baru	<i>Maintenance</i>	
2	<i>Vane</i>	2	B	2	Y	N	N	Y	N	N	Y				Melakukan <i>Failure finding interval</i> berupa pengecekan <i>vane</i> secara berkala pada mesin	<i>Maintenance</i>	
3	<i>Shaft</i>	3	C	3	Y	N	N	Y	N	Y					Melakukan <i>Scheduled Restoration Task</i> dengan melakukan perbaikan pada <i>shaft</i> , sehingga dapat meneruskan momen putar secara sempurna	<i>Maintenance</i>	
4	<i>Oil Seal</i>	4	D	4	Y	N	N	Y	N	N	Y				Melakukan <i>Scheduled Discard Task</i> dengan melakukan penggantian dengan <i>Oil seal</i> baru	<i>Maintenance</i>	
5	<i>Gearbox</i>	5	E	5	Y	N	N	Y	N	N					Melakukan <i>Failure finding interval</i> dengan melakukan pengecekan pada <i>gearbox</i> , sehingga dapat diketahui tingkat keausan <i>gearbox</i>	<i>Maintenance</i>	

Gambar 4. 2 Hasil Rekap RCM II *Decision Worksheet* (lanjutan)

<i>RCM II Worksheet</i>					Sistem : DOP Plant Perusahaan <i>Plasticizer</i>								Date			Sheet			
					Fungsi Sub Sistem : <i>Cooling Water Pump</i>											Of			
<i>Information Reference</i>					<i>Consequence Evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default Action</i>				<i>Proposed Task</i>			<i>Can be done by</i>
									S1	S2	S3								
No	<i>Equipment</i>	F	FF	FM	H	S	E	O	E1	E2	E3	H4	H5	S4					
									O1	O2	O3								
6	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	6	F	6	Y	N	N	Y	N	N	Y				Melakukan <i>Finding Failure interval</i> berupa pengecekan pada <i>Deep Groove Ball Bearing</i> untuk mengetahui tingkat keausan	<i>Maintenance</i>			
7	<i>Oil Gauge</i>	7	G	7	Y	N	N	Y	N	N	Y				Melakukan <i>Scheduled Discard Task</i> dengan melakukan penggantian <i>Oil Gauge</i> yang baru	<i>Maintenance</i>			
8	<i>Gland Packing</i>	8	H	8	Y	N	N	Y	N	N	Y				Melakukan <i>Scheduled Discard Task</i> dengan melakukan penggantian <i>Gland Packing</i> yang baru	<i>Maintenance</i>			
9	<i>Wearing Seal</i>	9	I	9	Y	N	N	Y	N	N	Y				Melakukan <i>Scheduled Discard Task</i> dengan melakukan penggantian <i>wearing seal</i> yang baru	<i>Maintenance</i>			

Gambar 4. 2 Hasil Rekap RCM II *Decision Worksheet* (lanjutan)

<i>RCM II Worksheet</i>					Sistem : DOP Plant Perusahaan <i>Plasticizer</i>								Date			Sheet
					Fungsi Sub Sistem : <i>Cooling Water Pump</i>											Of
<i>Information Reference</i>					<i>Consequence Evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default Action</i>			<i>Proposed Task</i>	<i>Can be done by</i>
No	<i>Equipment</i>	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4		
									E1	E2	E3					
									O1	O2	O3					
10	Gasket	10	J	10	Y	N	N	Y	N	N	Y				Melakukan <i>Scheduled Discard Task</i> dengan melakukan penggantian Gasket yang baru	<i>Maintenance</i>
11	Motor	11	K	11	N				N	Y					Melakukan <i>Scheduled Restoration Task</i> dengan melakukan perbaikan motor pada pompa sehingga motor dapat bekerja dengan baik	<i>Maintenance</i>

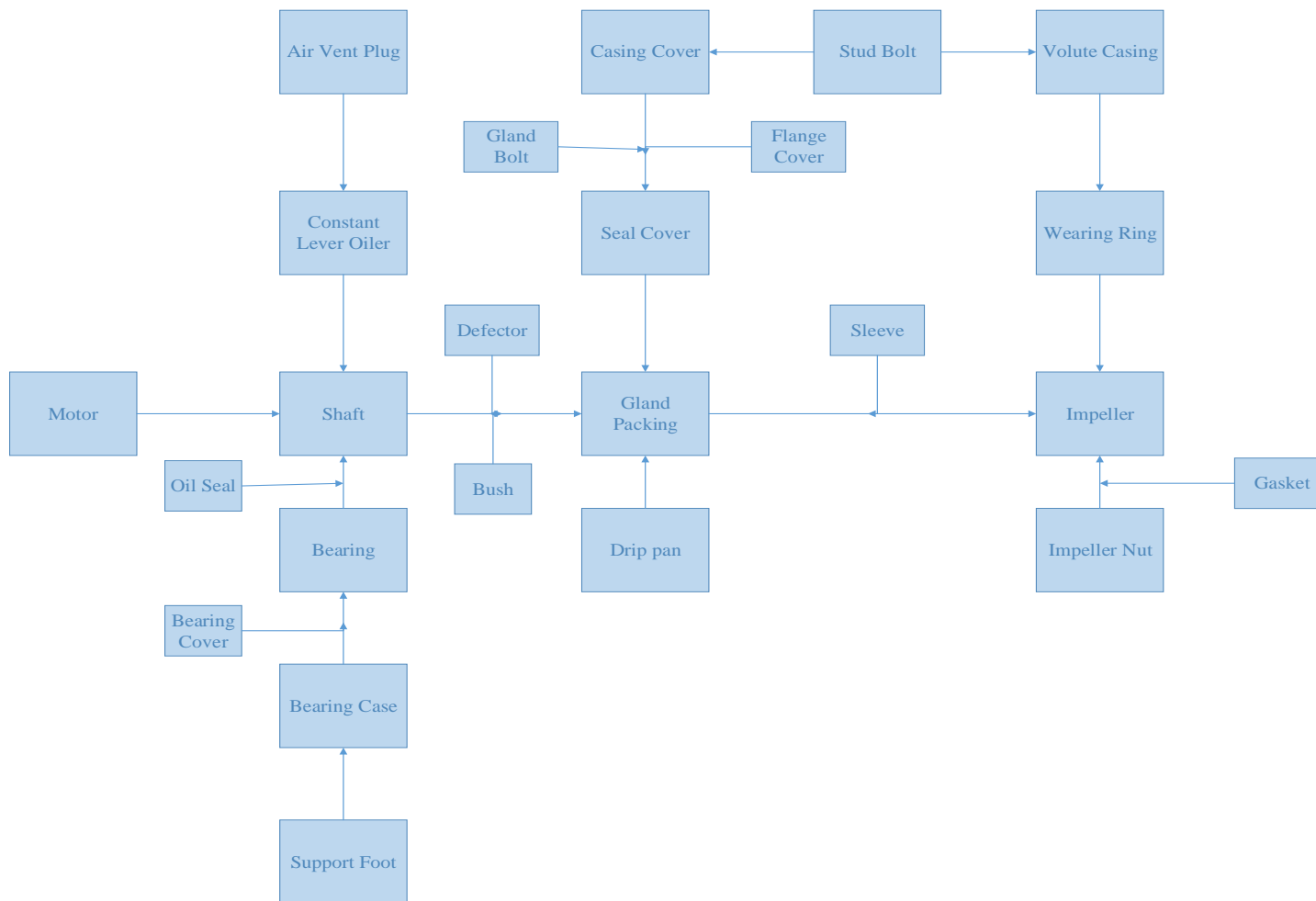
4.5 Functional Block Diagram

Tahap pertama mengimplementasikan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II adalah dengan membuat *Functional Block Diagram* (FBD). Diagram ini digunakan untuk mengetahui keterkaitan antar sistem yang terdapat di *Cooling Water Pump* dalam melakukan proses pendinginan proses produksi DOP. Berikut ini merupakan kondisi *disfunction* yang terdapat pada *Cooling Water Pump*.

Tabel 4. 4 Kondisi *Disfunction* di *Cooling Water Pump*

Kode	Nama Komponen	Fungsi
1020	<i>Volute Casing</i>	Mengarahkan aliran menuju ke <i>impeller</i>
1610	<i>Casing Cover</i>	Pelindung elemen yang berputar
1830	<i>Support Foot</i>	Pondasi kedudukan pompa
2100	<i>Shaft</i>	Penerus momen putar dari penggerak dan tempat betumpunya <i>impeller</i>
2300	<i>Impeller</i>	Menghisap dan mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang di pompakan secara kontinyu
3210	<i>Bearing</i>	Penumpu <i>shaft</i> agar tetap berada pada kedudukannya
3300	<i>Bearing Case</i>	Tempat kedudukan sistem <i>bearing</i>
3600	<i>Bearing Cover</i>	Pelindung <i>bearing</i>
4000	<i>Gasket</i>	Mencegah fluida yang berpindah ke dalam bagian mesin ketika beroperasi
4210	<i>Oil Seal</i>	Penyekat untuk pelumas pada sistem <i>bearing</i>
4330	<i>Gland Packing</i>	Penyekat fluida pada <i>impeller</i> agar diteruskan keluar menuju <i>discharge nozzle</i>
5020	<i>Wearing Ring</i>	Untuk mencegah kebocoran yang terjadi akibat celah antara <i>casing</i> dan <i>impeller</i>
5070	<i>Deflector</i>	Untuk mengurangi turbulensi pada pompa
6480	<i>Constant Level Oiler</i>	Untuk mengetahui tingkat pelumasan pada pompa
6480	<i>Drip Pan</i>	Tempat penampungan bocoran <i>fluida</i>
9020	<i>Stud Bolt</i>	Penghubung antara <i>volute casing</i> dengan <i>casing cover</i>
9021	<i>Gland Bolt</i>	Pengunci antara <i>mechanical seal</i> dan <i>casing cover</i>
9130	<i>Air Vent Plug</i>	Untuk melepaskan akumulasi udara dalam pompa
9220	<i>Impeller Nut</i>	Untuk mengunci <i>impeller</i> agar tetap pada posisinya
9	<i>Seal Cover</i>	Pelindung <i>seal</i>

Kode	Nama Komponen	Fungsi
10	<i>Flange Cover</i>	Pelindung <i>flange</i>
11	<i>Bush</i>	Mengurangi gesekan antara permukaan yang bergesekan
13	<i>Sleeve</i>	Melindungi <i>shaft</i> akibat pengencangan <i>screw mechanical seal</i>



Gambar 4. 3 Fuctional Block Diagram Cooling Water Pump

Hubungan antar komponen dalam membentuk suatu sistem kerja dari pompa sentrifugal di *Cooling Water Pump* yang berfungsi sebagai pendingin pada proses produksi DOP. Hubungan tersebut memindahkan fungsi kerja dengan melewati elemen-elemen yang berbeda pada sistem kerja. Berdasarkan gambar 4.3 pada *functional block diagram* menunjukkan bahwa sistem kerja pompa sentrifugal dimulai dari masuknya daya listrik ke motor pompa. Motor pompa berfungsi sebagai penggerak utama pompa. Ketika motor pompa bekerja, daya motor akan ditransmisikan menuju *shaft*, sehingga *shaft* akan bekerja. *Shaft* bekerja dengan menghasilkan putaran. Ketika putaran *shaft* berjalan dengan baik, maka akan *shaft* tersebut akan ditopang oleh sistem *bearing* sebagai penumpu beban pada *shaft* dan menahan *shaft* tetap bekerja dengan baik.

Sistem *bearing* memiliki *bearing case* sebagai tempat kedudukan sistem *bearing*, *bearing case* terdapat *support foot* yang berfungsi sebagai tempat kedudukan pompa. Sistem *bearing* ini memiliki *cover* yaitu *bearing cover*. *Bearing* dibutuhkan sebagai sistem pelumasan untuk mengurangi gesekan dan menurunkan keausan pada *shaft* dan *bearing*. Untuk menghindari kebocoran pada sistem pelumasan tersebut, dibutuhkan *oil seal*. *Constant level oiler* berfungsi untuk tingkat pelumasan pada pompa, dan *air vent plug* berfungsi untuk melepaskan akumulasi udara pada sistem pelumasan. Putaran *shaft* akan ditransmisi menuju *impeller*, sehingga *impeller* akan berputar. Pertemuan antara *shaft* dan *impeller* dilengkapi dengan *deflector*, *bush* dan *gland packing* yang berfungsi sebagai pendeteksi kebocoran pada pompa.

Sistem *gland packing* terdapat *seal cover* untuk melindungi *gland packing* dan *casing cover* yang berfungsi untuk melindungi komponen yang berputar pada pompa. Apabila *gland packing* mengalami kebocoran maka akan ditampung di *drip pan*. Sedangkan *sleeve* digunakan sebagai pelindung *shaft* akibat pengencangan *screw gland packing*. Selain itu pada *impeller* juga dilengkapi dengan *impeller nut* yang berfungsi untuk mengunci *impeller* agar tetap terikat dengan *shaft*. *Gasket* digunakan untuk menghindari masuknya cairan pendingin ke dalam celah *impeller*. *Wearing ring* yang berguna untuk mencegah terjadinya kebocoran akibat adanya celah pada *impeller* dan *casing*. Putaran *impeller* akan mengikat cairan pendingin masuk ke dalam pompa pada *suction nozzle* melewati *volute casing* untuk dialirkan menuju *discharge nozzle*.

4.6 Time To Failure

Time to failure merupakan waktu kerusakan yang dimiliki oleh mesin. Data kerusakan mesin diperoleh dari data histori kerusakan mesin dan hasil pengamatan langsung di perusahaan. Data kerusakan tersebut diolah untuk mendapatkan *fitting* distribusi terbaik dari setiap mesin. *Fitting* distribusi menggunakan *software* Weibull ++6. Setelah mendapatkan distribusi yang sesuai, kemudian dilakukan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) menggunakan formula yang sesuai dengan distribusi mesin.

4.6.1. Fitting Distribusi Time To Failure Komponen

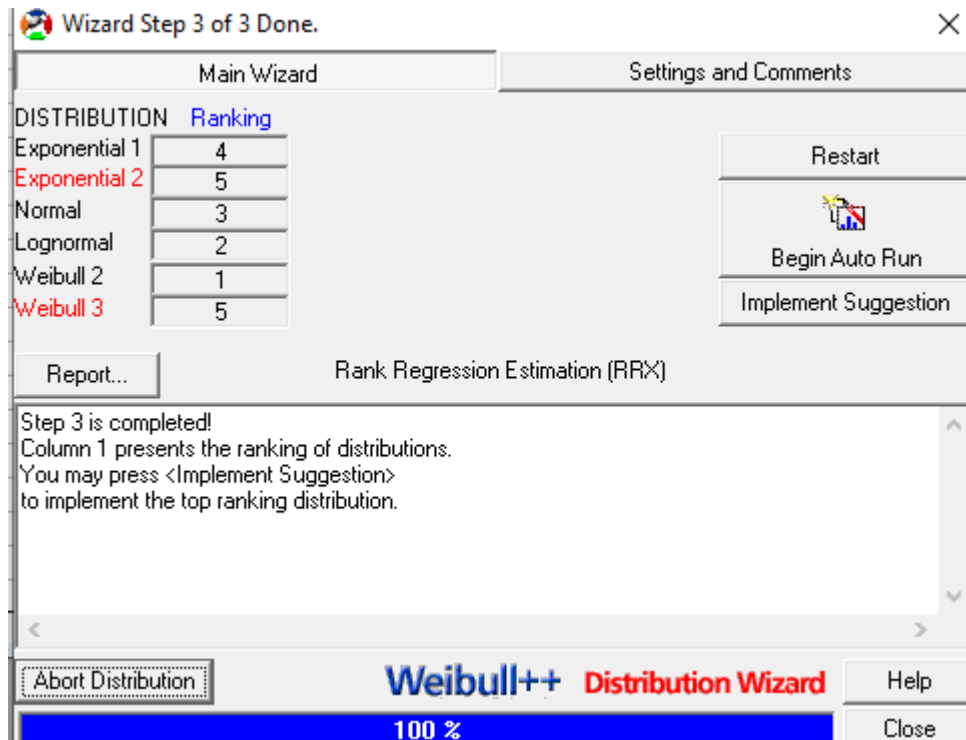
Pada penelitian tugas akhir ini, *fitting* distribusi menggunakan *software* Weibull ++6. *Fitting* distribusi dilakukan pada data *time to failure* pada sebelas komponen mesin pada *cooling water pump*. Berikut ini merupakan rekap data *time to failure* komponen mesin adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Rekap Data *Time To Failure*

<i>Time to Failure</i> Ke-	<i>Bearing</i>	<i>Vane</i>	<i>Shaft</i>	<i>Oil Seal</i>	<i>Gearbox</i>	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	<i>Oil Gauge</i>
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1440	456	1200	1269	2376	816	149
3	2880	2760	3840	1832	3216	2448	1875
4	6552	2928	6864	2649	8520	5832	2448
5	2616	3336	2928	3134	2160	2832	2765
6	3936	3120	4656	4765	5160	4032	4056
7	2496	5016	2280	5321	...	1608	5760

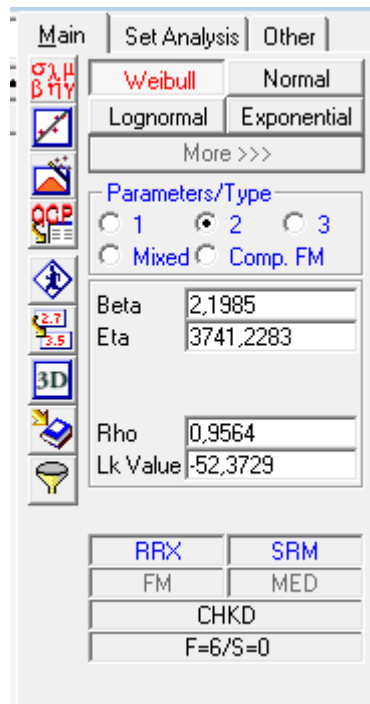
Data *Time to Failure* pada table 4.5 di atas akan ditentukan distribusinya menggunakan *software* Weibull ++6. Langkah untuk menentukan distribusi pada *software* Weibull ++6 dengan membuka *new file* pada Weibull++6 kemudian memilih "*Time To Failure*". Dilanjutkan dengan memasukkan data *time to failure*, kemudian pilih *icon distribution wizard*, selanjutnya pilih *begin auto run* untuk melakukan *fitting*

distribution. Berikut ini akan ditampilkan hasil *fitting* distribusi dari komponen *bearing*:



Gambar 4. 4 *Fitting Distribution Time to Failure* dengan Weibull++6

Berdasarkan tampilan pada gambar 4.4 di atas, dapat diketahui distribusi yang paling sesuai yaitu distribusi Weibull dengan 2 parameter. Setelah diketahui jenis distribusi yang sesuai, maka pilih *icon calculate* untuk mendapatkan parameter distribusi komponen *bearing* tersebut. *Fitting* distribusi menunjukkan distribusi Weibull 2 parameter maka akan ditampilkan parameter beta dan eta. Jika lognormal dan normal maka akan ditampilkan parameter *mean* dan standar deviasi.



Gambar 4. 5 Parameter Distribusi *Time to Failure* pada *Software Weibull++6*

Gambar 4.5 di atas merupakan parameter yang diperoleh dari distribusi Weibull 2 parameter pada *bearing* di *cooling water pump*. Distribusi Weibull 2 parameter akan ditampilkan nilai beta dan eta. Berikut ini merupakan rekap data dari distribusi untuk setiap komponen pada *cooling water pump*. Distribusi yang diperoleh dari *software Weibull ++6* akan digunakan untuk menentukan *Mean Time Between Failure* (MTBF). Selanjutnya nilai MTBF digunakan untuk menentukan interval pemeliharaan yang sesuai dengan komponen, baik *schedule restoration task*, *scheduled discard task*, dan *finding failure interval*. Rekap di atas merupakan hasil pengujian dengan *software Weibull ++6*. Nilai dari *rho*, *LK value* merupakan dasar untuk memilih distribusi pada suatu komponen. Penentuan distribusi dan parameter digunakan untuk menentukan *Mean Time Between Failure* komponen. Ciri khusus distribusi Weibull ini adalah parameter skala (α) dan parameter bentuk (β) adalah jenis khusus parameter numerik besarnya distribusi. Nilai eta menyatakan *characteristic life* (CL) sedangkan nilai Beta merupakan shape faktor. Apabila nilai dan eta lebih dari 1 maka komponen tersebut telah memasuki masa tua, dan harus dilakukan perawatan

Tabel 4. 6 Rekap Distribusi Komponen *Time To Failure*

No	Komponen	Distribusi	η	B	μ	σ	Rho	LK Value
1	<i>Bearing</i>	Weibull 2	3741,2283	2,1985			0,9564	-52,3729
2	<i>Vane</i>	Normal			2935,9994	1541,1674	0,9308	-51,8082
3	<i>Shaft</i>	Weibull 2	4194,8248	1,7561			0,9974	-53,3833
4	<i>Oil Seal</i>	Lognormal			7,9399	0,6149	0,9863	-52,2412
5	<i>Gearbox</i>	Lognormal			8,2252	0,6376	0,9675	-45,0833
6	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	Weibull 2	3565,0664	1,4985			0,9955	-52,9605
7	<i>Oil Gauge</i>	Normal			2842,1658	2137,8381	0,9864	-53,5250
8	<i>Gland Packing</i>	Lognormal			8,376	0,0505	0,9946	-19,6041
9	<i>Wearing Seal</i>	Weibull 2	2,5017	3,850			0,9817	-42,6193
10	Gasket	Weibull 2	3,7748	6,705			1,00000	-17,1671
11	Motor	Weibull 2	2,1455	4,798			1,00000	-17,4558

4.6.2. Perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF)

Berikut ini akan ditampilkan contoh perhitungan MTBF dari komponen *bearing* pada *Cooling Water Pump*. Contoh perhitungan akan ditampilkan untuk distribusi Weibull 2 parameter, normal, dan lognormal.

➤ Distribusi Weibull 2 Parameter

Komponen : *Bearing*

Eta (η) : 3741,2283

Beta (β) : 2,1985

Perhitungan MTTF komponen *Bearing* pada *Cooling Water Pump* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MTBF} &= \eta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\ &= 3741,2283 \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,1985}\right) \\ &= 3313,61 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka didapatkan bahwa nilai MTBF dari komponen *bearing* adalah 3313,61 jam.

➤ Distribusi Normal

Komponen : *Vane*

Mean (μ) : 2935,9994

Standar Deviasi : 1541,1674

Perhitungan MTTF komponen *Vane* pada *Cooling Water Pump* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MTBF} &= \text{Mean } (\mu) \\ &= 2935,9994 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka didapatkan bahwa nilai MTBF dari komponen *vane* adalah 2935,9994 jam.

➤ Distribusi Lognormal

Komponen : *Oil Seal*

Mean (μ) : 7,9399

Standar Deviasi : 0,6149

Perhitungan MTTF komponen *Oil Seal* pada *Cooling Water Pump* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MTBF} &= \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \\ &= \exp\left(7,9399 + \frac{(0,6149)^2}{2}\right) \\ &= 3391,24 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka didapatkan bahwa nilai MTBF dari komponen *Oil Seal* adalah 3391,24 jam.

Berikut ini akan ditampilkan rekap hasil perhitungan MTBF yang telah melalui proses perhitungan.

Tabel 4. 7 Hasil Rekap *Mean Time To Failure* (MTBF)

No	Komponen	MTBF
1	<i>Bearing</i>	3313.61
2	<i>Vane</i>	2936.00
3	<i>Shaft</i>	3731.72
4	<i>Oil Seal</i>	3391.24
5	<i>Gearbox</i>	4575.48
6	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	3220.32
7	<i>Oil Gauge</i>	2842.17
8	<i>Gland Packing</i>	4347.15
9	<i>Wearing Seal</i>	3678.36
10	Gasket	6064.13
11	Motor	4249.18

4.7 Time To Repair

Time to repair merupakan waktu perbaikan yang dimiliki oleh mesin. Data waktu perbaikan mesin diperoleh dari data histori perusahaan dan hasil pengamatan langsung. Data tersebut diolah untuk mendapatkan *fitting* distribusi terbaik dari setiap mesin. *Fitting* distribusi menggunakan *software* Weibull ++6. Setelah mendapatkan distribusi yang sesuai, kemudian dilakukan perhitungan *Mean Time To Repair* (MTTR) menggunakan formula yang sesuai dengan distribusi mesin.

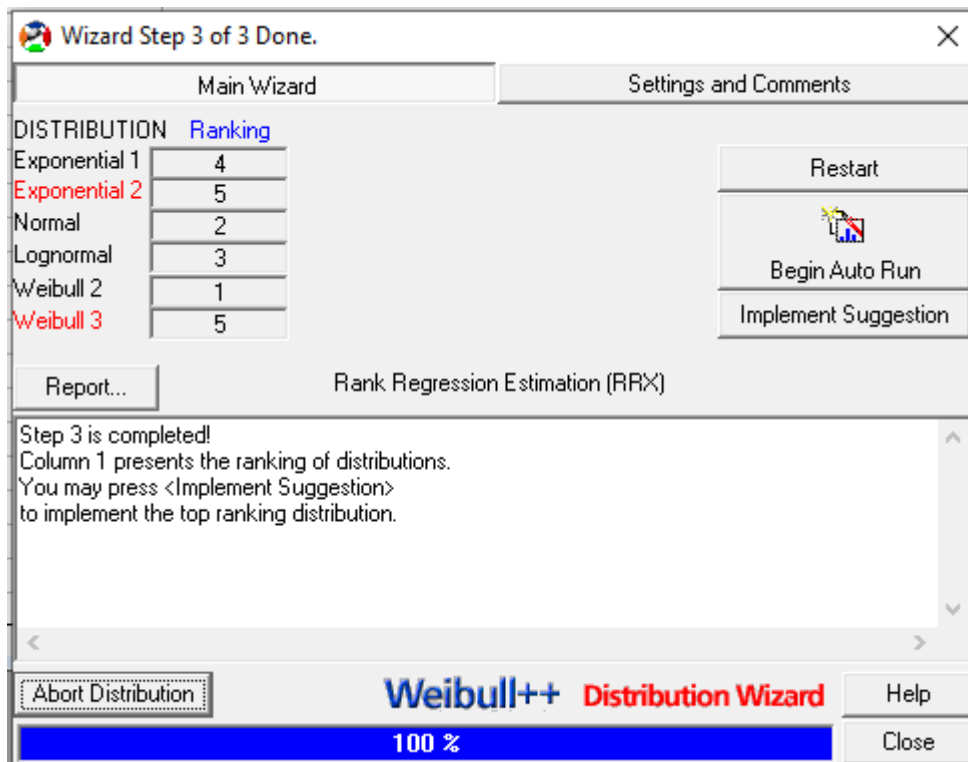
4.7.1. Fitting Distribusi Time To Failure Komponen

Pada penelitian tugas akhir ini, *fitting* distribusi menggunakan *software* Weibull ++6. *Fitting* distribusi dilakukan pada data *time to failure* pada sebelas komponen mesin pada *cooling water pump*. Berikut ini merupakan rekap data *time to failure* komponen mesin adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Rekap Data *Time to Repair*

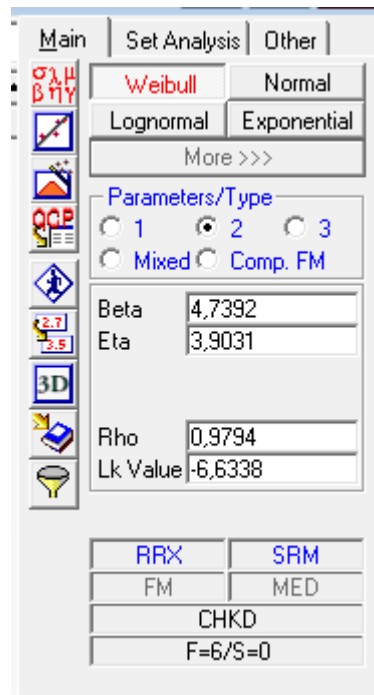
<i>Time to Failure</i> Ke-	<i>Bearing</i>	<i>Vane</i>	<i>Shaft</i>	<i>Oil Seal</i>	<i>GearBox</i>	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	<i>Oil Gauge</i>
1	0	0	0	0	0	0	0
2	2,5	2	3,5	1,89	2,5	2,32	1,34
3	3	3	4	2	3,5	3,5	2
4	3,25	3,5	4,45	2,15	5	3,5	3,58
5	4	3,5	3,5	3,56	3	3,5	3,62
6	4,35	3,5	4	4,23	4	4,45	3,76
7	4,42	4,45	3	5	...	4,45	4,43

Data *Time to Failure* pada table 4.8 di atas akan ditentukan distribusinya menggunakan *software* Weibull ++6. Langkah untuk menentukan distribusi pada *software* Weibull ++6 dengan membuka *new file* pada Weibull++6 kemudian memilih “*Time To Failure*”. Dilanjutkan dengan memasukkan data *time to failure*, kemudian pilih *icon distribution wizard*, selanjutnya pilih *begin auto run* untuk melakukan *fitting distribution*. Berikut ini akan ditampilkan hasil *fitting* distribusi dari komponen *bearing*:



Gambar 4. 6 *Fitting Distribusi Time to Repair menggunakan Weibull++6*

Dari gambar 4.6 di atas dapat diketahui distribusi yang sesuai pada komponen *bearing* adalah distribusi Weibull 2 parameter. Apabila sudah diketahui distribusi yang sesuai, maka pilih *icon calculate* untuk mengetahui nilai dari parameter distribusi. Distribusi Weibull 2 parameter akan ditampilkan nilai beta dan eta. Berikut ini merupakan rekap data dari distribusi untuk setiap komponen pada *cooling water pump*.



Gambar 4. 7 Parameter Distribusi *Time to Repair* Menggunakan Weibull++6

Berdasarkan gambar 4.7 di atas merupakan nilai parameter dari distribusi Weibull 2 pada komponen *bearing* di *cooling water pump*. Berikut ini merupakan rekap data distribusi dan parameter setiap komponen pada *cooling water pump*. Distribusi Weibull 2 parameter akan ditampilkan nilai beta dan eta. Berikut ini merupakan rekap data dari distribusi untuk setiap komponen pada *cooling water pump*.

Distribusi yang diperoleh dari *software* Weibull ++6 akan digunakan untuk menentukan *Mean Time To Repair* (MTTR). Selanjutnya nilai MTTR digunakan untuk menentukan interval pemeliharaan yang sesuai dengan komponen, baik *schedule restoration task*, *scheduled discard task*, dan *finding failure interval*. Rekap di atas merupakan hasil pengujian dengan *software* Weibull ++6. Nilai dari *rho*, *LK value* merupakan dasar untuk memilih distribusi pada suatu komponen. Penentuan distribusi dan parameter digunakan untuk menentukan *Mean Time To Repair* komponen.

Tabel 4. 9 Rekap Distribusi *Time to Repair*

No	Komponen	Distribusi	η	β	μ	σ	Rho	LK Value
1	<i>Bearing</i>	Weibull 2	3,9031	4,7392			0,9794	-6,6338
2	<i>Vane</i>	Normal			3,325	0,8535	0,9399	-6,7725
3	<i>Shaft</i>	Weibull 2	3,957	7,8465			0,9756	-4,0837
4	<i>Oil Seal</i>	Weibull 2	3,5012	2,7286			0,9218	-9,4339
5	<i>Gearbox</i>	Lognormal			1,2527	0,3054	0,9992	-6,4391
6	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	Weibull 2	3,9322	4,7762			0,9340	-6,6223
7	<i>Oil Gauge</i>	Weibull 2	3,5541	2,4091			0,95130	-9,3459
8	<i>Gland Packing</i>	Weibull 2	3,9779	4,0198			1,0000	-3,5013
9	<i>Wearing Seal</i>	Weibull 2	3,8086	3,2386			0,9934	-6,8743
10	Gasket	Weibull 2	4,4918	113,2168			1,0000	4,0328
11	Motor	Weibull 2	4,1741	3,2083			1,0000	-2,6889

4.7.2. Perhitungan Mean Time To Repair (MTTR)

Berikut ini akan ditampilkan contoh perhitungan MTTR dari komponen *bearing* pada *Cooling Water Pump*. Contoh perhitungan akan ditampilkan untuk distribusi Weibull 2 parameter, normal, dan lognormal.

➤ Distribusi Weibull 2 Parameter

Komponen : *Bearing*

Eta (η) : 3,9031

Beta (β) : 4,7392

Perhitungan MTTR komponen *Bearing* pada *Cooling Water Pump* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \eta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\ &= 3,9031 \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{4,7392}\right) \\ &= 3,574 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka didapatkan bahwa nilai MTTR dari komponen *bearing* adalah 3,574 jam.

➤ Distribusi Normal

Komponen : *Vane*

Mean (μ) : 3,325

Standar Deviasi : 0,8535

Perhitungan MTTR komponen *Vane* pada *Cooling Water Pump* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \text{Mean } (\mu) \\ &= 3,325 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka didapatkan bahwa nilai MTTR dari komponen *vane* adalah 3,325 jam.

➤ Distribusi Lognormal

Komponen : *Oil Seal*

Mean (μ) : 0,9312

Standar Deviasi : 0,641

Perhitungan MTTR komponen *Oil Seal* pada *Cooling Water Pump* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \\ &= \exp\left(0,9312 + \frac{(0,641)^2}{2}\right) \\ &= 3,116 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka didapatkan bahwa nilai MTTR dari komponen *Oil Seal* adalah 3,116 jam.

Berikut ini akan ditampilkan rekap hasil perhitungan MTTR yang telah melalui proses perhitungan.

Tabel 4. 10 Hasil Rekap *Mean Time To Repair* (MTTR)

No	Komponen	MTTR
1	<i>Bearing</i>	3,574
2	<i>Vane</i>	3,325
3	<i>Shaft</i>	3,719
4	<i>Oil Seal</i>	3,117
5	<i>Gearbox</i>	3,667
6	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	3,611
7	<i>Oil Gauge</i>	3,152
8	<i>Gland Packing</i>	3,614
9	<i>Wearing Seal</i>	3,418
10	Gasket	4,466
11	Motor	3,740

4.8 Reliability Block Diagram

Reliability Block Diagram adalah sarana yang digunakan untuk evaluasi sistem. Sistem yang ada terdiri dari sub-sub sistem yang saling tersusun membentuk suatu sistem. *Reliability Block Diagram* dapat ditinjau menjadi dua sisi yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel dari setiap sistem.

Setelah dilakukan identifikasi *Reliability Block Diagram* pada sistem maka dilakukan perhitungan keandalan dari sistem *cooling water pump*. Perhitungan dilakukan menggunakan kondisi eksisting menggunakan data yang sudah diolah dan merupakan rekomendasi dari karyawan di perusahaan. Perhitungan didasarkan pada distribusi dan parameter komponen. Berikut ini akan ditampilkan perhitungan *Reliability Block Diagram*:

- *Bearing*

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

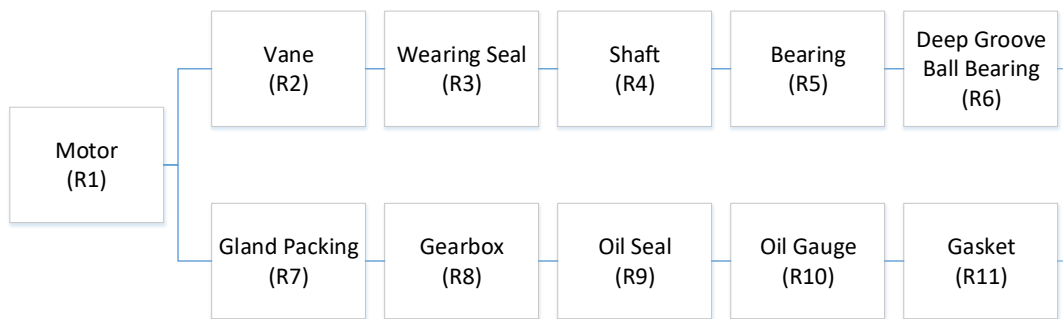
$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{1920}{3741,228} \right)^{2,1985} \right]$$

$$= 0,794$$

Tabel 4. 11 Rekap Keandalan Komponen

No	Komponen	Reliability
1	<i>Bearing</i>	0,794
2	<i>Vane</i>	0,745
3	<i>Shaft</i>	0,776
4	<i>Oil Seal</i>	0,732
5	<i>Gearbox</i>	0,852
6	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	0,673
7	<i>Oil Gauge</i>	0,667
8	<i>Gland Packing</i>	0,431
9	<i>Wearing Seal</i>	0,985
10	Gasket	0,991
11	Motor	0,869

Table 4.11 merupakan rekap keandalan komponen di *cooling water pump*. Perhitungan tersebut menggunakan parameter yang diperoleh dari hasil *fitting* distribusi dari subbab 4.6.1. estimasi waktu yang digunakan dalam perhitungan ini adalah 1920 jam (20 hari kerja, 8 jam kerja/hari, selama 1 tahun) yang diperoleh dari diskusi dengan *foreman* departemen *maintenance*. Data kerusakan yang digunakan adalah MTTF. Hasil perhitungan keandalan komponen digunakan untuk menghitung *Reliability Block Diagram* untuk sistem *cooling water pump*. Berikut ini akan ditampilkan *Reliability Block Diagram* pada *cooling water pump*:



Gambar 4. 8 *Reliability Block Diagram Cooling Water Pump*

Gambar 4.8 di atas merupakan *Reliability Block Diagram Cooling Water Pump*. Secara keseluruhan *Reliability Block Diagram* terbagi menjadi beberapa bagian yaitu sistem penggerak utama (R1), Sistem penggerak pendukung (R2,R3,R4,R5,R6), sistem *pelumas* (R7,R8,R9,R10,R11). Berikut ini akan dilakukan Perhitungan dari sistem *cooling water pump*:

$$\begin{aligned}
 R \text{ seri 1} & : R2 * R3 * R4 * R5 * R6 \\
 & : 0.745 * 0.985 * 0.776 * 0.794 * 0.673 \\
 & : 0.3265
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R \text{ seri 2} & : R7 * R8 * R9 * R10 * R11 \\
 & : 0.431 * 0.852 * 0.732 * 0.667 * 0.991 \\
 & : 0.1774
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R \text{ paralel 1} & : 1 - ((1 - R \text{ seri 1}) * (1 - R \text{ seri 2})) \\
 & : 1 - ((1 - 0.3265) * (1 - 0.1774))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & : 0.4460 \\
 \text{R seri 3} & : R \text{ pararel 1} * R1 \\
 & : 0.4460 * 0.869 \\
 & : 0.3877 \\
 \text{R sistem} & : 1-(R \text{ Seri 3}) \\
 & : 1- 0.3877 \\
 & : 0.6123
 \end{aligned}$$

Nilai *Reliability* pada *cooling water pump* sebesar 0,6123 yang mengindikasikan keandalan sistem dapat beroperasi selama 1920 jam, dengan nilai 61% dari 100% keandalan selama periode kerusakan.

4.9 Penentuan Interval Pemeliharaan

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai penentuan interval pemeliharaan untuk setiap komponen mesin pada *Cooling Water Pump*. Penentuan interval pemeliharaan ditentukan berdasarkan *maintenance task* dari setiap komponen mesin.

4.9.1. Interval Pemeliharaan *Scheduled Resoration Task* dan *Scheduled Discard Task*

Scheduled Restoration Task adalah perawatan yang ditujukan untuk komponen yang dilakukan perbaikan sesuai dengan hasil diskusi dan rekomendasi pekerja di departemen *maintenance* berdasarkan *RCM II decision worksheet*. Perbaikan ini dilakukan dengan melakukan perawatan untukantisipasi adanya mode kegagalan dan bertujuan untuk mengembalikan komponen sesuai kemampuan awalnya. Berikut ini merupakan salah satu komponen dengan metode perawatan *scheduled restoration task* untuk komponen *vane* pada *Cooling Water pump*.

Tabel 4. 12 *Proposed Interval* Komponen *Scheduled Restoration Task*

No	Komponen	Distribusi	Proposed Task
----	----------	------------	---------------

1	<i>Shaft</i>	Weibull 2	<i>Scheduled Restoration Task</i>
---	--------------	--------------	-----------------------------------

Tabel 4. 13 Contoh Parameter *Scheduled Restoration Task*

No	Komponen	Distribusi	Proposed Task	η	β	μ	λ	σ	γ
1	<i>Shaft</i>	Weibull 2	<i>Scheduled Restoration Task</i>	4194.8248	1.7561	-	-	-	-

Tabel 4.12 di atas merupakan salah satu contoh parameter komponen yang memiliki *proposed task scheduled restorstion task*. Perhitungan *scheduled restoration task* menggunakan asumsi dari departemen HSE berada dibawah 50% maka perbaikan akan dilakukan sesuai komponen. Berikut ini akan ditampilkan *scheduled restoration task*:

Interval perawatan mempertimbangkan keandalan dibawah 50%, maka akan dilakukan perbaikan. Perbaikan dilakukan pada saat $t = 4000$ jam. Keandalan dilakukan *restoration* pertama berada pada $t = 5000$ dengan perhitungan sebagai berikut:

$$R_m(t) : R(t)^n R(t-nT)$$

$$R_m(5000) : 0,256360^1 * 0,922543$$

$$R_m(5000) : 0,236503$$

Dari perhitungan di atas didapatkan keandalan setelah dilakukan perawatan 1 pada $t = 5000$ sebesar 0,236503.

Tabel 4.14 dan 4.15 adalah simulasi komponen yang dirawat menggunakan *scheduled restoration task* yaitu *shaft* dan motor.

Tabel 4. 14 Simulasi *Scheduled Restoration Task Shaft*

Mesin Komponen	Shaft					
N	t	t-(nT)	R(t)	R(t) ⁿ	R(t-nT)	Rm(t)
0	0	1	1	1	1	1
30	1000	1000	0,922543	1	0,922543	0,922543
0	2000	2000	0,761605	1	0,761605	0,761605
0	3000	3000	0,574049	1	0,574049	0,574049
1	4000	0	0,398568	0,398568	1	0,398568
1	5000	1000	0,256360	0,256360	0,922543	0,236503
1	6000	2000	0,153380	0,153380	0,761605	0,116815
1	7000	3000	0,085632	0,085632	0,574049	0,049157
1	8000	4000	0,044726	0,044726	0,398568	0,017826
1	9000	5000	0,021902	0,021902	0,25636	0,005615

Tabel 4. 15 Simulasi *Scheduled Restoration Task Motor*

Mesin Komponen	Motor					
N	t	t-(nT)	R(t)	R(t) ⁿ	R(t-nT)	Rm(t)
0	0	1	1	1	1	1
0	1000	1000	0,966015	1	0,966015	0,966015
0	2000	2000	0,858149	1	0,858149	0,858149
0	3000	3000	0,694115	1	0,694115	0,694115
1	4000	0	0,508219	0,508219	1	0,508219
1	5000	1000	0,335388	0,335388	0,966015	0,966015
1	6000	2000	0,198802	0,198802	0,858149	0,858149
1	7000	3000	0,105539	0,105539	0,694115	0,694115
1	8000	4000	0,050053	0,050053	0,508219	0,508219
1	9000	5000	0,02116	0,02116	0,335388	0,335388

4.9.2. Interval Pemeliharaan *Scheduled Discard Task*

Scheduled discard task adalah kegiatan perawatan yang digunakan untuk mengganti komponen mengalami kegagalan atau sebelum mengalami kegagalan, dan melebihi batas umur tanpa memperhatikan kondisi pada saat itu. *Scheduled*

discard task adalah salah satu dari aktivitas perawatan yang terdapat pada RCM II. Berikut ini akan ditampilkan rekap data *scheduled discard task*.

Tabel 4. 16 Rekap *Proposed Task Scheduled Discard Task*

No	Komponen	<i>Proposed Task</i>
1	<i>Bearing</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>
2	<i>Oil Seal</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>
3	<i>Oil Gauge</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>
4	<i>Gland Packing</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>
5	<i>Wearing Seal</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>
6	<i>Gasket</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>

Tabel 4.16 di atas merupakan hasil rekap *scheduled discard task* pada komponen pada *Cooling Water Pump*. Selanjutnya dilakukan perhitungan pada interval *scheduled discard task*. Berikut ini merupakan perhitungan *scheduled discard task*:

$$CF : CR + MTTR (Co +Cw)$$

CO : Biaya kerugian per jam * total jam kerja per hari * harga jual produk

CW : Jumlah karyawan pelaksana maintenance * biaya kerja per hari

$$CM : CWPM + CFPM + COPM$$

Keterangan:

CF = biaya perbaikan atau penggantian karena komponen mengalami kerusakan yang terjadi pada setiap siklus perawatan

CM = Biaya yang dikeluarkan untuk perawatan (Rp)

CR = Biaya penggantian komponen

CW = Biaya tenaga kerja

CO = Biaya kerugian produksi

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan *scheduled discard task*:

- Jam kerja pabrik adalah 8 jam kerja per hari
- Hari kerja adalah 20 hari kerja per bulan, dengan jumlah jam kerja 1 bulan adalah 160 jam
- Harga jual 1 Kg DOP adalah Rp 30.500
- Produksi perhari adalah 10,4 Ton (10.400 Kg = 433,33 Kg/jam)
- Pekerja yang terlibat dalam kegiatan maintenance berjumlah 4 orang
- Gaji per bulan Rp 4.200.000 per bulan (Rp 210.000 per hari)
- Estimasi losses produksi 0,15 per hari berproduksi (0,0188 per jam berproduksi).

Tabel 4. 17 Rekap Data Harga Komponen

No	Komponen	Harga Material
1	<i>Bearing</i>	Rp 2.875.200,00
2	<i>Oil Seal</i>	Rp 160.000,00
3	<i>Oil Gauge</i>	Rp 2.295.000,00
4	<i>Gland Packing</i>	Rp 15.000.000,00
5	<i>Wearing Seal</i>	Rp 8.975.000,00
6	<i>Gasket</i>	Rp 2.140.300

Tabel 4.18 merupakan rekap data perhitungan nilai CR, CO, CW, dan CF. Perhitungan di atas diperoleh dari beberapa nilai yang didapatkan dari hasil diskusi yang digunakan sebagai dalam melakukan perhitungan. Berikut ini merupakan contoh perhitungan untuk komponen yang menggunakan *scheduled discard task*. Perhitungan secara menyeluruh terdapat pada lampiran:

$$CO = \text{Harga produk/unik} \times \text{jumlah output/jam}$$

$$CO = 433,33 \times \text{Rp } 30.500,-$$

$$CO = \text{Rp } 13.216.666,67 \text{ per jam}$$

$$CW = \text{Jumlah karyawan pelaksana } \textit{maintenance} \times \text{biaya kerja per hari}$$

$$= \frac{4 \text{ Orang} \times \text{Rp } 210.000}{8 \text{ Jam kerja}}$$

$$= \text{Rp } 105.000,- \text{ per jam}$$

$$\begin{aligned}
CF &= CR + MTTR (Co + Cw) \\
&= Rp 2.875.200 + 3,573678 (Rp 13.216.666,67 \text{ per jam} + Rp 105.000 \text{ per jam}) \\
&= Rp 50.482.551,90
\end{aligned}$$

Perhitungan tersebut menggunakan beberapa nilai yang diperoleh dari hasil diskusi yang digunakan sebagai dasar untuk melakukan perhitungan. Berikut ini merupakan contoh perhitungan komponen *bearing*. Berikut ini akan ditampilkan rekap hasil nilai CWPM, CPPM, COPM, dan CM.

Tabel 4.18 merupakan rekap data perhitungan nilai CR, CO, CW, dan CF. Perhitungan di atas diperoleh dari beberapa nilai yang didapatkan dari hasil diskusi yang digunakan sebagai dalam melakukan perhitungan. Berikut ini merupakan contoh perhitungan untuk komponen yang menggunakan *scheduled discard task*. Perhitungan secara menyeluruh terdapat pada lampiran:

$$CO = \text{Harga produk/unik} \times \text{jumlah output/jam}$$

$$CO = 433,33 \times Rp 30.500,-$$

$$CO = Rp 13.216.666,67 \text{ per jam}$$

$$CW = \text{Jumlah karyawan pelaksana } maintenance \times \text{biaya kerja per hari}$$

$$= \frac{4 \text{ Orang} \times Rp 210000}{8 \text{ Jam kerja}}$$

$$= Rp 105.000,- \text{ per jam}$$

$$CF = CR + MTTR (Co + Cw)$$

$$= Rp 2.875.200 + 3,573678 (Rp 13.216.666,67 \text{ per jam} + Rp 105.000 \text{ per jam})$$

$$= Rp 50.482.551,90$$

Perhitungan tersebut menggunakan beberapa nilai yang diperoleh dari hasil diskusi yang digunakan sebagai dasar untuk melakukan perhitungan. Berikut ini merupakan contoh perhitungan komponen *bearing*. Berikut ini akan ditampilkan rekap hasil nilai CWPM, CPPM, COPM, dan CM.

$$\begin{aligned} \text{CWPM} &= \text{Jumlah pekerja departemen maintenance} \times \text{gaji per bulan} \\ &= 4 \times \text{Rp } 4.200.000 \\ &= \text{Rp } 16.800.000 \text{ per bulan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CPPM} &= \text{Estimasi biaya yang dikeluarkan untuk perawatan} \times \text{CF} \\ &= 0,5 \times \text{Rp } 2.875.200 \\ &= \text{Rp } 1.437.600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COPM} &= \text{Losses} \times \text{CO} \\ &= \frac{0,15 \times 13.216.666,67}{8} \\ &= \text{Rp } 247.812,500 \end{aligned}$$

Tabel 4.20 merupakan rekap perhitungan TM. Perhitungan tersebut menggunakan beberapa nilai yang didapat dari hasil diskusi yang digunakan untuk dasar perhitungan. Berikut ini akan ditampilkan contoh perhitungan untuk komponen *bearing* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} TM &= \eta \times \left[\frac{1}{\beta-1} \times \frac{CM}{CR-CM} \right]^{\frac{1}{\beta}} \\ &= 3,9031 \times \left[\frac{1}{4,7392-1} \times \frac{\text{Rp } 95.284}{\text{Rp } 50.482.551,90 - \text{Rp } 95.284} \right]^{\frac{1}{4,7392}} \\ &= 61916 \text{ jam} \\ &= 7,07 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan rekap tabel, penentuan TM dilakukan dengan mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan untuk perawatan (CM), biaya perbaikan (CR) dan nilai yang diperoleh dari waktu antar perbaikan (MTTR). Oleh karena itu tingginya biaya yang dikeluarkan untuk perawatan komponen ditentukan

terlebih dahulu sebelum menghitung nilai interval perawatan optimal (TM). TM bertujuan untuk mencegah dan menghindari terjadinya kegagalan pada komponen.

Tabel 4. 18 Rekap Perhitungan CR, CO,CW, dan CF

No	Komponen	CF	MTTR	CO	CW Per Jam	CR
1	<i>Bearing</i>	Rp 2.875.200,00	3,57367836	Rp13.216.666,67	Rp 105.000,00	Rp 50.482.551,90
2	<i>Oil Seal</i>	Rp 160.000,00	3,116281612	Rp13.216.666,67	Rp 105.000,00	Rp 41.674.064,88
3	<i>Oil Gauge</i>	Rp 2.295.000,00	2,985	Rp13.216.666,67	Rp 105.000,00	Rp 42.060.175,01
4	<i>Gland Packing</i>	Rp 15.000.000,00	4,466580468	Rp13.216.666,67	Rp 105.000,00	Rp 74.502.296,16
5	<i>Wearing Seal</i>	Rp 8.975.000,00	3,010144261	Rp13.216.666,67	Rp 105.000,00	Rp 49.075.138,48
6	<i>Gasket</i>	Rp 2.140.300	4,46619674	Rp13.216.666,67	Rp 105.000,00	Rp 61.637.484,25

Tabel 4. 19 Rekap Data CWPM, CPPM, COPM, dan CM

No	Komponen	CWPM	CPPM	COPM	CM
1	<i>Bearing</i>	Rp 16.800.000	Rp 1.437.600	Rp 247.812,500	Rp 95.284
2	<i>Oil Seal</i>	Rp 16.800.000	Rp 80.000	Rp 247.812,500	Rp 97.967
3	<i>Oil Gauge</i>	Rp 16.800.000	Rp 1.147.500	Rp 247.812,500	Rp 87.283
4	<i>Gland Packing</i>	Rp 16.800.000	Rp 7.500.000	Rp 247.812,500	Rp 93.224
5	<i>Wearing Seal</i>	Rp 16.800.000	Rp 4.487.500	Rp 247.812,500	Rp 90.632
6	<i>Gasket</i>	Rp 16.800.000	Rp 1.070.150	Rp 247.812,500	Rp 225.422

Tabel 4. 20 Rekap Perhitungan TM

No	Komponen	η	β	CF	CM	TM
1	<i>Bearing</i>	3,9031	4,7392	Rp 2.875.200,00	Rp 95.284	61916
2	<i>Oil Seal</i>	3,5012	2,7286	Rp 160.000,00	Rp 97.967	79636
3	<i>Oil Gauge</i>	3,5541	2,4091	Rp 2.295.000,00	Rp 87.283	75317
4	<i>Gland Packing</i>	3,9779	4,0198	Rp15.000.000,00	Rp 93.224	69303
5	<i>Wearing Seal</i>	3,8086	3,2386	Rp 8.975.000,00	Rp 90.632	73673
6	<i>Gasket</i>	4,4918	113,2168	Rp 2.140.300,00	Rp 225.422	8864

4.9.3. Interval Pemeliharaan Finding Failure Interval

Finding Failure Interval adalah aktivitas perawatan yang bertujuan untuk pengecekan kondisi dan fungsi dari mesin yang ada di *Cooling Water Pump*. Kegiatan *maintenance* ini mengidentifikasi gejala kegagalan yang dimungkinkan terjadi pada komponen mesin. Interval pemeliharaan pada *finding failure interval* ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$FFI = 2 \times U_{\text{tipe}} \times \text{MTBF}$$

Keterangan:

FFI : *Finding Failure Interval*

U_{tipe} : *Unavailability* yang dikehendaki dari *protective device*

MTBF : Waktu antar kerusakan komponen

Untuk mendapatkan nilai MTBF diperoleh menggunakan rumus $\text{MTBF} = \text{MTTF} + \text{MTTR}$. Sedangkan untuk rumus *unavailability* dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Unavailability} = 1 - \left(\frac{\text{MTTF}}{\text{MTTF} + \text{MTTR}} \right)$$

Berikut ini merupakan contoh perhitungan FFI untuk komponen pada *Cooling Water Pump*.

$$\begin{aligned} \text{MTBF} &= \text{MTTF} + \text{MTTR} \\ &= 3,325 + 2935,99 \\ &= 2.939,32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Unavailability} &= 1 - \left(\frac{\text{MTTF}}{\text{MTTF} + \text{MTTR}} \right) \\ \text{Unavailability} &= 1 - \left(\frac{3,325}{3,325 + 2935,99} \right) \\ &= 0,11\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FFI} &= 2 \times U_{\text{tipe}} \times \text{MTBF} \\
 &= 2 \times 0,11\% \times 2939,32 \\
 &= 7 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa interval pengecekan untuk *finding failure interval* pada komponen *Vane* dilakukan setiap 7 hari. Untuk hasil *finding failure interval* komponen lainnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 21 Rekap *Finding Failure Interval*

No	Komponen	MTTR	MTTF	MTBF	<i>Unavaila bility</i>	FFI	Pembulatan
1	<i>Vane</i>	3.325	2935.99	2939.32	0.11%	6.6	7
2	<i>Gearbox</i>	3.667	4575.48	4579.15	0.08%	7.3	7
3	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	3.611	3220.32	3223.94	0.11%	7.2	7

4.10 Perhitungan Biaya Perawatan

Perhitungan biaya perawatan memerhatikan interval perawatan dari setiap komponen mesin. Perusahaan *plasticizer* menggunakan metode perawatan *corrective maintenance*, perawatan tersebut merupakan tipe perawatan yang tidak memiliki waktu yang pasti dan tidak dapat diketahui. Oleh karena itu dibutuhkan asumsi berdasarkan hasil diskusi dengan departemen teknik dan *foreman* perusahaan *plasticizer*. Asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Metode eksisting menggunakan interval perawatan 1920 jam (20 hari kerja, 8 jam per hari, dalam 1 tahun) untuk setiap komponen.
- Terdapat beberapa komponen yang tidak menggunakan asumsi 1920 jam akan tetapi 9.600 jam (5 tahun) karena tidak sering mengalami kerusakan dan menggunakan komponen besar.

Tabel 4. 22 Rekap Rekomendasi Waktu Perawatan dan Waktu Perawatan Eksisting

No	Komponen	Rekomendasi Waktu Perawatan (jam)	Waktu Perawatan Eksisting (jam)
1	<i>Bearing</i>	61.916	1.920
2	<i>Vane</i>	1.920	1.920
3	<i>Shaft</i>	4.000	1.920
4	<i>Oil Seal</i>	79.636	1.920
5	<i>Gearbox</i>	1.920	1.920
6	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>	1.920	1.920
7	<i>Oil Gauge</i>	75.317	1.920
8	<i>Gland Packing</i>	1.920	1.920
9	<i>Wearing Seal</i>	73.673	1.920
10	Gasket	5.915	1.920
11	Motor	4.000	1.920

Table 4.22 di atas merupakan rekap rekomendasi waktu perawatan dan waktu perawatan eksisting. Waktu rekomendasi perawatan merupakan waktu yang didapatkan dari perhitungan data kerusakan komponen, perhitungan dan penentuan waktu rekomendasi perawatan menggunakan RCM II *decision worksheet* serta perhitungan interval perawatan *proposed task maintenance*. Sedangkan waktu eksisting merupakan waktu interval yang diperoleh dari hasil diskusi serta rekomendasi dari departemen *maintenance*.

Tabel 4. 23 Rekap Data Frekuensi Perawatan Eksisting Komponen

Tahun	Bulan	Komponen (jam)	<i>Bearing</i>	<i>Vane</i>	<i>Shaft</i>	<i>Oil Seal</i>	<i>Gearbox</i>	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>
1	1	160	0	0	0	0	0	0
	2	320	0	0	0	0	0	0
	3	480	0	0	0	0	0	0
	4	640	0	0	0	0	0	0
	5	800	0	0	0	0	0	0
	6	960	0	0	0	0	0	0
	7	1120	0	0	0	0	0	0
	8	1280	0	0	0	0	0	0
	9	1440	0	0	0	0	0	0
	10	1600	0	0	0	0	0	0

Tahun	Bulan	Komponen (jam)	<i>Bearing</i>	<i>Vane</i>	<i>Shaft</i>	<i>Oil Seal</i>	<i>Gearbox</i>	<i>Deep Groove Ball Bearing</i>
	11	1760	0	0	0	0	0	0
	12	1920	1	1	1	1	1	1

Tabel 4.22 di atas merupakan tabel rekap data frekuensi perawatan eksisting. Rekap data di atas merupakan kalender perawatan eksisting perusahaan yang didapatkan dari asumsi hasil diskusi dengan karyawan di departemen *maintenance*. Tabel tersebut menggunakan 1920 jam (20 hari kerja, 8 jam kerja per hari, 1 tahun). Tabel tersebut merupakan hasil frekuensi perawatan metode eksisting untuk membantu perhitungan biaya perawatan metode eksisting.

Tabel 4.24 merupakan tabel frekuensi rekomendasi perawatan komponen. Rekap data tersebut adalah hasil perhitungan dari subbab sebelumnya dengan mempertimbangkan *proposed task maintenance*. Dari tabel tersebut digunakan untuk membantu perhitungan biaya perawatan metode eksisting dan rekomendasi. Pada tabel tersebut menggunakan 1920 jam (20 hari kerja, 8 jam per hari, selama 1 tahun). Berikut ini akan ditampilkan perhitungan biaya tenaga kerja (CW).

$$\begin{aligned} \text{CW} &: \text{Gaji pekerja} \times \text{Jumlah pekerja} \times 12 \text{ Bulan} \\ &: \text{Rp } 4.200.000 \times 4 \text{ orang pekerja} \times 12 \text{ Bulan} \\ \text{CW} &: \text{Rp } 201.600.000,- \text{ per tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan biaya pekerja menjadi salah satu hal yang digunakan untuk menentukan biaya perawatan. Jumlah pekerja di departemen *maintenance* adalah 4 orang dengan gaji per bulan sebesar Rp 4.200.000. Nilai dari CW tersebut akan digunakan untuk gambaran total biaya pekerja per tahun. Nilai CW bernilai sama untuk setiap komponen yaitu Rp 4.200.000, karena setiap pekerja memiliki tanggungjawab yang sama di perusahaan *plasticizer*. Dengan begitu, nilai CW bernilai sama untuk semua komponen.

Tabel 4. 24 Rekap Frekuensi Rekomendasi Perawatan Komponen

Tahun	Bulan	Komponen (jam)	Bearing	Vane	Shaft	Oil Seal	Gearbox	Deep Groove Ball Bearing
1	1	160	0	0	0	0	0	0
	2	320	0	0	0	0	0	0
	3	480	0	0	0	0	0	0
	4	640	0	0	0	0	0	0
	5	800	0	0	0	0	0	0
	6	960	0	0	0	0	0	0
	7	1120	0	0	0	0	0	0
	8	1280	0	0	0	0	0	0
	9	1440	0	0	0	0	0	0
	10	1600	0	0	0	0	0	0
	11	1760	0	0	0	0	0	0
	12	1920	0	1	0	0	1	1

Berikut ini akan ditampilkan perhitungan nilai *Cost of Replace material* (CR) dan *Cost of Failure* (CF).

CR : $(CR_1 \times f_1 \times \text{jumlah komponen}) + (CR_2 \times f_2 \times \text{jumlah komponen}) + \dots + (CR_n \times f_n \times \text{jumlah komponen})$

$n = 1, 2, 3, \dots$

CF : Estimasi biaya perawatan komponen x CR

Tabel 4.24 di atas adalah rekap nilai CR, CW, dan CF metode eksisting. Rekap nilai CR, CW, CF digunakan untuk mendapatkan biaya perawatan dari setiap komponen.

Total Biaya Perawatan = CR + CW + CF

$$= \text{Rp } 124.701.900 + \text{Rp } 201.600.000 + \text{Rp } 62.350.950$$

$$= \text{Rp } 388.652.850,00$$

Tabel 4.25 di atas adalah rekap nilai CR, CW, dan CF metode rekomendasi. Rekap nilai CR, CW, CF digunakan untuk mendapatkan biaya perawatan dari setiap komponen.

$$\begin{aligned}\text{Total Biaya Perawatan} &= \text{CR} + \text{CW} + \text{CF} \\ &= \text{Rp } 61.925.000 + \text{Rp } 201.600.000 + \text{Rp } 30.962.500 \\ &= \text{Rp } 294.487.500,00\end{aligned}$$

Tabel 4. 25 Rekap Nilai CR, CF, dan CW dan Frekuensi Metode Eksisting

Tahun		Frekuensi	Jumlah Komponen	Harga Komponen	CR	CW	CF
Bulan	Jam						
		1	5	Rp 2,875,200	Rp 14,376,000	Rp 201.600.000	Rp 7,188,000
		1	2	Rp 12,000,000	Rp 24,000,000		Rp 12,000,000
		1	4	Rp 2,740,000	Rp 10,960,000		Rp 5,480,000
		1	1	Rp 160,000	Rp 160,000		Rp 80,000
		1	1	Rp 9,000,000	Rp 9,000,000		Rp 4,500,000
		1	5	Rp 2,785,000	Rp 13,925,000		Rp 6,962,500
		1	3	Rp 2,295,000	Rp 6,885,000		Rp 3,442,500
		1	1	Rp 15,000,000	Rp 15,000,000		Rp 7,500,000
		1	1	Rp 8,975,000	Rp 8,975,000		Rp 4,487,500
		1	3	Rp 2,140,300	Rp 6,420,900		Rp 3,210,450
		1	1	Rp 15,000,000	Rp 15,000,000		Rp 7,500,000

Tabel 4. 26 Rekap Nilai CR, CF, dan CW dan Frekuensi Metode Rekomendasi

Tahun		Frekuensi	Jumlah Komponen	Harga Komponen	CR	CW	CF
Bulan	Jam						
		0	5	Rp 2,875,200	Rp -	Rp 201.600.000	Rp -
		1	2	Rp 12,000,000	Rp 24,000,000		Rp 12,000,000
		0	4	Rp 2,740,000	Rp -		Rp -
		0	1	Rp 160,000	Rp -		Rp -
		1	1	Rp 9,000,000	Rp 9,000,000		Rp 4,500,000
		1	5	Rp 2,785,000	Rp 13,925,000		Rp 6,962,500
		0	3	Rp 2,295,000	Rp -		Rp -
		1	1	Rp 15,000,000	Rp 15,000,000		Rp 7,500,000
		0	1	Rp 8,975,000	Rp -		Rp -
		0	3	Rp 2,140,300	Rp -		Rp -
		0	1	Rp 15,000,000	Rp -		Rp -

Tabel 4.25 adalah rekap nilai CW, CR, dan CF dan frekuensi metode rekomendasi. Berdasarkan perhitungan nilai CW, CR, dan CF digunakan untuk biaya perawatan setiap komponen. Berikut ini merupakan contoh perhitungan CF, dan CR untuk metode eksisting maupun metode rekomendasi.

Berikut ini akan ditampilkan proses perhitungan CR untuk komponen *bearing* yang berlaku untuk sistem di *cooling water pump*:

CR : Frekuensi x Jumlah komponen x Harga komponen

$$: 1 \times 5 \times \text{Rp } 2.875.200$$

$$: \text{Rp } 14.376.000,-$$

CF : 0,5 x CR

$$: 0,5 \times \text{Rp } 14.376.000$$

$$: \text{Rp } 7.188.000,-$$

Tahap selanjutnya adalah perhitungan total nilai CR, CF, dan CW. Nilai total dari CR, CF, dan CW merupakan perhitungan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan *plasticizer* selama 1 tahun berproduksi. Kemudian dilakukan perhitungan total biaya dari *Cooling Water Pump* selama 1 tahun berproduksi. Tabel 4.25 adalah nilai rekap nilai CR, CF, dan CW. Berikut ini akan ditampilkan perhitungan total biaya *maintenance*.

Total biaya perawatan : Total Biaya CF + Total Biaya CW + Total Biaya CR

$$= \text{Rp } 61.925.000 + \text{Rp } 201.600.000 + \text{Rp } 30.962.500$$

$$= \text{Rp } 294.487.500,00$$

Efisiensi biaya : $\frac{\text{Biaya Eksisting} - \text{Biaya rekomendasi}}{\text{Biaya Eksisting}} \times 100\%$

$$: \frac{\text{Rp } 388.652.850 - \text{Rp } 294.487.500}{\text{Rp } 388.652.950} \times 100\%$$

$$: \frac{\text{Rp } 94.165.350}{\text{Rp } 388.652.950} \times 100\%$$

$$: 24\%$$

Total biaya yang digunakan tersebut untuk mengetahui biaya perawatan dan efisiensi biaya yang dikeluarkan pada sistem *cooling water pump*.

4.11 Uji Sensitivitas

Uji sensitivitas adalah sarana yang digunakan untuk mengetahui adanya perubahan yang terjadi apabila terdapat satu atau lebih parameter yang dilakukan perubahan. Dalam penelitian Tugas Akhir ini uji sensitivitas dilakukan untuk mengetahui adanya pengaruh perubahan MTTR pada perhitungan *production losses* pada setiap komponen. Berikut ini merupakan formula dari *production losses*:

Production losses : MTTR x losses per menit x harga jual produk

Terdapat hal yang diperhatikan dalam melakukan perhitungan uji sensitivitas. Harga jual produk DOP sebesar Rp 30.500. *Losses* per jam sebesar 64,995 produk. Jumlah produksi harian adalah 10.400 Kg. MTTR yang digunakan pada subbab sebelumnya. Berikut akan ditampilkan perhitungan uji distribusi:

Uji sensitivitas dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai MTTR pada setiap komponen. Perubahan yang dilakukan pada interval $\pm 0,1$ dan menentukan kalender perawatan yang tepat. Setelah dilakukan perhitungan pada *gain to* dan *losses to*. Perhitungan selanjutnya untuk mengetahui apabila terjadi penurunan, maka dapat mengalami penurunan sebesar berapa dibandingkan dengan nilai asli atau MTTR tanpa dilakukan perubahan.

Production losses : MTTR x losses per menit x harga jual produk
: 3,574 x 3,25 x Rp 30.500
: Rp 354.272,75

Production losses (-0,1) : 3,574 + (-0,1) x 3,25 x Rp 30.500
: Rp 344.360,25

Production losses (+0,1) : 3,574 + (0,1) x 3,25 x Rp 30.500
: Rp 364.185,25

Gain to (+0,1) : Rp 364.185,25 / Rp 354.272,75

Gain to (-0,1) : 103%
: Rp 344.360,25 / Rp 354.272,75
: 97%

Tabel 4. 27 Uji Sensitivitas Komponen *Bearing*

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	<i>Losses Per Jam</i>	<i>Losses Production</i>	<i>Rasio Gain to and Losses to</i>
<i>Bearing</i>	1	4,574	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.067.247,600	128%
	0,9	4,474	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.868.999,125	125%
	0,8	4,374	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.670.750,650	122%
	0,7	4,274	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.472.502,175	120%
	0,6	4,174	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.274.253,700	117%
	0,5	4,074	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.076.005,225	114%
	0,4	3,974	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.877.756,750	111%
	0,3	3,874	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.679.508,275	108%
	0,2	3,774	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.481.259,800	106%
	0,1	3,674	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.283.011,325	103%
	0	3,574	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.084.762,850	100%
	-0,1	3,474	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.886.514,375	97%
	-0,2	3,374	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.688.265,900	94%
	-0,3	3,274	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.490.017,425	92%
	-0,4	3,174	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.291.768,950	89%
	-0,5	3,074	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.093.520,475	86%
	-0,6	2,974	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.895.272,000	83%
	-0,7	2,874	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.697.023,525	80%
	-0,8	2,774	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.498.775,050	78%
	-0,9	2,674	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.300.526,575	75%
-1	2,574	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.102.278,100	72%	

4.12 Penentuan Alokasi Pengadaan Komponen

Berdasarkan data *initial interval* (TM) yang didapatkan pada perhitungan kuantitatif pada *proposed maintenance task*, sehingga dapat diperkirakan total pergantian komponen pada *cooling water pump* yang dilakukan selama 1 tahun. Dengan mengabaikan perhitungan biaya depresiasi atau penyusutan pada setiap komponen. Perhitungan biaya pergantian komponen adalah sebagai berikut:

- Biaya pengadaan *Bearing*
= Rp 2.875.200 x 7 kali
= Rp 20.321.900/tahun
- Biaya Pengadaan *Oil Seal*
= Rp 160.000 x 9 kali
= Rp 1.454.543/tahun
- Biaya Pengadaan *Oil Gauge*
= Rp 2.295.000 x 8 kali
= Rp 19.731.906/tahun
- Biaya Pengadaan *Gland Packing*
= Rp 15.000.000 x 7 kali
= Rp 118.669.833/tahun
- Biaya Pengadaan *Wearing Seal*
= Rp 8.975.000 x 8 kali
= Rp 75.481.478/tahun
- Biaya Pengadaan Gasket
= Rp 2.140.300 x 1
= Rp 2.140.300/tahun

Jadi total biaya pengadaan komponen pada *cooling water pump* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= (\text{Rp } 20.321.900 + \text{Rp } 1.454.543 + \text{Rp } 19.731.906 + \text{Rp } 118.669.833 + \text{Rp } \\ &75.481.478 + \text{Rp } 2.140.300) / \text{tahun} \\ &= \text{Rp } 237.825.487 / \text{tahun} \end{aligned}$$

Selain itu alokasi biaya perawatan didasarkan pada *initial interval* (TM) yang diperoleh dari perawatan *scheduled restoration task*. Perhitungan alokasi biaya perawatan adalah sebagai berikut:

- Biaya Perawatan *Shaft*
= Rp 1.150.000 x 4 kali
= Rp 5.221.172/tahun
- Biaya Perawatan Motor
= Rp 1.578.000 x 9 kali
= Rp 14.557.842 /tahun

Jadi total biaya perawatan pada komponen *cooling water pump* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= (\text{Rp } 5.221.172 + \text{Rp } 14.557.842)/\text{tahun} \\ &= \text{Rp } 19.779.014/ \text{tahun} \end{aligned}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisis dan interpretasi data yang sudah diolah pada bab sebelumnya. Pada bab ini akan dilakukan analisis proses produksi DOP, analisis RCM II *information worksheet*, analisis RCM II *decision worksheet*, analisis perhitungan MTTF, analisis perhitungan MTTR, analisis interval pemeliharaan, analisis biaya perawatan dan pengadaan komponen, dan analisis kalender pemeliharaan selama periode 1 tahun.

5.1 Analisis Proses Produksi *Diocetyl Phtalate* (DOP)

Perusahaan *Plasticizer* merupakan perusahaan yang memproduksi bahan campuran plastik yaitu *Diocetyl Phtalate* (DOP). Proses produksi DOP melalui proses esterifikasi yang terbagi menjadi 3 tahapan yang terdiri dari proses reaksi, netralisasi, dan *finishing* (purifikasi). Aktivitas produksi dimulai dengan persiapan bahan baku yang terdiri dari PA, 2EH dan katalis yang di reaksikan untuk menghasilkan bahan campuran plastik yang disebut dengan *Diocetyl Phtalate* (DOP). Proses produksi DOP berjalan secara paralel maupun seri. Apabila peralatan produksi disusun secara seri dapat merugikan perusahaan, apabila ada salah satu peralatan mengalami kerusakan maka proses produksi akan berhenti keseluruhan. Namun, apabila proses produksi tersusun secara paralel, apabila peralatan mengalami kerusakan maka proses produksi tidak berhenti secara keseluruhan. Apabila proses produksi akan mengalami gangguan, akan menyebabkan terhambat sehingga perusahaan mengalami kerugian dan naiknya biaya yang dikeluarkan. Penelitian ini berfokus pada mesin pendingin yaitu *cooling water pump* yang berfungsi sebagai *service* kebutuhan air pendingin DOP. *Cooling water pump* terdiri dari 4 pompa yang tersusun dari komponen-komponen kritis seperti *bearing*, *vane*, *shaft*, *gearbox*, motor, dan *Gland packing*.

5.2 Analisis RCM II *Information Worksheet*

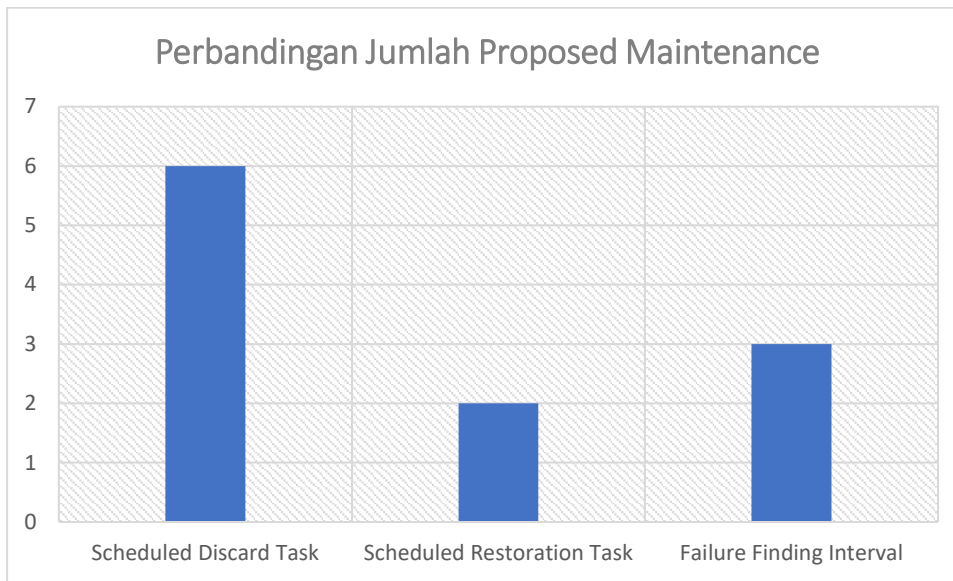
RCM II *information worksheet* merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi *failure* yang terjadi pada komponen. RCM II *information worksheet* dibuat menggunakan *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi kegagalan sistem, fungsi komponen dalam sistem, dan akibat yang ditimbulkan dari kegagalan sistem.

RCM II *information worksheet* berisi analisis FMEA yang terdiri dari 4 bagian yaitu *function* yang berisi kegunaan peralatan dalam proses produksi. *Failure function* adalah kegagalan yang terjadi dari setiap fungsi komponen/peralatan. *Failure effect* berisi informasi akibat yang ditimbulkan dari *failure mode* yang terjadi. RCM II *information worksheet* yang dibuat terdiri dari 11 komponen pompa di *cooling water pump*. Berdasarkan *information worksheet* dapat diketahui penyebab kegagalan dibedakan menjadi 2 jenis yaitu kegagalan yang disebabkan karena usia mesin dan terdapat kerusakan *functional*.

Kegagalan yang disebabkan oleh faktor usia komponen terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *Deep Groove Ball Bearing*, *bearing*, *gearbox*. Komponen tersebut mengalami kegagalan karena lama pemakaian. Untuk komponen yang memiliki usia yang melebihi 2 tahun mempunyai potensi kegagalan yang lebih besar. Hal itu disebabkan oleh frekuensi penggunaan sehingga menyebabkan komponen tersebut cepat aus. Kegagalan yang disebabkan oleh kerusakan fungsional terjadi berupa kebocoran pada komponen, ketidakseimbangan kerja pada komponen mesin yang menyebabkan terganggunya kerja sistem.

5.3 Analisis RCM II *Decision Worksheet*

Pembuatan RCM II *decision worksheet* digunakan untuk menentukan *maintenance task* yang tepat untuk setiap komponen. Penentuan *maintenance task* berdasarkan *decision diagram* yang terdapat pada RCM II. Terdapat 3 jenis *maintenance task* yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini, yaitu *scheduled discard task*, *scheduled restoration task*, dan *failure finding interval*. Berikut ini akan ditampilkan grafik perbandingan *proposed maintenance task* pada komponen yang terdapat pada *cooling water pump*:



Gambar 5. 1 Perbandingan Jumlah *Proposed Maintenance Task*

Gambar 5.1 di atas merupakan grafik perbandingan *proposed maintenance task* yang diperoleh dari pengolahan data. Berdasarkan grafik tersebut, *proposed maintenance task* paling banyak adalah *scheduled discard task* yaitu sebanyak 6 komponen, selanjutnya adalah *failure finding interval* sebanyak 3 komponen, dan yang paling sedikit adalah *scheduled discard task* sebanyak 2 komponen. Berikut ini akan dijelaskan analisis *proposed maintenance task*:

- *Scheduled Discard Task*

Scheduled discard task adalah aktivitas pemeliharaan dengan melakukan pengantian komponen di *cooling water pump*. Berdasarkan *decision worksheet* terdapat 6 komponen yang menggunakan *scheduled discard task* yaitu *bearing*, *oil seal*, *oil gauge*, *gland packing*, *wearing seal*, dan *gasket*.

1. *Bearing*

Kerusakan yang sering terjadi pada *bearing* adalah *bearing* gagal menumpu pada *shaft* sehingga *overload* pada pompa, yang mengakibatkan terjadinya *noise* dan vibrasi pada pompa.

2. *Oil Seal*

Kerusakan yang terjadi pada *Oil seal* adalah ketidakseimbangan pada *shaft*, sehingga terjadi kenaikan *temperature bearing* yang menghasilkan vibrasi dan *noise*.

3. *Oil Gauge*

Kerusakan yang terjadi pada *oil gauge* adalah terjadinya kebocoran. Apabila *oil gauge* mengalami kebocoran, sistem pelumasan tidak dapat bersirkulasi dengan baik sehingga tidak dapat mendeteksi penurunan tekanan udara pada *cooling water pump*.

4. *Gland Packing*

Kerusakan yang terjadi pada *gland packing* adalah terjadinya kebocoran. Apabila *gland packing* mengalami kebocoran, terdapat rembesan pada *cooling water pump* sehingga gagal menghalangi air yang masuk kedalam sistem.

5. *Wearing Seal*

Kerusakan yang terjadi pada *wearing seal* adalah terjadinya ketidakseimbangan pada *wearing*, dimana *wearing* longgar. Apabila *wearing* longgar, mengakibatkan aliran air dalam pompa terhambat, sehingga gagal menghalangi kontak langsung dengan *impeller* dan *casing*.

6. Gasket

Kerusakan yang terjadi pada gasket adalah terjadinya kebocoran. Apabila gasket mengalami kebocoran mengakibatkan masuknya air pendingin ke bagian dalam pompa, sehingga gagal menghalangi fluida untuk masuk kedalam bagian pompa.

- *Scheduled Restoration Task*

Scheduled restoration task merupakan aktivitas pemeliharaan komponen yang dilakukan secara berkala. Terdapat 2 komponen yang dilakukan aktivitas pemeliharaan *scheduled restoration task* yaitu *shaft* dan motor.

1. *Shaft*

Shaft yang *unbalance* harus segera dilakukan perawatan dengan pengecekan secara rutin, hal itu disebabkan *shaft* yang *unbalance* menyebabkan momen putar tidak berjalan secara sempurna dari motor.

2. Motor

Motor dilakukan perawatan *scheduled restoration task* dengan pengecekan secara rutin. Hal itu dapat diketahui karena motor tidak bias *start*. Akibatnya energi listrik tidak bias diubah menjadi energi kinetik, sehingga proses produksi dapat terganggu.

- *Failure Finding Interval*

Failure Finding Interval merupakan aktivitas perawatan yang berupa pengecekan kondisi komponen sebagai upaya *predictive maintenance*. *Failure finding interval* dilakukan untuk mengetahui kondisi komponen yang berada pada *cooling water pump*. Terdapat 3 komponen yang memiliki perawatan *failure finding interval* yaitu *vane*, *gearbox*, *deep groove ball bearing*.

5.4 Analisis Perhitungan MTBF

Terdapat 11 jenis komponen yang terdapat pada *cooling water pump*. Setiap komponen tersebut memiliki data *time to failure* yang berbeda berupa distribusi yang dimiliki oleh setiap komponen yang berbeda. Setelah dilakukan *fitting* distribusi menggunakan *software Weibull ++6*, diperoleh komponen yang memiliki distribusi Weibull 2 parameter sebanyak 5 komponen yaitu *bearing*, *shaft*, *deep groove ball bearing*, *gasket* dan motor. Distribusi *lognormal* terdiri dari 4 komponen yaitu *oil seal*, *gearbox*, *gland packing*, dan *wearing seal*. Distribusi normal terdapat 2 komponen yang terdiri dari *vane* dan *oil gauge*.

Setelah dilakukan *fitting* distribusi, selanjutnya dilakukan perhitungan MTBF berdasarkan rumus MTTF komponen berdasarkan distribusi yang dimiliki. Hasil dari perhitungan MTBF untuk setiap komponen sangat bervariasi. Nilai MTBF paling tinggi adalah *gasket* sebesar 6064,13 jam. Sedangkan untuk nilai MTBF paling kecil adalah *oil gauge* sebesar 2842,17 jam. Nilai MTBF digunakan

sebagai pertimbangan menentukan *proposed maintenance task* dan kalender perawatan yang tepat.

5.5 Analisis Perhitungan MTTR

Terdapat 11 komponen yang ada di *cooling water pump*, setiap komponen memiliki data *time to repair* yang berbeda. Data *time to repair* berupa distribusi yang berbeda-beda untuk setiap komponen. Setelah dilakukan *fitting* distribusi menggunakan *software Weibull ++6*, diperoleh 9 komponen yang berdistribusi Weibull 2 parameter, 1 komponen berdistribusi normal, dan 1 komponen berdistribusi *Lognormal*.

Setelah dilakukan *fitting* distribusi untuk setiap komponen, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai MTTR menggunakan rumus MTTR masing-masing komponen berdasarkan *fitting* distribusinya. Hasil MTTR yang didapatkan sangat bervariasi. Nilai MTTR paling tinggi sebesar 4,466 jam yaitu MTTR dari komponen gasket. Sedangkan nilai MTTR paling rendah sebesar 3,152 jam yaitu MTTR komponen *oil gauge*. Nilai MTTR sebagai pertimbangan menentukan *proposed maintenance task* dan kalender perawatan yang tepat.

5.6 Analisis Interval Pemeliharaan

Penentuan *proposed maintenance task* berdasarkan RCM II *decision worksheet*. Komponen pada *cooling water pump* mendapatkan metode pemeliharaan berupa *scheduled discard task*, *scheduled restoration task*, dan *failure finding interval*. Berikut ini akan dijelaskan mengenai hasil analisa interval pemeliharaan berdasarkan *maintenance task* dari setiap komponen.

5.6.1. Analisis Interval Pemeliharaan Scheduled Discard Task dan Scheduled Restoration Task

Interval pemeliharaan *scheduled discard task* dan *scheduled restoration task* ditentukan menggunakan RCM II *decision worksheet*. Dalam menentukan interval pemeliharaan ini memperhatikan nilai MTTR untuk setiap komponen mesin. Berdasarkan pengolahan data pada bab sebelumnya ditentukan interval pemeliharaan setiap komponen selama 1 tahun periode. Terdapat 6 komponen yang

memiliki interval pemeliharaan *scheduled discard task* dan 2 komponen memiliki interval pemeliharaan *scheduled restoration task*.

Interval pemeliharaan *scheduled discard task* digunakan untuk melakukan penggantian komponen saat atau sebelum batas umur yang sudah ditentukan tanpa melihat kondisi komponen tersebut selama proses penggantian. Berikut ini akan ditampilkan rekap komponen dengan *scheduled discard task* dan *scheduled restoration task*:

Tabel 5. 1 Rekap *Scheduled Discard Task* dan *Scheduled Restoration Task*

No	Komponen	Proposed Task	Interval Perawatan
1	<i>Bearing</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>	61.916
2	<i>Oil Seal</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>	79.636
3	<i>Oil Gauge</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>	75.317
4	<i>Gland Packing</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>	69.303
5	<i>Wearing Seal</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>	73.673
6	<i>Gasket</i>	<i>Scheduled Discard Task</i>	8.864
7	<i>Shaft</i>	<i>Scheduled Restoration Task</i>	4.000
8	Motor	<i>Scheduled Restoration Task</i>	4.000

Berdasarkan tabel 5.1 merupakan rekap *scheduled discard task* komponen di *cooling water pump*. Interval pemeliharaan yang ditampilkan berdasarkan pengolahan data pada pab sebelumnya. Rekomendasi pada interval pemeliharaan ini dengan melakukan penggantian komponen pada interval waktu rekomendasi. Tujuan interval pemeliharaan ini untuk mengurangi dampak kerusakan apabila melebihi batas waktu, panduan perawatan agar tidak dilakukan perawatan apabila komponen mengalami kerusakan.

Interval pemeliharaan *scheduled restoration task* dilakukan untuk mengembalikan kemampuan awal dari komponen pada saat atau sebelum umur yang telah ditentukan tanpa melihat kondisi komponen tersebut dalam proses perbaikan. Terdapat 2 komponen yang dilakukan *scheduled restoration task* yaitu *shaft* dan *motor*

5.6.2. Analisis Interval Pemeliharaan Failure Finding Interval

Failure finding interval merupakan interval pemeliharaan yang dilakukan untuk mengetahui kondisi komponen dalam kondisi baik ataupun tidak. Aktivitas yang dilakukan pada interval pemeliharaan *failure finding interval* berupa pengecekan pada komponen secara berkala sebagai upaya *predictive maintenance* dan *preventive maintenance*. Terdapat 3 komponen pada *cooling water pump* yang memiliki interval pemeliharaan *failure finding interval*. Nilai *failure finding interval* pada perhitungan sebelumnya sangatlah pendek.

5.7 Analisis Biaya Perawatan dan Pengadaan Komponen

Analisis biaya perawatan digunakan untuk membandingkan biaya perawatan metode eksisting dengan metode rekomendasi berdasarkan hasil perhitungan pada bab sebelumnya. Biaya tersebut digunakan untuk keperluan perawatan pada *cooling water pump* di perusahaan *plasticizer*. Berdasarkan perhitungan biaya perawatan kedua metode baik metode eksisting dan metode rekomendasi di didapatkan efisiensi biaya perawatan pada *cooling water pump* sebesar 24%. Efisiensi biaya perawatan tersebut diperoleh dengan membandingkan biaya perawatan metode eksisting pada *cooling water pump* sebesar Rp. 388.652.850,00 dengan biaya perawatan metode rekomendasi pada *cooling water pump* sebesar Rp. 294.487.500,00. Perusahaan dapat menyimpan biaya sebesar Rp. 94.165.350,00.

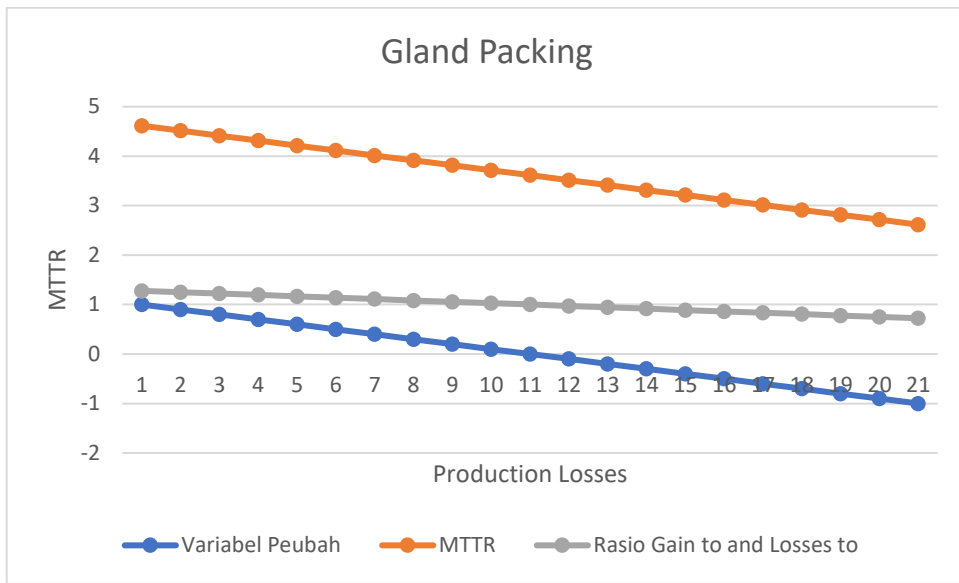
Analisis alokasi pengadaan komponen pada *cooling water pump* berdasarkan pada *initial interval* (TM) yang didapatkan pada perhitungan kuantitatif pada *proposed maintenance task*, sehingga dapat diperkirakan total pergantian komponen pada *cooling water pump* yang dilakukan selama 1 tahun. Dengan mengabaikan perhitungan biaya depresiasi atau penyusutan pada setiap komponen. Terdapat 8 komponen yang dapat dialokasikan ketika terjadi kerusakan yaitu *bearing* sebanyak 7 kali, *oil seal* sebanyak 9 kali, *oil gauge* sebanyak 8 kali, *gland packing* sebanyak 7 kali, *wearing seal* sebanyak 8 kali, *gasket* sebanyak 1 kali, *shaft* sebanyak 4 kali, dan motor sebanyak 9 kali. Pengadaan komponen tersebut berdasarkan *initial interval* pada *proposed maintenance task* dengan total biaya Rp 257.604.501,00 per tahun, yang terdiri dari 6 komponen *scheduled discard task*

sebesar Rp. 237.825.487,00 dan 2 komponen *scheduled restoration task* sebesar Rp. 19.779.014,00.

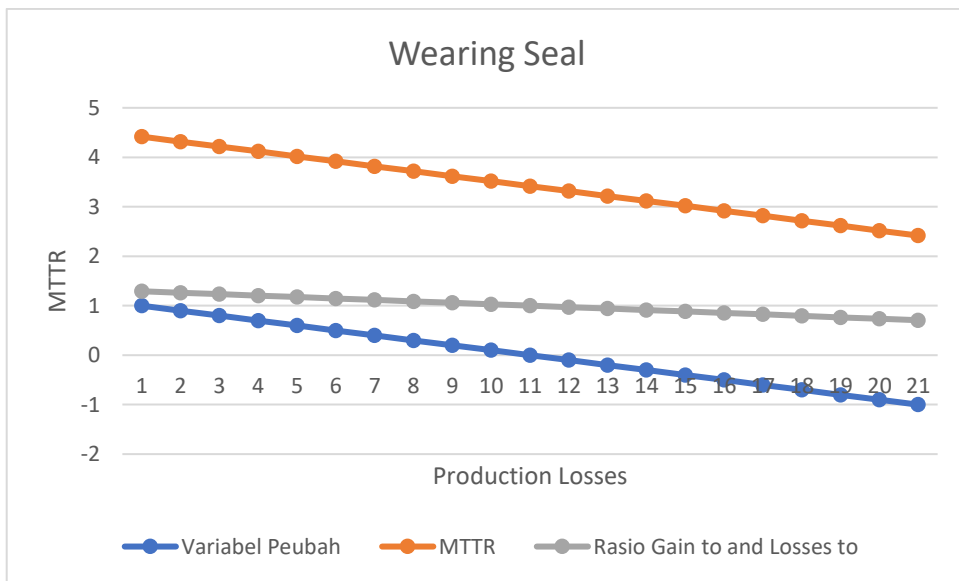
5.8 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui adanya pengaruh apabila dilakukan perubahan MTTR dari komponen yang terdapat pada *cooling water pump*. Perhitungan sensitivitas dilakukan untuk membandingkan perubahan MTTR dengan variabel peubah dengan rentang $\pm 0,1$ untuk semua komponen.

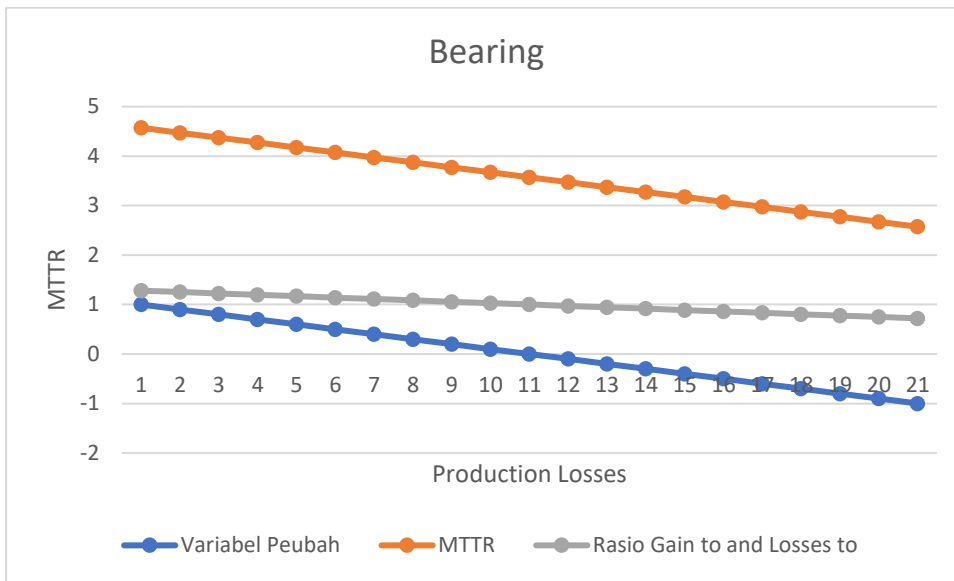
Analisis sensitivitas melihat perubahan pada *production losses* pada setiap komponen. Berdasarkan uji sensitivitas dapat diketahui perubahan MTTR dengan variabel peubah dengan rentang $\pm 0,1$ tidak berpengaruh secara signifikan pada *production losses* di produksi DOP. Apabila terjadi peningkatan MTTR pada komponen tertentu menyebabkan kenaikan *production losses*. Apabila nilai MTTR mengalami penurunan, maka *production losses* akan turun. Setiap komponen memiliki dampak yang berbeda terhadap *production losses* sesuai dengan nilai MTTR. Apabila terdapat kerusakan lebih dari satu komponen maka *production losses* berasal dari jumlah komponen yang mengalami kerusakan. Oleh karena itu perubahan MTTR tidak memiliki pengaruh yang signifikan. Adanya analisis sensitivitas ini digunakan untuk menentukan ketepatan dalam membuat kalender perawatan. Berikut ini akan ditampilkan grafik uji sensitivitas setiap komponen.



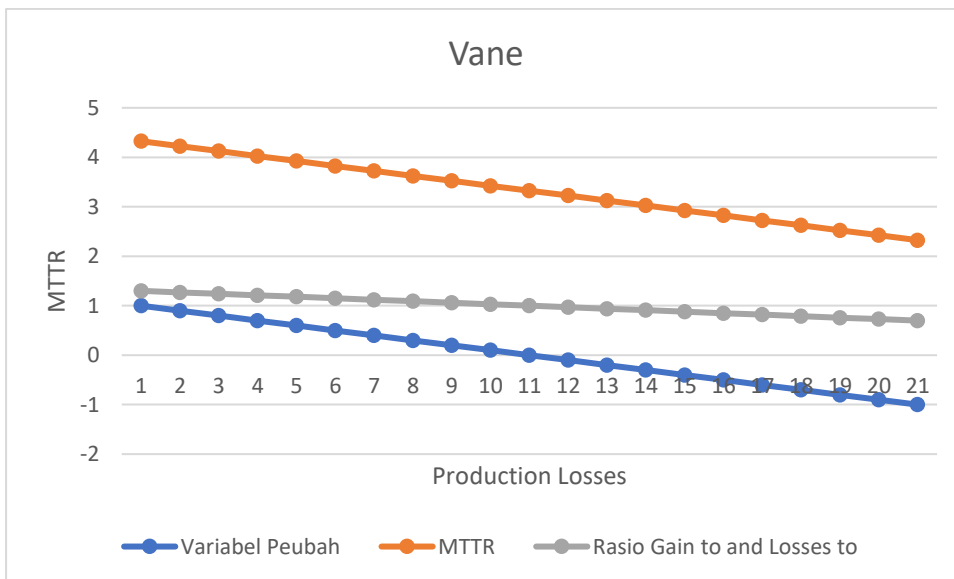
Gambar 5. 2 Grafik Uji Sensitivitas *Gland Packing*



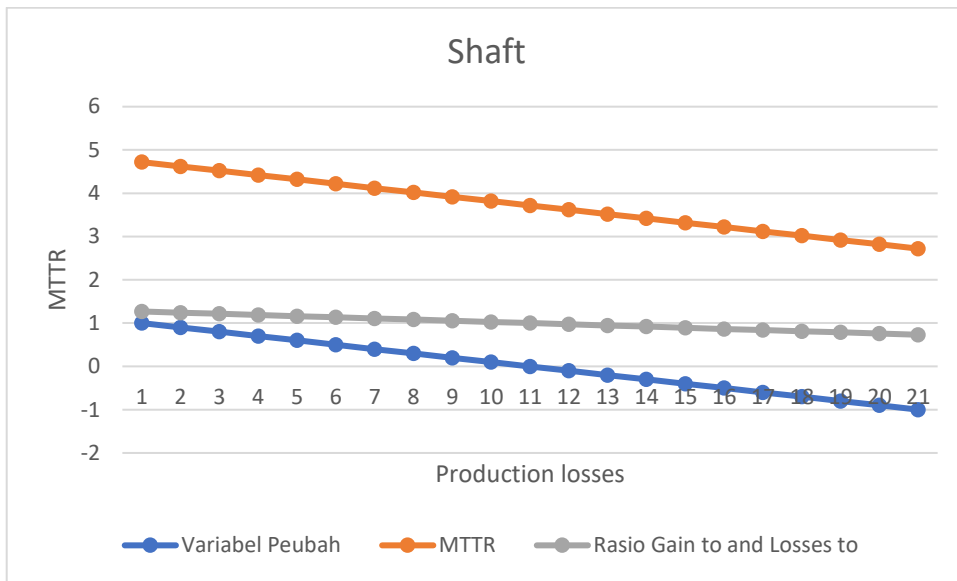
Gambar 5. 3 Grafik Uji Sensitivitas *Wearing Seal*



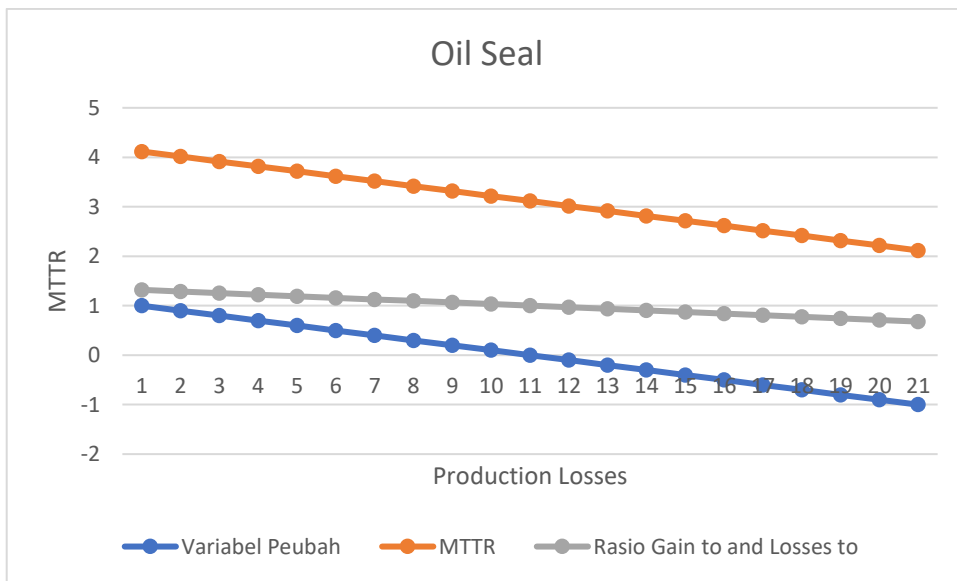
Gambar 5. 4 Grafik Uji Sensitivitas *Bearing*



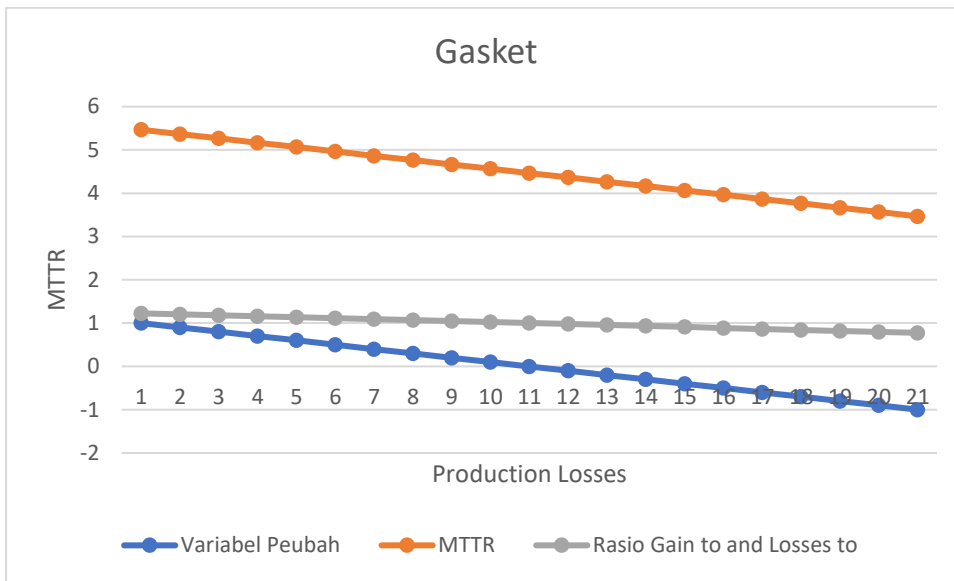
Gambar 5. 5 Grafik Uji Sensitivitas *Vane*



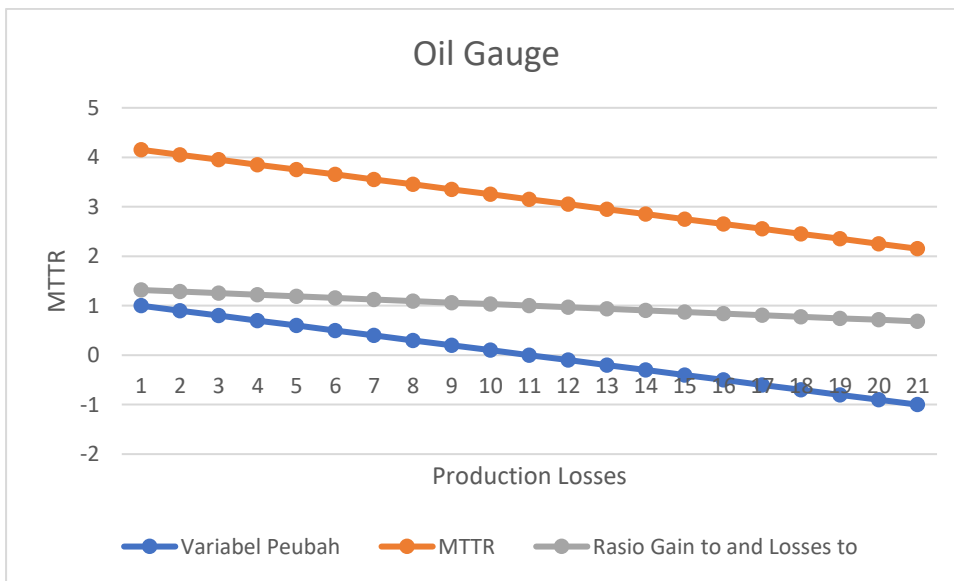
Gambar 5. 6 Grafik Uji Sensitivitas *Shaft*



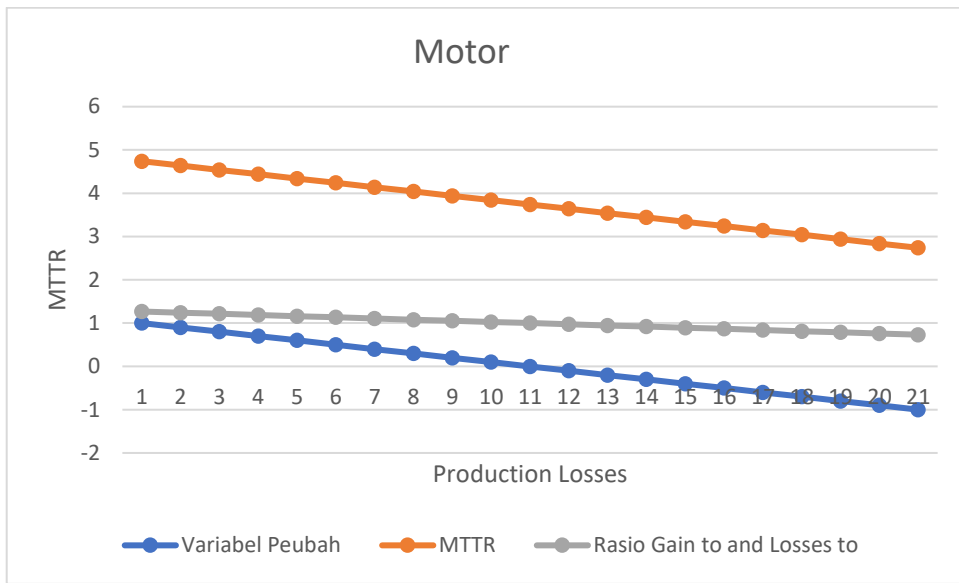
Gambar 5. 7 Grafik Uji Sensitivitas *Oil Seal*



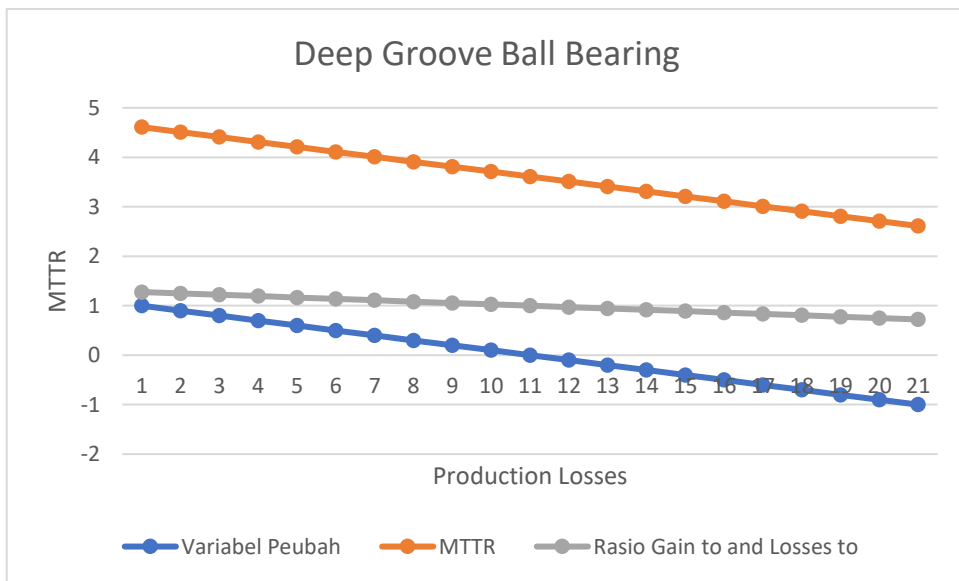
Gambar 5. 8 Grafik Uji Sensitivitas *Gasket*



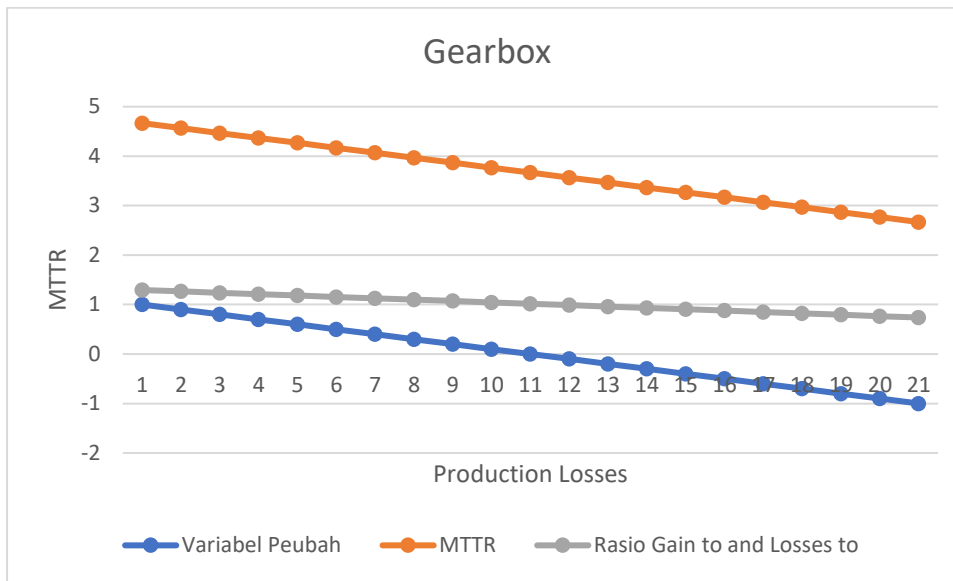
Gambar 5. 9 Grafik Uji Sensitivitas *Oil Gauge*



Gambar 5. 10 Grafik Uji Sensitivitas Motor



Gambar 5. 11 Grafik Uji Sensitivitas *Deep Groove Ball Bearing*



Gambar 5. 12 Grafik Uji Sensitivitas *Gearbox*

5.9 Analisis Kalender Pemeliharaan Periode 1 Tahun

Pada bab 4 telah dijelaskan mengenai pembuatan kalender pemeliharaan selama periode 1 tahun. Kalender pemeliharaan dengan metode eksisting menggunakan asumsi 1 tahun pemeliharaan. Perhitungan 1 tahun adalah 1.920 jam kerja (20 hari kerja dan 8 jam kerja per hari). Pemeliharaan menggunakan metode eksisting dilakukan 1.920 jam, asumsi tersebut diperoleh secara diskusi dengan departemen *maintenance*. Interval pemeliharaan menggunakan metode rekomendasi diperoleh berdasarkan perhitungan pada *proposed maintenance* task.

Pemeliharaan menggunakan metode eksisting menghasilkan perawatan setiap 1.920 jam. Selama 1 tahun komponen pada metode eksisting mengalami 1 kali pemeliharaan. Sedangkan metode rekomendasi pemeliharaan berdasarkan waktu pemeliharaan setiap komponen. Terdapat kemungkinan komponen memiliki 2 kali pemeliharaan selama 1 tahun. Selain itu terdapat komponen yang tidak mendapatkan pemeliharaan karena belum waktunya untuk melakukan pemeliharaan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai penarikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian tugas akhir. Setelah kesimpulan diberikan akan dijelaskan mengenai saran untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Fungsi kegagalan, penyebab kegagalan, dan dampak kegagalan komponen pada *cooling water pump* terdapat di *information worksheet*. Fungsi kegagalan, penyebab kegagalan, dan dampak kegagalan untuk semua komponen pada setiap pompa adalah sama. Kegagalan tersebut disebabkan tidak terdapat perawatan yang terjadwal secara tepat karena menggunakan metode perawatan *corrective maintenance*.
2. Rancangan aktivitas pemeliharaan pada komponen pompa berdasarkan *decision worksheet* memberikan rekomendasi perbaikan *maintenance task* yang tepat yaitu *scheduled restoration task*, *scheduled discard task*, dan *failure finding interval*. *Maintenance task scheduled restoration task* yaitu *shaft* dan motor, *scheduled discard task* terdiri dari 6 komponen yaitu *bearing*, *oil seal*, *oil gauge*, *gland packing*, *wearing seal* dan *gasket*. *Failure finding interval* terdiri dari 3 komponen yaitu *vane*, *gearbox*, *deep groove ball bearing*.
3. Interval perawatan komponen pompa pada *cooling water pump* berdasarkan *proposed maintenance task* yang diperoleh dari RCM II *decision worksheet* sekaligus diskusi dengan pihak departemen *maintenance*.
4. Rekomendasi kalender yang dibuat menggunakan rentang waktu 1 tahun untuk *cooling water pump*. Kalender perawatan yang direkomendasikan dimulai pada bulan Januari 2020 – Desember 2020. Rancangan kalender

rekomendasi berdasarkan *proposed maintenance task* yaitu *scheduled restoration task* dan *scheduled discard task*

5. Berdasarkan analisis biaya yang terdapat pada bab 5.7 dapat disimpulkan bahwa menggunakan metode perawatan RCM II dengan metode rekomendasi lebih baik dibandingkan dengan metode eksisting perawatan perusahaan. Biaya perawatan eksisting Rp. 388.652.850,00 dan metode perawatan rekomendasi Rp. 294.487.500,00. Efisiensi biaya untuk *cooling water pump* sebesar 24% yaitu sebesar Rp. 94.165.350,00. Sedangkan pengadaan komponen tersebut berdasarkan *initial interval pada proposed maintenance task* dengan total biaya Rp. 257.604.501,00 per tahun, yang terdiri dari 6 komponen *scheduled discard task* sebesar Rp. 237.825.487,00 dan 2 komponen *scheduled restoration task* sebesar Rp. 19.779.014,00.

6.2 Saran

Saran yang diberikan dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah dengan melakukan pembuatan perawatan mesin tidak hanya dilakukan selama 1 tahun periode, melainkan lebih 1 tahun periode. Serta melakukan menganalisis apabila terdapat kesalahan pada kalender perawatan.

Saran untuk perusahaan adalah sebagai berikut:

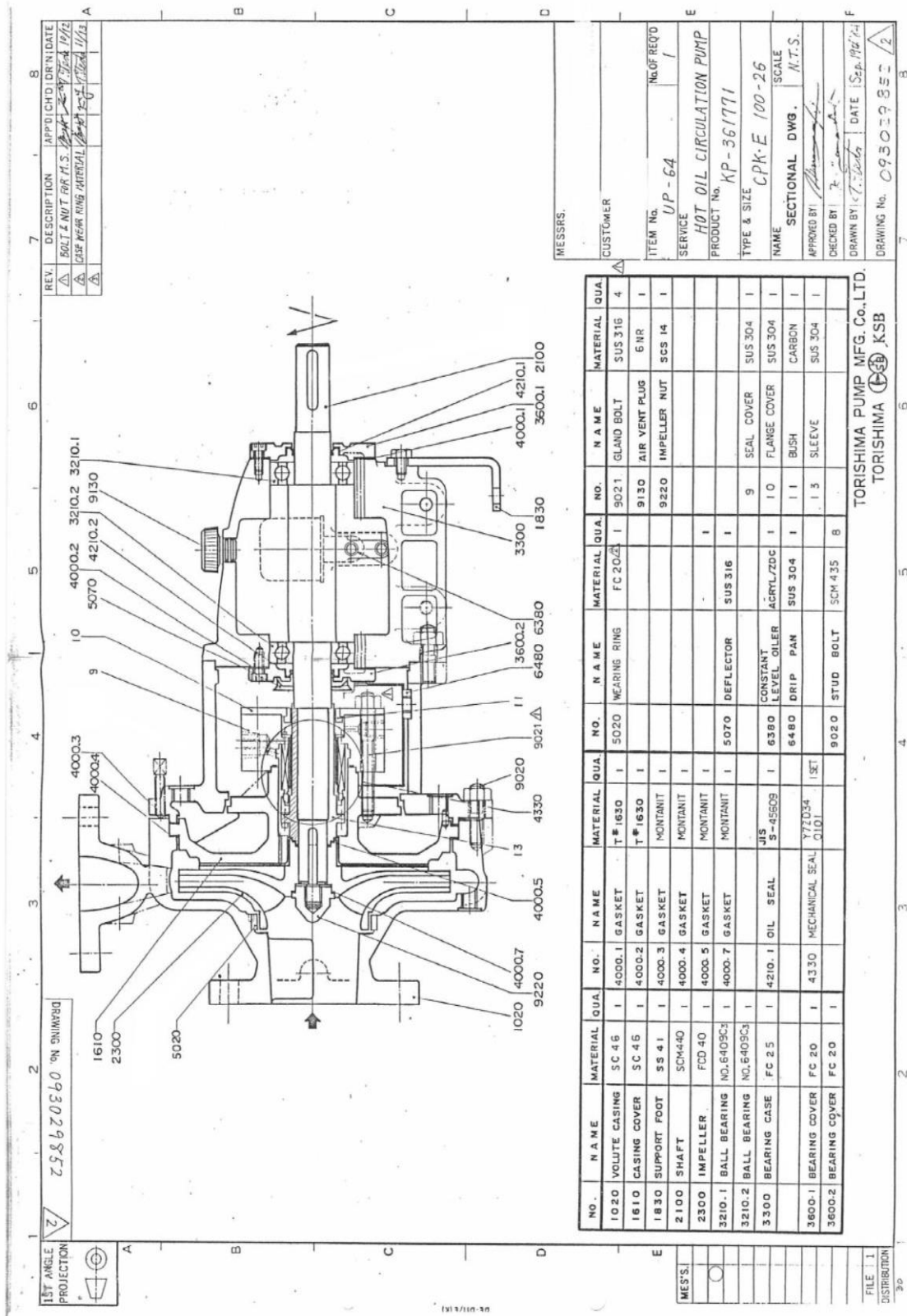
1. Melakukan pencatatan kerusakan pada setiap komponen, dampak kerusakan, interval perawatan secara lebih detail untuk mempermudah keandalan mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahrens, W. & Hawranek, P., 1991. *Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.
- Barends, D. M., Oldenhof, M. T. & Nauta, M. J., 2012. Risk Analysis of Analytical Validations by Probabilistic Modification of FMEA. *Journal Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 64, Volume 1, pp. 82-86.
- Campbell, J. D. & Jardine & A., 2001. *Maintenance Excellence*. New York: Marcel Dekker, Inc..
- Dhillon, B. S., 2006. *Maintainability, Maintenance, and Reliability Engineers*. New York: Taylor & Francis Group.
- Ebelling, C. E., 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability*. New York: The Mc Graw Hill Companies, Inc..
- Elsayed, E. A., 2012. *Reliability Engineering*. s.l.:Hoboken: John Wiley and Sons Ltd..
- Forsthoffer, W. E., 2005. *Forsthoffer's Rotating Equipment Handbooks Volume 2*. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Book.
- Gupta, G. & Mishra, R., 2018. Identification of Critical Components using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance. Issue 25 th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference 30 April-2 May 2018, pp. 905-909.
- Harvard, T., 2000. *Determination of a Cost Optimal, Predetermined Maintenance Schedule*. New York: CRC Press.
- Hidayat, R., Ansori, N. & Imron, A., 2010. Perencanaan Kegiatan Maintenance Dengan Metode Makara Teknologi. *Teknologi*, Volume 1, pp. 7-14.
- Higgins, L. R. & Mobley, K., 2008. *Maintenance Engineering Handbook*. 7 ed. New York: Hill Companies, Inc.
- Iswanto, A., M., R. & Ginting, E., 2013. Aplikasi Metode Taguchi Analysis dan Failure Mode and Effect Analysis untuk Perbaikan Kualitas Produk di PT XYZ. *e-Jurnal Teknik Industri FT USU*, Volume 2, pp. 13-18.

- Khasanah, R. D., S.Z.M. & Jamasri, A. H., 2011. *RCM Applications in Different Industries : A Comparative Study*. s.l., Proceeding of the 4th International Product Design & Development.
- Moubray, J., 1997. *Reliability Centered Maintenance II*. 2 ed. New York: Industrial Press, Inc.
- Putra, G. P. & Purba, H., 2018. Failure Mode and Effect on Power Plant Boiler. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 11(2 Summer and Autumn), pp. 1-5.
- Setiawan, M. A., 2007. *Analisa Resiko Dengan Penentuan Kegiatan Perawatan Pada Stacker/Reclainer Menggunakan Metode RCM II (Reliability Centered Maintenance) Studi Kasus : PT IPMOMI Surabaya*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Taufik & Septyani, S., 2015. Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Turbin di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Volume 14 No 2, pp. 238 - 258.

LAMPIRAN 1



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 2

Perhitungan MTTF

1. *Bearing*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \eta x \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 3741,2283 x \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,1985} \right) \\ &= 3313,61 \end{aligned}$$

2. *Vane*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \text{Mean } (\mu) \\ &= 2935,99 \end{aligned}$$

3. *Shaft*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \eta x \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 4194,82 x \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,7561} \right) \\ &= 3731,72 \end{aligned}$$

4. *Oil Seal*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \\ &= \exp \left(7,9399 + \frac{(0,6149)^2}{2} \right) \\ &= 3391,24 \end{aligned}$$

5. *Gearbox*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \\ &= \exp \left(8,2252 + \frac{(0,6376)^2}{2} \right) \\ &= 4575,48 \end{aligned}$$

6. *Deep Groove Ball Bearing*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \eta x \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 3565,0664 x \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,4985} \right) \\ &= 3220,32 \end{aligned}$$

7. *Oil Gauge*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \text{Mean } (\mu) \\ &= 2842,16 \end{aligned}$$

8. *Gland Packing*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \\ &= \exp\left(8,376 + \frac{(0,0505)^2}{2}\right) \\ &= 4347,15 \end{aligned}$$

9. *Wearing Seal*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \\ &= \exp\left(8,1706 + \frac{(0,2815)^2}{2}\right) \\ &= 3678,36 \end{aligned}$$

10. *Gasket*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \eta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\ &= 6705,1465 \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{3,7748}\right) \\ &= 6064,13 \end{aligned}$$

11. *Motor*

$$\begin{aligned} \text{MTTF} &= \eta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\ &= 4798,086 \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,1455}\right) \\ &= 4249,18 \end{aligned}$$

LAMPIRAN 3

Perhitungan MTTR

1. *Bearing*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \eta \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 3,9031 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{4,7392} \right) \\ &= 3,574 \end{aligned}$$

2. *Vane*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \text{Mean } (\mu) \\ &= 3,325 \end{aligned}$$

3. *Shaft*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \eta \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 3,957 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{7,8465} \right) \\ &= 3,719 \end{aligned}$$

4. *Oil Seal*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \eta \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 3,5012 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,7286} \right) \\ &= 3,117 \end{aligned}$$

5. *Gearbox*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \\ &= \exp \left(1,2527 + \frac{(0,3054)^2}{2} \right) \\ &= 3,667 \end{aligned}$$

6. *Deep Groove Ball Bearing*

$$\begin{aligned} \text{MTTR} &= \eta \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 3,9322 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{4,7762} \right) \\ &= 3,611 \end{aligned}$$

7. *Oil Gauge*

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

$$= 3,5541 x \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,4091} \right)$$

$$= 3,152$$

8. *Gland Packing*

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

$$= 3,9779 x \Gamma \left(1 + \frac{1}{4,0198} \right)$$

$$= 3,614$$

9. *Wearing Seal*

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

$$= 3,8086 x \Gamma \left(1 + \frac{1}{3,2386} \right)$$

$$= 3,418$$

10. *Gasket*

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

$$= 4,4918 x \Gamma \left(1 + \frac{1}{113,2168} \right)$$

$$= 4,466$$

11. *Motor*

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

$$= 4,1741 x \Gamma \left(1 + \frac{1}{3,2083} \right)$$

$$= 3,740$$

LAMPIRAN 4

No	Equipment	Failure Mode	Occurrence Date	Complete Date	TTF (hours)	TTR (hours)
1	<i>Bearing</i>	<i>Bearing Aus</i>	25 September 2016	25 September 2016	0	0
			29 November 2016	29 November 2016	1440	2,5
			14 Maret 2017	14 Maret 2017	2880	3
			17 November 2017	17 November 2017	6552	3,25
			6 Maret 2018	6 Maret 2018	2616	4
			20 Agustus 2018	20 Agustus 2018	3936	4,35
			4 Desember 2018	4 Desember 2018	2496	4,42
2	<i>Vane</i>	<i>Vane tersumbat</i>	04 November 2016	04 November 2016	0	0
			23 November 2016	23 November 2016	456	2
			14 Maret 2017	14 Maret 2017	2760	3
			16 Juli 2017	16 Juli 2017	2928	3,5
			5 Desember 2017	5 Desember 2017	3336	3,5
			15 April 2018	15 April 2018	3120	3,5
			14 November 2018	14 November 2018	5016	4,45
3	<i>Shaft</i>	<i>shaft unbalance</i>	25 September 2016	25 September 2016	0	0
			15 Desember 2016	15 Desember 2016	1200	3,5
			14 Mei 2017	14 Mei 2017	3840	4
			4 Desember 2017	4 Desember 2017	6864	4,45
			06 April 2018	06 April 2018	2928	3,5
			20 September 2018	20 September 2018	4656	4
			25 Desember 2018	25 Desember 2018	2280	3
4	<i>Oil Seal</i>	<i>Oil seal bocor</i>	01 September 2015	01 September 2015	0	0

No	Equipment	Failure Mode	Occurrence Date	Complete Date	TTF (hours)	TTR (hours)
			29 September 2016	29 September 2016	1269	1,89
			8 Mei 2017	8 Mei 2017	1832	2
			20 Oktober 2017	20 Oktober 2017	2649	2,15
			5 Desember 2017	5 Desember 2017	3134	3,56
			17 April 2018	17 April 2018	4765	4,23
			22 September 2018	22 September 2018	5321	5
5	Gear box	Gear box aus	26 Agustus 2016	26 Agustus 2016	0	0
			5 Desember 2016	5 Desember 2016	2376	2,5
			3 maret 2017	3 maret 2017	3216	3,5
			17 November 2017	17 November 2017	8520	5
			17 Februari 2018	17 Februari 2018	2160	3
			22 September 2018	22 September 2018	5160	4
6	Deep grove ball bearing	Deep grove ball bearing aus	25 September 2016	25 September 2016	0	0
			29 November 2016	29 November 2016	816	2,32
			14 Maret 2017	14 Maret 2017	2448	3,5
			17 November 2017	17 November 2017	5832	3,5
			15 Maret 2018	15 Maret 2018	2832	3,5
			03 September 2018	03 September 2018	4032	4,45
			10 November 2018	10 November 2018	1608	4,45
7	Oil Gauge	Oil Gauge bocor	01 September 2015	01 September 2015	0	0
			25 September 2016	25 September 2016	149	1,34
			14 Maret 2017	14 Maret 2017	1875	2
			20 Maret 2017	20 Maret 2017	2448	3,58
			20 November 2017	20 November 2017	2765	3,62
			3 Februari 2018	3 Februari 2018	4056	3,76

No	Equipment	Failure Mode	Occurrence Date	Complete Date	TTF (hours)	TTR (hours)
			15 Mei 2018	15 Mei 2018	5760	4,43
8	Gland Packing	Gland packing bocor	22 November 2016	22 November 2016	0	0
			16 Mei 2017	16 Mei 2017	4176	2,76
			25 November 2017	25 November 2017	4536	3,64
			25 mei 2018	25 mei 2018	4320	4,45
9	Wearing Seal	Wearing seal Longgar	20 Februari 2016	20 Februari 2016	0	0
			6 Juli 2016	6 Juli 2016	3024	2
			7 Desember 2016	7 Desember 2016	3624	2,99
			5 Mei 2017	5 Mei 2017	3552	3,42
			15 Desember 2017	15 Desember 2017	5280	3,88
			07 April 2018	07 April 2018	2688	4,73
10	Gasket	Gasket Bocor	10 September 2016	10 September 2016	0	0
			5 Juli 2017	5 Juli 2017	7080	4,45
			6 Februari 2018	6 Februari 2018	5064	4,5
11	Motor	Motor Gagal Start	02 Oktober 2016	02 Oktober 2016	0	0
			12 Mei 2017	12 Mei 2017	5280	4,45
			14 September 2018	14 September 2018	2928	3

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 5

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Bearing	1	4,574	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.067.247,600	128%
	0,9	4,474	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.868.999,125	125%
	0,8	4,374	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.670.750,650	122%
	0,7	4,274	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.472.502,175	120%
	0,6	4,174	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.274.253,700	117%
	0,5	4,074	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.076.005,225	114%
	0,4	3,974	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.877.756,750	111%
	0,3	3,874	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.679.508,275	108%
	0,2	3,774	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.481.259,800	106%
	0,1	3,674	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.283.011,325	103%
	0	3,574	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.084.762,850	100%
	-0,1	3,474	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.886.514,375	97%
	-0,2	3,374	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.688.265,900	94%
	-0,3	3,274	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.490.017,425	92%
	-0,4	3,174	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.291.768,950	89%
	-0,5	3,074	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.093.520,475	86%
	-0,6	2,974	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.895.272,000	83%
	-0,7	2,874	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.697.023,525	80%
	-0,8	2,774	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.498.775,050	78%
	-0,9	2,674	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.300.526,575	75%
-1	2,574	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.102.278,100	72%	

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Vane	1	4,325	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.574.246,5438	130%
	0,9	4,225	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.375.998,0688	127%
	0,8	4,125	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.177.749,5938	124%
	0,7	4,025	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.979.501,1188	121%
	0,6	3,925	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.781.252,6438	118%
	0,5	3,825	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.583.004,1688	115%
	0,4	3,725	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.384.755,6938	112%
	0,3	3,625	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.186.507,2188	109%
	0,2	3,525	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.988.258,7438	106%
	0,1	3,425	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.790.010,2688	103%
	0	3,325	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.591.761,7938	100%
	-0,1	3,225	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.393.513,3188	97%
	-0,2	3,125	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.195.264,8438	94%
	-0,3	3,025	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.997.016,3688	91%
	-0,4	2,925	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.798.767,8938	88%
	-0,5	2,825	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.600.519,4188	85%
	-0,6	2,725	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.402.270,9438	82%
	-0,7	2,625	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.204.022,4688	79%
	-0,8	2,525	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.005.773,9938	76%
	-0,9	2,425	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.807.525,5188	73%
-1	2,325	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.609.277,0438	70%	

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Gearbox	1	4,667	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.251.970,5658	129%
	0,9	4,567	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.053.722,0908	126%
	0,8	4,467	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.855.473,6158	124%
	0,7	4,367	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.657.225,1408	121%
	0,6	4,267	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.458.976,6658	118%
	0,5	4,167	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.260.728,1908	115%
	0,4	4,067	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.062.479,7158	113%
	0,3	3,967	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.864.231,2408	110%
	0,2	3,867	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.665.982,7658	107%
	0,1	3,767	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.467.734,2908	104%
	0	3,667	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.269.485,8158	102%
	-0,1	3,567	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.071.237,3408	99%
	-0,2	3,467	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.872.988,8658	96%
	-0,3	3,367	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.674.740,3908	93%
	-0,4	3,267	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.476.491,9158	90%
	-0,5	3,167	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.278.243,4408	88%
	-0,6	3,067	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.079.994,9658	85%
	-0,7	2,967	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.881.746,4908	82%
	-0,8	2,867	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.683.498,0158	79%
	-0,9	2,767	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.485.249,5408	77%
-1	2,667	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.287.001,0658	74%	

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Shaft	1	4,719	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.355.710,9072	127%
	0,9	4,619	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.157.462,4322	124%
	0,8	4,519	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.959.213,9572	122%
	0,7	4,419	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.760.965,4822	119%
	0,6	4,319	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.562.717,0072	116%
	0,5	4,219	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.364.468,5322	113%
	0,4	4,119	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.166.220,0572	111%
	0,3	4,019	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.967.971,5822	108%
	0,2	3,919	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.769.723,1072	105%
	0,1	3,819	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.571.474,6322	103%
	0	3,719	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.373.226,1572	100%
	-0,1	3,619	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.174.977,6822	97%
	-0,2	3,519	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.976.729,2072	95%
	-0,3	3,419	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.778.480,7322	92%
	-0,4	3,319	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.580.232,2572	89%
	-0,5	3,219	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.381.983,7822	87%
	-0,6	3,119	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.183.735,3072	84%
	-0,7	3,019	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.985.486,8322	81%
	-0,8	2,919	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.787.238,3572	78%
	-0,9	2,819	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.588.989,8822	76%
-1	2,719	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.390.741,4072	73%	

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Oil Seal	1	4,117	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.161.889,7158	132%
	0,9	4,017	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.963.641,2408	129%
	0,8	3,917	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.765.392,7658	126%
	0,7	3,817	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.567.144,2908	122%
	0,6	3,717	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.368.895,8158	119%
	0,5	3,617	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.170.647,3408	116%
	0,4	3,517	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.972.398,8658	113%
	0,3	3,417	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.774.150,3908	110%
	0,2	3,317	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.575.901,9158	106%
	0,1	3,217	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.377.653,4408	103%
	0	3,117	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.179.404,9658	100%
	-0,1	3,017	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.981.156,4908	97%
	-0,2	2,917	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.782.908,0158	94%
	-0,3	2,817	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.584.659,5408	90%
	-0,4	2,717	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.386.411,0658	87%
	-0,5	2,617	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.188.162,5908	84%
	-0,6	2,517	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.989.914,1158	81%
	-0,7	2,417	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.791.665,6408	78%
	-0,8	2,317	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.593.417,1658	74%
	-0,9	2,217	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.395.168,6908	71%
-1	2,117	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.196.920,2158	68%	

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Oil Gauge	1	4,152	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.231.276,6820	132%
	0,9	4,052	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.033.028,2070	129%
	0,8	3,952	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.834.779,7320	125%
	0,7	3,852	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.636.531,2570	122%
	0,6	3,752	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.438.282,7820	119%
	0,5	3,652	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.240.034,3070	116%
	0,4	3,552	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.041.785,8320	113%
	0,3	3,452	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.843.537,3570	110%
	0,2	3,352	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.645.288,8820	106%
	0,1	3,252	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.447.040,4070	103%
	0	3,152	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.248.791,9320	100%
	-0,1	3,052	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.050.543,4570	97%
	-0,2	2,952	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.852.294,9820	94%
	-0,3	2,852	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.654.046,5070	90%
	-0,4	2,752	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.455.798,0320	87%
	-0,5	2,652	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.257.549,5570	84%
	-0,6	2,552	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.059.301,0820	81%
	-0,7	2,452	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.861.052,6070	78%
	-0,8	2,352	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.662.804,1320	75%
	-0,9	2,252	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.464.555,6570	71%
-1	2,152	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.266.307,1820	68%	

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Gland Packing	1	4,614	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.147.184,6365	128%
	0,9	4,514	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.948.936,1615	125%
	0,8	4,414	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.750.687,6865	122%
	0,7	4,314	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.552.439,2115	119%
	0,6	4,214	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.354.190,7365	117%
	0,5	4,114	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.155.942,2615	114%
	0,4	4,014	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.957.693,7865	111%
	0,3	3,914	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.759.445,3115	108%
	0,2	3,814	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.561.196,8365	106%
	0,1	3,714	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.362.948,3615	103%
	0	3,614	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.164.699,8865	100%
	-0,1	3,514	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.966.451,4115	97%
	-0,2	3,414	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.768.202,9365	94%
	-0,3	3,314	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.569.954,4615	92%
	-0,4	3,214	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.371.705,9865	89%
	-0,5	3,114	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.173.457,5115	86%
	-0,6	3,014	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.975.209,0365	83%
	-0,7	2,914	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.776.960,5615	81%
	-0,8	2,814	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.578.712,0865	78%
	-0,9	2,714	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.380.463,6115	75%
-1	2,614	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.182.215,1365	72%	

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Wearing Seal	1	4,418	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.758.617,6255	129%
	0,9	4,318	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.560.369,1505	126%
	0,8	4,218	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.362.120,6755	123%
	0,7	4,118	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.163.872,2005	120%
	0,6	4,018	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.965.623,7255	118%
	0,5	3,918	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.767.375,2505	115%
	0,4	3,818	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.569.126,7755	112%
	0,3	3,718	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.370.878,3005	109%
	0,2	3,618	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.172.629,8255	106%
	0,1	3,518	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.974.381,3505	103%
	0	3,418	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.776.132,8755	100%
	-0,1	3,318	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.577.884,4005	97%
	-0,2	3,218	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.379.635,9255	94%
	-0,3	3,118	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.181.387,4505	91%
	-0,4	3,018	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.983.138,9755	88%
	-0,5	2,918	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.784.890,5005	85%
	-0,6	2,818	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.586.642,0255	82%
	-0,7	2,718	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.388.393,5505	80%
	-0,8	2,618	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.190.145,0755	77%
	-0,9	2,518	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.991.896,6005	74%
-1	2,418	Rp 30.500	64,9995	Rp 4.793.648,1255	71%	

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Gasket	1	5,466	Rp 30.500	64,9995	Rp 10.836.651,6775	122%
	0,9	5,366	Rp 30.500	64,9995	Rp 10.638.403,2025	120%
	0,8	5,266	Rp 30.500	64,9995	Rp 10.440.154,7275	118%
	0,7	5,166	Rp 30.500	64,9995	Rp 10.241.906,2525	116%
	0,6	5,066	Rp 30.500	64,9995	Rp 10.043.657,7775	113%
	0,5	4,966	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.845.409,3025	111%
	0,4	4,866	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.647.160,8275	109%
	0,3	4,766	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.448.912,3525	107%
	0,2	4,666	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.250.663,8775	104%
	0,1	4,566	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.052.415,4025	102%
	0	4,466	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.854.166,9275	100%
	-0,1	4,366	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.655.918,4525	98%
	-0,2	4,266	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.457.669,9775	96%
	-0,3	4,166	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.259.421,5025	93%
	-0,4	4,066	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.061.173,0275	91%
	-0,5	3,966	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.862.924,5525	89%
	-0,6	3,866	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.664.676,0775	87%
	-0,7	3,766	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.466.427,6025	84%
	-0,8	3,666	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.268.179,1275	82%
	-0,9	3,566	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.069.930,6525	80%
-1	3,466	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.871.682,1775	78%	

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Motor	1	4,740	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.396.965,0271	127%
	0,9	4,640	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.198.716,5521	124%
	0,8	4,540	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.000.468,0771	121%
	0,7	4,440	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.802.219,6021	119%
	0,6	4,340	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.603.971,1271	116%
	0,5	4,240	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.405.722,6521	113%
	0,4	4,140	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.207.474,1771	111%
	0,3	4,040	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.009.225,7021	108%
	0,2	3,940	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.810.977,2271	105%
	0,1	3,840	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.612.728,7521	103%
	0	3,740	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.414.480,2771	100%
	-0,1	3,640	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.216.231,8021	97%
	-0,2	3,540	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.017.983,3271	95%
	-0,3	3,440	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.819.734,8521	92%
	-0,4	3,340	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.621.486,3771	89%
	-0,5	3,240	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.423.237,9021	87%
	-0,6	3,140	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.224.989,4271	84%
	-0,7	3,040	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.026.740,9521	81%
	-0,8	2,940	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.828.492,4771	79%
	-0,9	2,840	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.630.244,0021	76%
-1	2,740	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.431.995,5271	73%	

Komponen	Variabel Peubah	MTTR	Harga Jual DOP	Losses Per Jam	Losses Production	Rasio Gain to and Losses to
Deep Groove Ball Bearing	1	4,611	Rp 30.500	64,9995	Rp 9.140.337,2135	128%
	0,9	4,511	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.942.088,7385	125%
	0,8	4,411	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.743.840,2635	122%
	0,7	4,311	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.545.591,7885	119%
	0,6	4,211	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.347.343,3135	117%
	0,5	4,111	Rp 30.500	64,9995	Rp 8.149.094,8385	114%
	0,4	4,011	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.950.846,3635	111%
	0,3	3,911	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.752.597,8885	108%
	0,2	3,811	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.554.349,4135	106%
	0,1	3,711	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.356.100,9385	103%
	0	3,611	Rp 30.500	64,9995	Rp 7.157.852,4635	100%
	-0,1	3,511	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.959.603,9885	97%
	-0,2	3,411	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.761.355,5135	94%
	-0,3	3,311	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.563.107,0385	92%
	-0,4	3,211	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.364.858,5635	89%
	-0,5	3,111	Rp 30.500	64,9995	Rp 6.166.610,0885	86%
	-0,6	3,011	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.968.361,6135	83%
	-0,7	2,911	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.770.113,1385	81%
	-0,8	2,811	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.571.864,6635	78%
	-0,9	2,711	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.373.616,1885	75%
-1	2,611	Rp 30.500	64,9995	Rp 5.175.367,7135	72%	

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 6

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Bearing	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Bearing	Rekomendasi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Vane	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Vane	Rekomendasi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Shaft	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Shaft	Rekomendasi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Oil Seal	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Oil Seal	Rekomendasi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Gearbox	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Gearbox	Rekomendasi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Deep Groove Ball Bearing	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Deep Groove Ball Bearing	Rekomendasi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Oil Gauge	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Oil Gauge	Rekomendasi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Gland Packing	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Gland Packing	Rekomendasi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Wearing Seal	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Wearing Seal	Rekomendasi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Gasket	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Gasket	Rekomendasi	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Motor	Eksisting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tahun		1											
Bulan		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Komponen	Jam	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1760	1920
Motor	Rekomendasi	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

BIOGRAFI PENULIS



Azimatul Khusniah lahir di Bojonegoro pada tanggal 20 April 1997. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis berawal dari MI. Hidayatut Tholibin Bendo, MTS Negeri 1 Bojonegoro, SMA Negeri 1 Bojonegoro, hingga jenjang sarjana di Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan, organisasi, serta penelitian. Penulis pernah tercatat sebagai staff Departemen Sosial Masyarakat Badan Pengurus Harian (BPH) Himpunan Mahasiswa Teknik Industri (HMTI) ITS 2016/2017 dan Kabinet Pengabdian Masyarakat Departemen Sosial Masyarakat BPH HMTI ITS 2017/2018. Selain itu, dalam aplikasi keilmuan Teknik Industri, penulis pernah melakukan kerja praktik di PT Dok dan Perkapalan Surabaya, khususnya pada departemen *Quality Control*. Penulis dapat dihubungi melalui email azimatulkhusniah20@gmail.com.